



Az anyag a TAMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0021 téma keretében készült a Pannon Egyetemen.



Környezetmérnöki Tudástár
Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre



19. kötet

Hulladékgazdálkodás II.

Szerkesztő: Dr. Kurdi Róbert



Az anyag a TAMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0021 téma keretében készült a Pannon Egyetemen.



Környezetmérnöki Tudástár

Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre

19. kötet

Hulladékgyaldálkodás II.

Szerkesztő: Dr. Kurdi Róbert

Szerzők:
Buruzs Adrienn
Csőke Barnabás
Czupy Imre
Domokos Endre
Fazekas Bence
Horváth László
Kárpáti Árpád
Kovács Barnabás
Kurdi Róbert
Nagy Géza
Pitás Viktória
Szűcs István
Szabó Imre
Thury Péter
Torma András
Vagdalt László
Vágvolgyi Andrea
Várhegyi András

ISBN: 978-615-5044-44-1

2012
Veszprém
Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet

Környezetmérnöki Tudástár

eddig megjelent kötetei

01. Környezetföldtan
02. Környezetgazdálkodás
03. Talajvédelem, talajtan
04. Egészségvédelem
05. Környezeti analitika
06. Környezetvédelmi műszaki technológiák, technológiai rendszerek modellezése, ipari technológiák és szennyezések
07. Környezettan
08. Földünk állapota
09. Környezeti kémia
10. Vízgazdálkodás-Szennyvíztisztítás
11. Levegőtisztaság-védelem
12. Hulladékgazdálkodás
13. Zaj- és rezgésvédelem
14. Sugárvédelem
15. Természet- és tájvédelem
16. Környezetinformatika
17. Környezetállapot-értékelés, Magyarország környezeti állapota, monitorozás
18. Környezetmenedzsment rendszerek
19. Hulladékgazdálkodás II.
20. Környezetmenedzsment és a környezetjog
21. Környezetvédelmi energetika
22. Transzportfolyamatok a környezetvédelemben
23. Környezetinformatika II.
24. Talajtan és talajökológia
25. Rezgési spektroszkópia

Felhasználási feltételek:

Az anyag a Creative Commons „Nevezd meg!-Ne add el!-Így add tovább!” 2.5 Magyarország Licenc feltételeinek megfelelően szabadon felhasználható.



Nevezd meg! — A szerző vagy a jogosult által meghatározott módon fel kell tüntetned a műhöz kapcsolódó információkat (pl. a szerző nevét vagy álnevét, a Mű címét).



Ne add el! — Ezt a művet nem használhatod fel kereskedelmi célokra.



Így add tovább! — Ha megváltoztatod, átalakítod, feldolgozod ezt a művet, az így létrejött alkotást csak a jelenlegivel megegyező licenc alatt terjesztheted.

További felhasználás esetén feltétlenül hivatkozni kell arra, hogy
"Az anyag a TAMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0021 téma
keretében készült a Pannon Egyetemen."

Részletes információk a következő címen találhatóak:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/hu/>

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	5
Ábrajegyzék.....	16
Táblázatjegyzék.....	24
1. Fogalomtár	27
2. Hulladékgazdálkodás műszaki alapjai (Szabó Imre)	41
2.1. A hulladéklerakók kialakításának műszaki követelményei	41
2.1.1. Az altalajjal szemben támasztott követelmények	41
2.1.2. Az aljzat és zárószigetelő-rendszer felépítése.....	42
2.2. Az aljzatszigetelő-rendszer méretezésének a kérdései	45
2.2.1. A geotechnikai vizsgálatok	45
2.2.1.1. A szigetelőréteg minősítése, anyagának kiválasztása	45
2.2.1.2. A szivárgási tényező meghatározása	48
2.2.1.3. A szigetelőréteg beépítése, kivitelezési előírások	51
2.2.2. Az aljzatszigetelő réteg anyaga	53
2.2.2.1. Természetes anyagú aljzatszigetelők.....	53
2.2.2.2. A mesterséges anyagú szigetelőréteg (geomembrán)	55
2.2.2.3. A szigetelőréteg és a csurgalékvíz kompatibilitásának a kérdései.....	57
2.2.3. Szigetelőrendszerek egyenértékűsége	61
2.2.3.1. Az egyenértékűség definíciója, a meghatározás alapelve és nehézségei	61
2.2.3.2. A szigetelőrétegek (gátak) típusai, az egyenértékűség általános feltételei	62
2.2.3.3. Az egyenértékűség számítás gyakorlati lehetőségei.....	64
2.2.3.4. A mértékadó csurgalékvíz-összetétel meghatározása	67
2.2.3.5. Advektív-diszperzív egyenértékűség számítása	68
2.2.4. A csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése, méretezése	68
2.2.4.1. A szűrő-védő réteg méretezése	69
2.2.4.2. A geotextíliák kiválasztása	70
2.2.4.3. A szivárgóréteg anyaga	72
2.2.4.4. A szivárgóréteg méretezése.....	72
2.2.4.5. Geokompozitok alkalmazása szivárgóréteggént.....	74
2.2.4.6. A dréncső eltömődés elleni méretezése.....	75
2.2.4.7. Az inkrusztáció elleni védekezés	75
2.2.4.8. A második szivárgó-ellenőrző réteg	76
2.2.4.9. A csurgalékvíz várható mennyiségének a meghatározása.....	76
2.3. A lerakó rekultivációja.....	81
2.3.1. A rekultiváció tervezéséhez szükséges előzetes vizsgálatok	81
2.3.1.1. A lerakó várható süllyedése, konszolidációja	81
2.3.1.2. A hulladék lebomlása, a depóniagáz képződés.....	83
2.3.1.3. Állékonyágvizsgálatok	85
2.3.1.4. A depónia vízháztartásának vizsgálata a rekultiváció során.....	92
2.3.2. A lerakó felülvizsgálata.....	92
2.3.2.1. A veszélyeztető potenciál meghatározása.....	93
2.3.3. A hulladéklerakók rekultivációjának általános kérdései	96
2.3.3.1. A hulladéklerakók átmeneti záró-szigetelőrendszere	99
2.3.3.2. A hulladéklerakó végső záró-szigetelőrendszere felépítésének szabályozása	101
2.3.4. Alternatív megoldások a záró-szigetelőrendszer elemeinél.....	106
2.4. A monitoring rendszer	114
2.4.1. A szigetelési rendszer működőképességének ellenőrzése	115

2.4.2.	Talajvíz monitoring.....	117
2.4.3.	A levegő monitoring.....	122
2.4.4.	Talaj monitoring.....	122
2.4.5.	A csurgalékvíz tározó medence ellenőrzése.....	122
2.4.6.	Gáz-monitoring.....	122
2.4.7.	A lerakó mozgásmegfigyelő rendszere.....	123
2.4.8.	A mérések megfigyelések gyakorisága.....	124
2.4.9.	A mechanikai változások ellenőrzése a lerakóban.....	127
2.5.	Az utógondozási idő és csökkentésének lehetőségei.....	128
2.5.1.	Levegőtetés, aerob stabilizálás.....	129
2.5.2.	A hulladéklerakók utólagos nedvesítése, a vízháztartás szabályozása.....	134
3.	Bevezetés: a hulladékok fogalma, fajtái, környezeti hatásai (Dr. Nagy Géza)	137
3.1.	A hazai hulladékgazdálkodás jellemzése.	137
3.2.	A hulladék.....	143
3.3.	Hulladékkezelési modellek	147
3.4.	A gazdasági folyamatokban keletkező hulladék fenntartható kezelése:.....	148
3.4.1.	A hulladékkezelés alapmodelljei.....	149
3.4.1.1.	Hagyományos folyamat-modell („Nyitott rendszer”):.....	149
3.4.1.2.	„Zárt rendszer”, mint modern folyamat modell:.....	150
3.4.1.3.	A hulladékkezelés környezetbarát modellje.....	150
3.5.	A fenntartható fejlődést szolgáló, hulladék-megelőzést, ill. minimalizálást elősegítő módszerek, irányzatok.....	151
3.5.1.	Technológiába integrált megelőző környezetvédelem.....	151
3.5.2.	A hulladékminimalizálását szolgáló irányzatok.....	153
3.5.3.	Integrált szennyezés-megelőzés és szabályozás (IPPC).....	154
3.5.4.	Az életciklus-elemzés (LCA=Life Cycle Assessment).....	155
3.6.	Környezetközpontú irányítási rendszerek (KIR, KMR)	157
3.6.1.	Az ISO 14001 céljai és eszközei.....	158
3.6.2.	Az EMAS rendelet.....	158
3.7.	Hulladékgazdálkodási tervek	159
4.	Regionális hulladékgazdálkodási rendszerek tervezése, létesítése, működtetése és fenntarthatósága (Buruzs Adrienn*, Kovács Barnabás***).....	164
4.1.	Jogszabályi előírások, szabályozás.....	164
4.2.	A települési önkormányzatok hulladékgazdálkodási kötelezettségei.....	166
4.3.	A települési hulladékgazdálkodás céljai és a megvalósítás eszközei.....	167
4.3.1.	Megelőzés a települési hulladékok területén.....	167
4.3.2.	A hasznosítás elősegítése a települési hulladékok terén.....	168
4.3.3.	A települési hulladékok biztonságos ártalmatlanítása.....	169
4.3.4.	Az ártalmatlanítás helyzete, problémái.....	171
4.3.5.	A települési hulladékgazdálkodás jelenlegi helyzete.....	173
4.3.6.	A települési hulladék képződésének és kezelésének előrejelzése.....	174
4.3.7.	Eszközrendszer.....	175
4.3.8.	Gazdasági eszközök.....	177
4.4.	Regionális hulladékgazdálkodási rendszerek	177
4.4.1.	A települési szilárd hulladékgazdálkodási rendszerek működésének finanszírozása.....	179
4.4.2.	Települési hulladékgazdálkodás tervezése.....	179
4.4.3.	Hulladékgazdálkodási rendszerek megvalósítása.....	181
4.4.4.	A regionális hulladékgazdálkodási rendszerek kialakításának koncepciója.....	181

4.4.5.	Korszerű regionális hulladékkezelő telepek létesítése	182
4.4.6.	A rendszer elemeinek korszerűsítése	184
4.4.7.	A hulladékkezelés korszerű technológiái	185
4.5.	A fenntartható fejlődés horizontális területén vállalható intézkedések	194
5.	A regionális hulladékgazdálkodási rendszerek hulladékgyűjtési és –szállítási módozatai (Kovács Barnabás*, - Buruzs Adrienn**).	204
	GYŐRSZOL, Győr; Széchenyi István Egyetem, Győr.....	204
5.1.	Komplex hulladékgazdálkodási rendszerek megvalósítása	204
5.1.1.	A gyűjtés, begyűjtés szabályai	204
5.1.2.	A hulladékkezelés technológiai rendszere	206
5.1.3.	A hulladékok gyűjtése, átmeneti tárolása	207
5.1.4.	Gyűjtési módszerek, eszközök.....	211
5.1.5.	A szelektív gyűjtés alkalmazásának jelentősége, eszközei	214
5.1.6.	A hulladékok szállítása, eszközök, berendezések.....	225
6.	Üzemi hulladékgazdálkodás (dr. Torma András*, Vagdalt László**, Horváth László***).	230
6.1.	Szervezeti szintű hulladékfelelősség kérdései	230
6.1.1.	Az üzemi hulladékfelelősség fogalma, jelentősége	230
6.1.2.	A szervezeti hulladékfelelősség alapmodellje, jellemző halmazai	231
6.1.3.	Az üzemi hulladékfelelősség alapvető célfüggvényei.....	234
6.2.	Az operatív hulladékgazdálkodás (hulladéklogisztika).....	235
6.2.1.	Az üzemi hulladéklogisztika alaplépései.....	235
6.2.2.	A logisztika és a hulladékgazdálkodás kapcsolatrendszere	236
6.2.2.1.	Üzemi hulladéklogisztika	236
6.2.2.2.	A logisztikai lánc.....	237
6.2.2.3.	A környezetvédelem és a logisztika kapcsolata	238
6.2.2.4.	A termelési (üzemi) logisztika és a hulladékgazdálkodás speciális kérdései	239
6.2.2.5.	A logisztikai rendszer környezetvédelmi szempontú fejlesztésének lehetőségei, céljai ...	242
6.3.	A rendszerorientált hulladékgazdálkodás	242
6.3.1.	Az üzemi hulladékgazdálkodás tervezése	243
6.3.1.1.	A vállalati hulladékgazdálkodás fogalma	243
6.3.1.2.	A vállalati hulladékgazdálkodás tervezésének céljai.....	244
6.3.1.3.	A vállalati hulladékgazdálkodás tervezésének lépései.....	244
6.3.1.4.	Az üzemi hulladékfelelősség és a környezeti teljesítmény	250
6.4.	Hulladékgazdálkodásból hulladékmenedzsment	252
7.	Hulladékgazdálkodás (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea).....	254
8.	Komposztálás (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea)	257
8.1.	A komposztálás alapanyagai	257
8.2.	A komposztálás története.....	257
8.3.	A komposztálási folyamat szakaszai	258
8.3.1.	Rövid bevezető szakasz	258
8.3.2.	Termofil, vagy lebontási szakasz	258
8.3.3.	Az átalakulási szakasz	259
8.3.4.	A felépülési szakasz	259
8.4.	A komposztálást befolyásoló paraméterek.....	260
8.4.1.	Megfelelő anyagösszetétel.....	260
8.4.2.	Optimális nedvességtartalom (40 – 60 %).....	260

8.4.3.	Oxigénellátás	260
8.4.4.	Anyagok keveredése, szemcsemérete (25 – 40 mm egyenletes eloszlásban)	261
8.4.5.	Optimális belső hőmérséklet biztosítása.....	261
8.5.	A komposztálás munkaműveletei	264
8.6.	A komposztálás során alkalmazott technológiák	265
8.6.1.	Nyitott rendszerek.....	265
8.6.2.	Félig zárt rendszer	266
8.6.3.	Zárt rendszerek	266
8.7.	A komposzt minőségi vizsgálata.....	268
9.	<i>Ipari komposztálás és alapanyagai (Fazekas Bence, Pitás Viktória, Thury Péter, Dr. Kárpáti Árpád).....</i>	270
9.1.	Komposztálható anyagok	271
9.1.1.	Lakossági szennyvíziszap	271
9.1.2.	Az ipari szennyvíztisztítás iszapjai	273
9.1.3.	Trágyák	274
9.1.4.	Zöldhulladékok	274
9.1.5.	Élelmiszeripari és mezőgazdasági hulladékok	275
9.1.6.	Lakossági szilárd hulladék.....	275
9.1.7.	Különleges hulladékok.....	276
9.2.	Energia visszanyerése hulladékokból	276
9.2.1.	A nedves alapanyagok problémája	277
9.2.2.	A száraz alapanyagok problémája	278
9.2.3.	Termékminőségi előírások	279
9.2.4.	Elmélet és gyakorlat	280
9.3.	A szennyvíziszap komposztálás segédanyagai.....	280
9.3.1.	Az alapanyag összeállítása.....	281
9.3.2.	Segédanyag és töltőanyag funkció a szennyvíziszapok komposztálásánál	282
9.4.	A szennyvíziszap komposztálási technológia fő lépései	283
9.4.1.	Előkészítő és utókezelő műveletek	283
9.4.1.1.	Szennyvíziszapok.....	283
9.4.1.2.	Komposztálást befolyásoló tényezők	284
9.4.1.2.1.	A levegőellátás.....	285
9.4.1.2.2.	C/N arány.....	285
9.4.1.2.3.	Víztartalom	286
9.4.1.2.4.	pH-tartomány és hőmérséklet.....	286
9.4.1.3.	Végtermék-kihozatal.....	286
9.4.2.	Sztatikus prizmás, vagy reaktoros komposztálás	287
9.4.2.1.	Üzemeltetési paraméterek	288
9.4.3.	Nyersanyagok kondicionálása	296
9.4.3.1.	Fizikai kondicionálás, vagy szerkezet kialakítás	296
9.4.3.2.	Fizikai kondicionálás késztermék részleges visszaforgatásával és segédanyagokkal.....	297
9.4.3.3.	Kémiai kondicionálás	301
9.4.3.4.	Energetikai kondicionálás	302
9.4.3.5.	Relatív víztartalom, W.....	302
9.4.3.6.	Relatív energiatartalom, E	303
9.4.4.	A szerves anyag oxidációjának oxigén/levegő-igénye.....	306
9.4.5.	A nedvességtartalom csökkentéséhez szükséges levegőigény	307
10.	<i>A biogáz technológia (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea).....</i>	311
	Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron	311
10.1.	A biogáz termelés alapanyagai.....	311

10.2. A biogáz története.....	314
10.3. A fermentációs folyamat szakaszai.....	314
10.4. A fermentációs folyamatot befolyásoló tényezők	315
10.4.1. Hőmérséklet	316
10.4.2. pH	316
10.4.3. Tápanyagok	316
10.4.4. Nedvesség (Víz)	316
10.4.5. Nehézfémek.....	317
10.4.6. Illó savak	317
10.4.7. Ammónia	317
10.4.8. Szulfid	317
10.5. A biogáz előállítás technológiai lehetőségei	317
10.6. A biogáz felhasználása	322
10.6.1. A biogáz mint motorhajtóanyag.....	322
10.6.2. A biogáz felhasználása tüzelőanyagként áram- és hőtermelésre.....	324
10.6.3. A tisztítása és a földgázhálózatba való betáplálás lehetősége	325
10.7. A biotrágya	326
10.8. Biogázüzemek helyzete hazánkban	327
10.9. A biogáz hasznosítás helyzete külföldön.....	331
11. A fahulladék, a fahulladékok égetése (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea).....	334
Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron	334
11.1. Energetikai célra termesztendő növények.....	335
11.1.1. Lágyszárú növények.....	335
11.1.2. Fás energetikai ültetvények.....	336
11.2. Az energetikai ültetvényeken alkalmazott technológiák	337
11.3. Az apríték.....	338
11.4. A faanyag energetikai hasznosítása előtt vizsgálandó paraméterek	339
11.4.1. Elemi összetétel.....	339
11.4.2. Vegyi összetétel (cellulóz, lignin stb.).....	339
11.4.3. Nedvességtartalom.....	340
11.4.4. Fűtőérték, égéshő.....	340
11.4.5. Hamutartalom	341
11.5. A faanyag energetikai átalakulása.....	342
11.6. A biomassa égetése	343
11.6.1. Kályhák	343
11.6.2. Cserépkályhák.....	344
11.6.3. Kandallók	345
11.6.4. Darabosfa tüzelők (123. ábra)	346
11.6.5. Aprítéktüzelő kiskazán (124. ábra)	347
11.6.6. Elgázosító kazánok.....	348
11.6.7. Aprítéktüzelő nagyberendezések	348
11.6.8. Nagy teljesítményű aprítéktüzelő elrendezése és üzemeltetése	349
11.6.9. Bálátüzelők	350
12. Energetikai tömörítvények (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea).....	352
Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron	352
12.1. A fabrikett.....	352

12.2.	A pellet	354
13.	Növényi olajok, bioalkoholok (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea)	356
	Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron	356
13.1.	A biodízel	357
13.1.1.	A biodízel előállítás	357
13.1.2.	A biodízel előnyei	357
13.2.	Bioetanol	358
13.2.1.	A bioetanol gyártás folyamata.....	359
13.2.2.	A bioetanol üzemanyag előnyei	359
14.	Pirolízis, elgázosítás (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea)	361
	Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron	361
14.1.	Pirolízis	361
14.1.1.	A 4 legjellemzőbb pirolízis technológia	362
14.2.	Az elgázosítás.....	363
15.	Vegyipari hulladékok (Dr. Kurdi Róbert)	368
15.1.	Bevezetés.....	368
15.2.	Hulladékok a vegyiparban	369
15.3.	A vegyiparban alkalmazott hulladékcsökkentési stratégiák.....	371
15.4.	Hulladékcsökkentés meglévő vegyipari üzemek, gyárak esetében	374
15.4.1.	Reaktor:	374
15.4.2.	Elválasztás és recirkuláció:.....	375
15.4.3.	Hőcserélő hálózatok, energiahordozók és kiszolgálóközegek:	375
15.4.4.	Raktárkészlet:	375
15.4.5.	Nyersanyag helyettesítés:	376
15.4.6.	Berendezések működtetése:	377
15.4.7.	Hulladékok keletkezésének figyelése, kezelése, szelektív gyűjtésük:	377
15.5.	Új üzemek tervezési feladatai, hulladékcsökkentési stratégiák	377
15.5.1.	Termékkonceptió kialakítása	377
15.5.2.	Laboratóriumi és félüzemi kísérletek, technológiai méretnövelés	378
15.5.3.	Folyamattervezés	379
15.5.4.	Szisztematikus stratégia az anyag hulladékok csökkentésére	379
15.6.	Üzemi tapasztalatok szerepe a hulladékcsökkentésben	381
15.7.	Zöld vegyipar: fenntartható fejlődés	381
16.	Vegyipari tevékenységek hulladékkezelései (Dr. Kurdi Róbert)	383
16.1.	Elérhető legjobb technika alkalmazása az olefingyártásban	383
16.1.1.	Bevezetés.....	383
16.1.2.	Az ágazat főbb környezeti hatásai	383
16.1.3.	Szennyezés megelőzés az olefingyártás során	385
16.1.4.	Az energiahatékonyság kérdése	386
16.2.	Nehézfém tartalmú szennyvizek, galvániszapok és anyalúgok kezelése.....	386
16.2.1.	Ipari szennyvizek és anyalúgok krómtartalmának kezelése	386
16.2.1.1.	A króm kinyerése króm(VI)-tartalmú galvániszapból (Hulladékok és másodnyersanyagok felhasználása 2003/5)	387
16.2.1.2.	Izocianát-gyártás során keletkező hulladékok újrafelhasználása	388
16.2.2.	Izopropil-alkohol visszanyerése oldószerhulladékból	389

16.2.2.1.	Az oldószerhulladék jellemzői.....	391
16.2.2.2.	Az izopropil-alkohol visszanyerése levegős kigőzöléssel	391
16.2.2.3.	Izopropil-alkohol adszorpció az aktív szénrel töltött oszlopban	395
17.	Vegyipari hulladékok gyűjtése, szállítása (Dr. Kurdi Róbert)	398
17.1.	Vegyipari hulladékok szállítása	400
17.1.1.	A termelőre, kezelőre vonatkozó szabályok:.....	401
17.1.2.	Az átadóra vonatkozó szabályok:	401
17.1.3.	A szállítóra vonatkozó szabályok:	402
17.1.4.	Az átvevőre vonatkozó szabályok:.....	402
17.1.5.	A hatóságok feladatai az adatszolgáltatásban.....	402
17.1.6.	Veszélyes (vegyipari) hulladékok nyilvántartása	403
17.2.	Vegyipari hulladékok átmeneti tárolása	406
18.	Esettanulmány: Garéi hulladéklerakó története – a keletkezéstől a felszámolásig (Dr. Kurdi Róbert).....	408
19.	A timföldgyártás hulladéka a vörösiszap (Dr. Kurdi Róbert).....	415
19.1.	Bevezetés.....	415
19.2.	Timföldgyártás	415
19.2.1.	Bayer-eljárás folyamata (163. ábra)	417
19.2.1.1.	A vörösiszap szétválasztása az alumínátlúgtól:.....	418
19.3.	A vörösiszap jellemzése	420
19.4.	Az ajkai lerakó:.....	421
19.5.	A vörösiszap kezeléskor figyelembe veendő szempontok	422
19.6.	A vörösiszap kezelési és hasznosítási lehetőségei	423
19.7.	Vörösiszap lerakása	423
19.7.1.	Nedves lerakás.....	423
19.7.2.	Száraz lerakás	424
19.7.3.	Félszáraz lerakás:.....	425
19.8.	A vörösiszap szállítása	426
19.9.	A vörösiszaptározók rekultivációja.....	426
19.9.1.	A rekultiváció technológiája	427
19.9.1.1.	A rekultivációs keverék előállítás:.....	427
19.9.1.2.	Keverés:	428
19.9.1.3.	Pihentetés:.....	428
19.9.1.4.	Érlelés:	428
19.9.1.5.	Rekultiváció:	428
19.9.2.	A vörösiszap lehetséges felhasználási területei.....	429
20.	A nukleáris ipar hulladékkezelési kihívásai (Dr. Szűcs István)	430
20.1.	A radioaktív hulladékok forrásai	430
20.2.	A radioaktív hulladékok kategorizálásának nemzetközi elvei	433
20.3.	A radioaktív hulladékok hazai kategorizálása	435
20.4.	Hazai atomerőművi radioaktív hulladék leltár	439
20.4.1.	Kis és közepes aktivitású hulladékok	439
20.4.1.1.	Folyékony radioaktív hulladékok	439
20.4.1.2.	Szilárd radioaktív hulladékok.....	440
20.4.2.	Nagy aktivitású hulladékok.....	440

21. A nukleáris létesítmények üzemeléséhez és leszereléséhez kapcsolódó radioaktív hulladékkezelés stratégia kérdései (Dr. Szűcs István).....	442
21.1. A radioaktív hulladékkezelés nemzetközi alapelvei.....	442
21.2. A radioaktív hulladékkezelés általános megközelítésmódja	443
21.2.1. Környezetvédelmi aggályok, a biztonság és a fenntartható fejlődés	443
21.2.2. Gazdasági megfontolások	444
21.2.3. Társadalmi elfogadás és bizalom	445
21.3. Nemzetközi szervezetek szabályozási rendszere és mértékadó ajánlásai	445
21.3.1. A Nukleáris Hulladék Konvenció	445
21.3.2. A NAÜ által kidolgozott szabályozási rendszer fontosabb elemei	445
21.3.2.1. A geológiai formációban történő elhelyezés és biztonsági alapelvei és műszaki követelményei	447
21.3.2.2. A telephely-kiválasztás és telepítés alapvető irányelvei	450
21.3.2.3. A geológiai formációban történő elhelyezés gyakorlati kérdései	451
21.3.3. Az OECD és az Európai Unió gyakorlata	453
21.4. A hatályos hazai jogszabályok által rögzített előírások.....	455
21.4.1. Az 1996. évi CXVI. törvény az Atomenergiáról	455
21.4.2. A 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet	456
21.4.3. A 213/1997. (XII.1.) Korm. rendelet	457
21.4.4. A 47/2003. (VIII. 8.) ESzCsM rendelet	457
22. A nukleáris létesítményekhez kapcsolódó radioaktív hulladékok geológiai elhelyezésének műszaki alapjai (Dr. Szűcs István).....	460
22.1. A geológiai tároló koncepciója	460
22.2. A közvetlen környezet (near field) elemei és folyamatai	464
22.2.1. Tartályanyagok	466
22.2.2. Tömedékanyagok	466
22.2.3. Építőanyagok	467
22.2.4. A radionuklidok mobilizációja.....	467
22.2.5. Gázképződés.....	468
22.3. A távoli környezet (far field) gátjai és folyamatai.....	468
22.3.1. A felszín alatti vizek szerepe a radionuklidok szállításában.....	470
22.3.2. Oldatos szállítás.....	471
22.3.2.1. A kőzetmátrix tulajdonságai	471
22.3.2.2. Repedések és törésvonalak	471
22.3.3. Hidrogeológia és vízmozgás.....	471
22.3.3.1. A víz áramlása	471
22.3.3.2. A vízben történő szállítás útvonalai	472
22.3.3.3. Csatornázódás.....	472
22.3.4. Vízkémia és kémiai késleltetés	472
22.3.4.1. Kémiai ülepedés és szorbció	472
22.3.4.2. Kőzet- és vízkémia.....	472
22.3.4.3. A másodlagos ásványok szerepe a késleltetési folyamatban	473
22.3.5. Szállítódás felszín alatti vizekkel	474
22.3.5.1. Advekción és diszperzió	474
22.3.5.2. Anyagátvitel víz és kőzet között.....	474
22.3.5.3. Szorpción és késleltetés	474
22.3.5.4. Kolloidszállítás	475
23. A kiégett nukleáris fűtőanyagok és nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú hulladékok kezelése és elhelyezésük hazai vonatkozásai (Dr. Szűcs István)	476
23.1. Hulladékformák	476

23.1.1.	Kiégett fűtőelem.....	476
23.1.2.	Nagyaktivitású hulladék.....	477
23.2.	A hulladékkezelés és elhelyezés főbb nemzetközi stratégiai kérdései.....	478
23.2.1.	A kiégett fűtőanyag kezelés stratégiai.....	478
23.2.2.	A kiégett fűtőanyag feldolgozási lehetőségei.....	479
23.2.3.	A kiégett fűtőanyag átmeneti tárolása.....	481
23.2.4.	A kiégett fűtőelemek és a nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezése.....	481
23.3.	A kezelés és elhelyezés főbb hazai vonatkozásai.....	483
23.4.	A potenciális befogadó kőzet védelmi koncepciója.....	484
23.5.	A műszaki megvalósítási koncepcióterv releváns elemei.....	493
24.	<i>Szemelvények a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéktároló kutatás és létesítés hazai gyakorlatából (Dr. Szűcs István)</i>	498
24.1.	A földtani környezet megismerésének főbb fázisai és céljai	498
24.2.	A földtani környezet felszín alatti megismerésének főbb objektumai, szempontjai és eredményei.....	499
24.2.1.	Felszín alatti térkiképzés.....	499
24.2.2.	Felszín alatti fúrások.....	500
24.2.3.	Vizsgálati és értékelési szempontok.....	502
24.2.4.	A kutatás eredményei.....	503
24.3.	A tároló létesítés főbb mérföldkövei és technológiai folyamatai	506
24.3.1.	A létesítés főbb engedélyeztetési és kivitelezési mérföldkövei	506
24.3.2.	Tervezési és kivitelezési alapelvek.....	506
24.3.3.	Technológiai folyamatok	507
24.3.3.1.	Jövesztés.....	507
24.3.3.2.	Kőzetkímélő robbantás.....	508
24.3.3.3.	Vágatbiztosítás.....	508
24.3.3.4.	Előinjektálás.....	509
24.3.4.	A hulladékéltelhelyezési rendszer	510
25.	<i>A környezeti sugárzás anomáliái (Dr. Várhegyi András).....</i>	512
25.1.	A természetes radioaktivitás anomáliái a környezetben, NORM és TENORM anyagok .	512
25.2.	Magyarországi TENORM szituációk	512
26.	<i>Uránbányászat, uránérc feldolgozás technológiai vonatkozásai (Dr. Csővári Mihály).....</i>	514
26.1.	Termelési módszerek.....	514
26.2.	Külszíni és mélyművelésű bányászat	514
26.3.	Ércfeldolgozási módszerek.....	516
26.3.1.	Klasszikus ércfeldolgozás.....	516
26.3.1.1.	Ércelőkészítés, radiometrikus dúsítás.....	517
26.3.1.2.	Ércfeltárás	518
26.3.1.3.	Szilárd-oldat elválasztás.....	520
26.3.1.4.	Oldott urán kinyerése a feltárási oldatokból	521
26.3.1.5.	Meddőzagy kezelés.....	523
26.3.1.6.	Uránkoncentrátum leválasztása	524
26.3.1.7.	Az uránkoncentrátum szárítása, izbitása.....	525
26.3.1.8.	Zagytározás.....	525
26.3.2.	Halmos (perkolációs) uránérc kilúgzás	528
26.3.3.	Földalatti, in-situ uránkioldás	530

27. Uránbányászat környezetszennyező objektumai (Dr. Várhegyi András)	535
27.1. Bányászati technológiák	536
27.2. Ércfeldolgozás	537
27.3. Az uránbányászat során képződött környezetszennyező objektumok	537
27.3.1. Bányaüzemi területek és légaknák	538
27.3.2. Meddőhányók	539
27.3.3. Külszíni urántermelés („perkoláció”) területei	540
27.3.4. Ércdúsító üzem (ÉDÜ)	541
27.3.5. Zagyttározók	542
28. Uránipari objektumok rekultivációjának technológiai kérdései (Dr. Csővári Mihály).....	545
28.1. Szilárd hulladékok kezelése	546
28.1.1. Radiológiai hatások mérséklése	546
28.1.1.1. Gamma-sugárzás intenzitásának csökkentése	546
28.1.1.2. Radon gáz exhalációjának csökkentése	548
28.1.2. Takaró rétegek és azok jellemzői.....	551
28.1.3. Takaró rétegek fő típusai.....	551
28.1.3.1. Uránipari meddők rekultivációja	555
28.2. Folyékony hulladékok kezelése, víztisztítás	557
28.2.1. Rádium kivonása szennyezett vizekből	557
28.2.2. Szennyezett vizek uránmentesítése	559
28.2.2.1. Kémiai lecsapáson alapuló módszerek	559
28.2.2.2. Ioncsere segítségével történő uránkivonás	559
28.2.2.3. Nem-radioaktív kémiai szennyezéstől eredő hatások mérséklése	560
28.3. Ipari létesítmények sugármentesítése.....	562
28.4. In-situ talajvíz-tisztítás. Permeábilis reaktív gátak alkalmazása	563
28.4.1. Alapreakciók	564
28.4.2. Permeábilis reaktív gátak típusai.....	565
28.5. Irodalom	568
29. A rekultiváció sugárvédelmi vonatkozásai (Dr. Várhegyi András)	569
29.1. A rekultiváció célkitűzése	569
29.2. Sugárvédelmi szabályozás Magyarországon	570
29.3. A rekultiváció sugárvédelmi követelményrendszere	570
30. Esettanulmányok az uránipari rekultiváció gyakorlatából (Dr. Csővári Mihály)....	576
30.1. Bevezetés.....	576
30.2. Bányabezárás	580
30.3. Meddőhányók rekultivációja	581
30.4. Perkolációs ércfeldolgozási terület rekultivációja	583
30.4.1. Állapotfelmérés	585
30.4.2. Szabad víz kezelése.....	585
30.4.3. A meddő átszállítása végleges tároló helyre	586
30.4.4. Radiológiai állapotfelmérés a perkolációs területeken a meddő átszállítása után	586
30.5. A zagyttározók rekultivációja	587
30.5.1. Talajmechanikai vizsgálatok	588
30.5.2. Szabad víz eltávolítása	589

30.5.3.	Az iszapmag stabilizálása	590
30.5.4.	A szivárgó rendszer felújítása és kiegészítése	592
30.5.5.	Zagyterek lefedése	592
30.6.	Felszíni ipari létesítmények recultivációja.....	596
30.7.	Vízminőség védelem.....	599
30.7.1.	Bányavízisztítás	599
30.7.2.	Felszínalatti víz védelme.....	601
30.8.	Permeábilis reaktív gát urántartalmú talajvíz in situ tisztítására	602
30.8.1.	Permeábilis reaktív gát létesítésének egyes fázisai	603
30.8.2.	Vízösszetétel változása a reaktív gátban	605
30.9.	Irodalomjegyzék.....	606

Ábrajegyzék

1. ábra: A hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszere felépítésének szabályozása (A 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet, 1. sz. melléklete alapján).....	43
2. ábra: Az inert hulladékok lerakójának felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása (20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet alapján)	43
3. ábra: A nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása a (20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet alapján)	44
4. ábra: A nem veszélyes hulladékok lerakója (B3 kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása a (20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet alapján)	44
5. ábra: A veszélyeshulladék-lerakó (C kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása	45
6. ábra: A természetes anyagú aljzatszigetelő rétegek kutatása, tervezése, kivitelezése során elvégzendő geotechnikai vizsgálatok (SZABÓ A., 2000.)	47
7. ábra: Az agyagok szivárgási tényezőjének meghatározása triaxiális cellában.....	49
8. ábra: Hulladéklerakók aljzatszigetelése szivárgási tényezőjének meghatározása a helyszínen csőinfiltróméterrel, (BRANDL, 1989.)	50
9. ábra: A szivárgási tényező, a nyírószilárdság és a zsugorodás szempontjából is megfelelő beépítési jellemzők meghatározása, (DANIEL, 1993.).....	52
10. ábra: A szigetelőréteg beépítésénél javasolt beépítési víztartalom	52
11. ábra: Bentonitszőnyegek vízzárósági vizsgálatának összefoglaló eredményei (ESTORNELL-DANIEL, 1992.; Miskolci Egyetem, 2002.; GEOSZABO, 2005.)	54
12. ábra: A különböző koncentrációjú és összetételű vizes sóoldatok hatása a bentonitminták szivárgási tényezőjére (ALTHER et al., 1985.)	59
13. ábra: A pórusfolyadék dielektromos állandójának (permittivitásának) hatása a szivárgási tényező értékére (FERNANDEZ – QUIGLEY, 1985)	60
14. ábra: A konvektív transzport, a diffúzió és a mechanikai diszperzió okozta anyagáramok összevetése a szivárgási sebesség (szivárgási tényező) függvényében (ROWE, 1987.)	62
15. ábra: Összefüggés a Courant-szám és a C/C0 relatív koncentráció között (SHACKELFORD, 1990.)	67
16. ábra: Geotextiliák pórusméret-eloszlási görbéi. Az O95-érték értelmezése (KOERNER, 1986.).....	71
17. ábra: A csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezésének modellje I. (McBEAN et al., 1981.)	73
18. ábra: A hulladéklerakó vízháztartása	77
19. ábra: A csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése (TAMKE, 1991).....	80
20. ábra: A dréncső beépítése (DIN 19667, 1990.).....	81
21. ábra: Különböző lerakóknál mért felszínsüllyedések (KÖNIG et al., 1996.) 2.3.1 (nem szerepel a hivatkozható jegyzékben).....	82
22. ábra: A különböző zárószigeteléseknél megengedhető deformációk (BAM, 2003.).....	83
23. ábra: A depóniagáz fő összetevői koncentrációjának alakulása a hulladék lebomlása során (RETTENBERGER, 1992. in. K. U. HEYER, 2003)	84
24. ábra: Helyszíni vizsgálatokkal meghatározott térfogatsűrűség értékek különböző korú hulladékok esetében (OWEIS - KHERA, 1990.)	86
25. ábra: A hulladék nyírószilárdsági paraméterei irodalmi adatok, laboratóriumi és helyszíni mérések alapján, (JESSBERGER, 1990., SINGH - MURPHY, 1990., SZABÓ, 1999., VILAR ÉS CARVALHO 2002., CAICEDO 2002.).....	87
26. ábra: A depónia oldalsó lezárásának állékonyságvizsgálata	89
27. ábra: A lejtőiránnyal párhuzamosan erősített zárószigetelés állékonyságvizsgálata	90
28. ábra: A vízszintesen erősített zárószigetelés állékonyságvizsgálata	91
29. ábra: A hulladéklerakók rekultiválásának módjai és a rekultiváció különböző típusai	98

30. ábra: A rekultiváció módjának kiválasztási folyamata	99
31. ábra: Az agyagszigetelés beépítési víztartalmának meghatározása a zárószigetelés kialakításánál	103
32. ábra: A TRISOPLAST szigetelőréteg beépítési vastagságának a meghatározása	108
33. ábra: Az evapotranspirációs lezárás elve	110
34. ábra: Alternatív zárószigetelő rendszer felépítése bentonitszőnyeg felhasználásával	112
35. ábra: Alternatív zárószigetelő rendszer felépítése talajkeverék felhasználásával	112
36. ábra: Alternatív zárószigetelő rendszer kialakítása: kapilláris zárószigetelés.....	113
37. ábra: Alternatív zárószigetelő rendszer felépítése geomembrán felhasználásával.....	114
38. ábra: A geoelektromos monitoring rendszer beépítése a pusztazámori lerakónál és egy kontrollmérés eredménye	116
39. ábra: A depónia szélén kialakított kontrollvágat a csurgalékvíz mennyiségének mérésére 2.4.2.....	117
40. ábra: A zárószigetelés vízzáróságának ellenőrzése líziméterrel (HÖTZL – WOHNLICH, 1988.).....	117
41. ábra: Talajvíz-figyelőkút egy csővel (JUHÁSZ, 1990.).....	119
42. ábra: Talajvíz-megfigyelőkút bentmaradó iránycsővel (JUHÁSZ, 1990.)	119
43. ábra: A talajvíz-figyelőkutak felszíni elrendezésének a vázlata	120
44. ábra: Példa a talajvíz-megfigyelőkutak kialakítására rétegzett altalaj esetén (BAGCHI, 1989.).....	121
45. ábra: A talajgáz-figyelőkutak kialakításának vázlata (BAGCHI, 1989.).....	123
46. ábra: A mozgásmegfigyelő-hálózat alappontjainak kialakítása (a.: a depóniaaljazat süllyedésének mérése; b.: felszínmozgást mérő pont)	124
47. ábra: Az aerob helyszíni stabilizálás elvi ábrája (HEYER, 2002)	130
48. ábra: A BIOPUSTER eljárás vázlata	131
49. ábra: Az alacsony nyomású levegőztetés és a BIOPUSTER eljárás hatékonyságának összehasonlítása	131
50. ábra: A gázkoncentrációk alakulása az 1. mezőn Dörentrup lerakó Németország, (HEYER, K.U et al., 2009)	132
51. ábra: A szerves anyag lebomlási idejének rövidülése az átlevégtetés hatására (RITZKOWSKI, 2007)	132
52. ábra: A süllyedések alakulása a levegőztetés megkezdte után Dörentrup lerakó, Németország (HEYER, K.U et al., 2009)	133
53. ábra: A hulladéklerakó nedvesítése/öntözése	134
54. ábra: Horizontális elrendezésű infiltrációs rendszer	136
55. ábra: Vertikális elrendezésű infiltrációs rendszer	136
56. ábra: A hulladékok környezetbe jutásának útjai[3].....	143
57. ábra: A hulladékkezelés prioritási szintje.[1,2.].....	145
58. ábra: A biomassza energetikai hasznosítása [3].....	146
59. ábra: A vegyesen begyűjtött települési hulladék szabvány szerint mért átlagos összetétele (Forrás: KvVM, 2007).....	146
60. ábra: A 2013-ra prognosztizálható hulladékkezelési folyamatára [3].....	148
61. ábra: A zárt rendszer modellje [7.].....	150
62. ábra: A körforgási modell [8.].....	151
63. ábra: A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig. [12.]	154
64. ábra: Hulladékgazdálkodási tervek rendszere [14.]	160
65. ábra: Regionális hulladéklerakók Magyarországon 2009. július 15-e után (Forrás: Köztisztasági Egyesülés, 2010).....	179
66. ábra: Szemipermeábilis fóliával takart hulladék (© Buruzs, 2010).....	186
67. ábra: Stabilizált hulladék a kezelés után (© Buruzs, 2010)	187

68. ábra: Stabilizált hulladék dobrostán történő osztályozása (© Buruzs, 2010).....	188
69. ábra: 4. kép: Többrétegű fóliába csomagoló bálázóba (© Buruzs, 2010).....	188
70. ábra: Nyílt rendszerű prizmás komposztálás (© Buruzs, 2010).....	190
71. ábra: Válogatómű kézi szortírozó egysége (© Buruzs, 2010).....	191
72. ábra: A háztartási vegyes hulladék differenciált gyűjtési és kezelési eljárásai	199
73. ábra: A hulladékkezelési technológiai rendszer	206
74. ábra: Együtemű gyűjtési rendszer	207
75. ábra: Kétütemű gyűjtési rendszer	208
76. ábra: Az átrakóállomás vázlata.....	209
77. ábra: Együtemű és kétütemű szállítási mód közötti választás elve	211
78. ábra: Szelektív gyűjtősziget edényzete	218
79. ábra: Hulladékudvar ábrája	220
80. ábra: Barna fedeles kuka	223
81. ábra: Szürke fedeles kuka.....	224
82. ábra: A szervezeti hulladékprobléma lehetséges megoldási szintjei és kapcsolódó feladatai (hagymamodell)	232
83. ábra: A logisztikai lánc egyszerűsített modellje.....	238
84. ábra: A hulladékgazdálkodási menedzsment feladatai a különböző szinteken.....	240
85. ábra: Termelő vállalat belső anyagáramlásának egyszerűsített modellje.....	240
86. ábra: A BÜCHL ELOG® belső hulladéklogisztikai rendszer működése	248
87. ábra: A külső hulladéklogisztikai folyamat.....	249
88. ábra: A mezőgazdasági biomasszák hasznosításának lehetőségei	256
89. ábra: A szerves anyag lebomlásának folyamata.....	258
90. ábra: A hőmérséklet változása a komposztálás folyamán	261
91. ábra: A komposztálás munkaműveletei.....	264
92. ábra: Szemipermeábilis membrántakaróval zárttá tett komposztálási rendszer.....	267
93. ábra: A szennyvíziszap és faforgács együttes sztatikus komposztálására alkalmas levegőztetés és anyagfeldolgozás különböző lépései.....	288
94. ábra: Statikus komposzthalom méretezése 40 m ³ víztelenített szennyvíziszap feldolgozásához.	291
95. ábra: A hőmérséklet alakulása nyers iszap - faforgács keverék levegőztetett statikus prizmás komposztálása során.	291
96. ábra: A hőmérséklet alakulása rothasztott szennyvíziszap és különböző segédanyagok levegőztetett sztatikus halmokban történő komposztálásakor. Mindegyik mérési pont a halom keresztmetszetében 10 helyen történt hőmérséklet-mérés átlaga	292
97. ábra: Zárt, levegőztetett sztatikus komposztálás sémája (anyagáramok a 36 táblázatban.)	293
98. ábra: Fűvételjesítmény igény a 25 % szárazanyag tartalmú, döntően nyers szennyvíziszap mint alapanyag, segédanyagokkal történő statikus komposztálásakor. (Levegőztetés szabályozása a hőmérsékletről (45oC) visszacsatolással történt.)	294
99. ábra: Komposzt alapanyag kondicionálás a késztermék részleges visszaforgatásával és strukturáló anyag felhasználásával.....	299
100. ábra: A strukturáló / töltőanyagok szerepe a víz nedves anyagból történő adszorpciójának érzékeltetésével.	300
101. ábra: A kondicionáláshoz szükséges faapríték hányad függése a szennyvíziszap nedvesség-tartalmától. (1. adatsor: folytonos vonal, 2. adatsor: szaggatott vonal).....	301
102. ábra: A szennyvíziszap nedvességtartalmának hatása a komposztálás során elpárologtatandó vízmennyiségre.....	307
103. ábra: A fermentációs folyamat sémája szerint (Forrás: Kacz, 2005.)	315
104. ábra: A biogáz gyártás sematikus áttekintése (Schulz és Eder,2005.)	318

105. ábra: A biogáz gyártás lehetséges eljárásai (Schulz és Eder, 2005.).....	319
106. ábra: Csőfermentoros biogáz technológia (Donauer, 2005.).....	321
107. ábra: Egy biogáz üzem felépítése és a termelés folyamatábrája (Forrás: Fuchsz, 2006.)	322
108. ábra: 1 ha alapanyagból nyert üzemanyagokkal megtehető kilométerek száma (Forrás: Fuchsz, 2006.)	323
109. ábra: A nyírbátori biogáz üzem [4.]	328
110. ábra: A pálhalmi biogáz üzem [5.]	329
111. ábra: A kenderesi biogáz üzem [6.].....	329
112. ábra: A kaposvári biogáz üzem [7.]	330
113. ábra: A klárafalvi biogáz üzem [8.].....	330
114. ábra: A talfájai biogáz üzem [9.].....	331
115. ábra: Biogáz üzem Németországban(Forrás: Kovács és Fuchsz, 2007.)	332
116. ábra: Biogáz üzem Ausztriában(Forrás: Kovács és Fuchsz, 2007.).....	332
117. ábra: Biogáz üzem Dániában (Forrás: Kovács és Fuchsz, 2007.).....	333
118. ábra: A mezőgazdasági eredetű energetikai célú biomassza potenciál és hasznosítási lehetőségei Magyarországon (Hajdú).....	335
119. ábra: Átégő és oldalégő tüztér (Bai et al., 2002).....	344
120. ábra: A cserépkályha felépítése (Bai et al., 2002) 1. tüztér, 2. rostély, 3. hamutér, 4. kerámia test, 5. hőcserélő labirint, 6. épületfalazat	344
121. ábra: A cserépkályha felépítése [16.]	345
122. ábra: Központi fűtéshez kazánként is használható kandalló metszete [17.]1 tüztér, 2. primer levegő bevezetés, 3. füstcső, 4. kémény, 5. vizes hőcserélő	346
123. ábra: Egy aknás darabosfa-tüzelő kályha metszete (Bai et al., 2002) 1. tüztér, 2. rostély, 3. hamuszekrény, 4. utóégető, 5. pillangószelep, 6. füstcsatorna csonk	347
124. ábra: Aprítéktüzelő házi kiskazán elvi elrendezése (Bai et al., 2002) 1. aprítéktároló, 2. behordócsiga, etetőcsiga, 3. ventilátor a primer és szekunder levegő betáplálásához, 4. parázságy és primer levegő bevezetés a rostélyon, 5. szekunder-leve	348
125. ábra: Az aprítéktüzelő berendezések alapmegoldásai (Bai et al., 2002).....	349
126. ábra: Nagy teljesítményű aprítéktüzelő berendezés hőcserélővel és füstgáztisztítóval (Bai et al., 2002) 1. éklétrás anyagmozgatót működtető munkahengerek, 2. az éklétrák, 3. keresztmozgató csiga, 4. adagoló csiga, 5. tüztérbe juttató berendezés,	350
127. ábra: Bálátüzelő elrendezés vázlata (Bai et al., 2002) 1. szalmabála, 2. rostély, 3. hamukamra és a primer levegő bevezetése, 4. keverő és szekunder levegő bevezetése, 5. utóégető, 6. füstgázventillátor, 7. hőhordozó visszatérő csonk, 8. hőhordozó.....	351
128. ábra: Brikettáló gép (Marosvölgyi, 2002)	353
129. ábra: A brikettgyártásnál fellépő erők (Marosvölgyi).....	354
130. ábra: A brikettgyártás folyamatábrája [19.]	354
131. ábra: Pelletáló berendezés és a pellet (Marosvölgyi, 2002)	355
132. ábra: Az üzemanyagok csoportosítása	356
133. ábra: A bioetanol gyártás folyamatábrája.....	359
134. ábra: Linnhoff hagymadiagramja	372
135. ábra: Az elválasztás szerepe a vegyipari hulladékok csökkentésében	376
136. ábra: Szisztematikus hulladékcsökkentési stratégia a vegyi üzemek és a vegyigyár szintjén	380
137. ábra: Olefingyártás folyamatábrája	384
138. ábra: A korábbi izocianát gyártás technológiai folyamatábrája (TDI – toluilén- diizocianát, DNT – dinitrotoluol, TDA – toluilén-diamin).....	388
139. ábra: Integrált izocianát előállítás a BAYER AG vegyipari vállalatnál (TDI – toluiléndiizocianát, DNT – dinitro-toluol, TDA – toluilén-diamin)	389

140. ábra: BorsodChem Rt integrált környezetbarát technológiai megoldása (VCM – vinil-klorid monomer, TDI – toluilén diizocianát, MDI – metilén-difenil-diizocianát, DNT – dinitro-toluol, TDA – toluiléndiamin, DKE – diklór-etán, MDDA – metilén-difenil-d.....	389
141. ábra: A levegős kigőzölés folyamata mellékkondenzátorral.....	390
142. ábra: Izopropil-alkohol adszorpciója aktív szén rost tölteten.....	391
143. ábra: Izopropil-alkohol visszanyerése az idő függvényében különböző kigőzölési hőmérsékleten, 697 g/l kezdeti koncentráció, 1,5 dm ³ /min levegőáramlási sebesség és -10 C-os kondenzátor hőmérséklet mellett.....	392
144. ábra: Maximális izopropil-alkohol visszanyerés és az ehhez szükséges kigőzölési idő a kigőzölési hőmérséklet függvényében, 697 g/l kezdeti koncentráció, 1,5 dm ³ /min levegőáramlási sebesség és -10 C-os kondenzátor hőmérséklet mellett.....	393
145. ábra: Izopropil-alkohol visszanyerése az idő függvényében különböző levegőáramlási sebességek esetén, 697 g/l kezdeti koncentráció, 60 C-os kigőzölési hőmérséklet és -10 C-os kondenzátor hőmérséklet mellett.....	393
146. ábra: Maximális izopropil-alkohol visszanyerés és az ehhez szükséges kigőzölési idő a lebegő áramlási sebességének függvényében, 697 g/l kezdeti koncentráció, 60 C-os kigőzölési hőmérséklet és -10 C-os kondenzátor hőmérséklet mellett.....	394
147. ábra: A kondenzátor hőmérsékletének hatása a maximális izopropil-alkohol visszanyerésére és az ehhez tartozó kigőzölési időre, 697 g/l kezdeti koncentráció, 60 C-os kigőzölési hőmérséklet és 1,6 dm ³ /min levegőáramlási sebesség mellett.....	395
148. ábra: A várt és a tényleges izopropil-alkohol adszorpciós görbék összehasonlítása különböző kiindulási izopropil-alkohol koncentrációk esetén, 1,6 dm ³ /min levegő térfogatáram és 24C-os adszorpciós hőmérséklet mellett.....	396
149. ábra: A várt és a tényleges izopropil-alkohol adszorpciós görbék összehasonlítása különböző térfogatáramok esetében, 22mg/dm ³ izopropil-alkohol koncentráció és 24C-os adszorpciós hőmérséklet mellett.....	396
150. ábra: Az eredeti, illetve a regenerált aktív szén rost oszlopok izopropil-alkohol adszorpciós görbéi 22mg/dm ³ kiindulási izopropil-alkohol koncentráció, 1,6 dm ³ /min levegő térfogatáram, 60C-os adszorpciós hőmérséklet és 24 órás adszorpciós idő melle.....	397
151. ábra: Vegyipari hulladékok hordós tárolása.....	407
152. ábra: Veszélyes (vegyipari) hulladékok ömlesztett átmeneti tárolása.....	407
153. ábra: Garé földrajzi elhelyezkedése.....	408
154. ábra: A hulladéklerakó közvetlen környezete, forrás: Google Earth.....	408
155. ábra: Garé volt hulladéklerakó területe, forrás:Google Earth.....	409
156. ábra: A lerakó, Forrás: www.karotazs.hu.....	410
157. ábra: A lerakó, Forrás: www.humusz.hu.....	410
158. ábra: 2,4,5-T etanol, fenteracol.....	411
159. ábra: atrazine.....	411
160. ábra: Szakszerűtlen tárolás.....	412
161. ábra: A sérült hordók.....	413
162. ábra: Garé ideiglenes betonhordók, Forrás: www.humusz.hu.....	413
163. ábra: A Bayer eljárás sematikus ábrája.....	418
164. ábra: Egykamrás Dorr-ülepítő.....	419
165. ábra: Dorr-mosósor ²⁹	420
166. ábra: Évente keletkező vörösiszap mennyiség (Forrás: CSIRO Document DMR-3608, May 2009).....	420
167. ábra: Ajkai lerakók [Google Maps].....	422
168. ábra: Nedves lerakás, Orissa, India.....	424
169. ábra: Száraz vörösiszap, Görögország.....	424
170. ábra: Nagynyomású technológiai sor (Görögország).....	425

171. ábra: Félzsáraz tárolás, Damandjodi, India	426
172. ábra: Mélyfúrási geofizikai szelvényezés (olajipar).....	431
173. ábra: PET tomográfia (orvostudomány).....	431
174. ábra: Izotópos kormeghatározás (földtudományok).....	432
175. ábra: Radioaktív hulladéktároló (nukleáris ipar).....	432
176. ábra: Radioaktív sugárforrások aktivitástartományja és hulladékká válásuk problémájának súlyossága.....	432
177. ábra: A radioaktív hulladékok osztályozásának koncepcionális sémája (IAEA Safety Standards No. GSG-1, 2009).....	433
178. ábra: Szemléltető példa a radioaktív hulladékok osztályozási sémájának alkalmazására az IAEA Safety Standards No. GSG-1 (2009) alapján.....	435
179. ábra: A Paksi Atomerőmű és a meglévő/tervezett hazai radioaktív hulladék lerakók elhelyezkedése.....	437
180. ábra: A különböző radioaktív hulladékok végleges tárolóinak javasolt elhelyezési módja	444
181. ábra: A szilárd radioaktív hulladékok geológiai elhelyezésének kutatására világszerte létesült földalatti kutató laboratóriumok (URL) a helyek, a befogadó közettípusok és a felszín alatti mélységek feltüntetésével.	464
182. ábra: A nyílt (felül) és hagyományos zárt (alul) üzemanyagciklusok összehasonlítása	479
183. ábra: A többszörös gátrendszer (multibarrier system) elve.....	486
184. ábra: A Ny-Mecsek elvi földtani rétegoszlopa.....	487
185. ábra: A Ny-mecseki antiklinális földtani térképe.....	488
186. ábra: A BAF-ban kijelölhető három potenciális célobjektum.....	489
187. ábra: A BAF három rétegszintje és azok legfontosabb jellemzői	492
188. ábra: A BAF fedőszintvonalas térképe.....	493
189. ábra: A BAF-ban tervezett végleges elhelyezés műszaki gátrendszere	494
190. ábra: Az URL és a végleges elhelyező létesítmény vázlata	497
191. ábra: A hazai kis és közepes aktivitású atomerőművi radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének kutatási, létesítési és üzemeltetési folyamata az RHK Kft. prospektusa alapján	498
192. ábra: A Nagymórányi-völgyben 2005-ben létesített felszíni telephely (az RHK Kht. prospektusa alapján).....	500
193. ábra: A Bataapátiban lévő alkalmas telephely körvonala a felszíni és a felszín alatti kutatások-, valamint a tervezett bányászati objektumok Északi-, a Középső és a Déli Objektumokba eső részeinek kiemelésével.....	501
194. ábra: A felszíni fúrások között végzett tomográfiai mérések eredményei és a tervezett bányászati létesítmények	505
195. ábra: A tárolószinten a két lejtősaknához kapcsolódóan kialakított bányászati objektumok (2009-2011).....	507
196. ábra: Az hulladék elhelyezési rendszer vázlatos felépítése (Bóthi Z. et al. 2009 nyomán) a) a telephely elvi keresztmetszete a felszín alatt kialakított kamramezőkkel és megközelítő vágatokkal, b) egy tárolókamra keresztmetszete a felhalmozott vasbe.....	511
197. ábra: Külszíni fejtés Argentínában	515
198. ábra: Meddőhányó (MECSEK-ÖKO Zrt)	515
199. ábra: Azt érc radiometrikus dúsítása és fizikai előkészítése	517
200. ábra: Ércfeltárási sémák	520
201. ábra: Az oldott urán híg zagyból való kinyerésének elvi folyamata	522
202. ábra: A meddőzagy kétfokozatú semlegesítése.....	524

203. ábra: A meddő zagy formájában való elhelyezése a zagyteren (Magyarország, MECSEK-ÖKO Zrt I. zagyártározó. 1993., szabad víz a központi részen, homokos parti rész a gát-közeli részen, az iszap döntő része a víz alatti iszapmagban).....	527
204. ábra: A perkolációs ércfeldolgozás általános sémája (Hutchison, Ellison után, 1992)..	529
205. ábra: Perkolációs dombok Argentínában (San Rafael)	529
206. ábra: Perkolációs medencék kialakítása	530
207. ábra: Perkolációs prizmák összefüggő elhelyezkedése (Perkoláció-II)	531
208. ábra: Fúrólukás perkoláció elvi sémája	532
209. ábra: Az urán világszerkezeti árának alakulása (USD, 1970–2010).	535
210. ábra: A MÉV IV. számú légaknája	539
211. ábra: A MÉV III. számú központi meddőhányója és gamma dózisteljesítmény térképe (áthalmozás után, fedés előtt).....	540
212. ábra: a MÉV egykori II. számú perkolációs területe.....	541
213. ábra: A MÉV egykori ércdúsító üzeme és I. számú perkolációs területe (balra). A terület radioaktív talajszennyezését illusztráló gamma dózisteljesítmény térképe (jobbra).....	542
214. ábra: A MÉV egykori zagyártározóinak látképe	543
215. ábra: Az uránérc feldolgozás káros környezeti hatásai mérséklésének módjai.....	545
216. ábra: Radon diffúziós tényezőjének függése a talaj vízzel való telítettségétől	549
217. ábra: Réteges lefedés (IAEA 1992) (az ábrán az e opcióban nem low, hanem high jelző értendő).....	552
218. ábra: Multi funkciójú réteges fedési opció (Caldwell and Reith, 1993a).....	553
219. ábra: Fedőréteg vízháztartása (Caldwell and Reith, 1993a).....	554
220. ábra: Rekultivált zagyterület erózió védelme (növényzet+kavics, Monticello, USA)	554
221. ábra: Rézsű és a teljes felszín letakarása osztályozott kavicsal (Monticello, Rifle, USA) vagy darabos kötőmelékkel.....	554
222. ábra: Az ecarpieri (Franciaország) zagyártározó rézsűje fedőrétegének kialakítása	556
223. ábra: ISL által elszennyezett terület vízminőségének helyreállítása	562
224. ábra: Rekultivált uránüzemi terület (Monticello, USA).....	563
225. ábra: A reaktív gátak működési elve	564
226. ábra: Tölcsér-kapu elrendezésű reaktív gát elvi vázlata.....	566
227. ábra: Permeabilis reaktív gát Monticelloban (USA)	567
228. ábra: Az egykori MÉV rekultivált központi meddőhányója	572
229. ábra: az egykori MÉV I. számú bányászati telephelye	573
230. ábra: Fémhulladékok radiometriai ellenőrzése.....	574
231. ábra: I. bányászati aknatorony (MECSEK-ÖKO Zrt).....	577
232. ábra: A bányászati feldolgozásának általános folyamata (MECSEK-ÖKO Zrt).....	578
233. ábra: Az uránérc feldolgozás elvi folyamatábrája a legfontosabb fizikai és kémiai műveletekkel.	580
234. ábra: A III.sz. meddőhányó,1987 (MECSEK-ÖKO Zrt)	582
235. ábra: Rekultivált III. sz. meddőhányó víztisztítási csapadék tárolóval, 2009 (MECSEK-ÖKO Zrt).....	582
236. ábra: A rekultivált Perkoláció-II valamint a I.és III. sz. meddőhányó,2009 (MECSEK-ÖKO Zrt).....	583
237. ábra: Perkoláció-I területen létesített perkolációs domb-együttes (MECSEK-ÖKO Zrt)	584
238. ábra: Perkolációs dombok oldat tároló medencékkel,1997.....	584
239. ábra: Alacsony minőségű ércek feldolgozása perkolációval, Perkoláció-II terület (MECSEK-ÖKO Zrt)	585

240. ábra: A perkolációs meddő elszállítás utáni γ -dózis-intenzitás térképe (MECSEK-ÖKO Zrt).....	586
241. ábra: Talajvíz szennyezettsége a Perkoláció-I területen (MECSEK-ÖKO Zrt).....	587
242. ábra: A Mecsek-ÖkO két zagytározója, 1997 (MECSEK-ÖKO Zrt)	588
243. ábra: Zagytározó iszapmagjának víztelenítése mély-drének elhelyezésével és fokozatos terheléssel (MECSEK-ÖKO Zrt)	591
244. ábra: Nyelőkút létesítése a konszolidációs víz összegyűjtése céljából (MECSEK-ÖKO Zrt).....	592
245. ábra: Takaró réteg építése, tömörítése és helyszíni k-tényező mérés infiltróméterrel (MECSEK-ÖKO Zrt)	595
246. ábra: A rekultivált zagytározók. Előtérben a lefedéshez felhasznált lösz anyagnyerő hely, ,(lösz bánya (MECSEK-ÖKO Zrt)).....	596
246. ábra: A rekultivált zagytározók. Előtérben a lefedéshez felhasznált lösz anyagnyerő hely, ,(lösz bánya (MECSEK-ÖKO Zrt)).....	596
248. ábra: Az Ércdúsító Üzem. (MECSEK-ÖKO Zrt).....	597
249. ábra: Savtározó környezetének talaj szennyezettsége (pH) 5 m mélységben (MECSEK-ÖKO Zrt).....	597
250. ábra: Az Ércdúsító Üzem törő-órló üzemsze működő és lerobbantott állapotban (MECSEK-ÖKO Zrt)	598
251. ábra: A rekultivált üzemi terület a Perkoláció-I területtel együtt (MECSEK-ÖKO Zrt).....	599
252. ábra: A bányavíz tisztító szorpciós oszlopai és a koncentrátum csomagoló egység (MECSEK-ÖKO Zrt)	600
253. ábra: Bányavíz tisztító üzem (MECSEK-ÖKO Zrt)	601
254. ábra: Szulfát koncentráció a zagyterek környezetében (MECSEK-ÖKO Zrt).....	602
255. ábra: Reaktív gát elvi felépítése (MECSEK-ÖKO Zrt).....	603
256. ábra: Reaktív gát létesítése (MECSEKÉRC RT:)	604
257. ábra: Reaktív gát monitoringja (MECSEK-ÖKO Zrt).	605
258. ábra: A reaktív gát metszete, elvi ábra (MECSEK-ÖKO Zrt)	606

Táblázatjegyzék

1. táblázat A szigetelőréteg anyagának minősítésekor elvégzendő vizsgálatok, ill. meghatározandó köztetfizikai jellemzők.....	48
2. táblázat A HDPE és EPDM membránok kémiai ellenálló-képessége	57
3. táblázat A pórufolyadék egyes paramétereinek növekedtével a talajszerkezetben és a szivárgási tényező értékének változásában várható változások (MÁRK, 1991.).....	59
4. táblázat A csurgalékvízgyűjtő kialakítására vonatkozó előírások.....	69
5. táblázat A geotextiliákra vonatkozó szűrőszabály (GIROUD, 1982 □ 1988 □ 1994.).....	71
6. táblázat A csurgalékvíz mennyiségének a becslése az éves csapadékösszeg (CS) függvényében	78
7. táblázat A csurgalékvíz napi intenzitásának előfordulási valószínűsége	79
8. táblázat: Az ERM Hungária Kft – Greentech Kft által kidolgozott értékelő rendszer	95
9. táblázat Rekultivációs réteggként leginkább ajánlott talajok	105
10. táblázat Különböző növények gyökérzetének lehatolási mélysége	105
11. táblázat A TRISOPLAST szigetelő anyag jellemző paraméterei	107
12. táblázat Meteorológiai adatok gyűjtése	125
13. táblázat A csurgalékvíz jellemzéséhez használható paraméterek	125
14. táblázat A csurgalékvíz, csapadékvíz, depóniagáz vizsgálati gyakorisága	126
15. táblázat A monitoring kutakból vett vízminták elemzési rendje.....	127
16. táblázat A lerakó mechanikai változásainak ellenőrzése	127
17. táblázat Az utógondozási idő (év) prognosztizálása laboratóriumi vizsgálatok alapján..	129
18. táblázat: A hulladékok csoportosítása [4.]	140
19. táblázat: A települési hulladékok csoportosítása [4.]	141
20. táblázat: A képződő települési szilárd hulladék mennyiségének alakulása, 2000-2008.(Forrás: KSH, KvVM).....	145
21. táblázat: A keletkezett hulladékok megoszlása a főbb hulladékkategóriák szerint (ezer tonna), (Forrás: KvVM-HIR)	147
22. táblázat: Az utólagos (reaktív) és megelőző (preventív) környezetvédelem összehasonlítása [9.].....	152
23. táblázat: A hasznosítás helyzetét jellemző SWOT analízis (forrás: OHT-II., 2009)	171
24. táblázat: Az ártalmatlanítás helyzetének SWOT elemzése (forrás: OHT-II., 2009).....	172
25. táblázat: A települési szilárd hulladék kezelése (forrás: OHT-II., 2009)) (ezer tonna) ...	173
26. táblázat: A települési hulladékok keletkező mennyiségének előrejelzése 2014-ig (forrás: OHT-II., 2009)	174
27. táblázat: A települési hulladékok kezelésének előrejelzése 2014-ig a 2009-ig jóváhagyott fejlesztések hatásait figyelembe véve (forrás: OHT-II., 2009)	175
28. táblázat: Egy önkormányzati hulladékgazdálkodási rendszer elemeinek jellemzői	198
29. táblázat: A hulladékok egy régebbi csoportosítási lehetősége	255
30. táblázat: A biomasszák csoportosítása	255
31. táblázat: A komposztálási folyamatok összefoglaló táblázata	259
32. táblázat: 3.4. táblázat: A nyersanyagok tulajdonságai	262
33. táblázat: A komposztálás során alkalmazható segédanyagok	263
34. táblázat: A komposzt minőségbiztosításának lépései.....	268
35. táblázat: Néhány fontosabb nyersanyag C:N aránya.....	285
36. táblázat: Zárt, levegőztetett sztatikus komposztálás anyagmérlege.	293
37. táblázat: Segédanyagok energiatartalma	295
38. táblázat: Különböző komposztálható anyagok javasolható maximális kiindulási nedvességtartalma.	296

39. táblázat: Metángáz-tartalom néhány szervesanyag anaerob fermentációjánál (Forrás: Kaltwasser, 1983.).....	311
40. táblázat: A biogáz termelésben felhasználható alapanyagok (Forrás: Fuchsz, 2006.; Kőrösi, 2007.; Gyulai, 2006.).....	312
41. táblázat: Különböző szervesanyagok biogáz kihozatala (Forrás: Fuchsz, 2006.; Sinoros-Szabó et.al., 2005.; Sági, 2003.; Hájos, 2008.; Potyondi, 2008.).....	312
42. táblázat: Anaerob forrásból származó kezeletlen biogázok összetétele (Forrás: Szugony, 2009.).....	313
43. táblázat: Az anaerob iszaprohasztás optimális körülményei és tolerálható tartományai(Forrás: Malina és Pohland, 1992.; Kárpáti, 2002.).....	315
44. táblázat: A biogáz reaktorok kivitelezési formái (Forrás: Barótfi, 2000.; Olessák és Szabó, 1984.).....	320
45. táblázat: A biogáz üzemanyagként való alkalmazásának előnyei és gátló tényezői.....	324
46. táblázat: Hulladék alapú biogáz üzemek (Forrás: Hulladéksors 2008. IX. évfolyam 3. szám).....	327
47. táblázat: Szennyvíziszapra épülő biogáz termelés (Forrás: Hulladéksors 2008. IX. évfolyam 3. szám).....	328
48. táblázat: A fa elemi összetevői (Nussbauer, 1994).....	339
49. táblázat: Fontosabb növényi anyagok kémiai összetétele CHN analízissel mérve.....	339
50. táblázat: A fontosabb fafajok vegyi összetétele (%) (Marosvölgyi, 2002; Németh,1998).....	340
51. táblázat: Néhány melléktermék fűtőértéke.....	341
52. táblázat: Nemesnyár klónok és a fűz néhány jelentősebb adata (Ivelics, 2006).....	342
53. táblázat: Biológiai eredetű üzemanyagok.....	356
54. táblázat: A környezetvédelem ágazati eltérései.....	368
55. táblázat: Az iparágak és a környezeti faktor összefüggései.....	370
56. táblázat: Képződő hulladékok és lehetséges hulladékcsökkentési módszerek.....	373
57. táblázat: A bauxitfajták tömegszázalékos összetétele.....	416
58. táblázat: A kibányászott bauxit éves termelése.....	416
59. táblázat: Magyarország termelésbe vonható vagyona.....	417
60. táblázat: A vörösiszap tömegszázalékos összetétele ²⁷	421
61. táblázat: Az ajkai lerakón tárolt vörösiszap mennyiségek.....	421
62. táblázat: A radioaktív hulladékok aktivitás koncentráció intervallumai.....	436
63. táblázat: Egyes radioaktív izotópok mentességi aktivitás koncentráció (MEAK) értékei.....	436
64. táblázat: Több izotópot tartalmazó radioaktív hulladék aktivitás koncentráció intervallumai.....	437
65. táblázat: Hazai radioaktív hulladék és kiegészítő üzemanyag tárolási kapacitások és mennyiségek (2010).....	438
66. táblázat: A kialakítandó végleges, kis és közepes aktivitású hulladéktároló szükséges térfogatának becslése.....	438
67. táblázat: Az atomerőmű hulladékaiban lévő radioizotópok aktivitás-koncentrációja (Bq/dm ³) (bal oldalon) és az egyes izotópok becsült aktivitása az üzemidő végén (Bq) (jobb oldalon) (Forrás: www.rhk.hu).....	441
68. táblázat: A radioaktív hulladékkezelés alapelvei (IAEA Safety Requirements No. WS-R-4 Annex II. 2006).....	443
69. táblázat: A szilárd radioaktív hulladékok geológiai elhelyezésének potenciális helyei és befogadó közettípusai.....	463
70. táblázat: Egyes tartályanyagok tulajdonágainak összehasonlítása.....	467
71. táblázat: A fontosabb befogadó kőzetek és azok radionuklidok szállítást befolyásoló jellemzői.....	470

72. táblázat: A földtani objektumok összevetésének fontosabb szempontjai	502
73. táblázat: Az urán világtermelésének %-os megoszlása termelési módszerek szerint	514
74. táblázat: A MÉV egykori légaknáinak radiológiai paraméterei	539
75. táblázat: A MÉV egykori meddőhányóinak radiológiai paraméterei:	539
76. táblázat: A MÉV egykori perkolációs területeinek radiológiai jellemzői	541
77. táblázat: A MÉV egykori ércdúsító üzemének radiológiai paraméterei	542
78. táblázat: A MÉV egykori zagy tározóinak mennyiségi és radiológiai jellemzői	543
79. táblázat: Mecseki rekultivációnál megállapított háttérsugárzási szintek	571
80. táblázat: Uránbányászati meddőkre vonatkozó radiológiai határértékek	571
81. táblázat: Korlátozottan hasznosítható területek radiológiai követelményei:	573
82. táblázat: Hulladékok osztályozása felületi radioaktív szennyezettségük szerint	574
83. táblázat: Vizekre vonatkozó radiológiai határértékek	575
84. táblázat: Sugárvédelmi követelmények a rekultiváció során	576
85. táblázat: Anyagfelhasználás az ércfeldolgozásnál	579
86. táblázat: Vízháztartási paraméterek réteges fedés esetén	594
87. táblázat: A zagyterekre kijuttatott technológiai víz főbb összetevői	601
88. táblázat: A reaktív gátban kialakuló vízminőségre jellemző adatok	605

1. Fogalomtár

A könyvben található legfontosabb fogalmak az alábbiak:

Acetogenezis	A biogáz előállításánál a szerves savak képződésének folyamata.
Aerob	Levegő oxigénjének jelenlétét igénylő.
Aktív gázgyűjtő rendszer	Hasonlóan a passzív gyűjtőrendszerekhez, függőleges és vízszintes gázgyűjtő kutak rendszere, de ebben az esetben a rendszerben szivattyúkat használnak a gáz eltávolításához a lerakóból és összekötő csöveket a gyűjtőcsövek és a szivattyúk összekapcsolására.
ALARA	A Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottságnak (ICRP) dóziskorlát ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten tartására vonatkozó koncepciója.
Aljzatszigetelő rendszer	A lerakó geológiai védőrétege, a geomembrán és a csurgalékvízgyűjtő réteg együttese
Alkalikus feltárás	Nátrium-karbonátot és nátrium-hidrogénkarbonátot tartalmazó oldattal végzett érckilúgzás.
Anaerob	Levegő oxigénjének jelenlétét nem igénylő.
Anizotrópia	Az anyag fizikai tulajdonságainak irányfüggése.
Apríték	1 m ³ hasábfajlagos felülete 100-300 m ² /m ³ , az aprítéké 20000-30000 m ² /m ³ (hőtechnikailag kívánatosabb).
Átmeneti lezárás	A lerakónak a konszolidáció lezajlásáig való ideiglenes lezárása.
Átmeneti tároló	(pl. kiégett kazetták átmeneti tárolója, KKÁT) Radioaktív hulladék és/vagy kiégett fűtőelem olyan nukleáris létesítményben való (átmeneti) elhelyezése, ahol az izoláció, a környezetvédelem és az emberi felügyelet (pl. monitoring) biztosított, a későbbi mentesítés, további feldolgozás vagy tárolóban történő elhelyezés céljából történő visszanyerés szándékának fenntartásával.
Batch	Adagolás, etetés.
Befogadó közet	Az a földtani képződmény vagy képződményegyüttes, amelyben a radioaktív hulladék elhelyezésére szolgáló létesítmény települ, és amelynek térbeli kiterjedése nagyobb, mint a tárolótér.
Besugárzási dózis	Ionizáló sugárzás hatására egységnyi tömegű levegőben keltett elektromos töltések mennyisége (levegőre és foton sugárzásra értelmezett fizikai dózismennyiség). Egysége: SI: As/kg, történelmi: R (röntgen); 1 R sugárzás a levegőben 1,65*10 ¹⁵ ionpárt kelt.
Biobrikett	Elsősorban lignocellulózok 20-100 cm ² keresztmetszvényű tömörítvénye, melynek víztartalma 8-14%.
Biodízel	A gázolajok helyettesítésére szóbajövő növényi olajok két kategóriába sorolhatók: a tiszta növényi olajok és ezek észterezett származékai.
Bioetanol	Nagy részt etil -alkoholból álló üzemanyag.
Biofilter	Légszennyező anyagok megszürése érdekében alkalmazható közeg.
Biogáz	A biogáz szerves anyagok mikroorganizmusok által anaerob körülmények között történő lebontása során képződő termék.
Biológiailag lebontható/lebomló hulladék	Minden olyan hulladék, amely hajlamos anaerob vagy aerob bomlásra, mint pl. az élelmiszer- és kerti hulladék, papír és kartonpapír.
Biomassza	A biomassza főként C-, H- és O-tartalmú szerves anyag. Viszonylag kevés ásványi és energetikai hasznosítás szempontjából káros anyagot tartalmaz, ezért alkalmas a fosszilis energiahordozók helyettesítésére.

Biotrágya	A fermentációs folyamat mellékterméke, talajerő utánpótlásra alkalmazható.
Biztonsági elemzés	A végrehajtani tervezett tevékenységgel összefüggő potenciális veszélyek értékelése.
Biztonsági értékelés	Egy teljes rendszernek ill. hatásának teljesítmény előrejelzését célzó elemzés, amelynek mértékét a radiológiai hatás, vagy valamely más, a biztonságra gyakorolt globális hatás adja.
Brachyterápia	(közel besugárzás, brachy gör. közel) a daganatba vagy a daganat közelébe – többnyire operatív úton behelyezett – sugárforrással történő irradiáció.
Csurgalékvíz	A lerakott hulladéktesten átszivárgó, illetve az ott keletkező minden olyan folyadék, amely a lerakóban marad, vagy a környezetbe kerül.
Csurgalékvízgyűjtő rendszer	A aljzatszigetelő rendszer szerves része, a csurgalékvizek gyűjtésére, elvezetésére és ellenőrzésére szolgáló hatékony szivárgórendszer.
Csurgalékvízgyűjtő réteg	A szigetelő- és hulladék réteg közé beépített, szemcsés anyagból dréncsővel kialakított jó vízvezető képességű réteg, amelynek a feladata a csurgalékvíz gyors kivezetése a rendszerből.
Dekanter	Biztosítja a szilárd anyagok folyadékoktól való folyamatos és szabályozható szétválasztását.
Dendromassza	Tűzifa, energiatermelési célból termelt fa, vágástéri hulladék (energiafa).
Determinisztikus dózishatás	Nagy, általában baleseti dózisoknál (kb. 0,5 Sv, a köszöbdózis fölött) fellépő egészségkárosodás, melynek mértéke az elszenvedett sugárterheléssel egyenes arányban nő.
Dózis (elnyelt)	Ionizáló sugárzás hatására az anyag térfogatelemének tömegében elnyelt energiának az átlagértéke. (89/2005 (V.5.))
Dóziskonverzió	A sugárzás vagy radioaktív mennyiség (tipikusan aktivitáskoncentráció) egységnyi fizikai mennyisége által okozott sugárterhelés (egyenérték vagy effektív dózis).
EDZ (Az üregképzés által károsított zóna)	EDZ a befogadó kőzet azon zónája amelyben hidromechanikai és geokémiai tulajdonságok megváltozása az áteresztő képességben jelentős változást okoz. Ez változás például a permeabilitás egy vagy több nagyságrendnyi növekedését is jelentheti.
EdZ (Az üregképzés által zavart zóna)	A befogadó kőzet azon zónája amelyben hidromechanikai és geokémiai tulajdonságok megváltoznak, azonban az áteresztő képesség változása nem számottevő.
Effektív dózis	Biológiai dózismennyiség, ami figyelembe veszi a különböző szervek és szövetek ionizáló sugárzásokra való eltérő érzékenységét: az egész szervezetet ért sugárzásoknak (egyenérték dózissnak) a szöveti súlytényezővel súlyozott összegzése. Egysége: Sv, ua. mint az egyenérték dózissnál.
Effluens	Oldat vagy (itt) híg zagy, amely áthaladt uránkinyerési rendszeren és hulladékként tekinthető, kezelendő.
Egyenérték dózis	Biológiai dózismennyiség, ami figyelembe veszi a különböző sugárzások eltérő biológiai hatásosságát: a szervezetben elnyelt sugárzásoknak az adott sugárzás típusának megfelelően súlyozott összege. Egysége: SI: 1 Sv (sievert) = 1 J/kg, történelmi: rem (1 rem = 0,01 Sv).

Egyensúlyi ekvivalens radonkoncentráció	(Rn_EEC) A radon rövidéletű bomlástermékeinek aktivitáskoncentrációja, ami radioaktív egyensúlyban van az anyaelemmel. Egysége (SI): Bq/m ³ .
Egyrétegű, homogén lefedés	Olyan fedőréteg, amely csak egyfajta természetes anyagból, rendszerint agyagból vagy löszből vagy vastag talajrétegből áll.
Elfáklyázás	A biogáz fáklya segítségével való elégetése, általában akkor, ha nem tudjuk más technológiában felhasználni, vagy ha túl sok biogáz termelődik.
Elgázosítás	A biomassza közvetlen elgázosítása oxigénnel, vagy vízgőzzel.
Eljárástechnika	Az eljárás technika keretébe a mechanikai-fizikai, kémiai, termikus és a biológiai eljárásokkal megvalósuló anyagátalakulási folyamatok tartoznak. Ennek megfelelően fő részei: a mechanikai eljárás technika, a termikus eljárás technika, a reakciótechnika és a bioeljárás technika.
Elnyelt dózis	Egységnyi tömegű anyagban elnyelt sugárzási energia. Egysége: SI: 1 J(joule)/kg = 1 Gy (gray), történelmi: rad (1 rad = 0,01 Gy).
Eluátum (kivonat)	A laboratóriumi kioldási vizsgálatok során keletkező oldat
Elúció	Az ioncserélőn megkötött urán oldatba vitele megfelelő összetételű oldattal.
Energetikai faültetvény	A mezőgazdasági ültetvény -gazdálkodási művelési ágba sorolandó, dendromassza (energiafa) előállítására létesített faültetvény.
Energiaerdő	Erdőgazdálkodási művelési ágba tartozó, de speciális céllal létesített és üzemeltetett erdő. Hagyományos erdők átminősítésével, illetve energiafa-termesztés céljára történő telepítéssel jön létre.
Érc	Ásvány vagy kőzet, amely valamely elemet olyan mennyiségben és koncentrációban tartalmaz, amely az elem bányászatát és az elem vagy vegyület kivonását gazdaságilag vagy más módon életképesé teszi.
Ércfeldolgozás meddője	Ez lehet (a) a klasszikus, ércőrléssel egybekötött ércfeldolgozás maradéka vagy perkolációs ércfeldolgozás (b) maradéka.
Ércfeldolgozási meddődomb	Az ércfeldolgozás meddőjéből kialakult domb.
Ércfeltárás (=érckilúgzás)	Az a folyamat, amelynek során az uránércből az uránt kioldják megfelelő összetételű oldattal.
Extraktanyagok	Járulékos anyagok.
Far field (távoli környezet)	A tároló és a felszín közötti közzettest, amelyet közvetlenül nem befolyásol a tároló jelenléte.
Fedő, fekü	A földtanban az egyes rétegek, vagy képződmények felső (fedő)- ill. alsó (fekü) határoló felületét nevezzük.
Felezési idő	Az az időtartam, mely alatt a radionuklid aktivitása radioaktív bomlással megfeleződik
Félszáraz eljárás	15–24% szárazanyag-tartalmú töltetekkel dolgozó reaktorok.
FEP lista	(Features, Events and Processes, FEPs) A lerakó olyan egyedi jellegzetességei, amelyek számításba veszik a jövőbeli jelenségeket. Ezek kombinációjával határozhatók a jövőbeli változásokat leíró scenáriók.
Fermentáció	Kémiai folyamat, ahol szerves anyagot enzimátikus bontásnak teszünk ki (erjedés).
Fermentor	Erjesztőtank, melyet a biogáz előállításánál is alkalmaznak.

Fogyasztási hulladék	Az lakossági felhasználásra, fogyasztásra készített elhasználandó termék (használati eszközök, tárgyak és csomagolóanyagok), étkezési és más a háztartásban keletkező maradékanyagok, valamint a termelés nem specifikus hulladékai képezik a fogyasztási hulladékot.
Föld alatti tároló	Általános fogalom, melyet már nem használnak a NAÜ dokumentumaiban a radioaktív hulladékok elhelyezésével kapcsolatban. A fogalom vonatkozik minden olyan lerakó létesítményre, amely földtani környezetben, néhány tíz méternél nagyobb mélységben található. Ide tartoznak a kis- és közepes aktivitású tárolók mesterséges kőzetüregekben, fűrőlyukak és egyéb, veszélyes hulladékok elhelyezésére szolgáló föld alatti létesítmények.
Földalatti kutatólaboratórium	Az IAEA-TECDOC-1243 [27] meghatározása szerint, a föld alatti kutatólaboratórium vagy létesítmény olyan föld alatti létesítmény (a célból épült vagy meglévő), amelyet kísérletek vagy más, in situ kutató-fejlesztő munkák elvégzésére használnak egy geológiai tárolórendszer létesítése során.
Földalatti tárolás	Egy állandó hulladéktároló létesítmény, mély geológiai üregben, pl. só- vagy kálium-bányában.
Földtani alkalmasság	A létesítmény biztonsági követelményei szempontjából meghatározó földtani adottságok kedvező minősítése
Földtani gát	A földtani környezetnek azon része, mely meghatározott ideig és mértékben, természetes állapotában képes akadályozni a radioaktív izotópok terjedését. (62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet)
Földtani kutatás	A földkéreg anyagi, szerkezeti és fejlődéstörténeti sajátosságainak megismerésére irányuló műszaki-tudományos tevékenység. (62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet)
Folyékony hulladék	Minden folyékony halmazállapotú hulladék, beleértve a szennyvizet, de kizárva az iszapot.
Fűrőlyukas perkoláció	A bányászatban és az érfeldolgozásban az a folyamat, amikor az oldatot átszivároztatják az érc testen, vagy injektálják az érc testbe olyan módon, hogy a kilúgozott anyag összegyűjthető az értékes fém kinyerése céljából (itt urán). Az összegyűjtés rendszerint fűrőlyukon való kiszivattyúzással valósul meg.
Fűtőelem	Atomreaktor üzemanyaga, amely nukleáris anyagot tartalmaz. (89/2005. (V.5.))
Fűtőérték, égéshő	Az égéshő az a hőmennyiség, amely a tüzelőanyag tömeg-, illetve térfogategységének tökéletes elégetésekor szabadul fel. A gyakorlatban inkább a fűtőérték fogalmát használják, amely az égéshőtől abban különbözik, hogy az égéstermékek víztartalma az égés után nem cseppfolyós, hanem gőz halmazállapotban van jelen, azaz az égéstermék hűlésekor nem adja le a párolgáshőt. A fűtőérték tehát kisebb, vagy egyenlő az égéshővel.
Gamma dózisteljesítmény	A környezeti (külső) gamma-sugárzásból időegység alatt a levegőben elnyelt sugárzási energia. Egység: nGy/h, régebben: μ R/h.
Gázmotor	Gázüzemű tüzelőanyaggal működő robbanómotor, amelynek a főtengelye generátort hajt, eközben pedig hőt termel.

Geológiai elhelyezés	A hulladékok elhelyezése egy megfelelő létesítményben legalább néhány száz méteres mélységben a későbbi kiemelés szándéka nélkül. Jóllehet a geológiai elhelyezés fogalma általában a szilárd, hosszú élettartamú radioaktív hulladékokhoz kapcsolódik, egyes tagországok az összes típusú radioaktív hulladékot geológiai tárolókban tervezik elhelyezni.
Geológiai tároló	Stabil befogadó kőzetben, föld alatt (általában néhány száz méterrel a felszín alatt) található létesítmény radioaktív hulladékok elhelyezésére, mely hosszú távon elszigeteli a radionuklidokat az elérhető környezettől (bioszféra).
Geomembránok	= flexibilis membrán szigetelők (FML): Ezek a szigetelők különböző műanyagokból (polimerekből) készültek, beleértve a polivinil-kloridot (PVC) és a nagy sűrűségű polietilént (HDPE) is.
Geoszintetikus agyag szigetelők (GCL)	Olyan szövött anyagok, amelyeket elsősorban hulladéklerakóknál használnak szigetelők rétegeként, Na-bentonitot vagy más duzzadó agyagásványokat tartalmaznak.
Hamutartalom	A hamutartalom a biomasza elégetését követően visszamaradó ásványi eredetű anyagok összessége.
Háttérsugárzás	A lakosságot a környezetből (természetes és mesterséges forrásokból) érő sugárzás effektív dózisa, általában egy évre vonatkoztatva. Világátlag 2,4 mSv/év, Magyarországon átlagosan 3,1 mSv/év (OSSKI, 2002).
Hemicellulóz	Növényi sejtfalban található szénhidrát.
Higiénizálás	Fertőtlenítési eljárás.
Homok	Örölt ércnek vagy hidrometallurgiai feldolgozási meddőjének frakciója, amely rendszerint szemcsés és homokszerű. Ilyen szemcsék gyorsan ülepednek vizes zagyban és könnyen eresztik át a vizet. A homok általában jelentős hányadban 40 µm-nél nagyobb szemcsékből áll.
Hulladék	Bármely, a 2000. évi XLIII. törvény 1. számú melléklet szerinti kategóriák valamelyikébe tartozó tárgy vagy anyag, amelytől birtokosa megválnak, megválni szándékozik, vagy megválni köteles.
Hulladék	Emberi tevékenységből eredő anyag/energia, amit sem felhasználni sem értékesíteni nem tudunk, vagy nem kívánunk.
Hulladék birtokosa	A hulladék termelője, vagy az a természetes vagy jogi személy, akinek a hulladék a birtokában van.
Hulladék környezeti hatása	A hulladék keletkezési fázisában, kezelése és hasznosítása során a hulladék mennyisége és veszélyessége, agresszivitása révén az emberre, az élő és élettelen világra kifejtett káros hatásainak összessége.
Hulladék termelő	Az, akinek a tevékenysége során hulladék keletkezik (eredeti hulladéktermelő) vagy bárki, aki hulladék-előkészítő feldolgozási folyamatot, keverést vagy egyéb olyan műveletet végez, amely jellegében vagy összetételében bekövetkezett változásból következően hulladékot eredményez.
Hulladékgazdálkodás	Jelenti a hulladék begyűjtését, szállítását, újrahasznosítását és lerakását beleértve a fenti műveletek ellenőrzését és a létesítmények utógondozását.

Hulladékgazdálkodás	A hulladékkal összefüggő tevékenységek rendszere, beleértve a hulladék keletkezésének megelőzését, mennyiségének és veszélyességének csökkentését, kezelését, ezek tervezését és ellenőrzését, a kezelő berendezések és létesítmények üzemeltetését, bezárását, utógondozását, a működés felhagyását követő vizsgálatokat, valamint az ezekhez kapcsolódó szaktanácsadást és oktatást.
Hulladékgazdálkodás stratégiai elemei	A hulladékgazdálkodás az alábbi, egymásra épülő stratégiai elemei 1)A hulladékkeletkezés elkerülése, megelőzése; 2)A keletkező hulladékok mennyiségének és veszélyességének csökkentése: a keletkező hulladékok alapanyagként, másodnyersanyagként vagy energiahordozóként történő újrahasznosítása, hasznosítása.; 3) A nem hasznosítható hulladékok környezetvédelmi követelményeket kielégítő ártalmatlanítása. 4)A maradvány rendezett lerakása.
Hulladékhasznosítás	A hulladékhasznosítás során az eredeti rendeltetésük szerint tovább nem használható maradékanyagokat, hulladékokat, termékeket közvetlenül (átalakítás nélkül, eredeti állapotban) vagy közvetve (átalakítást követően) a termelési vagy szolgáltatási folyamatba vezetik vissza. A hasznosításnál a hulladék, mint másodnyersanyag vagy alternatív energiahordozó, vagy mint alapanyag, félkész- vagy késztermék kerül vissza a termelési folyamatba felhasználásra.
Hulladéklerakó	Olyan hulladékártalmatlanító létesítmény, amely a hulladéknak a földre vagy földbe (föld alá) való lerakására szolgál. Sajátos építményfajta, amely a hulladék lerakására szolgáló területet, valamint az azon lévő építmények összességét jelenti;
Hulladéklerakó bezárása	A hulladék átvételi és lerakási tevékenységek megszüntetése.
Hulladéklerakó szigetelők	Elsődleges céljuk, hogy létrehozzanak egy műszaki lezárást a hulladék és a környezet között, valamint hogy a csurgalékvizet elvezessék a gyűjtő- és kezelő rendszerbe, hogy megakadályozzák a csurgalékvizek ellenőrizetlen kibocsátását a környezetbe.
Hulladéklerakó-gáz (depóniagáz) Humifikáció	A lerakott hulladék biológiai, kémiai bomlása során a hulladéklerakóban képződő gázkeverék. Humuszképződés; elhalt növényi és állati szervezetek elbomlása és termőtalajjá alakulása.
ICRP (Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság) Inerthulladék	A sugárvédelem nemzetközi testülete, ami a sugárbiológia legújabb tudományos eredményei alapján rendszeresen ajánlásokat ad ki a nemzeti szabályozó testületek számára. Olyan hulladék, amely semmilyen jelentősebb fizikai, kémiai vagy biológiai átalakuláson nem megy át. Az inerthulladék nem oldódik, nem ég, sem más fizikai vagy kémiai reakcióba nem lép, biológiai úton nem bomlik, vagy nem befolyásol más vele érintkezésbe kerülő anyagokat hátrányosan oly módon, hogy környezetszennyezést okozna, vagy károsítaná az emberek egészségét. A hulladék teljes kimosódásának, szennyező anyag tartalmának, és a csurgalékvíz ökotoxicitásának elhanyagolhatónak kell lennie, és különösen nem szabad veszélyeztetnie a felszíni vizek és/vagy a talajvíz minőségét.
Influens	A folyamatba belépő oldat vagy (itt) híg zagy, amelyből az értékes komponens (itt urán) a folyamat során kivonásra kerül.

Ionizáló sugárzás minőségi tényezője	Dimenzió nélküli arányszám, mely kifejezi az adott sugárzás egységnyi elnyelt energiájának a röntgensugárzáshoz viszonyított biológiai hatásosságát.
Iszap	Az örölt ércnek vagy hidrometallurgiai feldolgozás meddőzagyának frakciója, amely nagyon finom részecskékből áll, méretük rendszerint 30-40 µm-nél kisebb és nagy mennyiségben tartalmaznak 10 µm alatti szemcséket.
Kezelés	Fizikai, termikus, kémiai vagy biológiai eljárások, beleértve az osztályozást is, amelyek úgy változtatják meg a hulladék jellemzőit, hogy térfogatát vagy veszélyeztető potenciálját csökkentik, megkönnyítik a hulladék kezelését, vagy elősegítik a hulladék hasznosítását.
Kibocsátási határérték	Radioaktív anyag (általában gáz vagy folyadék) tervezett és ellenőrzött környezetbe való kibocsátásának megengedett felső határa.
Kiégett üzemanyag	Lecsökkentet hasadóanyag tartalmú, a reaktorban további felhasználásra már nem szánt üzemanyag.
Kilúgozhatóság	Szilárd anyag (itt kőzet, érc) hajlamossága arra, hogy megfelelő oldószerrel a szilárdanyag komponensei kioldhatók legyenek.
Kimutatási határ	(vagy detektálható minimális aktivitás) az az aktivitás, ami ha jelen van a mintában, egy adott megbízhatósági szint feletti beütésszámot produkál a háttérszint fölött.
Kombinált szigetelő rendszer	Geomembrán és ásványi anyagú szigetelés (geológiai védelem) kombinációja
Kommunális hulladék	A háztartásokból származó hulladékok, valamint máshonnan származó, de a háztartásokból származó hulladékokkal megegyező összetételű hulladékok.
Komposzt	A komposzt stabilizált szerves anyag, ásványi anyagok és mikrobiális termékek összessége. Földszerű anyag, nedvességtartalma nagyjából 40-50%, humuszképző szerves anyag és növényi tápanyag.
Kondicionálás	A biodízel előállítás egyik lépése, melynek célja az alapanyag fajsúlyának, olajtartalmának, puhaságának növelésével a jobb olajkinyerés, valamint a présgép teljesítményének és élettartamának növelése.
Konfekcionálás	Kész állapotra hozás.
Körfolyamatos anyaggyártóközpont	A társadalmi termelésbe-fogyasztás oly módon történő magvalósítása, amely biztosítja a hulladékokban lévő szerkezeti anyagok újrahasznosításuk/hasznosításuk révén a termelési-fogyasztási folyamatba való ismételt visszaforgatását, s ezzel a természeti erőforrások kímélését, és egyúttal a lerakandó hulladék mennyiségének elfogadható minimális szinten tartását a termelési-fogyasztási folyamat bővülésének korlátozása nélkül.
Korlátlan újrahasznosítás	Rekultivált területek újrahasznosítása akkor nem esik semmiféle korlátozás alá, ha a bányászati/ipari tevékenység megkezdése előtti környezeti állapot teljeskörűen helyreállításra került. Sugárvédelmi szempontból ez a természetes sugárzási háttérértékek helyreállítását jelenti, az összes paraméter vonatkozásában.

Korlátozott újrahasznosítás	Rekultivált területek újrahasznosítása esetén bizonyos tevékenységek (általában lakóhely, élelmiszertermelés, egészségügyi és gyermekintézmények stb.) korlátozása, amennyiben az eredeti környezeti állapot (sugárvédelmi szempontból: a háttérsugárzási szintek) helyreállítása nem valósult meg teljeskörűen.
Környezeti faktor	Egy jelzőszám, amely az egy kg termékre eső hulladék mennyiségét adja meg. Általában jellemző, hogy minél nagyobb a termelés nagyságrendje, annál kisebb a környezeti faktor.
Környezetvédelmi (sugárvédelmi) monitoring	A környezeti paraméterek (a sugárterhelés összetevőinek) rendszeres vagy folyamatos mérése abból a célból, hogy rendellenesség észlelése esetén beavatkozás történhessen.
Korszerű eszközök felépítése	Az eszköz részegységekből, a részegységek alkatrészekből, ez utóbbiak pedig szerkezeti anyagokból állnak.
Lezárás	Felső záró-réteg rendszer megvalósítása
Lignocellulóz	A olyan szerves polimerek, melyek cellulózból, hemicellulózból és ligninből állnak.
Maradékok	Minden szilárd anyag és az ahhoz kapcsolódó oldat, amely az urán vagy más ásvány kinyerése céljából végzett ércbányászatból vagy ércfeldolgozásból ered.
Marokpróba	Kezünkbe vett komposztanyagot összenyomjuk, és megfigyeljük a viselkedését. Ha a nedvességtartalom optimális az ujjaink között nem jön ki víz, de a komposzt összeáll. Ha túlságosan száraz az anyag, szétesik a tenyerünkben, ha túl nedves víz folyik ki az ujjaink között.
Meddő oldat	Az ércfeldolgozási meddőhöz kötődő oldat fázis úgy, ahogy az a zagyatározóban elhelyezésre kerül.
Meddőhányó	A kibányászott érc műrevalósági határ alatti részének a környezetben elhelyezett depóniája.
Meddőhányókról elszivárgó víz	A meddőhányók tározó helyéről elszivárgó víz szennyezett lehet a környezetre káros anyagokkal.
Megelőzés termékek útján	a A környezetbarát termékek, illetve a hosszú élettartamú termékek előállításának megoldására irányulnak, de magukba foglalnak más faladatokat is, mint például a termékek használati értékét megőrző javító-karbantartó munkát, a csomagolóanyag felhasználás redukálását stb.
Melléktermék	A termelés gyakran olyan mellékes termékek keletkezésével is jár, amelyek az adott termelőnél nem, de más termelési folyamatban - további átalakítással vagy átalakítás nélkül - hasznosulhatnak (pl. a PVC előállításánál a nátrium-klorid bontásából származó nátriumhidroxid, melyet a timföldgyártás során használnak fel).
Membrán	Vékony, rugalmas lemez, vagy hártya.
Metanogenezis	A biogáz előállításánál a metán képződésének folyamata.
Mezofil	Közepesen meleg hőmérsékletet kedvelő.
Mineralizáció	A szerves anyagok lebontása, átalakítása széndioxiddá és vízzé, valamint ammóniává a talajban a mikroorganizmusok révén.
Mineralizáció	Ásványosodás. Pl.: a talajba juttatott szervesanyag is ásványosodik, így válik felvehető tápanyag.

Monitoring	A felszín alatti víz, földtani közeg mindenkori állapotának, terhelésének, szennyezésének (beleértve a szennyeződésterjedést is) és igénybevételek megismerésére, illetőleg az állapotváltozás nyomon követésére szolgáló mérő-, megfigyelő-, észlelő- és ellenőrző hálózat az adatok mérésével, gyűjtésével, feldolgozásával, nyilvántartásával és értékelésével, szükség szerint más környezeti elemekre is kiterjedően.
Monitoring kút	Egy üreg/lyuk vagy szerkezet a földben, amit létrehozhatnak ásással, fúrással, azzal a céllal, hogy elérjék a talajvizet és ellenőrizni tudják a föld alatti víztartó rétegek minőségét (az esetleges szennyeződések).
Motorhajtóanyag	A motorhajtóanyagok folyékony vagy gáz halmazállapotú szénhidrogének. A hagyományos motorhajtóanyagokat elsősorban kőolaj lepárlásával állítják elő (motorbenzin, gázolaj).
MOX	(MOX üzemanyag), olyan nukleáris üzemanyag, amely több, mint egy hasadóanyag oxidját tartalmazza.
Munkahelyi dozimetria	A munkavállalók által elszenvedett effektív dózisösszetevők rendszeres ellenőrzése a sugárveszélyes munkahelyen.
Napi takarás	10-20 cm vastag tömörített talajréteg a hulladék felett. Fontos lehet a kellemetlen szagok csökkentése, tűz, hulladéklerakó-gáz migráció, a létesítmény környezetbe illeszkedése, a biztonság, valamint a növényzet fejlődésének biztosítása miatt.
NAÜ (Nemzetközi Atomenergia Ügynökség)	A Bécsi székhelyű szervezet az önkéntesen csatlakozott országok számára kötelező érvényű szabályozást ír elő az atomenergia alkalmazásának vonatkozásában, beleértve a teljes atomenergia-ciklust.
Near field (közvetlen környezet)	A tervezett gátrendszert és a közvetlen környezetében levő kőzeteket tartalmazó terület, amely a tároló hatása alatt áll.
Nedves eljárás	0,5–1% szárazanyag-tartalmú töltetekkel dolgozó reaktorok.
Nem veszélyes hulladék	Olyan hulladék, amelyre nem tartozik a veszélyes hulladékokra vonatkozó szabályozás hatálya alá.
Nemtermelés-specifikus hulladékok	Olyan maradékanyagok, elhasznált eszközök (pl. csomagolóanyagok, irodai papír, irodai számítógép stb.), amelyek bármely termelőnél, szolgáltatónál vagy lakosnál keletkezhetnek.
NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)	Olyan természetes eredetű anyagok vagy szituációk a környezetben, amelyek a háttérsugárzás szintjének megemelkedését okozzák, emberi beavatkozástól függetlenül (pl. U-érckibuvás).
Nukleáris üzemanyag ciklus	A nukleáris energia előállításával összefüggő folyamat, amely a hasadóanyagok bányászását, ércfeldolgozását, izotópdúsítását, az üzemanyag gyártását, felhasználását, tárolását, a kiegészítő fűtőanyag esetleges reprocessálását és a képződött radioaktív hulladék feldolgozását és elhelyezését foglalja magába.
Nyersanyag-eljárástechnika	= Előkészítéstechnika az a céltudatos tevékenység, amikor a primer és szekunder nyersanyagokat a mechanikai-fizikai eljárások sorozatának (aprítás, osztályozás, mágneses, elektromos, termikus, optikai, sugárzásbeli, sűrűség szerinti tulajdonságbeli különbség alapján való szétválasztás) alkalmazásával valamilyen további felhasználás céljaira alkalmassá tesszük.
Oktánszám	A benzin nyomástűrésére, illetve öngyulladására vonatkozó mérőszám.
Önhevülési teszt	A komposzt érettségének jellemzésére szolgáló teszt.
Optimális	Legkedvezőbb, legjobb.

Pachuka	Nagy vertikális elrendezésű hengeres tartály, amelyet ércek kémiai kezelésénél használnak, amelyben a zagy hosszabb időn keresztül reagál a megfelelő oldószerrel/anyaggal.
Passzív gáz-szellőztető rendszer	Olyan előírt szellőző rendszerek hulladéklerakóknál, amelyek lehetővé teszik, hogy hulladéklerakó-gáz a légkörbe kerüljön úgy, ahogy keletkezik. Passzív szellőztetőnek is nevezik, mert nincs mechanikus segítség a gáz kivezetéséhez.
Patogén Pellet	Kórokozó. A biobrikett speciális változata 5-10 mm átmérőjű, 10-25 mm hosszúságú. Könnyebben adagolható és jobb az égéstechnikai hatásfoka, mint a brikettnek.
Perkoláció (halmos kilúgozás)	A bányászatban és ércfeldolgozásban alkalmazott folyamat, amikor oldat átszivárog át a szigetelt területen, medencében elhelyezett kibányászott ércen, és a kilúgozott anyagot tartalmazó átszivárgó oldat összegyűjthető az értékes fém (itt urán) kinyerése céljából.
Perkolációs eljárás Pirólízis	Folyamatosan végzett kivonás. A hőbontás (pirólízis) a szerves anyagú hulladék megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása.
Porozitás	Arányszám (hézagtérfogat), amely azt mutatja meg, hogy a kőzetben vagy a talajban lévő hézagok térfogata hogyan aránylik azok teljes térfogatához.
Potenciális alfa-energia koncentráció	Radon bomlástermékek rövidéletű alfa-sugárzó nuklidjainak levegőbeli koncentrációja, a teljes lebomlásig leadott alfa-energiában kifejezve. Egysége: SI: J(joule)/m ³ ; hagyományos: MeV/l.
Potenciális telephely	Olyan, földtani kutatással vizsgált telephely, amelynek földtani alkalmassága biztonsági értékelésben még nem bizonyított. (62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet)
Pszikrofil	Hidegkedvelő.
Radioaktív bomlási sorok	Egymást követő radioaktív bomlások (alfa és béta vegyesen) sorozata, amikor a bomlástermék maga is radioaktív és tovább bomlik. A természetben a ²³⁸ U, ²³⁵ U és ²³² Th kiinduló nuklidok bomlási sorozatai fordulnak elő.
Radioaktív egyensúly Radioaktív hulladék	Radioaktív bomlási sorozatoknál az az állandósult állapot, amikor a sorozat minden nuklidjának az aktivitása megegyezik. Olyan anyag, amely a vonatkozó határértékeknél nagyobb koncentrációban vagy aktivitásban tartalmaz radioizotópokat, vagy szennyezett radioizotópokkal és amelynek további hasznosítására már nincs igény.
Radioaktív hulladék felszínközeli tárolója	Olyan mérnöki gáttal vagy anélkül készült hulladéktároló, amely a felszínen vagy a felszín alatt néhány méter vastagságú végső védőréteggel rendelkezik, vagy néhány tíz méterrel a föld felszíne alatt van.
Radioaktív hulladék mélységi tárolója	Lásd: Geológiai tároló

Radioaktivitás	Egyes atommagoknak a spontán bomlási tulajdonsága, amely során energia szabadul fel és általában új atommagot eredményez. A folyamatot egy vagy több típusú sugárzás emissziója kíséri: alfa részecskék (He atommag: 2 proton és két neutron), béta részecskék (elektron kibocsátás) és gamma sugárzás (nagy energiájú foton formájában kisugárzott energia). Egysége a becquerel (Bq): 1 Bq másodpercenként 1 bomlásnak felel meg. A gyakorlatba bevezetett korábbi speciális egység, a curie (Ci) néha még mindig használatos: 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq.
Radiometrikus dúsítás	Az az ércdúsítási módszer, amelynél az érc radioaktivitását használják ki az uránban dúsabb frakció kiválasztására.
Radionuklid	(A radioaktív izotóp szinonímája.) Az az atommag, amely a spontán bomlás képességével rendelkezik. Az atommagokat tömegük és atomszámuk alapján különböztetjük meg.
Radionuklid (radon) migráció	Radionuklidoknak (radonnak) a környezeti paraméterek által befolyásolt vándorlása a környezetben, a nagyobb koncentrációjú helyektől az alacsonyabbak felé.
Radon emanáció	Porózus közegben (pl. talajban) keletkező radon gáz pórusterbe kijutó hányada az összes keletkezett mennyiséghez viszonyítva.
Radon exhaláció	A talaj egységnyi felületéről, egységnyi idő alatt a levegőbe távozó radon aktivitás (egysége: Bq/m ² s).
Radongát	Zagytározók/meddőhányók rekultivációjánál a fedőtakaróba épített, a radongáz visszatartását szolgáló, alacsony permeabilitású (általában agyag) réteg.
Rehabilitáció	Azon tevékenységek összessége, amelyek arra irányulnak, hogy a korábbi ipari objektumokat (itt uránipari objektumok) alkalmassá tegyék más felhasználásra, közel az eredeti állapothoz hozva azokat.
Rekultiváció	A bezárt hulladéklerakó vagy a hulladéklerakó egy része környezeti veszélyességének csökkentése új területhasználat előkészítése érdekében lezárással, műszaki védelem és monitoring-rendszer kiépítésével vagy a hulladék felszedésével, továbbá tájba illesztéssel.
Rekultiváció	Bányászat által okozott környezeti károk részleges vagy teljes helyreállítása.
Reprocessálás	A hasadó- és üzemképes anyagok további felhasználásra való visszanyerése a kiégett üzemanyagból az uránium és plutónium transzurán elemektől és más hasadási termékektől való vegyi elkülönítésével. Az elkülönített hasadási termékek újrafelhasználása is lehetséges. Ez a művelet is hulladékot eredményez.
Safeguard/Védelem	A nukleáris anyag monitorozásával kapcsolatban foganatosított intézkedések, amelyek külön-külön vagy együttesen kell, hogy biztosítsák a nukleáris anyag standard folyamattól való eltérésének időben történő detektálását.
Sárga por	Kémiai módszerekkel uránércből/urántartalmú anyagból előállított szárított uránkoncentrátum.
Sarjatzatásos üzemmód	Az ültetvényt nagy tő számmal (8-15 ezer db/ha) telepítik jól sarjadzó fajokkal; az első tarvágás időpontja a kitermelési és begyűjtési módtól függően 3-5 év, majd ugyanilyen ciklusokkal a sarjültetvény ismét vágható; 4-5 vágásforduló tervezhető. Általában rentábilis, hátránya viszont, hogy a sarjatzatások során a törzsszám alig szabályozható. (Rédei et. al., 2009).

SSNTD detektor/doziméter	Szilárdtest (leggyakrabban polikarbonát anyagú) maratottonyom detektor/doziméter amit nukleáris részecskék, alfa-sugárzás, radon integráló detektálására használnak.
Szabad víz	Ércfeldolgozási maradékok felszínén, rendszerint tó formájában összegyűlő víz, amelynek nagyobb része az ércfeldolgozásból származik.
Száraz eljárás Személyi doziméter	25%-nál nagyobb szárazanyag-tartalmú töltetekkel dolgozó reaktorok Magas sugárveszélyességű helyeken (a magyar gyakorlatban: 6 mSv/év fölött) a dolgozó által kötelezően, a testén viselt dózismérő eszköz.
Szemipermeábilis Szennyezett terület (talaj) Szennyező anyag	Féligáteresztő. Olyan terület (talaj), amely szennyezőanyagokat tartalmaz, élő szervezetet és más környezeti elemeket veszélyeztet. Minden olyan emberi tevékenységből származó anyag, energia, amely a földtani közegbe kerülve a környezetre, az emberi egészségre, a környezethasználatokra kockázatot jelent.
Szerkezeti anyagok	A lakossági és fogyasztást szolgáló termékek, eszközök felépítő anyagai (fémek, üveg, kerámia, fa, papír, műanyagok stb.).
Szeszmoslék Szivárgás zagytérről	a Bioetanol-gyártás melléktermékeként keletkező anyag. A zagyártóból elszivárgó víz.
Sztocasztikus dózishatás	Az alacsony (normál) dózisok tartományában érvényes valószínűségi összefüggés, miszerint a sugárzás által kiváltott megbetegedési kockázat lineárisan nő az elszennvedett effektív dózissal.
Szűrő-védő réteg	Egy kettős funkciójú réteg a csurgalékvízgyűjtő rendszerben a csurgalékvízgyűjtő réteg, valamint a hulladék között: egyrészt elősegíti a csurgalékvíz bejutását a gyűjtő és elvezető rendszerbe, másrészt védi azt a hulladékból bemosódó finom szemcsék bejutásától, megakadályozva eltömődését.
Szuszpenziós eljárás Tájbaillesztés	5–15% szárazanyag-tartalmú töltetekkel dolgozó reaktorok. A létesítmény funkcionális és esztétikai szempontok szerinti környezetalakítása a táji adottságok figyelembevételével.
Technológiába illesztett megelőzés	A hulladékszegény vagy tiszta technológiák alkalmazását jelenti, de magában foglalja innovációt, továbbá mindazokat az üzem- és termelés-szervezési módszereket is, amelyek anyag-, ill. energia-megtakarítást, valamint kevesebb, kevésbé veszélyes hulladékok kibocsátását eredményezik.
TENORM	Természetes eredetű radioaktív anyagoknak az ember ipari/bányászati tevékenysége által megnövelt mennyisége a környezetben a háttérsugárzás megemelkedését eredményezi.
Termék	A termelés célja és eredménye, amely az az anyag vagy eszköz, amely lakossági vagy ipari fogyasztásra, felhasználásra alkalmas.
Termékintegrált környezetvédelem	A termékek oly módon történő kialakítása, hogy a használatuk után, és a szükséges előkezelést követően az anyagi komponenseiket (szerkezeti anyagaikat) - fémek, üveg, fa, papír, műanyagok - a termelési folyamatba vissza lehessen vezetni (újrahasznosítás).
Termelési hulladék	A gyártási és szolgáltatási folyamatban elkerülhetetlenül keletkező maradékanyagok és elhasználdott termelési eszközök.
Termelésintegrált környezetvédelem	A piacképes termékek gyártási folyamatának oly módon való kialakítása, hogy a folyamatban csak az elkerülhetetlenül szükséges minimális mértékben keletkezzen maradékanyag (termelési hulladék).

Természeti analógia	Olyan (természetben fellelhető) anyagok vagy (lejátszódó) folyamatok megléte ill. megtörténte, amelyek hasonlóságot mutatnak egy tervezett geológiai hulladéktárolóval kapcsolatban várhatókkal.
Termofil	Meleg hőmérsékletet kedvelő.
Tömörített agyag szigetelés	Mesterségesen, tömörítéssel beépített, természetes (ásványi) anyagú szigetelőréteg
Toxikus Újrahasználat	Mérgező. A hulladékok újrahasználatáról beszélünk, ha a hulladékot eredeti funkciójában ismételten felhasználjuk - elsősorban a csomagolóanyagok (palackok, hordók, kannák, rekeszek, dobozok, az ún. többutas vagy visszatérő csomagoló eszközök) esetében alkalmazott gyakori megoldás.
Újrahasznosítás	(Recycling), amely rendszerint a szelektív gyűjtésre támaszkodik, és lehetővé teszi a hasznos anyagok közvetlen vagy fizikai-mechanikai előkészítést követő ismételt felhasználását. A hulladék-újrahasznosítás folyamata a hulladékgazdálkodás teljes menetét magába foglalja (szelektívgyűjtés – előkészítés – alapanyagelőállítás - feldolgozás): az újrahasznosítás során a hulladék vagy anyagában kerül közvetlenül hasznosításra, vagy másodnyersanyagként újrafeldolgozásra, és eredeti funkciójú vagy más termék előállítására használják fel.
Újraterelítési üzemmód	Teljes talaj-előkészítéssel, nagy dendromassza-hozamot biztosító fafajok alkalmazásával 5-8 ezer db/ha tőszám ültetése; 8-15 éves vágásfordulóval a termőhelyi adottságok, a fafaj, valamint az alkalmazott termesztés-technológia függvényében átlagosan 8-15 t/ha/év élőnedves hozam érhető el. A hosszabb vágásforduló miatt általában kevésbé rentábilis üzemmód.
Uránérc feldolgozás (klasszikus uránérc feldolgozás)	Az urán kinyerése céljából végzett, az uránérc őrlését is magába foglaló ércfeldolgozási művelet.
URL (Underground Research Laboratory)	Lásd: Föld alatti kutatólaboratórium
Utógondozás	A hulladéklerakó rekultivációját követő olyan összetett tevékenység, amely magában foglalja a monitoringrendszer üzemeltetését, a csurgalékvíz és a hulladéklerakó-gáz kezelését, valamint a szükségessé váló karbantartási munkákat.
Üzemanyag	A belsőégésű motorok működéséhez szükséges hajtó-, kenő- és hűtőanyagokat üzemanyagoknak nevezzük.
Üzemeltető	Az a természetes vagy jogi személy, illetve szervezet aki (amely) a hulladéklerakó üzemeltetéséért, rekultivációjáért, utógondozásáért felelős.
Vágástéri apadék	Vágástéren visszamaradt másodlagos faanyag: kéreg, kisebb ágak, gallyak.
Validálás	Annak vizsgálata, hogy a rendszer, rendszerelem megfelel-e a funkcionális, teljesítmény és interfész követelményeknek. (89/2005. (V.5.))
Végleges elhelyezés	Kiégett fűtőelem vagy radioaktív hulladék végső elhelyezése tárolóban vagy adott helyen, a visszanyerés szándéka nélkül.(89/2005. (V.5.))

Végleges záro szigetelő rendszer	Egy különböző anyagokból álló többrétegű rendszer, amelynek elsődleges feladata a lerakóba kerülő csapadékvíz mennyiségének a csökkentése a lerakó bezárása után. Megfelelő végleges záro szigetelő rendszerek emellett minimalizálják a felszíni víz mennyiségét a szigetelő rendszeren, ellenállnak a szél és a lefolyó vizek által okozott erózióknak, szabályozzák a hulladéklerakó-gázok mozgását a lerakóban, valamint javítják az esztétikát.
Vegyipari hulladék	A szerves és szervetlen vegyipar által termelt gáznemű, folyékony vagy szilárd hulladék, amelynek összetétele vállalatonként és üzemenként sem állandó, és amelynek mennyiségi korlátozása a hulladékmentes technológiák megvalósításának célja. A szerves vegyipar és kőolajipar szennyezőanyagai a szerves és szervetlen savak, a különféle gázok (pl. kén-dioxid, klór), az oldószerke (pl. klórozott szénhidrogének), az észterek, a szénhidrogének stb.. A szervetlen vegyiparban leggyakrabban a nyersanyag, illetve a termék előkészítése, őrlése során keletkező por, az égetési füstgázból származó pernye, a különféle gázok (pl. ammónia, nitrózus gázok, kén-dioxid, klór, sósavgáz stb.) a hulladékskála összetevői.
Veszélyes hulladék	A 2000. évi XLIII. törvény 2. számú mellékletben felsorolt tulajdonságok közül eggyel vagy többel rendelkező, illetve ilyen anyagokat vagy összetevőket tartalmazó, eredete, összetétele, koncentrációja miatt az egészségre, a környezetre kockázatot jelentő hulladék
Vitrifikáció (üvegesítés)	A reprocessálás során képződő nagy aktivitású hasadási termékek oldatait a végső elhelyezésre alkalmas állapotúvá kell alakítani. Erre a célra jól bevált módszer a vitrifikáció (üvegesítés).
Víz tisztítási csapadék	Víz tisztítás során képződő iszap, amely uránnal és más anyagokkal szennyezett lehet.
Vízzel való telítettség (m)	Az anyagban (ércfeldolgozási maradványban) lévő pórusok vízzel való töltöttségének aránya.
Zagytározó	Az uránérc vegyi dúsítási maradványként keletkezett, jelentős radioaktivitással és kémiai (só) szennyezettséggel bíró iszap elhelyezésére szolgáló tárolótér, beleértve annak elemeit is, mint pl. a gátakat, a szigetelést és a takarást is.
Zagytározók stabilizálása	Azoknak a tevékenységeknek összessége, amelyek megakadályozzák, vagy visszatartják a zagytéren elhelyezett maradvány elmozdulását, a zagytérről való kijutását, természeti okok következtében olyan módon, hogy legfeljebb kis mértékű felügyeletet és fenntartást kelljen gyakorolni azokon.
Záro szigetelő rendszer állékonysága	A záro szigetelő rendszer állékonysága a felületi erők kiértékelése statikus és szeizmikus körülmények között.

2. Hulladékgazdálkodás műszaki alapjai (Dr. Szabó Imre)

Miskolci Egyetem, Miskolc

2.1. A hulladéklerakók kialakításának műszaki követelményei

A hulladéklerakók kialakításának műszaki követelményinek meghatározásakor alapvetően fontos kérdések az általaj adottságok és az ennek ismeretében meghatározott szigetelési rétegrend. Ezen kérdésekkel a környezetmérnöki Tudástár 12. kötetében* („A hulladéklerakók helykiválasztása” és a „A hulladéklerakók szigetelése”) fejezetei kellő részletességgel foglalkoztak, ezért ebben a fejezetben csak a legfontosabb, a tervezési kérdésekhez elengedhetetlenül szükséges kérdéseket foglaljuk össze, illetve a változásokat ismertetjük, az idézett fejezetekben leírtakat ismertnek tételezzük fel és a továbbiakban azokra csak utalásokat teszünk.

*Megj.: Ezen tananyagra a továbbiakban csak **BSc tananyag** megjelöléssel hivatkozunk.

2.1.1. Az általajjal szemben támasztott követelmények

A hulladéklerakók helykiválasztásának problémával a Környezetmérnöki Tudástár 12. kötetében megfelelő részletességgel foglalkoztunk, ahol a következő kérdéseket tárgyaltuk meg:

- **A hulladék-elhelyezés környezetföldtani követelményei.**
- **A terület alkalmassági kritériumai.**
- **A földtani közeggel szemben támasztott kritériumok.**
- **A lerakó területének környezetföldtani kutatása.**
- **A potenciálisan számításba jövő területek vizsgálata és értékelése.**

A területkiválasztás és az alkalmassági kritériumai azóta sem változtak, az ott leírtak változatlanul érvényesek, azokat ebben a tananyagrészen nem ismételjük meg. Ezen a területen annyi a változás hogy a 20/2006.(IV.5) számú a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről szóló KvVM rendeletet módosításra került (92/2007 (XI.28.) KvVM rendelet), azonban a módosítások a helykiválasztás követelményrendszerét nem érintették.

Ezen fejezetben kiemeljük a korábban tanultakból a földtani közeggel szemben támasztott kritériumokat, azon belül is a geotechnikai alkalmassági követelményeket, mert a következő, a méretezési kérdésekkel foglalkozó fejezetben ezek a kérdések részletesen kerülnek bemutatásra.

Hulladéklerakók létesítése esetén a területnek geotechnikai szempontból az alábbi adottságokkal kell rendelkeznie:

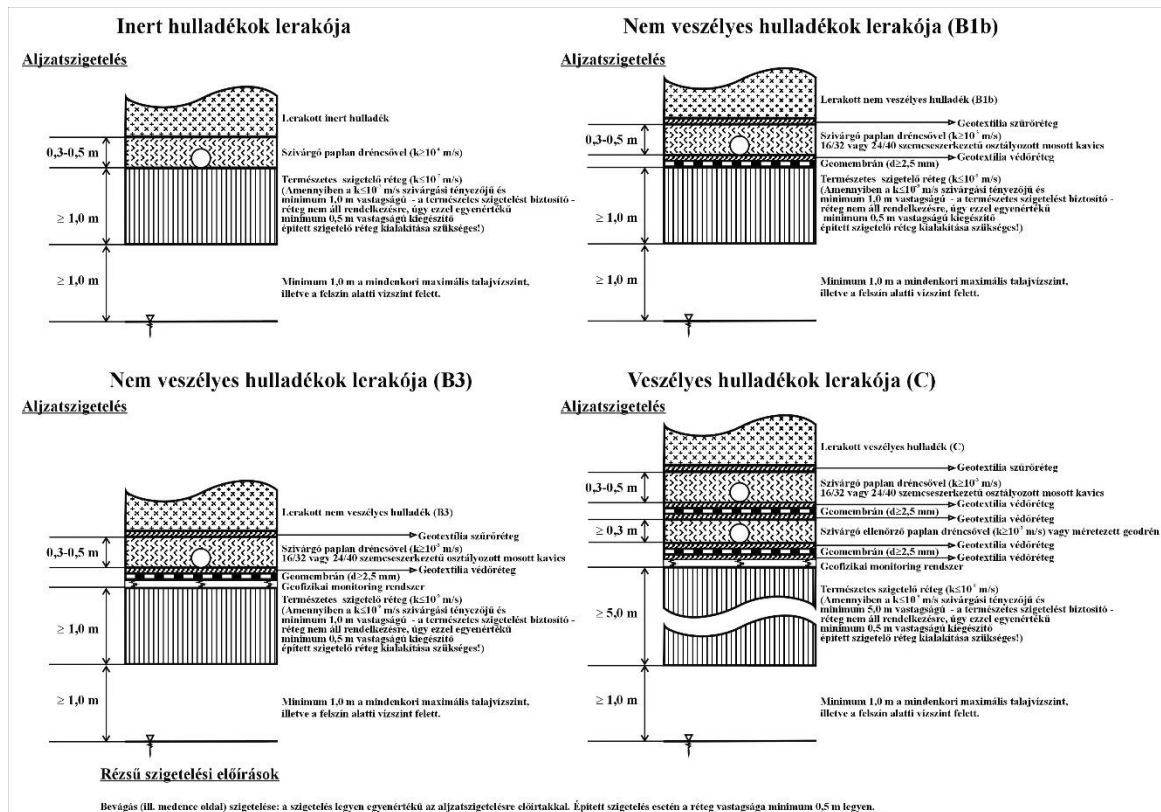
a.) Inert lerakónál 1,0 m vastag, $k \leq 10^{-7} \frac{m}{s}$, nem veszélyes-, ill. veszélyeshulladék-lerakónál

1,0 ill. 5,0 m vastag, $k \leq 10^{-9} \frac{m}{s}$ szivárgási tényezőjű földtani közeg (általaj) vagy vele egyenértékű védelmet nyújtó épített réteg, amelynek a minimális vastagsága 0,5 m. A nemzetközi gyakorlatban az általaj kifejezés általánosan elterjedt és a továbbiakban ezt használjuk. A földtani közeg: a föld felszíne és a felszín alatti rétegei. Az általaj ettől szűkebb fogalom, amelyen a lerakó alatti földtani közeget értjük, amelyre a lerakó potenciálisan veszélyt jelent vagy jelenthet.

- b.) Az altalaj anyagának *agyagásvány-tartalma* a nem veszélyes-, ill. veszélyeshulladék-lerakónál legalább 10% legyen, rendelkezzen nagy adszorpciós kapacitással. Utóbbi esetben a terület különösen kedvező, ha az altalaj *kationcserélő kapacitása* $T > 25 \frac{mekv}{100 g}$, megfelelő, ha $25 \frac{mekv}{100 g} > T > 15 \frac{mekv}{100 g}$ közötti érték. Ha $15 \frac{mekv}{100 g} > T$, az altalaj adszorpciós kapacitása kedvezőtlen, de ez nem kizáró kritérium.
- c.) *A talajvíz maximális nyugalmi vagy nyomásszintje* nem veszélyeshulladék-lerakónál legfeljebb 1,0 m-re veszélyeshulladék-lerakónál legfeljebb 5,0 m-re lehet a lerakó szigetelőrétegének fenékszintjétől. Így *kívánatos*, hogy a talajvíz maximális nyugalmi vagy nyomásszintje legalább 1,0 ill. 5,0 m-rel az eltávolított humuszréteg utáni felszín alatt legyen, ellenkező esetben a depónia fenékszintjét ki kell emelni.
- d.) Az altalaj *szervesanyag-tartalma* max. 5% lehet.
- e.) A lerakó altalajának a depónia várható terhelésével szemben *teherbíró*nak kell lennie, biztosítania kell, hogy a terhelés hatására bekövetkező deformációk az aljzatszigetelő rendszer hatékonyságát, a depóniatest állékonyságát ne veszélyeztessék.
- f.) Kedvezőtlen, ha felszínközelségben *kis szilárdságú, gyengén konszolidált* rétegek fordulnak elő, mert ezen rétegek összenyomódásából származó *többletsüllyedést* a depóniaaljazat kiemelésével kompenzálni kell.

2.1.2. Az aljzat és zárószigetelő-rendszer felépítése

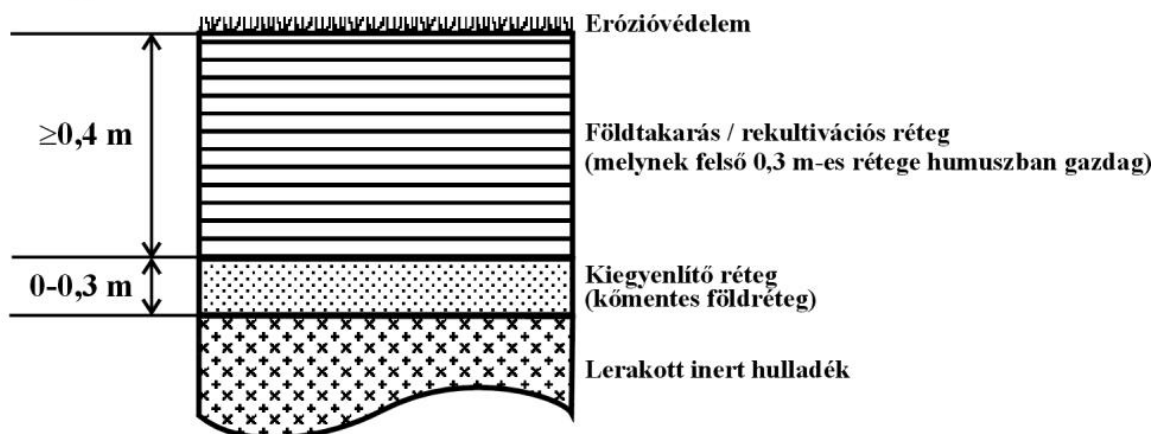
Az aljzat- és zárószigetelés rétegrendjét a *BSc tananyag H4 fejezetében* megfelelő részletességgel tárgyaltuk. Az aljzatszigetelő rendszer felépítése azóta is változatlan, a zárószigetelés rétegrendje azóta módosult. A korábbi jogszabály a zárószigetelésnél a természetes anyagú (ásványi) szigetelés felett legalább 1,5 méter fedőréteget (szivárgó réteg+rekultivációs réteg+termőtalaj együttes vastagsága) kívánt meg, addig a jelenleg érvényes szabályozás ezt az értéket 1,0 méter vastagságra mérsékelte. A jelenleg érvényes jogszabály szerinti aljzat és zárószigetelési rétegrendeket a **1-5. ábra** tartalmazza.



1. ábra: A hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszere felépítésének szabályozása (A 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet, 1. sz. melléklete alapján)

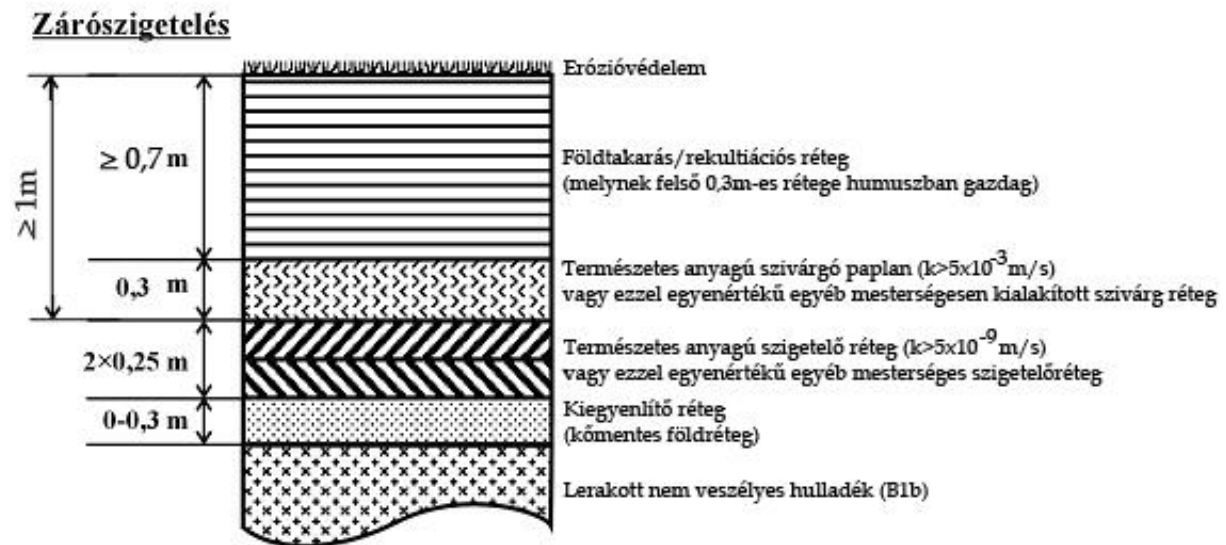
Inert hulladékok lerakója

Zárószigetelés



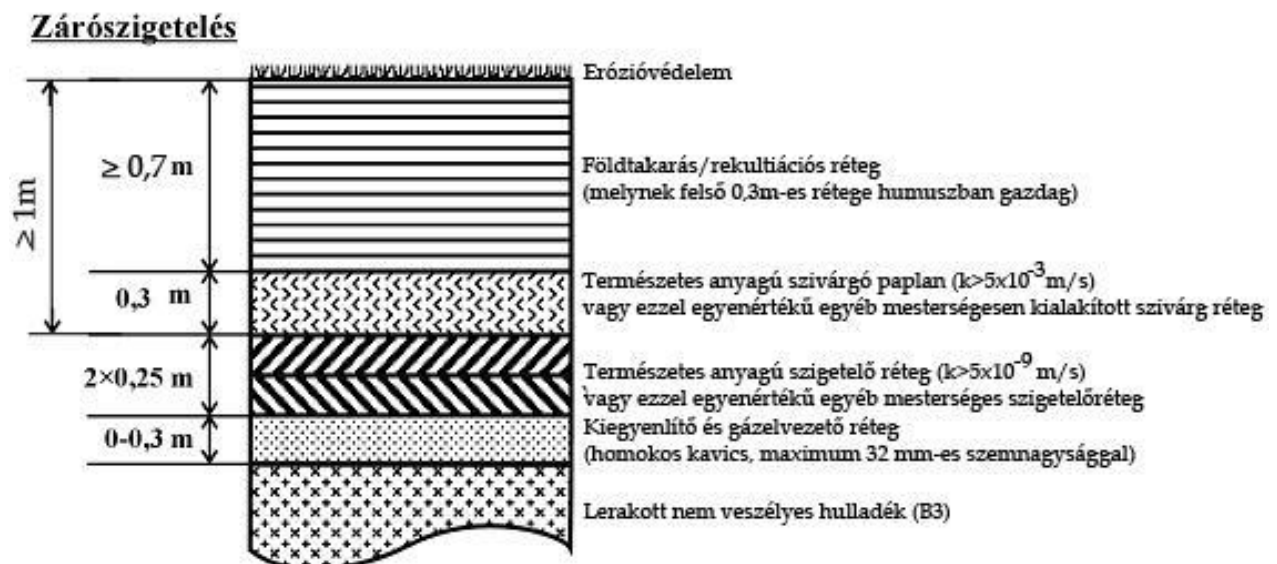
2. ábra: Az inert hulladékok lerakójának felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása (20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet alapján)

Nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b)



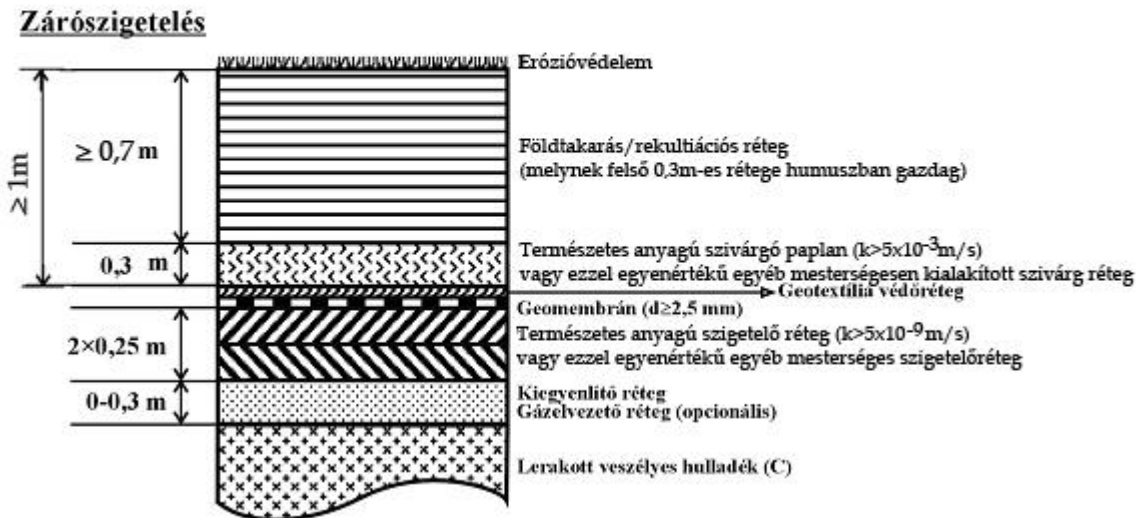
3. ábra: A nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása a (20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet alapján)

Nem veszélyes hulladékok lerakója (B3)



4. ábra: A nem veszélyes hulladékok lerakója (B3 kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása a (20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet alapján)

Veszélyes hulladékok lerakója (C)



5. ábra: A veszélyeshulladék-lerakó (C kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

2.2. Az aljzatszigetelő-rendszer méretezésének a kérdései

Az aljzatszigetelő rendszer egy egymástól függetlenül is hatékony védelmi elemek összessége. Ezt az elvet nevezzük a *többszörös biztonság elvének*. Az aljzatszigetelő rendszer elemei:

- Természetes anyagú (ásványi) szigetelőréteg, *geológiai védelem*
- Mesterséges anyagú szigetelőréteg, többnyire *geomembrán*
- A *csurgalékvízgyűjtő rendszer*, amely a *csurgalékvízgyűjtő rétegből* és a *dréncsőből* épül fel

Az előző fejezetben megismerkedtünk az aljzatszigetelő rendszer felépítésének a szabályozásával. A vonatkozó rendelet lehetőséget biztosít az előírt rétegtől való eltérésre, azonban ekkor igazolnunk kell a két rendszer (előírt és alkalmazni kívánt) egyenértékűségét, ezért ebben a fejezetben a szigetelő rendszer egyes elemeinek méretezési kérdéseit tekintjük át.

2.2.1. A geotechnikai vizsgálatok

Mint az a **1. ábra** látható, a *KvVM rendelet*, igazodva az EU direktívához, a természetes anyagú szigetelőrétegnél *elsősorban a földtani közegtől, az altalajtól* kívánja meg a megfelelő vízzáróságot és a szennyezőanyag-visszatartó képességet, és csak ha ez nincs meg, akkor szükséges az *épített természetes anyagú, többrétegű szigetelőréteg*.

2.2.1.1. A szigetelőréteg minősítése, anyagának kiválasztása

A szigetelőréteg *minősítése* (természetes településű altalaj) vagy *anyagának kiválasztása* minden esetben egy vizsgálatosorozatot jelent, amikor azt kell eldöntenünk, hogy az altalaj vagy a beépítendő réteg rendelkezik-e a rendelet által megkívánt tulajdonságokkal.

A természetes településű altalajnál a vizsgálatokkal az *altalaj alkalmasságát* kell igazolnunk, tehát a *minősítés egy lépcsőben történik*.

Épített szigetelőrétegnél a minősítés *többlépcsős*:

- alkalmassági vizsgálatok;

- helyszíni próbatömörítés;
- a kivitelezéskori ellenőrzés.

Az elvégzendő geotechnikai vizsgálatokat a **6. ábra** foglalja össze. Mint látható, mind a *természetes településű*, mind az *épített szigetelőrétegnél* a vizsgálat sorozat az *alkalmassági vizsgálatokat* jelenti, amikor alapvető szempont, hogy a réteg vagy anyag természetes településben vagy beépítés után – figyelembe véve a meghatározás körülményeihez képest a depónia üzemelése során fellépő változásokat – a *megkívánt szennyezőanyag visszatartó képességgel rendelkezzen*. Ezt a kritériumot, a hulladék jellegétől, minőségétől és veszélyességi osztályától függő *minimális szivárgási tényező értékkel* adják meg.

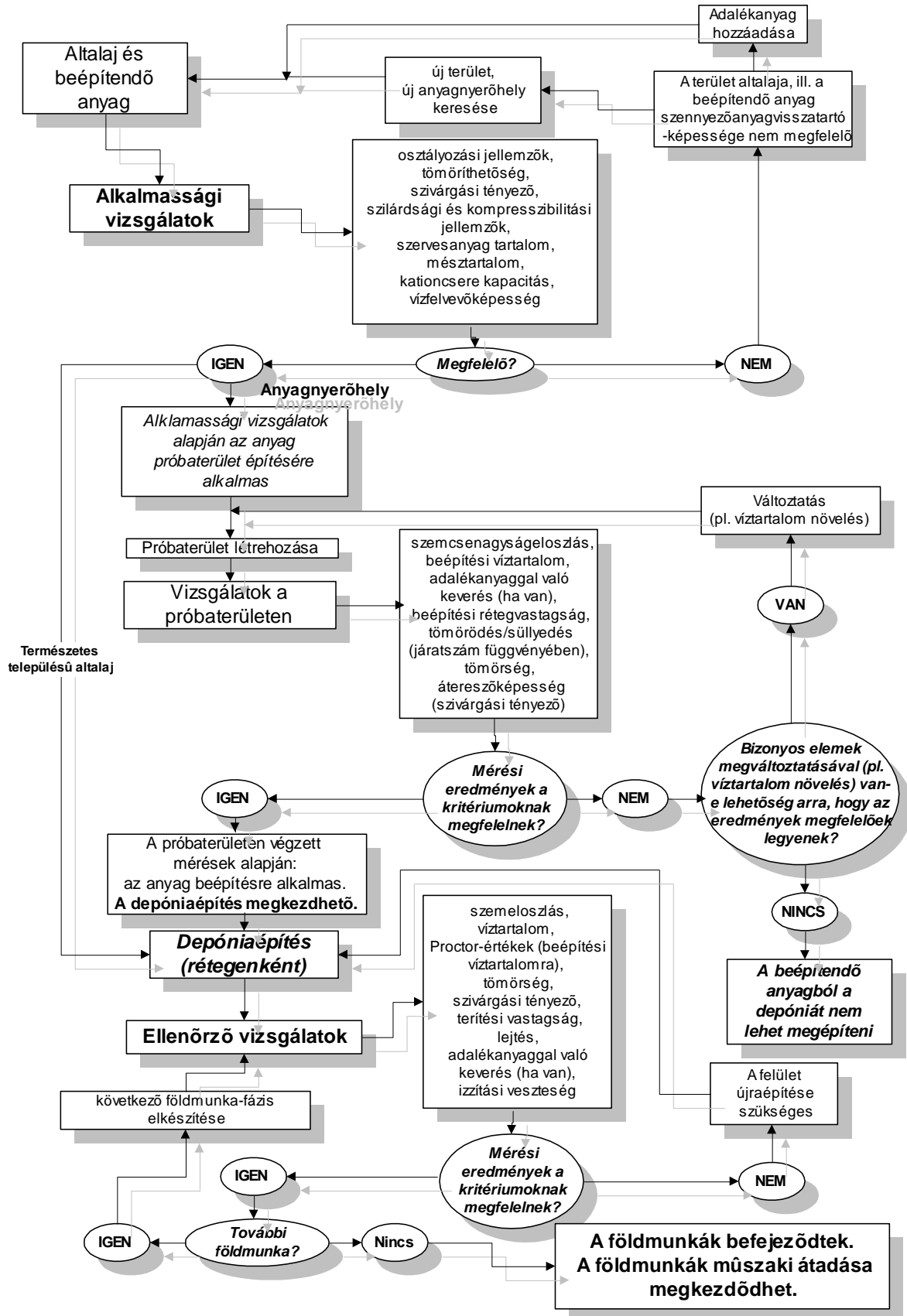
Önmagában a megfelelő szivárgási tényező nem jelent megfelelő szennyezőanyag visszatartó képességet. A hulladéktestből kijutó csurgalékvíz jelentősen megváltoztathatja az agyagásványok szerkezetét, átalakulásukat okozhatja.

A szigetelőrétég kiválasztásánál, különösen az egyenértékű réteggel való pótlásnál, helyettesítésénél figyelembe kell venni a *szigetelőrétég és csurgalékvíz kompatibilitását*.

Az *anyaggyerőhely* kiválasztásánál mindig felmerül a kérdés, milyen talajok a legkedvezőbbek a szigetelőrétégként való beépítés szempontjából. Ha a vízzáróságot nézzük, akkor a minél nagyobb agyagásvány-tartalmú, különösen a nagy montmorillonit tartalmú, tehát a nagy plasztikus indexű (I_p) agyagok jönnek számításba. Ugyanakkor az is ismert, hogy minél nagyobb az I_p értéke, annál nehezebben tömöríthető a talaj, valamint annál inkább hajlamos a víztartalom változás hatására bekövetkező zsugorodásra. Mint látható, az *optimális megoldást a kis- és közepes plaszticitású, de megfelelő agyagásvány-tartalmú és adszorpciós kapacitású iszap-agyag talajok adják*. A szigetelőrétég anyagának kiválasztásához a **1. táblázat** szerinti vizsgálatokat kell elvégezni.

A **1. táblázat** felsorolt vizsgálatokat magyar jogszabály nem követeli meg, elvégzésük mégis célszerű, mert az eredmények alapján tudunk dönteni, hogy az altalaj vagy a kiválasztott anyaggyerőhely rendelkezik-e megfelelő *agyagásvány-tartalommal, adszorpciós kapacitással*. Különösen ajánlott ezen minősítő vizsgálatok elvégzése az *anyaggyerőhely minősítésénél*, mert a tapasztalat azt mutatja, hogy a *felsorolt alkalmassági kritériumoktól való lényeges eltérés esetén a kiválasztott anyagból a szigetelőrétég a helyszínen nagy valószínűséggel nem építhető meg, a megkívánt vízzáróság nem biztosítható*.

A minősítő vizsgálat legfontosabb része a *szivárgási tényező meghatározása*. Az altalajnál igazolnunk kell az előírt vízzáróságot, az építendő szigetelőrétegnél a megvalósíthatóságot, és utóbbi esetben meg kell adnunk, hogy milyen körülmények (beépítési jellemzők) mellett biztosítható a megkívánt vízzáróság.



6. ábra: A természetes anyagú aljzatszigetelő rétegek kutatása, tervezése, kivitelezése során elvégzendő geotechnikai vizsgálatok (SZABÓ A., 2000.)

1. táblázat A szigetelőréteg anyagának minősítésekor elvégzendő vizsgálatok, ill. meghatározandó közetfizikai jellemzők

A szigetelőréteg anyagának minősítésekor elvégzendő vizsgálatok, ill. meghatározandó közetfizikai jellemzők		
A meghatározandó paraméter	A vizsgálat módja	Alkalmassági, beépíthetőségi kritérium
Szemcseeloszlás	MSZ 14043/3	$D_{max} = 63$ mm (max. rögméző beépítéskor) $S_{D<0,002} \geq 20\%$ (agyagfrakció)
Konzisztencia jellemzők (folyási határ, sodrási határ, zsugorodási határ, plasztikus index, relatív konzisztencia index)	MSZ 14043/4	javasolt: $w_L \geq 40-60\%$ $I_P = 20-30\%$
A talajt alkotó fázisok (szilárd-víz-levegő) térfogat és súlyarányai	MSZ 14043/5-6	-
Szervesanyag-tartalom (izzítási veszteség, nedves oxidáció)	MSZ 14043/9	max. 5%
Vízfelvevő-képesség	Enslin-Neff módszer	$w_{max} \geq 80\%$
Mézsztartalom	Scheibler-készülékkel	$CaCO_3\% < 10\%$
Ásvány-közetani vizsgálatok (agyagásvány-tartalom)	röntgen és termikus elemzések	Agyagásvány-tartalom nagyobb, mint 10%
Kationcserélő kapacitás		$25 < T$ mekv/100 g: nagyon jó $15 < T < 25$ mekv/100 g: jó $T < 15$ mekv/100 g: kedvezőtlen

2.2.1.2. A szivárgási tényező meghatározása

A geotechnikai gyakorlatban a szivárgási tényező meghatározásának három módszere terjedt el:

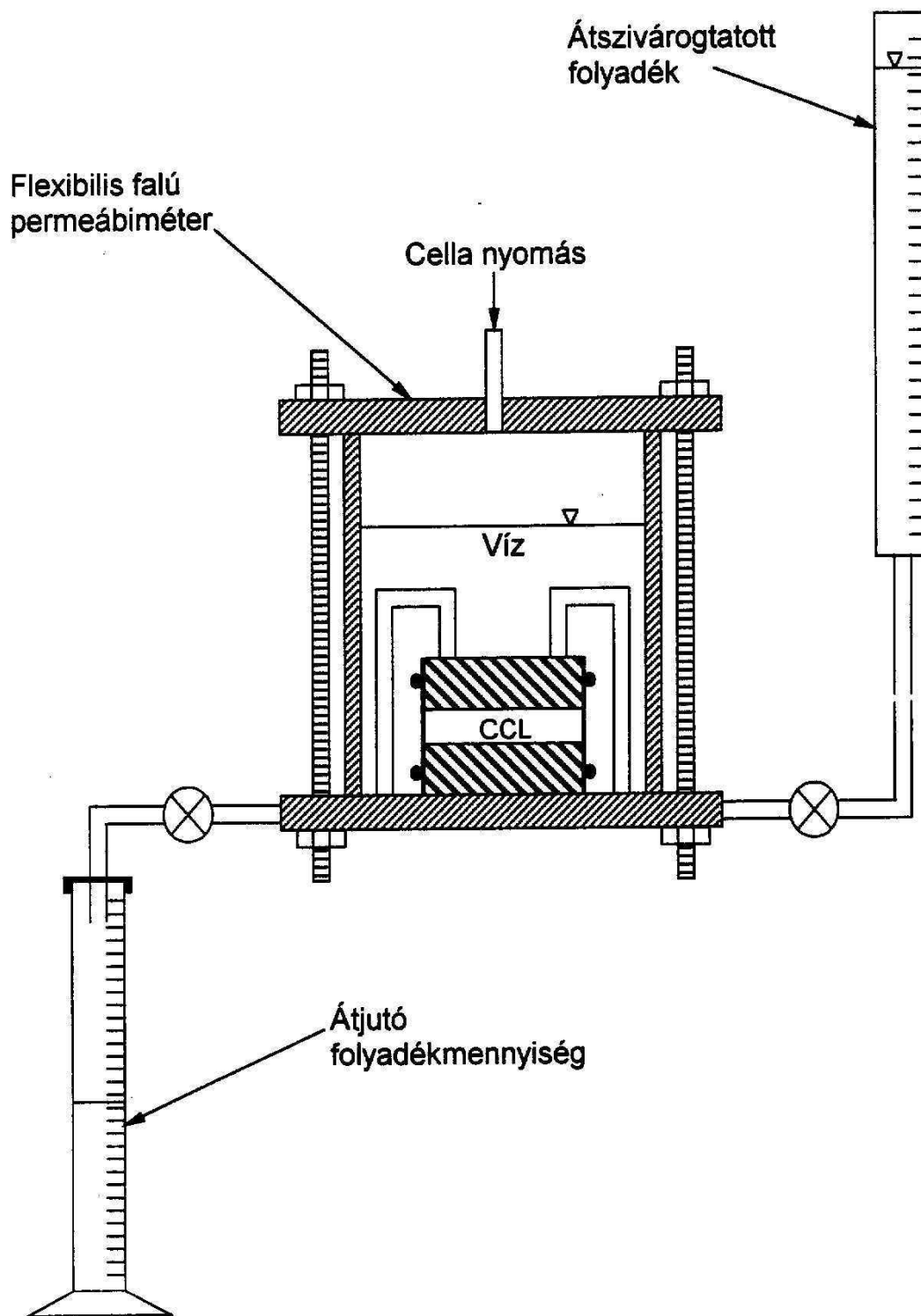
- a helyszíni (in situ) vizsgálatok,
- a laboratóriumi kísérletek és
- a tapasztalati összefüggések alapján.

A tapasztalati összefüggések nem alkalmasak a kötött talajok vízzáróságának megítélésére.

A szivárgási tényező meghatározása laboratóriumban

A kötött, kis áteresztőképességű (vízzáró?) talajok szivárgási tényezője meghatározásának leggyakrabban alkalmazott módja a laboratóriumi kísérlet. Mellette szól az „in situ” vizsgálatokkal szembeni viszonylagos olcsósága, s ennek megfelelően a nagyobb minta darabszám.

A nemzetközi gyakorlatban a szigetelőanyagként használt közetek áteresztőképességének vizsgálatára mind a *merev falú*, mind a *flexibilis falú permabiméterek* számításba jöhetnek, azonban az elmúlt évtized tapasztalatai alapján ma szinte kizárólag az utóbbiakat használják (7. ábra)



7. ábra: Az agyagok szivárgási tényezőjének meghatározása triaxiális cellában

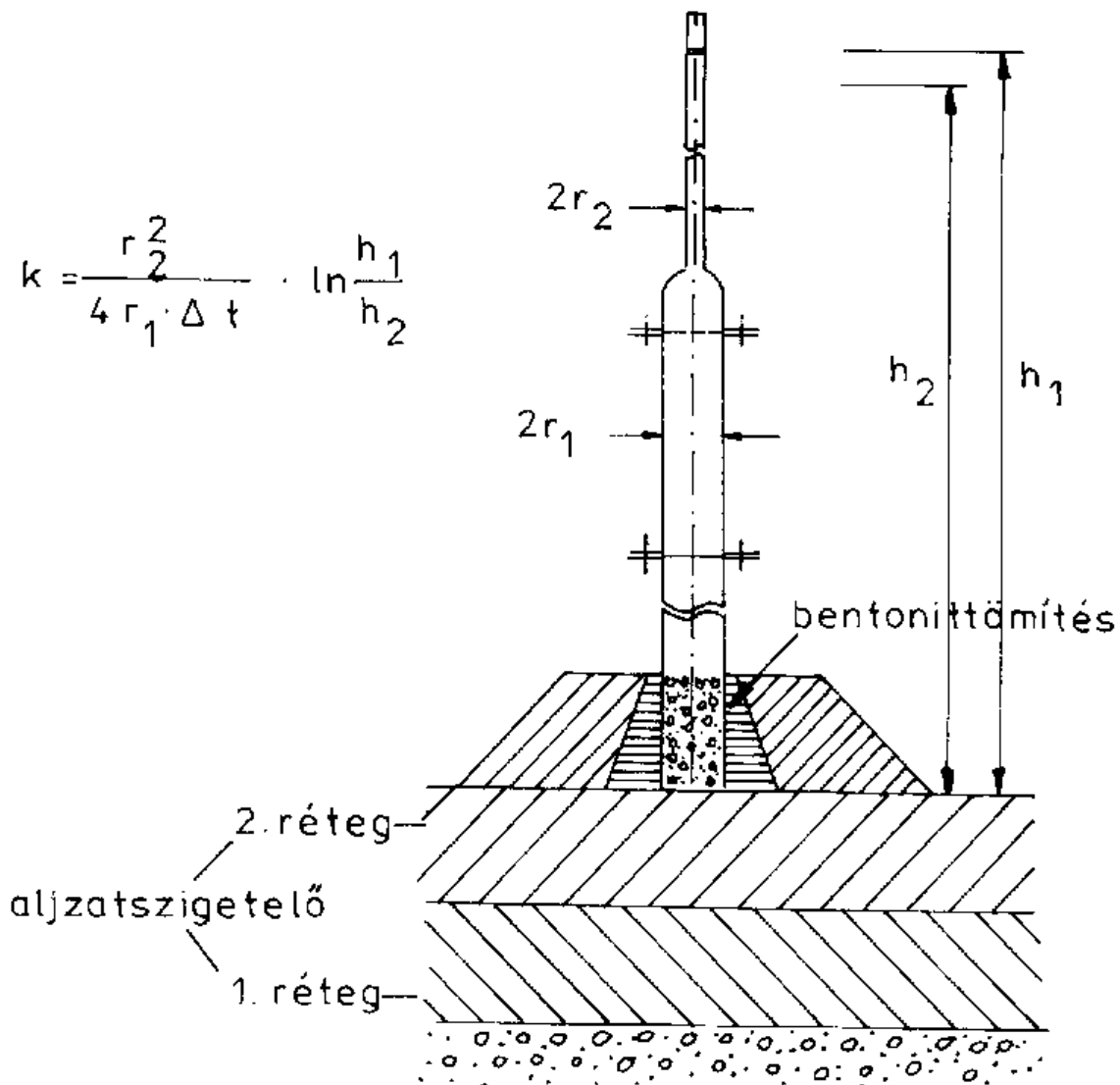
Ennél a kísérleti módszernél vagy közvetlenül a nyírószilárdsági vizsgálatokhoz használt *triaxiális cellát*, vagy annak *módosított változatát* használják, amelynél a *mintát* a cellában a triaxiális vizsgálatoknál is használt *gumimembrán veszi körül*, s egy folyadékkal (többnyire vízzel) biztosított cellanyomással a *gumimembránt nekinyomják a mintának*.

A *flexibilis falú* permeabilitásmérők alkalmazásának számos előnye van merev falú készülékekkel szemben. Ezek:

- megfelelő oldalfalnyomás mellett megakadályozható a minta és a készülék fala - jelen esetben a gumimembrán - közötti szivárgás;
- megvalósítható az a követelmény, hogy a permeabilitás vizsgálatokat a tényleges értékeknek megfelelő feszültségviszonyok mellett végezzük;
- az ún. "back pressure" technikával biztosítható a minta telítettsége, ami a kísérletek alapvető követelménye.

A szivárgási tényező helyszíni meghatározása

A szigetelőréteg szivárgási tényezőjének helyszíni meghatározása számos mérés technikai problémát vet fel. A hidrogeológiai gyakorlatban alkalmazott módszerek (próbaszivattyúzás, nyeletés, túlnyomásos besajtolás) többsége itt nem használható. A környezetvédelmi geotechnikában a leginkább alkalmazott és bevált módszer az ún. *csőinfiltrométeres vizsgálat* (8. ábra). A vizsgálatokat elvégezhetjük mind *felszínen* (a humuszréteg eltávolítása után), mind *aknában*.



8. ábra: Hulladéklerakók aljzatszigetelése szivárgási tényezőjének meghatározása a helyszínen csőinfiltrométerrel, (BRANDL, 1989.)

2.2.1.3. A szigetelőréteg beépítése, kivitelezési előírások

A laboratóriumi úton meghatározott beépítési jellemzőket (lásd a **9. ábra**) a kivitelezés megkezdése előtt a helyszínen *próbatömörítéssel ellenőrizni és pontosítani kell.*

A próbatömörítés során kapunk végleges választ arra, hogy

- az előzetes alkalmassági vizsgálatok alapján kiválasztott anyagból a megkívánt vízzáróság biztosítható-e?
- milyen tömörítő munka (gép, járatszám) szükséges az előírt értékek eléréséhez.

A laboratóriumi vizsgálatok alapján alkalmasnak ítélt anyag eredményes próbatömörítése után kezdődhet meg a *természetes anyagú szigetelőréteg beépítése.*

A szigetelőréteg tömörsége alapvetően meghatározza a szivárgási tényezőt, ezért megfelelő eredményt csak az előírásokat messzemenően figyelembe vevő kivitelezéstől várhatunk. Ennek megfelelően a következők betartása szükséges:

- A helyben készített szigetelőrétegnél a *tömörítés rétegenként* történjék, s az egyes rétegek vastagsága (d) tömörített állapotban:

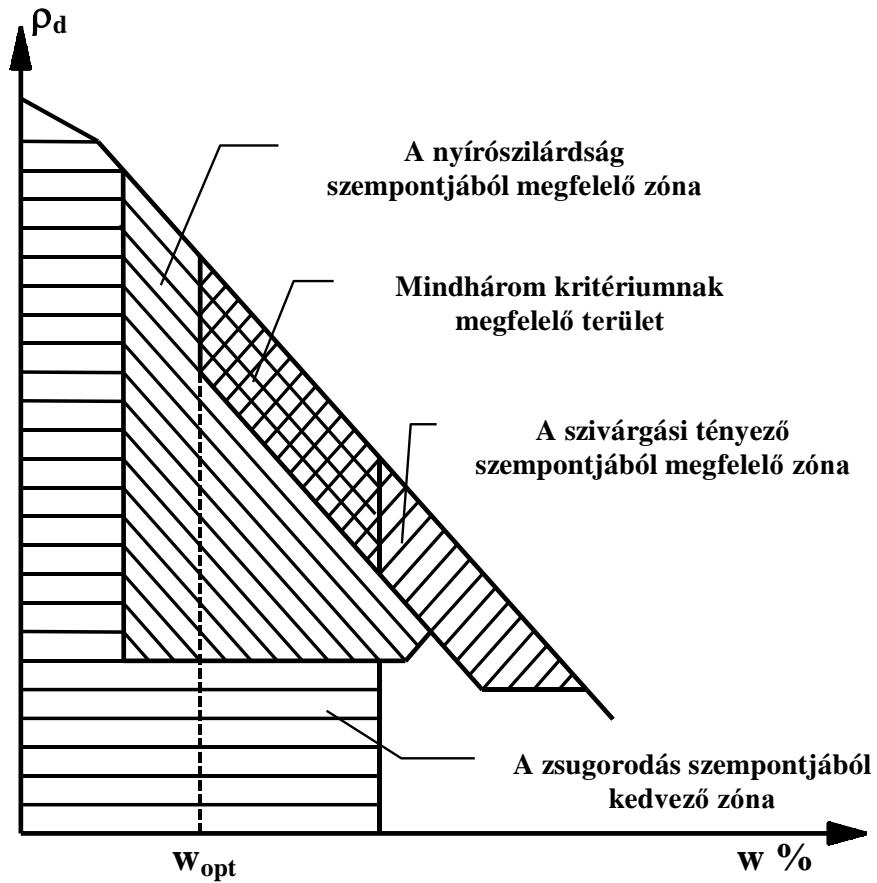
$$20 \text{ cm} < d < 25 \text{ cm}$$

legyen. 25 centimétert meghaladó (max. 30 cm) rétegvastagság esetleg optimális viszonyok esetén (megfelelő szemcseeloszlás, kedvező víztartalom, központi keverőtelep, hatékony tömörítőgépek) engedhető meg.

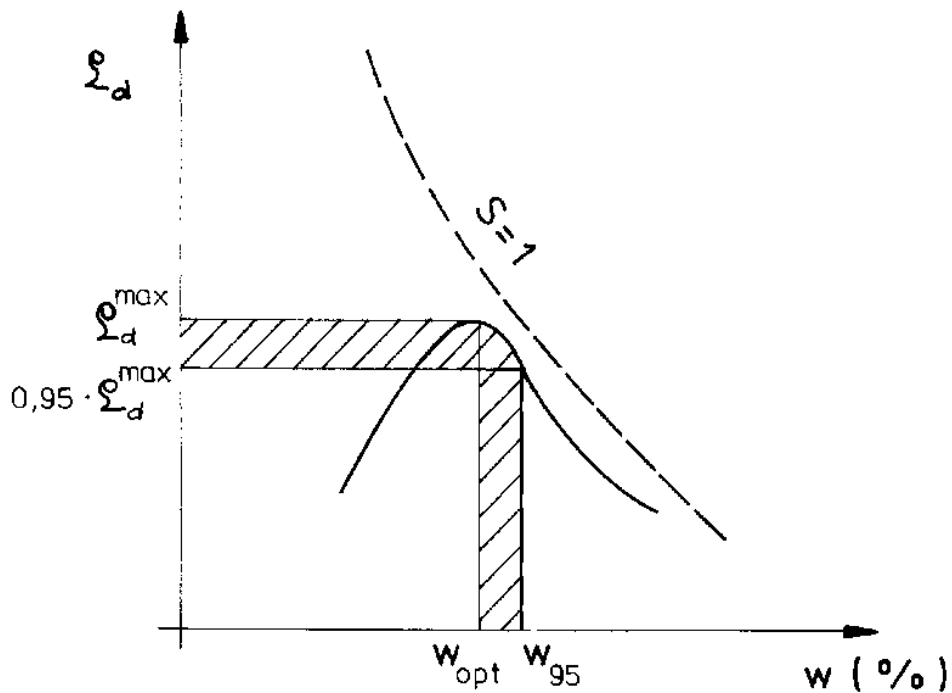
- A *beépítési víztartalom néhány százalékkal a Proctor vizsgálatnál meghatározott optimális érték fölött legyen* (a beépítés a Proctor görbe "nedves" ágának megfelelő legyen), mivel így kedvezőbb agyagszerkezet (**10. ábra**) és kisebb szivárgási tényező érhető el. A kedvező beépítési víztartalomra érvényes kritérium:

$$W_{opt} < W_{beépített} < W_{95}$$

- A *beépítési technológiára* a földművek építésénél és az út-, vízepítésnél alkalmazott előírásokat teljes egészében átvehetjük. Alapvető, hogy a tömörítés átgyúrással (elsősorban juhlábhengerekkel) történjen, majd az utolsó fázisban az egyenetlenségek megszüntetésére (és nem tömörítési céllal!) egy simafalú hengerrel történő tüköriképzés következik, csökkentendő a mesterséges szigetelőrétegre (pl. geomembrán) jutó egyenlőtlen terhelést.



9. ábra: A szivárgási tényező, a nyírószilárdság és a zsugorodás szempontjából is megfelelő beépítési jellemzők meghatározása, (DANIEL, 1993.)



10. ábra: A szigetelőréteg beépítésénél javasolt beépítési víztartalom

2.2.2. Az aljzatszigetelő réteg anyaga

2.2.2.1. Természetes anyagú aljzatszigetelők

Mint azt az előzőekben láttuk a szigetelőréteg általában ún. kombinált szigetelőréteg, azaz két rétegből áll:

- Természetes anyagú (ásványi) szigetelőréteg,
- Mesterséges anyagú szigetelőréteg

A *természetes anyagú szigetelőrétegnél* elsősorban az előzőekben tárgyalt tulajdonságokkal, közetfizikai paraméterekkel (lásd **1. táblázat**) rendelkező, azaz minél nagyobb agyagásvány-tartalmú, különösen a nagy montmorillonit tartalmú, tehát a nagy plasztikus indexű (I_p) *agyagok jönnek számításba*. Gyakran előfordul, hogy megfelelő minőségű agyag, agyagbánya a területen vagy attól gazdaságos távolságon belül nem áll rendelkezésre. Ebben az esetben felmerül a *természetes anyagú szigetelőréteg alternatív anyagból való megépítése*.

Alternatív természetes anyagú szigetelőrétegek

Alternatív anyagként számításba jöhet:

- agyagásvánnyal dúsított keveréktalaj,
- agyagásvánnyal dúsított keveréktalaj polimer adalékkal,
- geoszintetikus agyag szigetelők.

A törvényi szabályozás az *alternatív anyagok alkalmazásának feltételeként az egyenértékűséget* írja elő, azaz a két szigetelőrendszer azonos szennyezőanyag-visszatartó képességét, az *azonos szennyezőanyag transzportot* kívánja meg. A szigetelőrendszerek egyenértékűségét külön fejezetben (**2.2.3**) adjuk meg.

Egyenértékű természetes anyagú szigetelőréteggé elsősorban a *bentonit – talaj keverékek* jönnek számításba. Előnyük az ismert, egyenletes anyagminőség, agyagásvány-tartalom és a könnyű tömöríthetőség. Hátrányuk az erózió érzékenység, a technológiai előírások szigorú betartása, a beépítési víztartalomra való érzékenység (HORN, 1986; 1988; 1989; BRANDL, 1989; CHAPIUS, 1990a; 1990b.)

Hazai és nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy laboratóriumi körülmények között 6-8 % bentonit adagolás elegendő a $k < 10^{-9}$ m/s szivárgási tényező eléréséhez.

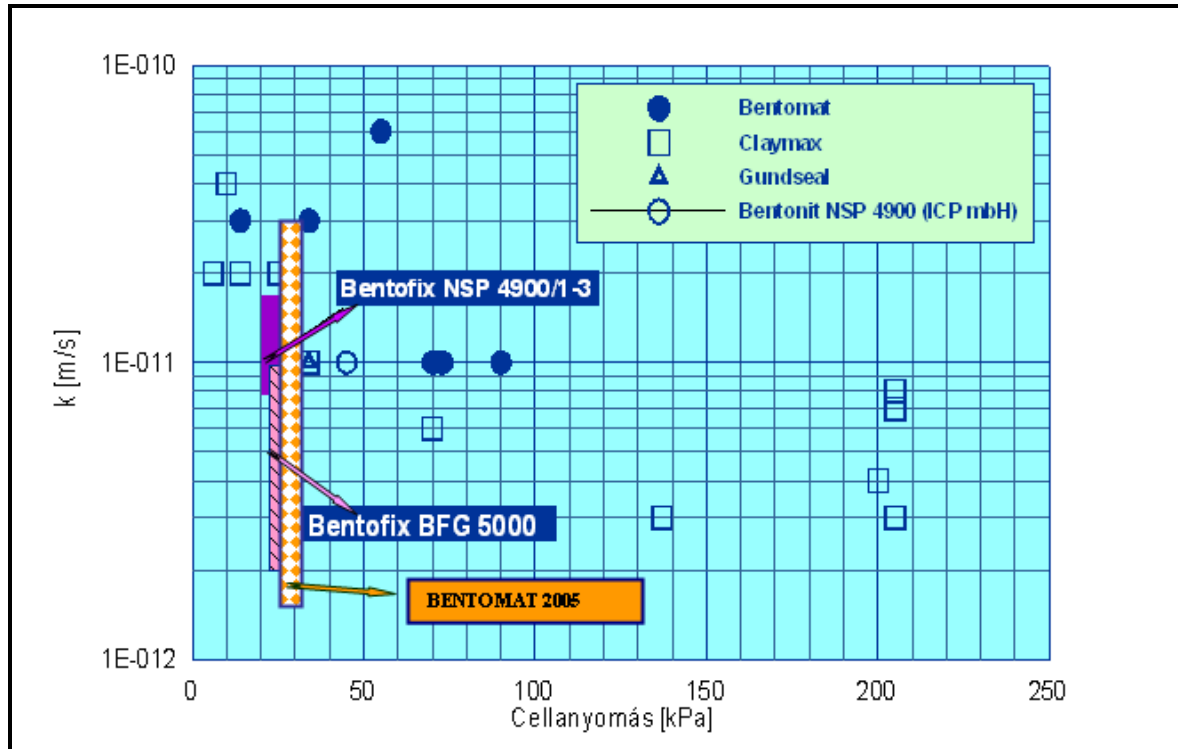
A természetes anyagból készített szigetelések területén a 80-as évek végén jelentek meg és azóta egyre nagyobb szerephez jutnak az ún. *geoszintetikus agyagszigetelők*. A nemzetközi irodalomban, gyakorlatban általában csak a GCL megjelölést használják a Geosynthetic Clay Liner elnevezés alapján. A hazai szóhasználatban a *bentonitos szigetelőlemez, bentonit-szőnyeg, bentonit-paplan* elnevezés terjedt el.

A bentonitos szigetelőlemezek többnyire két geoszintetikus hordozó elem (geotextília vagy geomembrán) közötti bentonitrétegből állnak. A bentonitréteg vastagsága általában 5-10 mm, a töltési mennyiség típustól függően 3-5 kg/m². Az előállítás során a bentonitot por alakban helyezik a geoszintetikus lemezek közé és további adalékanyagként ha szükséges – a lemez szerkezetétől függően – kötőanyagot is adagolnak.

Szigetelőlemezként való alkalmazásukat az teszi különösen vonzóvá, hogy a vízfelvétel (hidratáció) hatására a bentonit duzzad, azonban a két határoló geotextília száltűzéssel vagy

tűnemezeléssel töreńő összekötése a térfogatnövekedést gátolja, s így egy kis vastagságú, de igen kedvező vízzáróságú réteg alakul ki. A jellemző szivárgási tényező a $10^{-10} - 5 \times 10^{-12}$ m/s tartományba esik.

A bentonitszőnyegek alkalmazási területéből adódóan az egyik legfontosabb paraméter a vízzáróság. Bentonitszőnyegek vízzáróságának összefoglaló eredményei láthatók a 11.



11. ábra: Bentonitszőnyegek vízzáróságai vizsgálatának összefoglaló eredményei (ESTORNELL-DANIEL, 1992.; Miskolci Egyetem, 2002.; GEOSZABO, 2005.)

A geoszintetikus agyagszigetelők számos *előnyös tulajdonsággal* rendelkeznek a tömörített agyagrétegekkel szemben, amelyek közül külön is kiemelendő:

- alkalmazásuk a helyi adottságoktól kevésbé függ;
- kivitelezés közbeni helyszíni ellenőrző vizsgálatokat (vízzáróság) nem igényel;
- a beépítése lényegesen egyszerűbb gépparkkal megvalósítható;
- a kivitelezés üteme (előrehaladás) gyorsabb és kevésbé időjárásfüggő;
- kis területek egyszerűbben szigetelhetők;
- süllyedésre, süllyedéskülönbségre kevésbé érzékenyek, fagyérzékenységük kisebb, erózióval szembeni nagyobb ellenállóképesség;
- könnyebb javíthatóság;
- alacsonyabb építési költség.

Ugyanakkor *hátrányuk a tömörített agyagréteggel szemben:*

- nagyobb sérülékenység;
- kisebb adszorpciós kapacitás;
- kisebb áttörési idő oldatok esetén;
- nagyobb diffúziós fluxus.

Mint látható, a hátrányos tulajdonságok elsősorban a *szennyezőanyag-visszatartó képesség területén* jelentkeznek, amelynek az oka elsődlegesen a *kis rétegvastagság*.

Mindezek alapján megállapítható, hogy a bentonitszőnyegek, mint alternatív természetes anyagú szigetelőrétegek aljzatszigetelőként önmagukban nem alkalmazhatók, kiegészítő elemként, igazolt egyenértékűség mellett alkalmazásuk megfontolandó lehet. Úgyszintén számításba jöhet felhasználásuk az egyébként nehezen tömöríthető támasztó töltéseknél, ahol a szennyezőanyag terhelés lényegesen kisebb mint az aljzatszigetelésen. A bentonitszőnyegek alkalmazásának elsődlegesen a hidraulikai egyenértékűségből adódóan a zárószigetelések területén van.

A polimer adalékanyagot tartalmazó ásványi anyagú keveréktalajok a már ismert összetevők mellett további adalékként általában üzleti titokként kezelt összetételű polimert adagolnak. A legismertebb ilyen polimer adalékú keveréktalaj a TROPLAST nevű szigetelőanyag (TD Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Wentdorf), amelynek összetétele:

- ≤ 89,1% ásványi alapanyag (pl. homok)
- ≥ 10,7 % bentonit
- > 0,2 % polimer

A százalékos összetétel száraz anyag tömegszázalékban értendő.

A polimer adalékanyag receptje szabadalommal védett. A keverék beépítési víztartalma: 3,6-12,1 %. Németországi tapasztalatok a keverékkel rendkívül kedvezőek, amit kiterjedt laboratóriumi vizsgálatok támasztanak alá. Az eddigi tapasztalatok szerint átlagosan 30 éves stabil működőképességgel biztosan számolni lehet, azonban még további (különösen helyszíni) vizsgálatokra van szükség. A fentiekből adódóan veszélyeshulladék-lerakók aljzatszigetelő rétegeként való beépítése megfontolandó, és csak egyedi vizsgálat, mérlegelés után engedélyezhető. A mérlegelés alapja az *egyenértékűség, hosszú távú időállóság, működőképesség, mechanikai állékonyság* biztosítása.

2.2.2.2. A mesterséges anyagú szigetelőréteg (geomembrán)

A membránszigetelőkre, éppúgy mint a természetes anyagúakra, jelentős *mechanikai, fiziko-kémiai és biológiai terhelés* jut, amely hatásokkal szemben a megkívánt ideig ellenállónak kell lenniük. Nem megfelelő méretezés és anyagválasztás esetén a mechanikai igénybevétel hatására közvetlen tönkremenetel (szakadás, kilyukadás, stb.), a fiziko-kémiai és biológiai hatásokra folyamatos öregedés - és ennek következtében a mechanikai jellemzők és a vízzáróság megváltozása - következik be.

A geomembránok minősítése szabványban előírt vizsgálatokkal történik, a kereskedelmi forgalomba kerülő fóliáknál a megadott határértékeket a gyártók garantálják. Minden fóliát többnyire idegen, független, a vizsgálatokra feljogosított intézménnyel kell minősíteni. A vizsgálatok igen széles körűek, s a gyártó országok többségében szabványban rögzítettek. Nem részletezve a vizsgálatok végrehajtásának a módját, jó tudni, hogy azoknak, ill. a minősítő tanúsítványoknak többnyire ki kell térniük az alábbi jellemzők meghatározására ill. értékének megadására:

- méret,
- névleges vastagság,
- eltérés a névleges vastagságtól,
- sűrűség,
- olvadási index, folyási mutatószám,
- vízfelvétel,

- vízgőz-, gáz-áteresztőképesség (transzmisszió),
- szakítószilárdság (hossz- és keresztirányú),
- szakadási nyúlás,
- továbbszakító erő (hossz- és keresztirányú),
- ütési, lyukasztási ellenállás, pontnyomásállóság,
- egytengelyű húzóerő 5% megnyúlásnál (hossz- és keresztirányú),
- méretváltozás hőhatásra (hossz- és keresztirányú),
- hidegállóság, viselkedés hidegen való hajtogatásakor,
- varratszilárdság,
- időjárással szembeni viselkedés,
- biológiai ellenállóképesség,
- talaj-geomembrán közötti súrlódás.

A geomembránok mechanikai jellemzői

Magyarországon jelenleg a leelterjedtebben alkalmazott geomembrán típus az ún. *HDPE* (nagy sűrűségű polietilén), ami megfelel az egész világon kialakult gyakorlatnak. A HDPE membránok az aljzatszigetelésnél egyértelmű előnnyel bírnak, zárószigetelésnél már más jobb deformációs tulajdonságokkal (háromtengelyű nyúlás) rendelkező fóliák is számításba jönnek/jöhetnek. A HDPE mellett a mindennapi gyakorlatban a alkalmazott *típusok: PVC, CSPE* (kloroszulfonált polietilén, kereskedelmi neve *Hypalon*), *LDPE* (kis sűrűségű polietilén), *EPDM* (etilén propilén dién monomer).

A geomembránok vegyszerállósága, kompatibilitási kérdések

A membránszigetelők *vegyszerállóságát* külön vizsgálattal kell igazolni. A vizsgálathoz felhasználandó kísérleti folyadék összetétele függ a szigetelőlemez várható igénybevételétől. A hazai gyakorlatban leginkább alkalmazott HDPE és EPDM membránok kémiai ellenállóképességét a **2. táblázat** foglalja össze, megadva több szerző vizsgálati eredményét is. A táblázat utolsó két oszlopa az összesítő minősítést adja meg.

A megfelelő geomembrán kiválasztása

A kiválasztás első lépésében a kémiai ellenálló képességet, az ún. kompatibilitást kell mérlegelni, s az adott hulladékhoz, csurgalékvízhez leginkább alkalmas membrántípust kiválasztani.

A második lépésben a várható mechanikai igénybevételek elviselésére leginkább alkalmas membrántípust kell kiválasztani.

A harmadik lépésben a tényleges és várható igénybevételek alapján meg kell határozni az adott membrán-típuson belül a szükséges méretet.

A *szigetelőlemez vastagságát* elsősorban a *mechanikai igénybevételek* határozzák meg. A vonatkozó *kormányrendelet* legalább 2,5 mm vastagságot ír elő. Kritikus esetben ellenőrizni kell, hogy a mechanikai igénybevételből adódóan nem szükséges-e nagyobb lemezvastagság.

A méretezés menete:

- a kritikus keresztmetszetre meghatározzuk a mértékadó igénybevételeket: hulladék terhelés, önsúly, súrlódó erők,
- a membrán szilárdsági jellemzői alapján az eredő igénybevételből a szükséges keresztmetszet ill. membrán/lemez vastagság meghatározható.

2. táblázat A HDPE és EPDM membránok kémiai ellenálló-képessége

Komponens, vegyület (csoport)	HDPE membránok			EPDM membránok			összesítő értékelés	
	NIMITZ et. al., (2001.)	KOERNER (1994) 38°C	POLY- FLEX	NIMITZ et.al. (2001)	KOERNER (1986) 40°C	MOLDIN SOLUTION www.molders.com.	HDPE	EPDM
Alifás szénhidrogének	3	+	3	3		3	N	N
Aromás szénhidrogének	3	+	3	3			N	N
Klórozott szénhidrogének	3	+	3	3	+		N	N
Olajszármazé- k	3		3	3		3	R	N
Alkoholok	2	+	1	1	+		E	E
Aldehidek			3				E	E
Aminok			3				E	E
Észterek	3		3	1			N	E
Ketonok	3		3	1			N	E
Szerves savak		+			+	1	E	E
Szervetlen savak	2	+	1	2	+	1	E	E
Szervetlen sók, nehézfém-sók oldatai		+	1		+		E	E
Lúgok	2		1	1	+	1	E	E
Fenolok							R	R
Oxidánsok			2			1	R	E

Jelmagyarázat: 1; + ill. E: ellenálló, kedvező alkalmazható
2; ill. R: részben ellenálló, alkalmazása egyedileg vizsgálandó
3; ill. N: nem ellenálló, alkalmazása nem javasolt

2.2.2.3. A szigetelőréteg és a csurgalékvíz kompatibilitásának a kérdései

A hulladéklerakóhelyek kijelölésének szempontjai között világszerte szerepel olyan előírás, amely meghatározza, hogy a hulladékot milyen szivárgási tényezőjű rétegen szabad lerakni

Minden szabályozás feltételezi, hogy a talaj szivárgási tényezője időben állandó. A valóságban azonban a *talaj szivárgási tényezője* a hulladéklerakás következtében megváltozott körülmények között *nem lesz állandó*, hanem több tényező kölcsönhatása alatt időben változni fog. Hulladéklerakók tervezésekor - amennyiben a környezet szennyezését el akarjuk kerülni - ezzel a ténnyel mindenképpen számolni kell. Amennyiben a kőzet és a szennyezőanyag kölcsönhatását vizsgálni akarjuk, figyelembe kell venni mind a szigetelőanyagként használt *kőzetek* eltérő viselkedését, mind a *csurgalékvíz jellegétől, összetételétől* függő hatást.

LAMBE (1969.) szerint a szivárgási tényezőt a kőzet oldaláról alapvetően befolyásolja a következő öt tényező: *a szemcseeloszlás, a hézag-tényező, az ásványos összetétel, a*

kőzetszerkezet és a telítettség. A szigetelőanyagként számításba jöhető agyagoknál (megfelelően tömörített, ill. konszolidált réteg esetén) a domináns két tényező az ásványos összetétel és a kőzet szerkezete.

A *kőzet szerkezete* szintén jelentős szerepet játszik a permeabilitás alakulásában. A *flokkulált* szerkezethez közelebb álló agyagoknak általában nagyobb a szivárgási tényezőjük, mint a *diszpergált* szerkezethez közelebb állóknak. Valójában az ásványos *összetétel és a szerkezet* együttes hatását nagyon nehéz különválasztani, előre jelezni.

Ahhoz, hogy a talajban lévő *pórusfolyadék*nak a *szivárgási tényezőre gyakorolt hatását* megértsük, szükségünk van az ún. *diffúz kettős réteg* vastagságára, illetve azokra a paraméterekre, amelyek a kettős réteg vastagságát befolyásolják. A diffúz kettős réteg vastagsága a következő összefüggéssel határozható meg:

$$d = \frac{1}{e \cdot z} \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot k \cdot T}{8 \cdot \pi \cdot c_o}}$$

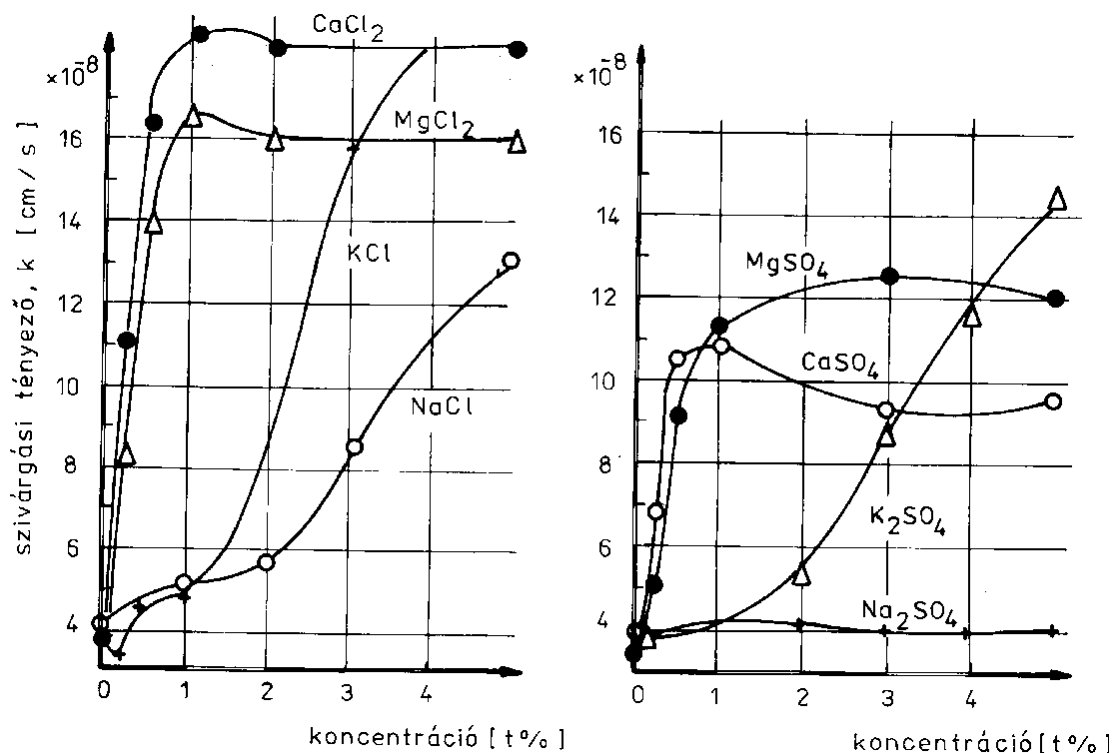
- d : a diffúz kettős réteg vastagsága
 ε : permittivitás (dielektromos állandó)
 c_o : az ion koncentrációja
z : ion töltésszám
T : abszolút hőmérséklet
e : egységs töltés
k : Boltzman állandó

A *kőzetben lévő pórusfolyadékban a koncentráció* megváltozása módosíthatja a szivárgási tényező értékét. Az erősen duzzadó kőzetek, mint pl. a bentonit az adszorbeált kation kicserélése következtében nagyobb permeabilitás változást mutatnak. Az agyagásványok felépítésénél láttuk, hogy a tetraédes koordinációban a Si^{4+} -ot Al^{3+} , az oktaédes helyen az Al^{3+} -ot az esetek többségében Mg^{2+} és Fe^{3+} helyettesíti. A helyettesítés által a rétegszerkezet egyensúlya felborul, benne negatív töltésfelesleg lesz, aminek a kiegyenlítése a réteggkomplexumok közötti térbe illeszkedő kationok által történik. A réteggkomplexumok egymáshoz való kötődésének erőssége nagymértékben függ attól, hogy a töltésfelesleg kiegyenlítődése egy vagy többértékű kationok révén megy-e végbe.

Az egyértékű kation töltés kiegyenlítődésnél (pl. Na^+) az erősebb hidratáltság nagyobb réteggkomplexum-közi teret és így az agyagrészecskék jobb diszperzióját eredményezi, mint a kétértékű kation (pl. Ca^{2+}), amelynek kisebb az első vízrétegre vonatkoztatott hidratációs sugara. Az agyagásványok kationaffinitása az iontöltés növekedésével nő. Mindamelllett az oldatban lévő kisebb töltésű ionoknak a nagy koncentrációja semlegesítheti a nagyobb töltésű ionok nagyobb helyettesítési energiáját. A kationcsere befolyásolja a kettős réteg vastagságát. Mindezek eredményeként a talajszerkezet megváltozik, térfogata változhat, repedések makropórusok jelenhetnek meg.

ALThER és szerzőtársai (1985.) a bentonit szivárgási tényezőjének több mint egy nagyságrendnyi növekedéséről számolnak be a nátrium-, kálium- és kalciumklorid koncentrációjának a növekedésével (12). Hasonló eredményt kaptak szulfát oldatokkal is. Az egy pozitív töltésű kationok esetében a koncentráció növekedéssel közel lineáris volt a k-tényező növekedése, míg a két pozitív töltésű kationoknál a koncentráció kismértékű változása után a folyamat stabilizálódni látszik. A GOUY-CHAPMAN elmélet szerint a pórusfolyadék

koncentrációjának növekedése a kettős réteg vastagságának a csökkenésével jár, ami viszont egy erősebben flokkulált szerkezetet eredményez.



12. ábra: A különböző koncentrációjú és összetételű vizes sóoldatok hatása a bentonitminták szivárgási tényezőjére (ALThER et al., 1985.)

Az iontöltés növekedés - ha a többi változó konstans - úgyszintén a kettős réteg vastagságának a csökkenését okozza. Így a kétértékű kationokat tartalmazó sóoldat, azonos koncentráció esetén, szintén erősebben flokkulált szerkezetet eredményez.

Mint azt tudjuk, a permittivitás/dielektromos állandó növekedésével a diffúz kettős réteg vastagsága jelentősen lecsökken. A csökkenés nemcsak a "folyadék-csatornák" növekedését, hanem, mint tudjuk, az agyagszemcsék flokkulációját is okozza, aminek eredményeként a kolloid méretű részecskék homokszemcse méretű pelyhekké állnak össze, így még nagyobb pórusteret hozva létre. Eközben az agyag zsugorodik, s hatására a szivárgási tényező értéke nagyságrendekkel is növekedhet, mint azt az 13 is mutatja.

A pórusfolyadéknak a talaj (szigetelőréteg) szerkezetére és a szivárgási tényezőre gyakorolt hatását foglalja össze a 3. táblázat (MÁRK, 1992.).

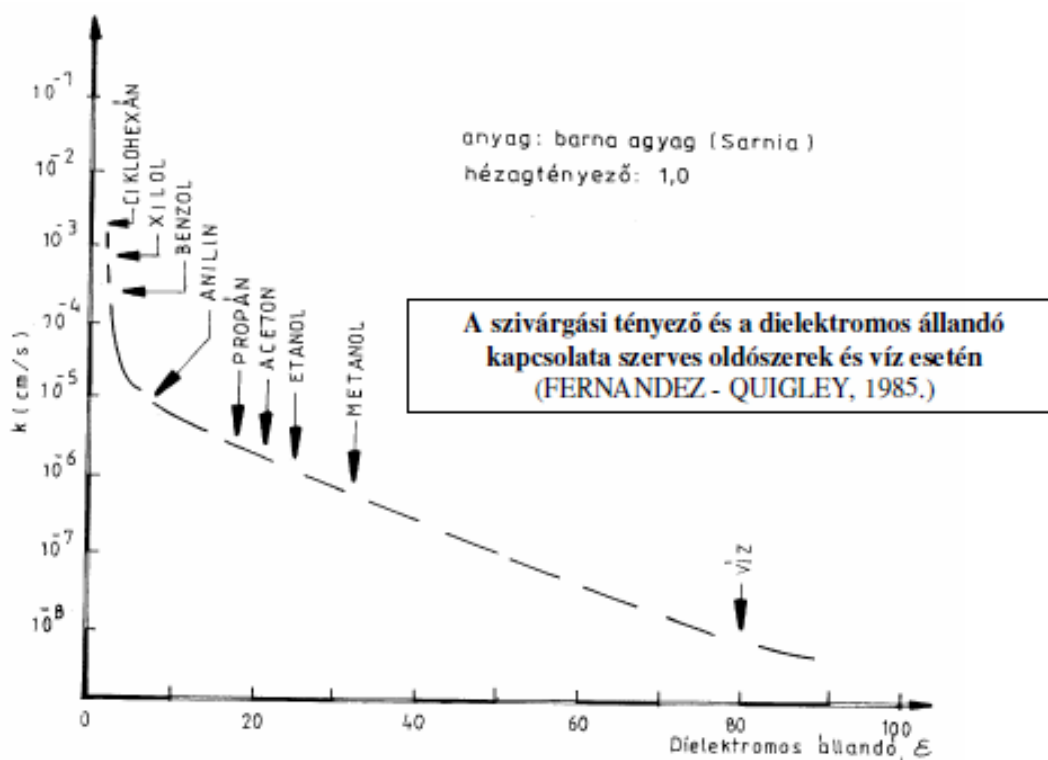
A hulladéklerakók kilúgozódása során nagy valószínűséggel többféle vegyszer jut egyidejűleg a szigetelt rétegbe. Sajnos, az ilyen keverékeknek a szivárgási tényezőre gyakorolt hatásáról még keveset tudunk, s nem is valószínű, hogy erre vonatkozóan hamarosan általános érvényű következtetéseket tehetünk.

3. táblázat A pórusfolyadék egyes paramétereinek növekedtével a talajszerkezetben és a szivárgási tényező értékének változásában várható változások (MÁRK, 1991.)

	Kettősréteg	Talajszerkezet	Szivárgási
--	-------------	----------------	------------

Paraméter	vastagság	diszperzióra	flokkulációra	tényező
		való hajlam		
dielektromos állandó (relatív permittivitás)	N	N	CS	CS
elektrolitkoncentráció	CS	CS	N	N
iontöltés	CS	CS	N	N
pH	N	N	CS	CS
ionméret	N	N	CS	CS
hőmérséklet	N	N	CS	CS

Megj.: N: növekedés; CS: Csökkenés



13. ábra: A pórufolyadék dielektromos állandójának (permittivitásának) hatása a szivárgási tényező értékére (FERNANDEZ – QUIGLEY, 1985)

Mindamellet az utóbbi időben biztató eredmények születtek a szigetelőréteg és a csurgalékvíz kompatibilitását befolyásoló paraméterek egyidejű figyelembevételére. Biztatónak látszik a MANASSERO és SHACKELFORD (1994.) által javasolt módszer. Szerintük a szigetelőrétegnek egy adott vegyülettel szembeni alkalmasságát, ellenállóképességét az ún. *kompatibilitási index*-szel (I_c) jellemezhetjük. Az I_c meghatározása a következő összefüggés alapján történik (MANASSERO, 1995):

$$I_c = (10A)^{0,271} \times \left(\frac{80,4}{\epsilon}\right)^{0,262} \times \left(\frac{10c}{c_s}\right)^{0,5} \times \left(\frac{6,329\rho}{\rho_v}\right)^{0,494}$$

ahol:

A: a talaj SKEMPTON-féle aktivitása (értéke 0,1-7,0 között változik);

ε : a dielektromos állandó (értéke 1-80,4 között változik);

$\frac{c}{c_s}$: a relatív oldhatóság mértéke (0,1-1,0 közötti érték);

ρ : a sűrűség (értéke általában 0,157-1,62 g/cm³ között változik);

ρ_v : a víz sűrűsége (az összefüggésben $\rho_v = 1$ g/cm³).

Ha a szélső értékeket behelyettesítjük, akkor azt kapjuk, hogy

$$1 \leq I_c \leq 100$$

Eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy adott vegyülettel, csurgalékvízzel szemben a szigetelőréteg várhatóan ellenálló, azaz vízzáróságát megtartja, ha $I_c < 25$.

2.2.3. Szigetelőrendszerek egyenértékűsége

2.2.3.1. Az egyenértékűség definíciója, a meghatározás alapelve és nehézségei

A hulladéklerakók kialakítását, üzemeltetését szabályozó 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet az altalaj (földtani közeg) esetében 1,0-5,0 m vastag, $k < 10^{-9}$ m/s szivárgási tényezőjű, természetes településű réteget kíván meg. Amennyiben ez a réteg nem áll rendelkezésre, úgy az *előírttal egyenértékű és legalább 0,5 m vastag kiegészítő szigetelő réteget ír elő*. Ez azt jelenti, hogy az *altalaj adottságok hiánya csak természetes anyagú és építet réteggel pótolható*.

Az egyenértékűség meghatározása esetén abból kell kiindulni, hogy *mind vízzáróság, mind a szennyezőanyag visszatartó képesség szempontjából az alternatív szigetelő-rendszernek azonos vagy kedvezőbb tulajdonságúnak kell lennie, mint a rendeletileg előírt szigetelés*. Azaz a hidrodinamikai folyamatokon kívül a szennyezőanyag transzport szempontjából is teljesülniük kell az egyenértékűségi kritériumoknak.

Definíció szerint: két szigetelőrendszer akkor tekinthető egyenértékűnek, ha a kialakuló szivárgási térben kialakuló kumulatív szennyezőanyag-áramok azonosak (LAKATOS-SZABÓ, 1997). Ez annyit jelent, hogy a szigetelőréteg alján időegység vagy egy vizsgált időszak alatt kilépő kémiai anyagmennyiség az alternatív szigetelőrendszer esetén nem érheti el a rendeletben meghatározott (standard) szigetelőrendszer esetén időegység alatt kilépő kémiai anyagmennyiséget.

Az egyenértékűség meghatározásánál tehát a végcél az *időben változó szennyezőanyag-áramok által szállított kémiai anyagmennyiség, illetve ennek egy időintervallumra meghatározott kumulatív, azaz összegzett nagyságának meghatározása*, ami csak a rendszerben kialakuló koncentrációk ismeretében lehetséges.

Problémát jelent, hogy a rendelet a megadja a standard szigetelőrendszer esetén a megkívánt vízföldtani jellemzőket, ugyanakkor nem számszerűsíti a megkívánt terjedési tulajdonságokat, ezért a rendeletben előírt réteg esetén becsült, mértékadó terjedési jellemzőkkel kell számolni.

Az advektív, diszperzív anyagáramok, illetve a szorpció és bomlás miatt módosuló anyagmérleg segítségével írható fel a transzport-egyenlet, amelynek segítségével végezzük az egyenértékűségi vizsgálatokat. *A kumulatív anyagáram a transzportfolyamat-elemek anyagáramai összegeként írható fel:*

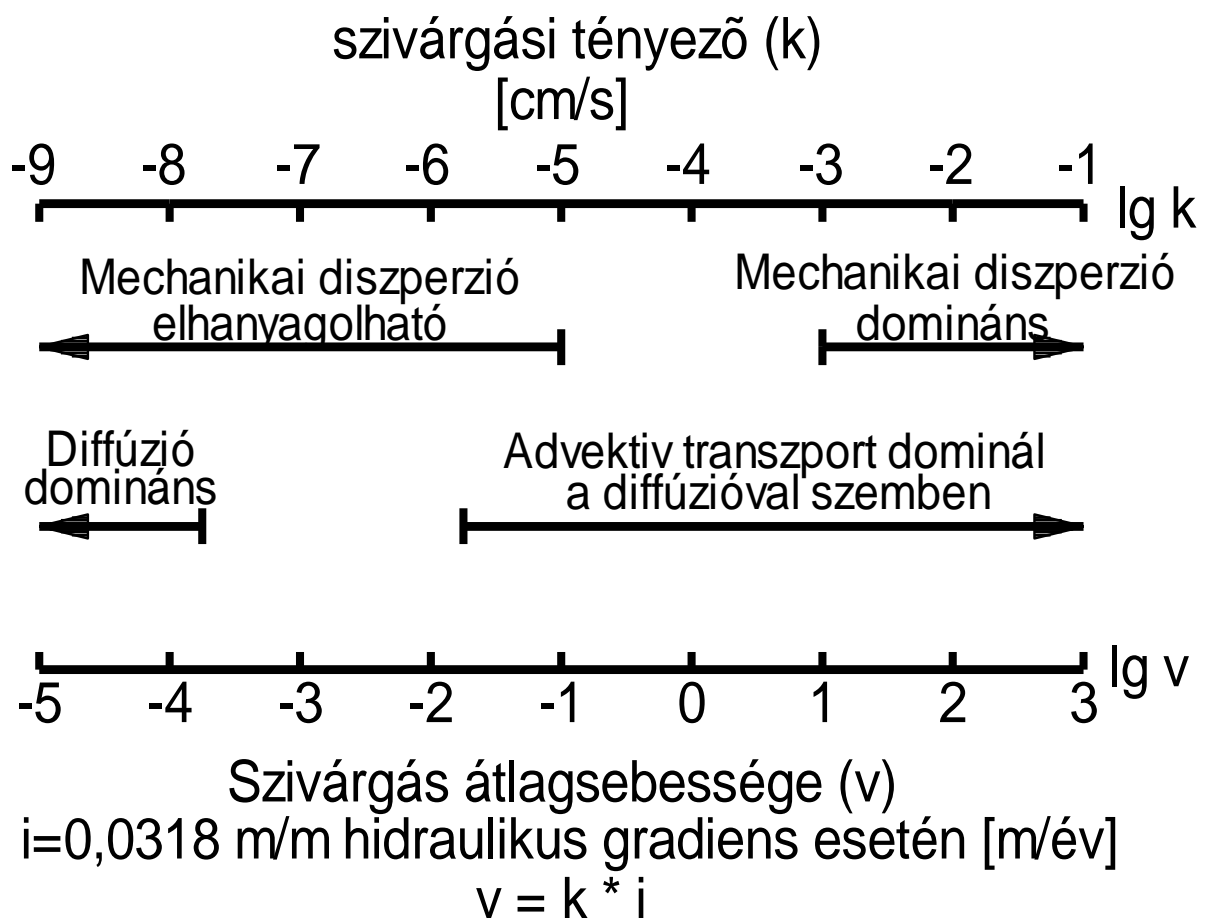
$$J_k = \frac{dM}{Vdt} = J_a + J_{\text{diszp}} \pm J^* - J_b = J_a + (J_{\text{diff}} + J_{\text{Hdiszp}}) \pm J^* - J_b$$

a jelölések:

J_k a kumulatív anyagtranszport eredője,

- J_a az advektív,
- J_{diszp} a diszperzív,
- J_{diff} a diffúzív,
- J_{Hdiszp} a hidrodinamikai diszperzió,
- J^* a szorpció miatti, J_b a bomlás következtében fellépő szennyezőanyag áram.

A szigetelő rendszereken keresztül történő szennyezőanyag-mozgás során a transzport-folyamatok mindegyike szerepet játszik, ugyanakkor az egyes folyamatok miatt kialakuló szennyezőanyag-áramok jelentős mértékben eltérnek egymástól. Amennyiben a szivárgás sebessége jelentős (áramló talajvíz esete), akkor az advektív transzport mellett a hidrodinamikai diszperzió okozza a szennyezőanyag szóródását, melyhez képest a diffúzió okozta anyagáramok elhanyagolhatóvá válnak. Ha azonban a szivárgás sebessége kicsi, akkor a diffúzió válik dominánssá, mivel a hidrodinamikai diszperzió-állandó ekkor sebesség-arányosan kicsi. (14). A szennyezőanyag diszperziója, szóródása ezért mindenképpen bekövetkezik, azonban a diszperziót okozó domináns folyamat különbözhet.



14. ábra: A konvektív transzport, a diffúzió és a mechanikai diszperzió okozta anyagáramok összevetése a szivárgási sebesség (szivárgási tényező) függvényében (ROWE, 1987.)

2.2.3.2. A szigetelőrétegek (gátak) típusai, az egyenértékűség általános feltételei

Általánosságban a transzport-egyenlet alapján felírható egy A és egy B szigetelőrendszer egyenértékűségének általános feltétele:

$$J_k^A = J_k^B,$$

azaz

$$J_a^A + (J_{\text{diff}}^A + J_{\text{Hdiszp}}^A) \pm J_b^{*A} - J_b^A = J_a^B + (J_{\text{diff}}^B + J_{\text{Hdiszp}}^B) \pm J_b^{*B} - J_b^B.$$

A szennyezőanyagok szigetelőrendszeren keresztül történő mozgásában három folyamatot célszerű elkülöníteni (LAKATOS-SZABÓ, 1997):

Hidrodinamikai transzportfolyamatok, amelyek a szigetelőrendszer két oldala között mérhető nyomáskülönbség, illetve a hidraulikus gradiens hatására alakul ki (advektív transzport, hidrodinamikai diszperzió).

Diffúziós transzportfolyamatok, amelyek hajtóereje a gát két oldala között fellépő koncentrációkülönbség, illetve koncentráció gradiens.

A szigetelőrendszerben lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok (szorpció, szennyezőanyag mechanikai visszatartása, kémiai átalakulások) miatt a gát szennyezőanyag forrásként vagy nyelőként való működése.

A három folyamat alapján a szigetelőrendszerek lehetnek: *inaktív-, és reaktív gátak*.

Inaktív gátak

Amennyiben a gátban forrás/nyelő jellegű transzportfolyamatok nem játszódnak le, akkor *inaktív gátról* vagy inaktív szigetelőrendszerről beszélhetünk, amennyiben igen, úgy *reaktív gátról* (szigetelőrendszerről) van szó. Az inaktív gátakban csak hidrodinamikai és diffúziós transzportfolyamatok játszódhatnak le. Általában inaktív gátaknak tekinthetők a geomembránok, illetve ide sorolhatók a kis vastagságú szigetelőrendszer elemek is.

Az inaktív gátakat a vízvezető képességük alapján három csoportba célszerű osztani: áteresztő vagy permeábilis rendszerek, féligáteresztő vagy szemipermeábilis rendszerek, illetve vízrekesztő vagy impermeábilis rendszerek.

A permeábilis, inaktív gátak esetén a szennyezőanyag terjedése uralkodóan a hidrodinamikai transzportfolyamatok következtében megy végbe. Az ilyen gátakban a szivárgási sebesség 10^{-7} m/s-nál nagyobb. Ebben az esetben a diffúzió miatti anyagáramok elhanyagolhatók, ezért az egyenértékűség feltétele:

$$J_a^A + J_{\text{Hdiszp}}^A = J_a^B + J_{\text{Hdiszp}}^B.$$

A féligáteresztő, inaktív gátaként működő szigetelőrendszerek esetén a hidrodinamikai és a diffúziós anyagáramok összemérhetők, ezért az egyenértékűség általános feltétele:

$$J_a^A + (J_{\text{diff}}^A + J_{\text{Hdiszp}}^A) = J_a^B + (J_{\text{diff}}^B + J_{\text{Hdiszp}}^B)$$

A vízrekesztő, inaktív szigetelőrendszerekben a szivárgás sebessége kisebb, mint 10^{-10} m/s. Ebben az esetben a hidrodinamikai transzport alárendelt a diffúzióhoz képest, ezért az egyenértékűség feltétele:

$$J_{\text{diff}}^A = J_{\text{diff}}^B$$

Reaktív gátak

A reaktív gátak a szennyezőanyag-transzportra nézve – kémiai értelemben – nem indifferensek. Azaz reaktív gátakban a szigetelőrendszer szennyezőanyag-forrásként vagy -nyelőként is szerepet játszik.

A kémiai szerep szerint a gátakat két csoportra célszerű osztani (LAKATOS-SZABÓ, 1997):

A fizikai vagy szorpciós gátak jelentős szennyezőanyag visszatartó képességgel rendelkeznek, adszorpciós, kemisorpciós vagy mechanikai kiszűrődést eredményező tulajdonságúak. Ide sorolhatók az agyagszigetelő rétegek, speciális hidrogél-gátak. A fizikai vagy szorpciós gátak jellemzője, hogy a szigetelőrendszer a működés elején igen jelentős szennyezőanyag-nyelő képességgel rendelkezik, majd a gát anyaga a szennyezőanyagra nézve lassan telítődik, ezért a szigetelő képesség idővel jelentősen lecsökken.

A kémiai reaktív gátak speciális anyagokból épülnek fel, melyek egy speciális szennyezőanyag környezetre kevésbé veszélyes, vagy veszélytelen anyaggá történő átalakítására alkalmasak.

Ezek a rendszerek *permeábilis gátak*, ahol fontos, hogy a szennyezőanyag átjusson a gáton, miközben a kémiai átalakulás megtörténi. A gát tehát a szennyező anyagra nézve nyelőként, az átalakított anyagra nézve forrásként üzemel. A kémiai reaktív gátak idővel kimerülnek, a nyelő és forrásképeség lecsökken, azaz a gát ideiglenes hatású. A kémiai gát hatékonysága szivárgási sebesség függő, gyors szivárgás esetén nincs meg a szükséges tartózkodási vagy kölcsönhatási idő.

A hulladékelhelyezés területén elsősorban szorpciós gátakat alkalmaznak, a kémiai reaktív gátak legfontosabb alkalmazási területe a szennyezett területek kármentesítése.

2.2.3.3. Az egyenértékűség számítás gyakorlati lehetőségei

Az inaktív és a szorpciós reaktív gátak esetében számos egyszerű számítási lehetőség kínálkozik, melyekkel a szigetelőrendszerek egyenértékűsége igazolható, nagy valószínűséggel becsülhető.

Itt kell megállapítani, hogy *általánosan érvényes egyenértékűség két szigetelőgátra sosem állhat fenn, ezért szükséges a számítások specifikus körülményeit, a kiindulási feltételeket, az alkalmazás körülményeit és a vizsgált szennyezőanyagot megadni, amire az egyenértékűség fennáll.* A reaktív gátak esetében az egyenértékűségnek *időbeli korlátja* is van.

Az egydimenziós transzportegyenlet OGATA-BANKS-féle megoldása

A szigetelőrendszereken keresztül történő szennyezőanyag mozgás jó közelítéssel egydimenziós folyamat. Ennek az 1D folyamatnak a követése számos egyenértékűségi számítás elvégzésére nyújt lehetőséget. Ebben az esetben az 1D transzport-egyenletet az alábbi peremfeltételek mellett oldjuk meg:

$$C(0, t) = \begin{cases} 0, & \text{ha } t < 0 \\ C_0, & \text{ha } t \geq 0 \end{cases} \quad \text{és} \quad \begin{cases} C(\infty, t) = 0, & \text{minden } t \text{ - re} \\ C(x, 0) = 0, & \text{ha } x > 0 \end{cases} .$$

A szivárgás iránya megegyezik az x tengellyel és a közeg homogénnek tekinthető.

A megoldást OGATA (1970), OGATA és BANKS (1961), valamint GUPTA és PANDEY (1980) adta meg egymástól alig eltérő formában:

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \exp\left(\frac{x}{2\alpha_L}\right) \left[\exp\left(\frac{-\gamma x}{2\alpha_L}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{\frac{x - \bar{v}t\gamma}{R}}{2\sqrt{\frac{\alpha_L \bar{v}t}{R}}}\right) + \exp\left(\frac{\gamma x}{2\alpha_L}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{\frac{x + \bar{v}t\gamma}{R}}{2\sqrt{\frac{\alpha_L \bar{v}t}{R}}}\right) \right] \quad (2.2.1)$$

ahol C_0 a belépő (influens) koncentráció, ami esetünkben a csurgalékvíz koncentrációjának felel meg,

$$\gamma = \sqrt{1 + \frac{4\lambda\alpha_L R}{\bar{v}}}$$

és erfc a standard hibafüggvény komplementere. A megoldással a szorpciós reaktív gátak viselkedését is vizsgálhatjuk, feltételezve, hogy nincs bomlás és hogy a szorpció lineáris, mert ebben az esetben a szorpciós folyamatokat az R késleltetés írja le.

Amennyiben a gát inaktív akkor a (2.2.1.) egyenletben $R=1$.

Nagy Peclet-számok, azaz reaktív vagy inaktív permeábilis gátak esetén, amikor

$$Pe = \frac{x}{\alpha_L} = \frac{x \cdot \bar{v}}{D^*} > 10$$

a (2.1.) egyenlet jól közelíthető az alábbi formulával:

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \exp\left(\frac{x}{2\alpha_L}(1-\gamma)\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{\frac{x - \bar{v}t\gamma}{R}}{2\sqrt{\frac{\alpha_L \bar{v}t}{R}}}\right) \quad (2.2.2)$$

Amennyiben a nem bomló szennyezőanyag az áramlási közeg felületén nem adszorbeálódik (inaktív permeábilis gátak) ($R=1$ és $\lambda=0$), a (2.2.2.) összefüggés tovább egyszerűsödik:

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x - \bar{v}t}{2\sqrt{\alpha_L \bar{v}t}}\right) \quad (2.2.3.)$$

Az OGATA-féle oszlopkísérlet megoldásából indult ki SHACKELFORD (1990), amikor a szigetelőrétegen való átjutáshoz szükséges idők számítására alkalmas megoldást fejlesztett ki. A megoldás alapja a (2.2.4.) egyenlet, amely a (2.2.1.) egyenletből származtatható:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{1 - T_R}{2\sqrt{T_R/P_L}}\right) + \exp(P_L) \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{1 + T_R}{2\sqrt{T_R/P_L}}\right) \right] \quad (2.2.4.)$$

ahol $T_R = Co_R = \frac{\bar{v} \cdot t}{R \cdot x}$ a Courant-szám és

$$P_L = Pe = \frac{\bar{v} \cdot x}{D^*} \text{ a Peclet-szám.}$$

\bar{v} : az átlagos szivárgási sebesség ($v = k \cdot I$ a Darcy törvény alapján)

Szemipermeábilis és impermeábilis gátak esetén $D^* = D_{eff} + \bar{v} \cdot \alpha_L$, permeábilis gátaknál $D_{eff} \ll \bar{v} \cdot \alpha_L$, ezért $D^* \cong \bar{v} \cdot \alpha_L$ diszperzió-állandó használható.

A megoldás során az a kérdés, hogy konstans C_0 koncentrációjú influens oldat (csurgalékvíz) esetén egy adott x távolságban (azaz az x vastagságú szigetelőréteg mentett oldalán) mekkora t idő elteltével válik a koncentráció C értékűvé.

A feladat tehát inverz: nem a koncentrációt keressük a hely és az idő függvényében [$C=C(x,t)$], hanem a t időpontot egy adott x helyen a bemenő és a kialakuló koncentráció függvényében [$t=t(C,C_0)$].

A keresett t időpontot csak a T_R Courant-szám ismeretében kaphatjuk meg, ez azonban zárt alakban a (2.2.4.) egyenletből nem vezethető le. A számításokhoz egy nomogramot használunk fel, amely az adott Peclet-számok esetére a Courant-szám és a C/C_0 relatív koncentráció közötti összefüggést ábrázolja (15).

A megoldás lépései:

1. Az adott x távolságra (pl. szigetelőréteg vastagságra) meghatározzuk a

$$P_L = Pe = \frac{\bar{v} \cdot x}{D^*} \text{ Peclet-számot.}$$

2. Meghatározzuk a szigetelőrendszer védett oldalán megengedett, vagy a vizsgált C koncentrációhoz tartozó

C/C_0 relatív koncentrációt.

3. A C/C_0 koncentrációérték mellett a **15. ábra** leolvassuk az 1. lépésben számított Peclet-számhoz tartozó

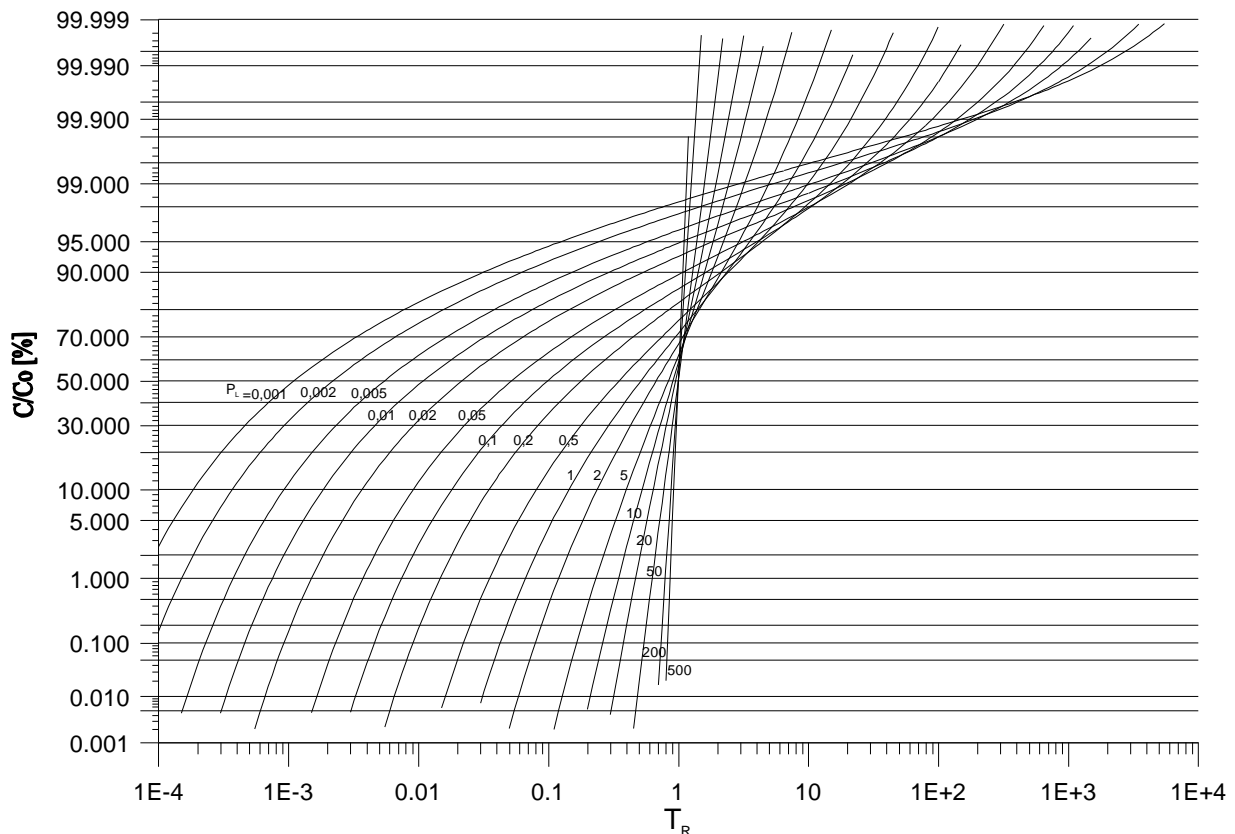
T_R értéket (az ún. Courant-számot).

4. A C koncentráció eléréséhez szükséges t időt a

$$T_R = Co_R = \frac{\bar{v} \cdot t}{R \cdot x} \text{ egyenlet alapján számítjuk:}$$

$$t = \frac{T_R \cdot R \cdot x}{\bar{v}} .$$

5. Összehasonlítjuk a kapott t időtartamot a megkívánt időtartammal. Amennyiben a kapott t érték kisebb, mint a szükséges 30 vagy 50 éves időszak akkor a szigetelőréteg vastagsága kevés az egyenértékűséghez, azaz vastagabb szigetelőréteg beépítése szükséges. A számítást addig ismételjük, amíg az adott koncentráció eléréséhez szükséges t idő nagyobb lesz, mint a minimálisan megkívánt időtartam.



15. ábra: Összefüggés a Courant-szám és a C/C_0 relatív koncentráció között (SHACKELFORD, 1990.)

2.2.3.4. A mértékadó csurgalékvíz-összetétel meghatározása

A hulladéklerakó aljzatszigetelésének egyenértékűség vizsgálatát megelőzően meg kell határozni a mértékadó csurgalékvíz-összetételt. A mértékadó csurgalékvíz-összetétel meghatározása alapulhat:

- egy a területen korábban üzemeltetett másik, korábbi hulladéklerakó csurgalékvizének kémiai analízisén,
- ennek hiányában egy másik hazai, hasonló környezetben épült, hasonló összetételű hulladékot befogadó, üzemelő hulladéklerakó csurgalékvizének vegyelemzésén,
- végső esetben pedig szakirodalmi adatokon: pl. SZABÓ (1995), GAEKE et al. (1977), MÜNK et al. (1989) munkái alapján meghatározott értékeken.

A csurgalékvíz összetétel alapján hat eltérő viselkedésű anyagcsoportot szükséges vizsgálni.

1. csoport: alkáli fémek és alkáli földfémek kationjai (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Ba^{++} , stb.)
2. csoport: halogenidek ionjai (elsősorban Cl^- , I^-)
3. csoport: nehézfémek (Ni , Cu , Zn , Fe , Mn , Cr , Cd)
4. csoport: klórozott szénhidrogének (diklór-etán, triklór-etilén, tetraklór-etilén, diklór-propán, klórbenzol, széntetraklorid, kloroform, stb)
5. csoport: alkoholok vagy alkohol-származékok (metanol, etanol, glicerin, aldehidek, ketonok, esetleg éterek)
6. csoport: aromás vegyületek (benzol, toluol, xilol)

A hat anyagcsoport közül az első vizsgálata csak akkor szükséges, ha a csurgalékvízben – a lerakott hulladék specialitása folytán – az anyagcsoport bármelyik eleme kiugróan magas

koncentrációit lehet mérni, mivel ezen anyagcsoport elemeire szennyezettségi, intézkedési határértékek nincsenek.

A 2-5. csoportok tekintetében a csurgalékvíz összetétel alapján legveszélyesebbnek ítélt 1-1 komponenst célszerű minimálisan vizsgálni, amennyiben a csoport elemei a csurgalékvízben megtalálhatók. A felsorolt anyagcsoportokból mindig csak a transzportfolyamatok szempontjából legkedvezőtlenebb komponensre szükséges a számítást elvégezni, ahol a kedvezőtlenesség mértékét a csurgalékvízben várható koncentráció maximumának és a mentett oldalon 30 vagy 50 év múltán megengedhető koncentráció hányadosa adja (ez a mérőszám megfelel a Shackelford módszernél használt C/C_0 mennyiségnek).

2.2.3.5. *Advektív-diszperzív egyenértékűség számítása*

Az advektív-diszperzív egyenértékűség bizonyítása a Shackelford-módszerrel történhet. A számítást a (2.4.) egyenlet alapján a leírt lépések szerint, a **15** segítségével kell elvégezni. Sajnos ez a számítás is csak homogén rétegre végezhető el.

Több, eltérő tulajdonságú réteg esetén a számítás korrekt módon csak numerikus úton végezhető el.

Amennyiben az alternatív szigetelőrétegről bebizonyítható, hogy mind az advekció, mind a diffúzió, mind a diszperzió szempontjából az egyenértékűség kritériumai egyidejűleg fennállnak, akkor a szigetelőrendszer alternatív eleme a 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet értelmében egyenértékűnek tekinthető. Amennyiben az említett számítások ilyen módon nem végezhetők el, akkor bonyolultabb numerikus számítások elvégzése szükséges.

2.2.4. **A csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése, méretezése**

Az aljzatszigetelő rendszernek szerves része egy, a csurgalékvizek gyűjtésére, elvezetésére és ellenőrzésére szolgáló hatékony szivárgórendszer, amit összefoglaló néven csurgalékvízgyűjtő rendszernek nevezünk. Mint már a neve is jelzi, itt is egy több, önálló funkcióval rendelkező elemből felépülő rendszerről van szó.

A hulladék és az első szigetelőréteg közé kerülő szivárgórendszer (szivárgópaplan) is legalább két rétegből épül fel. A szigetelőrétegre kerül a csurgalékvízgyűjtő és elvezető rendszer, majd e réteg és a hulladék közé egy szűrő-védő réteget építenek be. Funkciója – mint a neve is mutatja – kettős: egyrészt elősegíti a csurgalékvíz bejutását a gyűjtő és elvezető rendszerbe, másrészt védi azt a hulladékból bemosódó finom szemcsék bejutásától, megakadályozva eltömődését. A réteget - akár természetes anyagú (laza szemcsés közet), akár műanyag (műszaki vagy geotextília) - méretezni kell. Ugyancsak méretezni kell a csurgalékvízgyűjtő rendszert, hogy a szigetelőrétegnél a megengedettnél nagyobb hidraulikus gradiens ne alakuljon ki, azaz a lejutó csurgalékvizeket visszaduzzasztás nélkül tudja elvezetni.

A második szivárgóréteg, ha van, az első szigetelőréteg alá kerül, és úgyszintén kettős célt szolgál: elsődleges az ellenőrzési funkció (jelzi a szigetelőrendszer meghibásodását) és másodlagos a gyűjtő-elvezető funkció.

*A 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet 1.sz. mellékletének 1.3.3. pontja szerint a csurgalékvízgyűjtő kialakítására vonatkozó előírásokat a **4. táblázat** foglalja össze.*

4. táblázat A csurgalékvízgyűjtő kialakítására vonatkozó előírások

	Inert hulladék-lerakó	Nem veszélyes hulladékok lerakója	Veszélyeshulladék-lerakó	
			Felső szivárgó paplan	Második szivárgó-ellenőrző réteg
Vastagsága (m)	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3
Anyaga	16/32 v. 24/40 mosott kavics	16/32 v. 24/40 mosott kavics	16/32 v. 24/40 mosott kavics	–
Megkívánt k tényező (m/s)	$>10^{-3}$	$>10^{-3}$	$>10^{-3}$	$>10^{-3}$

Ha az előzetes felmérések alapján a hulladéklerakó környezetre gyakorolt hatását követően megállapítást nyert, hogy a hulladéklerakó nem jelent potenciális veszélyt a földtani közegre, a felszín alatti vagy felszíni vízre, azaz a csurgalékvízgyűjtő rendszer vastagságát, a dréncsőtávolságot, az esésviszonyokat elfogadott méretezés alapján határozzuk meg, akkor lehetőség van a kisebb vastagsági érték választására. A 0,5 méternél kisebb rétegvastagságot méretezni kell.

Abból adódóan, hogy a csurgalékvízgyűjtő rendszer eleget tegyen a vonatkozó rendelet előírásának, de ugyanakkor a kialakítása is a lehető leggazdaságosabb legyen, a méretezést az alábbi problémákkal kell foglalkoznunk:

- a csurgalékvízgyűjtés hatékonyságának a hosszútávú biztosítása;
- a megfelelő anyag kiválasztása;
- hatékony csurgalékvízvezetést biztosító dréncsőtávolság – rétegvastagság-esés viszony megválasztása.

2.2.4.1. A szűrő-védő réteg méretezése

A szűrő-védő réteg, – ha van – általában a hulladék és a felső geomembrán fölötti szivárgópaplan közé kerül, de egyszerűbb esetekben szerepét betöltheti maga a szivárgóréteg is. Feladata kettős:

- biztosítani a csurgalékvíz bejutását a szivárgórétegbe;
- megakadályozni a hulladékból kimosódó finom szemcsék révén a szivárgóréteg eltömődését.

Anyaga lehet:

- természetes és
- mesterséges (geotextília).

A természetes anyagú szűrőréteg: meghatározott, a szűrőszabálynak megfelelő szemcseeloszlású homokból, homokos kavicsból vagy kavicsból épített réteg. A szűrőréteg szemeloszlását alapvetően a hulladék szemcsemérete és szemeloszlása fogja meghatározni, s alkalmazhatunk bármely, már jól bevált szűrőszabályt (pl. kútszűrők, szivárgók méretezése). A klasszikus megoldás a TERZAGHI féle szűrőszabály, ami a következőket kívánja meg:

$$\frac{D_{15sz}}{d_{85h}} < 4 < \frac{D_{15sz}}{d_{15h}}$$

A szűrőréteg szemeloszlása megfelelő, ha a szemeloszlási görbén a 15 súlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő (D_{15sz}) legalább négyszerese a hulladék megfelelő szemcseméretének (d_{15h}), de legfeljebb negyede a 85 súly %-hoz tartozó hulladék szemcseátmérőjének (d_{85h}).

A TERZAGHI módszerén kívül számos egyéb szűrőszabály is ismert, alapgondolatuk lényegében ugyanaz, nevezetesen, hogy a szűrőréteg szemeloszlási görbéjének lefutása közelítőleg párhuzamos legyen a védendő rétegével. Ugyanezen az elven alapul a hulladéklerakóknál jól bevált amerikai ajánlás is (EPA, 1985.), amely alapgondolatában a TERZAGHI szabálynak megfelelő:

$$\frac{D_{15sz}}{d_{85h}} < 5$$
$$\frac{D_{50sz}}{d_{50h}} < 25$$
$$4 < \frac{D_{15sz}}{d_{15h}} < 20$$

Amennyiben a hulladék (vagy az alulra kerülő finomabb réteg) szemeloszlása nagyon egyenletes (pl. monodepóniák, pernye), azaz $U < 1,5$, úgy

$$\frac{D_{15sz}}{d_{85h}} < 6$$

Egyenlőtlen szemcseeloszlásnál ($U > 4$) használható:

$$4 < \frac{D_{15sz}}{d_{15h}} < 40$$

A szűrőszabály alkalmazásánál leginkább problematikus, hogy ritkán ismerjük a lerakandó hulladék ténylegesen várható szemeloszlását, s néhány hulladékfajtánál a "szemcse"-méret is rendkívül tág határok között változhat.

2.2.4.2. A geotextiliák kiválasztása

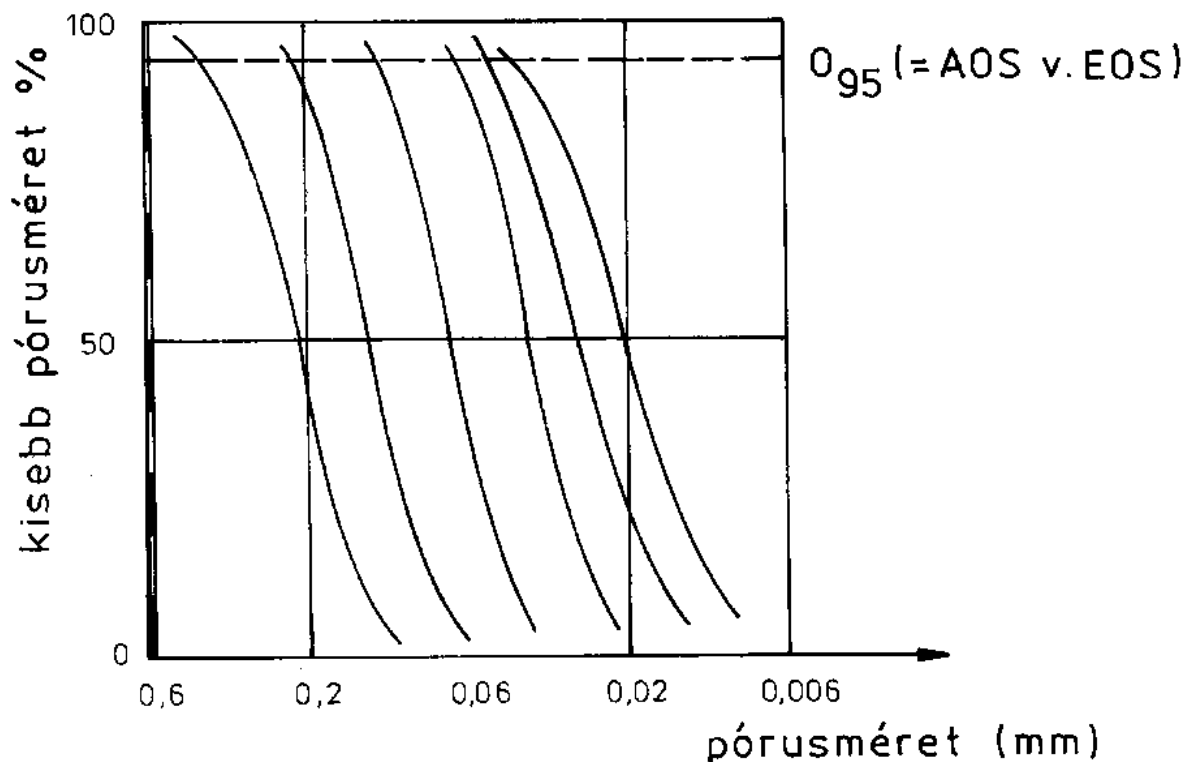
A szűrő-réteget az esetek többségében egy a csurgalékvízgyűjtő réteg fölé kerülő geotextília jelenti, amit a csurgalékvízgyűjtő hatékonyságának hosszú távú fenntarthatósága érdekében *célszerű méretezni*.

A geotextiliák választásánál jelen esetben a következőket kell mérlegelni, vizsgálni:

- biológiai, kémiai, fotokémiai és hőmérsékleti stabilitás;
- megfelelő húzószilárdság, szakadási-nyúlás;
- pontszerű erővel szembeni ellenállóképesség;
- fajlagos tömeg;
- vízáteresztő-képesség;
- szűrőképesség.

Szűrő-védő réteggént való méretezésnél kettős szerepét (legyen áteresztő, de akadályozza meg az eltömődést) kell figyelembe venni, ugyanakkor méretezni kell a várható mechanikai igénybevételekre is.

A *geotextiliák áteresztőképessége* (éppúgy, mint a kőzeteknél) a *pórusméret-eloszlásnak* lesz a függvénye, ami vizsgálatokkal egyszerűen meghatározható (KOERNER, 1986.), és a szemeloszlási görbékhez hasonlóan ábrázolható **(16)**.



16. ábra: Geotextiliák pórusméret-eloszlási görbéi. Az O95-érték értelmezése (KOERNER, 1986.)

A szűrőréteggént való méretezésénél felhasználhatjuk a pórusméret-eloszlási görbét (amit a gyártók is rendszerint megadnak), de *elegendő csak egyetlen pórusméret ismerete is*. Az O₉₅ értelmezése a **16. ábra** található, s nem más, mint az a pórusméret, aminél a szövet pórusainak 95%-a kisebb. Meghatározása a pórusméret-eloszlási görbe hiányában kísérleti úton történik. A gyártók gyakran adják meg az O₉₅ helyett az AOS (**a**pparent **o**pening **s**ize) vagy az EOS (**e**quivalent **o**pening **s**ize) számot, ami valójában ugyanazt jelenti, de nem szemcseméretben (mm), hanem *szabvány szerinti szítaszámmal kifejezve*.

Hasonlóan a laza-szemcsés közetekre vonatkozó szűrőszabályhoz, a geotextiliák szűrőképességére is *számos kritérium ismert*, de ezek többségét is talajokra dolgozták ki, így alkalmazásuk némi óvatosságra int. A legátfogóbb ajánlási rendszert GIROUD (1982.; 1988; 1994.) adja, amit a **5. táblázat** található.

5. táblázat A geotextiliákra vonatkozó szűrőszabály (GIROUD, 1982□ 1988□ 1994.)

Relatív tömörség	1 < U < 3	U > 3
Laza	$O_{95} < U^{0,3} \cdot d_{85h}$	$O_{95} < 9 \cdot d_{85h} / U^{1,7}$
Közepesen tömör	$O_{95} < 1,5 \cdot U^{0,3} \cdot d_{85h}$	$O_{95} < 13,5 \cdot d_{85h} / U^{1,7}$
Tömör	$O_{95} < 2 \cdot U^{0,3} \cdot d_{85h}$	$O_{95} < 18 \cdot d_{85h} / U^{1,7}$

ahol:

d_{85h} : a 85 súly %-hoz tartozó szemcseátmérő (hulladék vagy a geotextília fölötti szemcsés réteg);

U: egyenlőtlenségi modulus ($U = d_{60} / d_{10}$);

O₉₅: pórusméret, amelytől a geotextília pórusainak 95%-a kisebb.

A geotextília vízátbocsátása megfelelő, ha

$$k_{gt} > 10 \cdot k_h \cdot i$$

ahol

k_{gt} : a geotextília "szivárgási tényezője";

k_h : a hulladék alsó rétegének (vagy a geotextília feletti talajrétegnek) a szivárgási tényezője;

i : a hidraulikus gradiens értéke (hulladéklerakók csurgalékvízgyűjtőjénél $i_{\text{átlag}} \approx 1,5$).

Kétségtelen, hogy a szűrőréteggént használt geotextíliák a hulladékkal érintkezve hajlamosak az eltömődésre, a fentiekben ismertetett szűrőszabályok tehát elsősorban tájékoztató értékűek, *igazán jó eredményt csak a tényleges, előzetes laboratóriumi vizsgálatoktól várhatunk.*

A szivárgóréteg (paplan) alapvető rendeltetése, hogy

- a fölötté lévő szűrő-védő rétegen átjutó csurgalékvizet a lehető legkisebb ellenállással gyűjtse össze és vezesse el;
- akadályozza meg a megengedettnél nagyobb folyadéknomás (általában $h_{\text{max}} < 30-50$ cm) kialakulását;
- csökkentse a csurgalékvíznek az alatta lévő szigetelőrétetre jutó káros hatását.

A szivárgóréteg *tervezésénél* kiindulhatunk a *KÖM rendelet előírásából*, hogy vastagsága 30-50 cm, szivárgási tényezője pedig legalább 10^{-3} m/s, vagy nagyobb legyen.

Amennyiben a réteg a szűrő és szivárgó funkciót is betölti, vagyis nincs felette külön szűrőréteg, úgy az előzőekben ismertetett *szűrőszabály* szerint is méretezni kell az eltömődés megakadályozása érdekében.

2.2.4.3. A szivárgóréteg anyaga

A csurgalékvízgyűjtő (szivárgó) réteg anyaga 16/32 vagy 24/40 osztályozott, mosott kavics. A szemcséknek jól koptatottnak kell lenniük, éles törésű ún. közúzalek alkalmazása nem megengedett. Az iszaptartalom max. 0,5 súly %, azon szemcsék aránya amelyeknél az l/d viszonyszám nagyobb mint 3, nem lehet több 20 súly %-nál, ahol:

l : a szemcse hosszmérete;

d : a szemcse keresztirányú mérete.

Durva kavicsnál a töredezett szemcsék aránya nem haladhatja meg a 10 súly %-ot.

A szivárgóréteg anyagának a karbonáttartalma (CaCO_3) 20 % súlyszázaléknál legyen kevesebb.

2.2.4.4. A szivárgóréteg méretezése

Az előírások és a szűrőszabály betartásával megtervezett és beépíteni kívánt szivárgóréteg *hatékonyságát* célszerű konkrét számítással is *ellenőrizni*, hogy meggyőződjünk róla, hogy a *szigetelőréteg fölött nem alakul-e ki a megkívántnál nagyobb víznyomás.*

A méretezésnél a következő probléma megoldására keressük a választ:

a hulladékból adott intenzitással kijutó csurgalékvíz elvezetéséhez milyen legyen a csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése (áteresztőképessége, hossz- és keresztirányú esése,

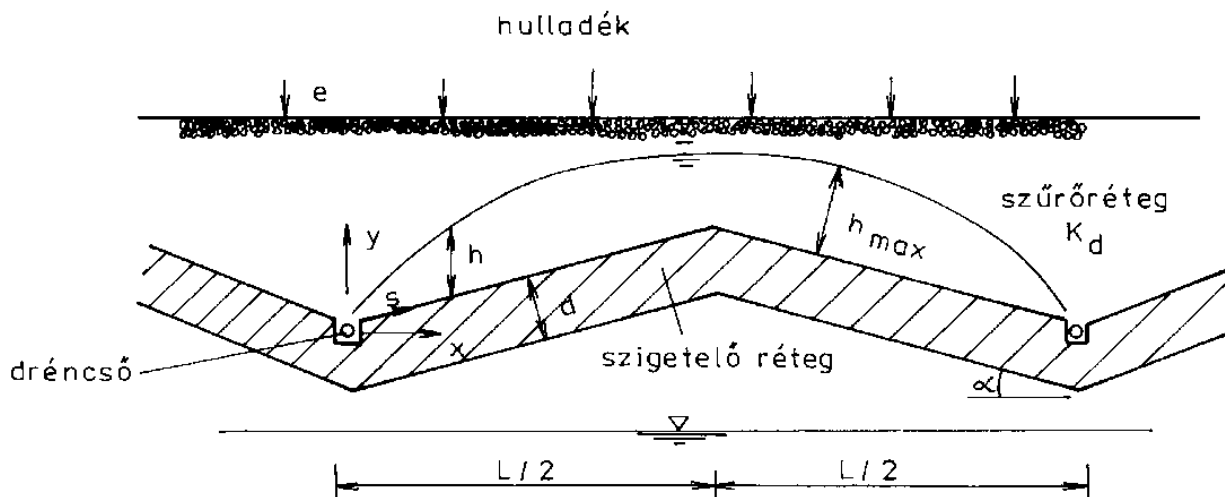
a dréncsővek távolsága), hogy egy megadott h_{max} értéknél nagyobb víznyomás ne alakuljon ki a depónia aljzaton?

A fenti paramétereiből a csurgalékvíz intenzitás (e) és a h_{max} megengedhető nyomómagasság értéke adott. Utóbbinál általában azt kívánjuk, hogy értéke ne haladja meg a 30-50 cm-t, azaz a maximális nyomásszint a szivárgórétegen belül maradjon, a hulladék aljának folyamatos vízben állásának megakadályozása érdekében. A keletkező csurgalékvíz intenzitása többnyire számítható (becsülhető). A tervezés során némi mozgástér a dréncső-távolság, a hossz- és keresztirányú esés, a szivárgó paplan k tényezőjének a megválasztásánál adódik, a három paraméterből kettő rögzítése meghatározza a harmadik értékét.

A 17. ábra csurgalékvízgyűjtő rendszer modelljét szemlélteti. A dréncsővek távolsága L , a szigetelőréteg a dréncsővek felé α szöggel lejt. A hulladékból a szivárgórétegbe bejutó csurgalékvíz intenzitása legyen e . Ha feltételezzük, hogy a szigetelőrétegen keresztül nincs elszivárgás (ha van, az akkor is nagyságrendekkel kisebb, mint a dréncsőben távozó vízmennyiség), akkor a dréncsőtől $L/2$ és $x = s \cdot \cos \alpha$ távolság között egységnyi széles sávon lejutó vízmennyiség egyenlő a dréncső felé a h függőleges metszeten távozó vízmennyiséggel, azaz:

$$e \cdot \left(\frac{L}{2} - s \cdot \cos \alpha \right) = k_d \cdot h \cdot \frac{d}{ds} (h + s \cdot \sin \alpha)$$

A differenciálegyenletet megoldva a h_{max} értéke meghatározható.



17. ábra: A csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezésének modellje I. (McBEAN et al., 1981.)

$$h_{max} = \frac{L \sqrt{\frac{e}{k_d}}}{2} \left(\frac{k_d \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}{e} + 1 - \frac{k_d \cdot \operatorname{tg} \alpha}{e} \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{e}{k_d}} \right)$$

Mint látjuk a csurgalékvíz-felszín nyomásgörbéje felírható a következő általános formában:

$$h_{max} = f(L, \operatorname{tg} \alpha, k_d, e)$$

A drénréteg szivárgási tényezője (k_d), vastagsága (valójában h_{max} , mert a csurgalékvíz felszínének a szivárgó rétegen belül kell maradnia) többnyire szabályozott, a magyar előírásban $k_d > 10^{-3}$ m/s; $h_{max} < 30-50$ cm. A hulladékból kijutó csurgalékvíz mennyisége (e) az üzemeleési szakaszban egy le nem zárt lerakónál jelentősen nem változtatható. Mindezeket figyelembe

véve nyilvánvaló, hogy egy adott aljzateséshez ($t_g \alpha$) meghatározható a még megengedhető dréncőtávolság (L) vagy fordítva.

A leírtak alapján lehetőségünk van a KvVM rendelet 1.sz. mellékletében megadott 30-50 cm rétegvastagság meghatározására. Jó tervezéssel esetleg gazdaságosabb lehet az aljzat esését ($t_g \alpha$) és a dréncső távolságot (L) úgy megválasztani, hogy a felső határnál (0,5 m) kisebb vastagságú szivárgó réteg is elegendő legyen, ami sok esetben jelentős gazdasági megtakarítást jelenthet.

2.2.4.5. Geokompozitok alkalmazása szivárgóréteggént

A depóniaépítésnél számos esetben előtérbe kerülhet, vagy megfontolandó lehet a *geokompozitok* alkalmazása a szemcsés anyagú szivárgóréteg helyett. Ilyen lehetőségek például:

- rézsűs kialakításnál, medencék oldalfalán a meredekebb aljzaton gondot okozhat a szivárgóréteg stabilitása, megcsúszása,
- támasztótöltések szigetelésének a kialakításakor,
- zárószigetelések szivárgóréteggént,
- a két geomembrán közötti második, ún. szivárgó-ellenőrző réteggént.

Ugyanakkor általános elvként kimondhatjuk, hogy *felső (első) szivárgóréteggént, kis esésű aljzaton alkalmazásuk nem megengedett, mert kis szerkezeti vastagságuk miatt nem teljesül az a feltétel, hogy az elvezetendő csurgalékvíznek a szivárgórétegen belül kell maradnia.*

A geokompozit szivárgórétegek általában két szűrőréteg (ami többnyire geotextília) között lévő műanyag szivárgórétegből (geoháló, georács, stb.) épülnek fel.

Hulladéklerakóknál alkalmazásuk számításba jöhet, ha a transzmisszivitásukra (a vastagság és az áramlási iránynak megfelelő szivárgási tényező szorzata) teljesül a következő feltétel (HEERTEN, 1988.):

$$T \geq \frac{5 \cdot e}{2}$$

ahol:

T: a geokompozit transzmisszivitása;

e: a lejutó csurgalékvíz intenzitása;

i: a hidraulikus gradiens.

Az Amerikai Környezetvédelmi Hivatal ajánlása a transzmisszivitás értékére:

hulladéklerakóknál: $T > 3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$;

felszíni zagyártározóknál: $T > 3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Két geomembrán között veszélyeshulladék-lerakók aljzatszigetelésénél második szivárgó-ellenőrző réteggént alkalmazása számításba jöhet, ha megfelelő folyadékszállítóképeséggel rendelkezik ahhoz, hogy a *felső geomembrán meghibásodása révén átjutó csurgalékvizet el tudja vezetni*, azaz:

$$t_{2 \max} < t_{gk}$$

ahol:

t_{gk} : az alkalmazott geokompozit hatékony vastagsága;

$t_{2 \max}$: a geokompozit szivárgóban kialakuló áramló vízréteg vastagság.

A maximális vízréteg vastagság ($t_{2 \max}$) a hibahely (lyuk, szakadás) közelében alakul ki, és a következő összefüggés alapján határozható meg (GIROUD et al., 1997.):

$$t_{2\max} = \sqrt{\frac{Q_{\max}}{k_{gk}}}$$

ahol:

Q_{\max} : a hibahelyen átszivárgó csurgalékvíz hozam

k_{gk} : a geokompozit réteg áramlási irányú szivárgási tényezője

2.2.4.6. A dréncső eltömődés elleni méretezése

A szivárgórendszer méretezésénél ügyelni kell arra is, hogy a *dréncső se tudjon eltömődni, hatékonysága megmaradjon*. A mechanikai eltömődés megakadályozásához a következő kritériumokat kell figyelembe venni:

hasítékolt szűrőcsöveknél:

$$\frac{D_{85sz}}{d_h} > 1,2 \div 1,4$$

kör alakú perforációnál:

$$\frac{D_{85sz}}{d_p} > 1,0 \div 1,2$$

ahol:

D_{85sz} : a szivárgóréteg szemeloszlásánál a 85 súly %-hoz tartozó szemcseátmérő,

d_h : a hasíték szélessége és

d_p : a perforáció átmérője.

2.2.4.7. Az inkrusztáció elleni védekezés

A szűrőrendszerek (szűrőréteg, geotextília, dréncsövek) a leg gondosabb tervezés mellett is idővel veszítenek hatékonyságukból, *eltömődhetnek*. Az eltömődés okai a következők lehetnek:

- mechanikai,
- fiziko-kémiai,
- mikrobiológiai.

A mechanikai okokra visszavezethető eltömődést a finomabb szemcsék bemosódása okozza. Ez a hatás elkerülhető, ha a szivárgóréteg megfelelő *mechanikai és szűrő stabilitással* rendelkezik. A mechanikai stabilitás gyakorlatilag a *megfelelő szemcseméretű* réteget, míg a szűrő stabilitás a *megfelelő szemcseeloszlású* réteget jelenti. A mechanikai stabilitás az előírásoknak megfelelő szemcseméretű szűrőrétegnél a *szűrőszabály* betartása mellett biztosítható.

A *fiziko-kémiai és mikrobiológiai* hatások általában együtt jelennek meg az eltömődéssel, és az eredménye az ún. *inkrusztáció*, amikor elsősorban vasoxidok és karbonátok kiválása révén a hatékony póruster jelentősen csökken. Az inkrusztáció folyamata a víztermelő kutaknál régóta ismert jelenség, s az onnan vett analógia alapján megállapítható, hogy a kiválás, kérgesedés erősebben jelentkezik, felgyorsul, ha a csurgalékvíz:

- pH-ja nagyobb, mint 7,5;
- karbonát keménysége nagyobb, mint 300 mg/l;
- vastartalma a 2,0 mg/l értéket meghaladja;
- mangántartalma nagyobb, mint 1 mg/l.

Mint tudjuk, a fenti értékek a csurgalékvíznél nem jelentenek különösen szélsőséges értékeket. A mikrobiológiai folyamatok során a csurgalékvízben jelenlévő vas és mangánbaktériumok

oxidálják és kicsapják az oldott vasat és mangánt (*okkeresedés*), és a folyamat eredményeképpen felszabaduló energiát hasznosítják. A baktériumok jelenlétét nagymértékben segíti, hogy a csurgalékvíz egyébként is nagy mennyiségben tartalmaz számukra hasznosítható tápanyagot.

A szűrőréteg fiziko-kémiai és mikrobiológiai okokra visszavezethető inkrusztációja ellen védekezni nehéz, mert a csurgalékvíz összetételét, pH és redox-potenciál értékét, hőmérsékletét befolyásolni nemigen tudjuk. A folyamatot lehet lassítani, ha:

- növeljük a szűrőrétegben az áramlási sebességet;
- növeljük a szűrőréteg hézagméretét;
- csökkentjük a szűrőréteg fajlagos felületét.

A fentieket elősegíthetjük azáltal, ha:

- a szűrőréteg megfelelő vastagságú (0,3-0,5 m) és anyaga mosott, jól kopatott, kis karbonáttartalmú (< 20 %), gömbölyded szemcsékből áll;
- megakadályozzuk a finomabb szemcsék bemosódását;
- a csurgalékvízgyűjtő rendszer megkivánt kereszt és hosszirányú esését biztosítjuk;
- megfelelő méretű dréncövet alkalmazunk, amelynél a perforált felület aránya a mechanikai stabilitást még biztosító lehető legnagyobb;
- a dréncső hálózat lehetőleg ellenőrizhető és utólagosan tisztítható.

Különösen fontos, hogy a hézagméret növelésével, a fajlagos felület csökkenésével csökken az inkrusztációra való hajlam, ezért nagyon fontos a KvVM rendeletben előírt szivárgási tényező ($k > 10^{-3}$ m/s) kritérium *mellett a szemcseméretre (16/32-24/40 mosott kavics) vonatkozó követelmény teljesítése is, mert a $k > 10^{-3}$ m/s szivárgási tényezőt már egy homokos kavics réteggel is biztosítani lehet.*

2.2.4.8. A második szivárgó-ellenőrző réteg

A második szivárgó-ellenőrző réteg a két geomembrán lemez közé kerül, vastagsága az előírás szerint 30 cm, szivárgási tényezője $k \geq 10^{-3}$ m/s. Anyaga, szemcseösszetétele megegyezik a szivárgó paplannál leírtakkal.

Külön egyedi vizsgálat alapján, esetenként számításba jöhet geokompozit réteg alkalmazása is, ami lényegesen gazdaságosabb megoldást jelent, különösen nagy szállítási távolságok esetén. A geokompozitok alkalmazási feltételeit, lehetőségeit az előzőeken bemutattuk.

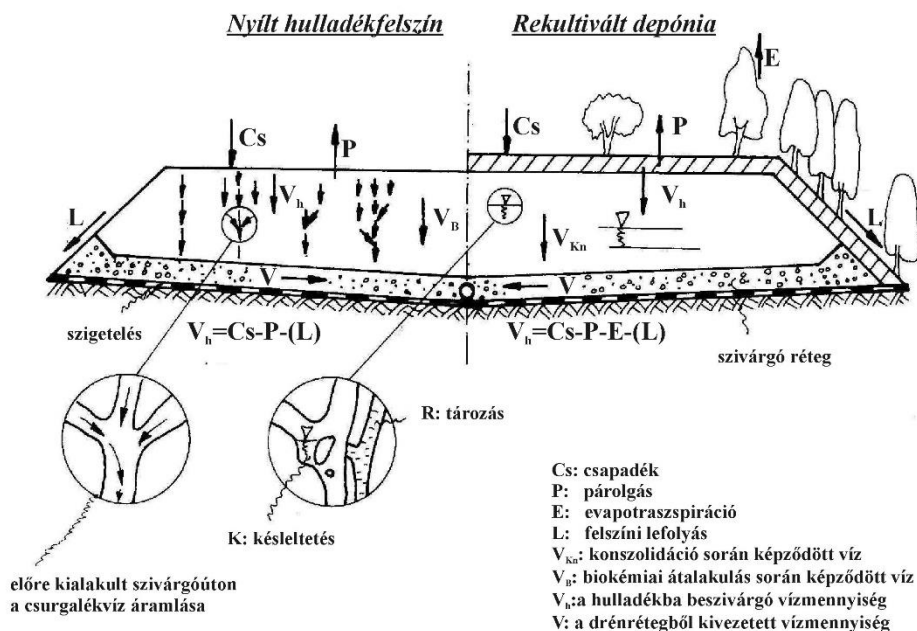
Kavics anyagú szivárgó-ellenőrző réteg esetén a geomembrán szigetelőlemezt/fóliát az átlukadás elkerülése érdekében geotextília (min 1200 g/m²) közbeépítésével kell védeni.

2.2.4.9. A csurgalékvíz várható mennyiségének a meghatározása

Egy új hulladéklerakó tervezésénél, egy meglévő rekultivációjánál alapvető fontossággal bír, hogy minél pontosabban tudjuk meghatározni a lerakó vízháztartását. Ennek segítségével tudjuk meghatározni a *várható csurgalékvíz mennyiségét*, ami egy új lerakónál alapja a csurgalékvízgyűjtő hálózat méretezésének, a rekultivációnál pedig a pótlólagosan megépítendő műszaki védelem mértékének.

A következőkben a várható csurgalékvíz mennyiség meghatározhatósága érdekében áttekintjük a depóniák vízháztartásának a vizsgálatát.

A hulladéklerakók vízháztartását a módosított vízháztartási egyenlettel írhatjuk le **(18)**:



18. ábra: A hulladéklerakó vízháztartása

$$Cs - P - E - L - R \pm K - V_{cs} + V_b + V_k = 0$$

ahol:

- Cs: a csapadék,
- P: a párolgás,
- E: az evapotranszpiráció,
- L: a felszíni lefolyás,
- R: a tározás (kötött vízként),
- K: a késleltetés (rövidebb ideig a kapillárisokban raktározott víz),
- V_{cs} : a csurgalékvízlefolyás az altalaj felé,
- V_b : a biokémiai folyamatok során képződött víz és
- V_k : a konszolidáció hatására keletkezett víz.

A módszernél feltételezzük, hogy alulról és felülről külső hozzáfolyás nincs, a csurgalékvíz a lerakóból csak a szivárgórendszeren keresztül kerülhet ki és nincs vízkilépés a rézsű felületén. A csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezéséhez szükséges vízmennyiséget a tér és idő függvényében kell meghatározni. A csurgalékvíznek több, egymástól független összetevője lehet:

- a csapadék és az aktuális párolgás különbsége;
- a hulladékban mikrobiológiai folyamatok hatására bekövetkező vízképződés, ill. vízfelhasználás;
- a hulladék konszolidációja során keletkező vízmennyiség;
- a hulladékban tározódni képes vízmennyiség.

Ezeknek az összessége adja az intenzitást. (e)

Figyelembe kell venni a még az üzemelő nyitott, és a rekultivált, lezárt hulladéklerakó eltérő csurgalékvízkepződési körülményeit is. A rekultiváció után szerepet kap a növényzet párolgása, a talaj tározó hatása, esetenként a fedőréteg drénezéséből származó elfolyás. Az üzemi állapot szerint három esetet különböztetünk meg:

Üzemeltetés kezdete - csekély hulladékborítottság

Kevés vagy egyáltalán nem létező hulladékmennyiség esetén a csapadék gyakorlatilag közvetlenül a telítetlen szivárgórétegbe kerül. A település éghajlati adataiból a szokásos talajvízháztartási módszerrel kell dolgozni.

Üzemeltetés - nyílt hulladékfelszín

Az előbb említett négy komponens figyelembevételével kell számolni.

Üzemeltetés vége - rekultivált állapot

A víz tározására képes hulladékmátrix a még folyamatban levő konszolidáció hatására leadja a tárolt vízének egy részét, a biokémiai folyamatok során bekövetkező vízképződés, ill. fogyasztás is fennállhat még, de az ekkor keletkezett csurgalékvíz sokkal kevesebb mint az üzemeltetés során.

A számítás további szempontjai:

- a hulladékanyag nagyon heterogén, ezért a szükséges paraméterek is rendkívül változatosak (áteresztőképesség, víztározóképesség, szemcsenagyság, stb);
- az inhomogenitások következtében különböző szivárgási utak jönnek létre;
- mikrobiológiai folyamatok során gázok is felszabadulhatnak, ha eltávozásuk akadályozott, gázpárna keletkezhet a hulladék fölött;
- a lerakó vékony horizontális rétegekből épül fel, a vertikális irányú áteresztőképessége ezért kisebb mint a horizontális;
- a csurgalékvízmennyiség nem határozható meg közvetlenül, hanem közelítő eljárásokkal, mert csak a dréncsővekbe bejutó vízmennyiség és a csapadék mérhető közvetlenül.

A csurgalékvízgyűjtő méretezésénél *döntő hányadot képvisel a csapadékból származó csurgalékvízmennyiség. A mértékadó intenzitás a még le nem zárt lerakóknál adódik*, mert ekkor a csapadék bejutása még közvetlen, a biológiai lebomlásból, konszolidációból adódó többlet viszonylag kicsi. Lezárt lerakónál az utóbbi két folyamatból adódó csurgalékvíz mennyisége relatíve megnő, de nem éri el az üzemelés közben a csapadékból lejutó hányadot. Valójában a legnagyobb a csurgalékvízgyűjtő terhelése akkor, amikor még nincs rajta hulladék, azonban ekkor a lehullott csapadékot a csapadékvízgyűjtő rendszeren kell elvezetni, amennyiben az még nem szennyezett.

A csapadékból származó csurgalékvízmennyiség

Hazai mérési adatokkal sajnos nem rendelkezünk, mert nem volt olyan korszerű, rendezett lerakó, amelynél a képződött csurgalékvíz mennyisége egzakt módon mérhető lett volna, az új modern lerakóknál pedig még nem rendelkezünk elegendő adattal.

A keletkező csurgalékvízmennyiség nyilvánvalóan függvénye a hulladékelhelyezési technológiának, valamint a tömörítésnek. A láncfalas dózerekkel történő beépítésnél csak csekély mértékű tömörítés érhető el, szemben a korszerű kompaktorokkal. EHRIG (1980.) javaslata szerint a csurgalékvíz mennyiségének a becsléséhez az **6. táblázat** irányértékeit használhatjuk az éves csapadékösszeg (CS) függvényében.

6. táblázat A csurgalékvíz mennyiségének a becslése az éves csapadékösszeg (CS) függvényében

Tömörítő- eszköz	A csurgalékvízmennyiség, ha CS = 700 mm			
	CS %-a	mm/év	mm/ha·d	l/s·ha

lánctalpas	40	280	7,67	0,089
kompaktor	25	175	4,79	0,055

A drénrétegben kialakuló nyomómagasság és ezen keresztül a szükséges rétegvastagság meghatározásához a szélsőséges intenzitások meghatározására van szükség, mert a csurgalékvíz még ideiglenesen sem léphet ki a drénrétegből.

RAMKE (1991.) doktori értekezésében a csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezésénél 700mm/év csapadék mellett a **7. táblázat** szereplő napi intenzitások figyelembe vételét ajánlja az olyan lerakóknál, ahol a csurgalékvizet nem kezelik, hanem időszakosan visszapermetezik.

7. táblázat A csurgalékvíz napi intenzitásának előfordulási valószínűsége

Előfordulási valószínűség	Csurgalékvíz intenzitás [mm/nap]
50%	4,82
33%	5,77
10%	10,71
5%	13,46
1%	18,92

A német LAGA a DIN 19667 sz. szabvány alkalmazását ajánlja, ahol a mértékadó szélsőséges csurgalékvíz-mennyiség, túltelített depóniatest esetében, csurgalékvíz visszajuttatás mellett:

$$50 \text{ mm/nap}$$

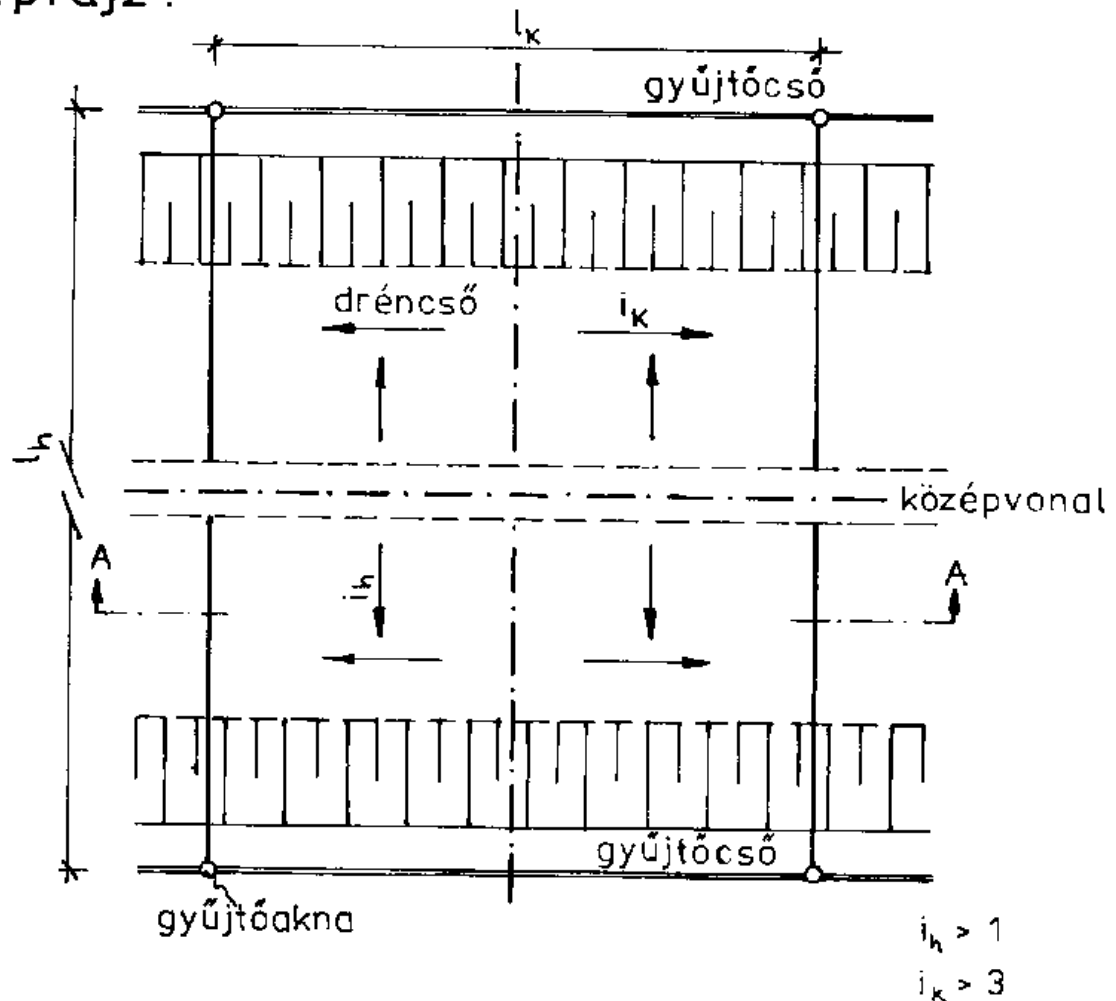
A vízháztartási vizsgálatok módszerei

A vízháztartás számításának a világon általánosan bevált és elterjedt módja a *Visual HELP* hidrológiai modellező szoftver alkalmazása, amely numerikus megoldások segítségével vizsgálja a hulladéklerakókon bekövetkező felszíni és felszín alatti vízháztartási folyamatokat. A HELP lehetővé teszi a hulladéklerakók hidrológiai folyamatainak az előrejelzését, a tervezés hatékonyságának a vizsgálatát, a csurgalékvíz mennyiségének a becslését. A kétdimenziós hidrológiai modell meteorológiai, talaj, valamint tervezési alapadatok felhasználásával számítja a felszíni víztározásnak, a hóolvadásnak, a felszíni lefolyásnak, a beszivárgásnak, a növényzetnek, a talajok víztározásának, a szivárgó rétegek vízelvezetésének, a csurgalékvíz-visszaforgatásnak, a szigetelőrétegeken keresztül való szivárgásnak a hatását a lerakó vízháztartására. Az alapadatok meghatározását segíti a szoftver meteorológiai adatbázisa (7000 meteorológiai állomás adataival), valamint egy talaj, hulladék és geomembrán adatbázis (42 anyag paramétereivel).

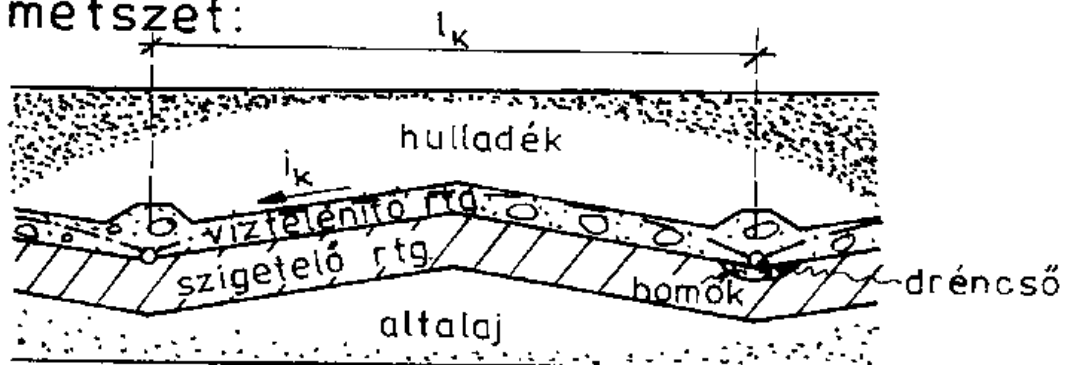
A csurgalékvízgyűjtő rendszer kialakítása

A csurgalékvízgyűjtő rendszer alaprajzi elrendezését és metszetét egy általános esetre a **19** mutatja be. Az ábra szerinti esetben a rendszer szektorokra osztott. A lejutó csurgalékvíz a depónia középvonalától kifelé i_h hosszirányú és i_k keresztirányú eséssel kialakított aljzatszigetelő rendszerre kerülő víztelenítő rétegből, annak a mélyvonalába helyezett *dréncsőbe* jut be. A dréncső a *gyűjtőaknába* torkollik. A gyűjtőakna kerülhet mind a depónia szigetelt alapfelületén kívülre, mind az alapfelületen belülre. A dombépítéssel kialakított depóniáknál a gyűjtőakna célszerűen a *támasztó töltésen kívülre*, míg a medenceszerűen kialakított lerakóknál többnyire a *lerakón belülre* kerül.

Alaprajz :



A - A metszet:



19. ábra: A csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése (TAMKE, 1991)

A 19 ábra szerinti elrendezésnél a gyakorlatban általánosan alkalmazott méretek, paraméterek a következők:

A keresztirányú esés (i_k): $\geq 3\%$

A hosszirányú esés (i_h): 1-2%

A gyűjtőakna távolság:

= keresztirányban (l_k): 30-50 m

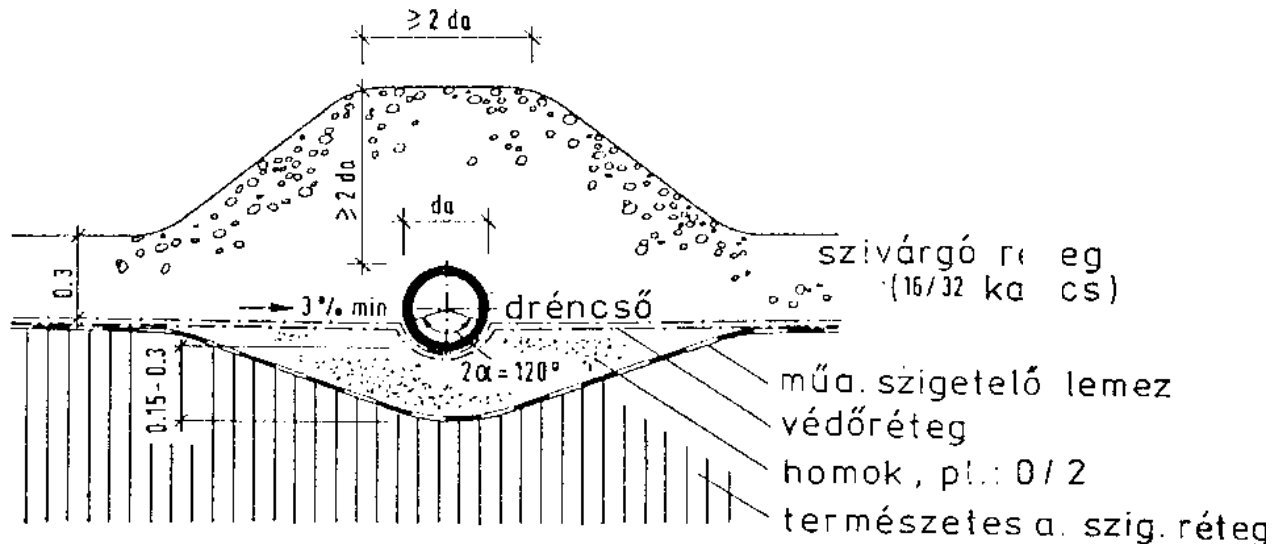
= hosszirányban (l_h): max. 300 m.

A víztelenítő réteg:

- = vastagsága: 30-50 cm
- = szivárgási tényezője: $k \geq 10^{-3}$ m/s
- = anyaga: 16/32 vagy 24/50 szűrőkavics

A dréncső átmérője: 200-300 mm

A dréncső beépítésénél a szűrőréteg előírt vastagságának a dréncső fölött is meg kell lennie. A kialakítást a **20. ábra** szemlélteti.



20. ábra: A dréncső beépítése (DIN 19667, 1990.)

2.3. A lerakó rekultivációja

2.3.1. A rekultiváció tervezéséhez szükséges előzetes vizsgálatok

2.3.1.1. A lerakó várható süllyedése, konszolidációja

A hulladék várható konszolidációjának az ismerete igen fontos, mert a deformációkat figyelembe kell venni mind a zárószigetelő rendszer, mind a gázgyűjtő rendszer mechanikai méretezésénél, kialakításánál. Sajnos ma még nem áll rendelkezésre kellő mennyiségű tapasztalat, amely lehetővé tenné a pontos számításokat. A hulladék várható összenyomódását elméletileg a talajmechanikából jól ismert konszolidációs elmélettel közelítjük, azonban figyelembe kell venni, hogy a hulladék:

- a szokásos talajokhoz képest lényegesen változatosabb, inhomogénebb;
- a fizikai paramétereinek pontos meghatározása lényegesen nehezebb.

A fentieken túl nehezíti a problémát, hogy a hulladék konszolidációja nemcsak a *mechanikai terhelés (önsúly) hatására bekövetkező tömörödés*, hanem a különböző alkotórészek *kémiai-biológiai lebomlásával rendszerint együtt járó térfogatcsökkenés eredménye* is.

A süllyedés várható mértékét számos tényező befolyásolja, amelyek a következők:

- a lerakott hulladék kezdeti tömörsége, hézagtényezője, térfogatsűrűsége;
- a feltöltés magassága;
- a biológiailag le- ill. nem lebomló hulladékmennyiség aránya;
- a hulladék lerakás előtti és közbeni kezelése;
- a csurgalékvíz szintje, ingadozása;

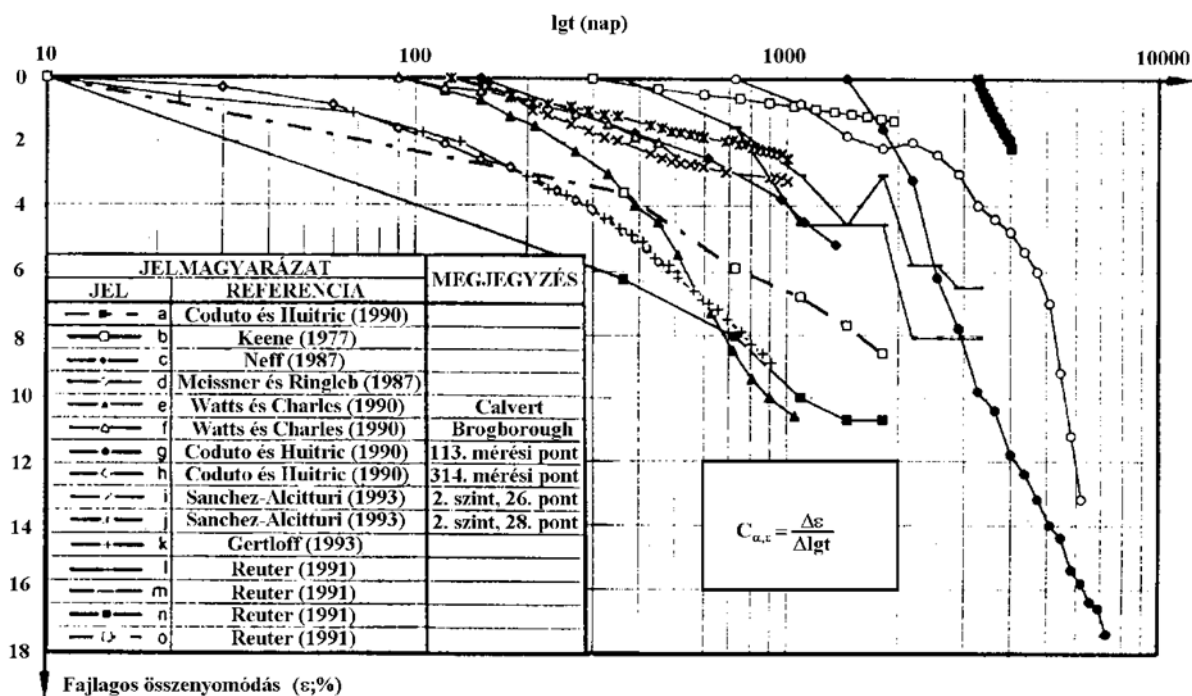
- környezeti tényezők (nedvességtartalom, hőmérséklet, a biogázképződés folyamata, fázisa).

A konszolidáció már a lerakó feltöltése során elkezdődik. Több lerakónál mért süllyedések időbeni alakulását szemlélteti a **21. ábra**.

A süllyedések üteme az idő előrehaladtával lassul. A kezdeti szakaszban az önsúly hatására bekövetkező süllyedések dominálnak (*elsődleges konszolidáció*), mértéke általában 5-30 %-a a feltöltési vastagságnak, és a süllyedések zöme a feltöltés utáni első évben lejátszódik.

Az elsődleges konszolidációt követi a *másodlagos konszolidáció* szakasza, ami egy időben hosszan elnyúló, a hulladékban lejátszódó folyamatoktól is jelentősen függő folyamat.

A *hulladék várható süllyedésének* meghatározására számos javaslat ismert, általában mindegyik megegyezik abban, hogy a végső süllyedéseket két részre bontja: egy *terhelés* és egy *időfüggő szakaszra*, s az eredmény a kettő összegződéséből adódik. Használjuk azonban bármely javasolt módszert is, soha ne feledjük, hogy a kapott eredmény csak egy igen durva közelítés, becslés.

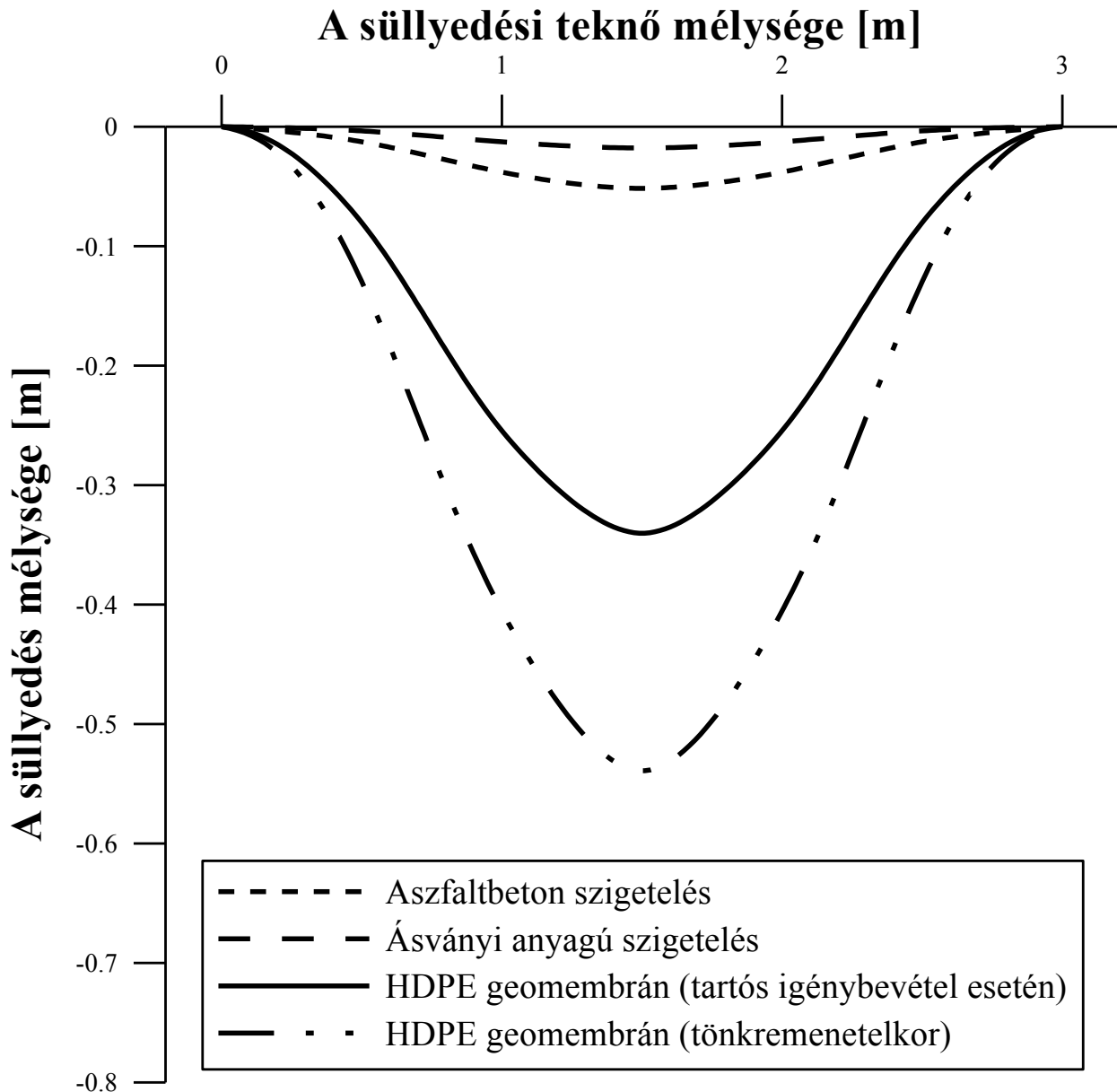


21. ábra: Különböző lerakónál mért felszínsüllyedések (KÖNIG et al., 1996.) 2.3.1 (nem szerepel a hivatkozható jegyzékben)

A különböző zárószigetelések eltérő nagyságú süllyedést, illetve süllyedéskülönbségből adódó megnyúlást tudnak elviselni káros deformációk nélkül. A **22. ábra** néhány gyakran alkalmazott zárószigetelés estében szemlélteti a megengedhető deformációkat. Mint látjuk a megengedhető átlagos értékek a következők:

- Ásványi/természetes anyagú szigetelés: $\varepsilon_{\max} = 0,1-3,0\%$, és az értéke jelentősen függ az alkalmazott agyag minőségétől.
- Aszfalt hordozóréteg: $\varepsilon_{\max} = 1,75\%$, értéke gyakorlatilag az egyirányú húzásnál a tönkremenetelhez tartozó deformációval egyezik meg.
- Aszfalt szigetelőréteg: $\varepsilon_{\max} = 0,85\%$, értéke gyakorlatilag az egyirányú húzásnál a tönkremenetelhez tartozó deformációval egyezik meg.

- HDPE lemezek: $\varepsilon_{\max} = 6,0\%$, értéke a 25 °C mellett tartósan megengedett deformáció
- Bentonitszőnyegegk: $\varepsilon_{\max} \approx 10,0-15,0\%$.



22. ábra: A különböző zárószigeteléseknél megengedhető deformációk (BAM, 2003.)

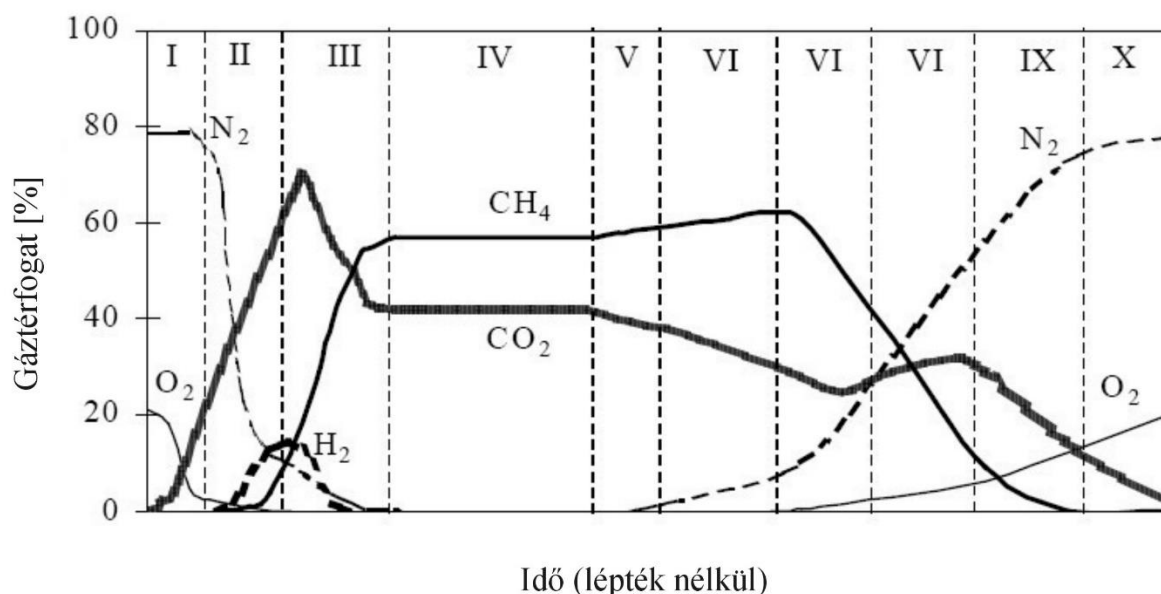
2.3.1.2. A hulladék lebomlása, a depóniagáz képződés

A hulladék lebomlásával kapcsolatos legfontosabb kérdéseket valamint a gázmentesítés kérdéseit a BSc tananyagban ismertettük (lásd BSc tananyag H7fejezet), az ott leírtakat a továbbiakban ismertnek tételezzük fel. Jelen fejezetben csak az utógondozási idő csökkentése érdekében szükséges legfontosabb ismereteket ismételjük meg.

A depóniagáz fő összetevőinek a lebomlás során való alakulását a **23. ábra** szemlélteti. RETTENBERGER nyomán (in HEYER, 2003). A depónia gázháztartását RETTENBERGER 10 fázisra osztotta:

1. Aerob fázis
2. Anaerob savas erjedés
3. Anaerob instabil metánképződés
4. Anaerob stabil metánképződés
5. Metánfázis: növekvő metántartalom, csökkenő CO₂ koncentráció
6. Tartós fázis: magas metántartalom és további CO₂ csökkenés jellemző, az NH₄:CO₂ arány 1:4 körüli.
7. Levegőbejutás fázisa: időszakosan vagy tartósan levegő jut a depóniába a gázképződés csökken. A metán koncentráció visszaesik, miközben a CO₂ és N₂ gyengén emelkedik.
8. A metán-oxidálódás fázisa: tovább csökkenő gázképződés mellett a levegő benyomul a depóniába, a metán széndioxiddá oxidálódik.
9. Széndioxid fázis: a CH₄ koncentráció a nullához közelít, a CO₂ tartalom 5-20% közötti. Az N₂ koncentráció eléri a normál talajlevegőre jellemző értéket, az O₂ tartalom növekszik.
10. Levegő fázis: a széndioxid-tartalom tovább esik, a metántartalom gyakorlatilag zérus, az oxigén és nitrogéntartalom a talajlevegőre jellemző átlagos értéket éri el. A depóniában képződő gáz mennyiségét egyértelműen nehéz meghatározni, mivel az összes képződő mennyiségnek csak egy részét lehet kinyerni. Ellenőrizhetetlen gázemissziók alakulnak ki a feltöltés során, amíg a gázkinyerő berendezések nincsenek beépítve, üzemeltetve, és még az üzembe helyezés után is a kinyert gáz mennyisége alatta marad a képződő mennyiségnek. A képződő gázmennyiség elméletileg, vagy laboratóriumi mérésekre alapozottan becsülhető.

Fázisok:



23. ábra: A depóniagáz fő összetevői koncentrációjának alakulása a hulladék lebomlása során (RETTENBERGER, 1992. in. K. U. HEYER, 2003)

Abból a feltételezésből kiindulva, hogy 1 kg, biológiailag rendelkezésre álló, szerves szén teljes anaerob lebomlásából 1,868 m³ depóniagáz keletkezik, 100-200 kg TOC/t száraz (friss) hulladék (t/sz.a.) jellemző széntartalom mellett 187-375 m³/t/sz.a. gázpotenciál (összes gázprodukciónak).

TABASARAN a gázpotenciál értékére a következő összefüggést találta:

$$G_E = 1,868 \times \text{TOC} \times (0,014 \times T + 0,28)$$

ahol:

G_E : a gázképződési potenciál (az összes keletkező gáz mennyiség, $m^3/t/sz.a.$)

TOC: összes szerves széntartalom a hulladékban ($kgC/t/sz.a.$)

T: a hőmérséklet ($^{\circ}C$)

A fenti összefüggés alapján $25^{\circ}C$ mellett, kb. $250 kg TOC/t/sz.a.$ széntartalom esetén mintegy $300 m^3/t/sz.a.$ gázmennyiség adódik.

Laboratórium és félihari modellkísérletek alapján háztartási jelegű hulladékokra $160-240 m^3/t/sz.a.$ gázpotenciál adódott, a szélsőséges értékek $60-413 m^3/t/sz.a.$ közöttiek voltak.

A gázképződés időbeli alakulása a következő összefüggéssel közelíthető:

$$G_t = G_E (1 - e^{-k \cdot t})$$

G_t : a t időpontig képződött gázmennyiség ($m^3/t/sz.a.$)

G_E : a gázpotenciál, azaz az összes képződő gázmennyiség ($m^3/t/sz.a.$)

k: lebomlási állandó (d^{-1} ill. a^{-1})

T: idő (d ill. a)

A gázképződés intenzitását és időbeli alakulását a „k” lebomlási állandóval lehet jellemezni. A k a $T_{1/2}$ felezési idő alapján jellemezhető a következőképpen.

$$k = \frac{-\ln 2}{T_{1/2}}$$

A felezési időnek a gázháztartás vizsgálata alapján történő meghatározása még a várható gázmennyiség meghatározásánál is bizonytalanabb, és ennek megfelelően az irodalmi adatok eléggé szórnak (in HEYER, 2003.):

- 2-3,5 év (EHRIG, 1986.)
- 2-4 év (RETTENBERGER, 1978.)
- 6-10 év bezárt lerakóknál (WEBER, 1990.)
- 1 év a könnyen lebomló, 10 év a nehezen lebomló szerves hulladékok esetén (KRAUSE, 1994.)
- 1 év a könnyen-, 5 év a jól-, 15 év a nehezen lebomló szerves hulladékok esetén (HOEKS, 1983.)

2.3.1.3. Állékonyságvizsgálatok

A rekultiváció tervezése, az ideiglenes illetve végleges zárószigetelés megtervezése előtt meg kell győződni a depónia test, a lerakott hulladéktest állékonyságáról, valamint vizsgálni kell, hogy a kialakított depóniaforma mellett biztosítható-e a zárószigetelő-rendszer megcsúszás mentes beépítése. Ezen utóbbi kérdés elsősorban az oldalrészük szigetelésénél merül fel.

Az állékonyságvizsgálatoknál a geotechnikai gyakorlatban általánosan alkalmazott, bevált módszerek (BISHOP, JANBU) használhatók, az elsődleges probléma a méretezésnél használt nyírószilárdsági paraméterek minél pontosabb meghatározása.

A lerakott hulladék utólagos állékonyságvizsgálata, ellenőrzése elsősorban a dombépítéssel kialakított és a lejtőnek támaszkodó depóniáknál fontos.

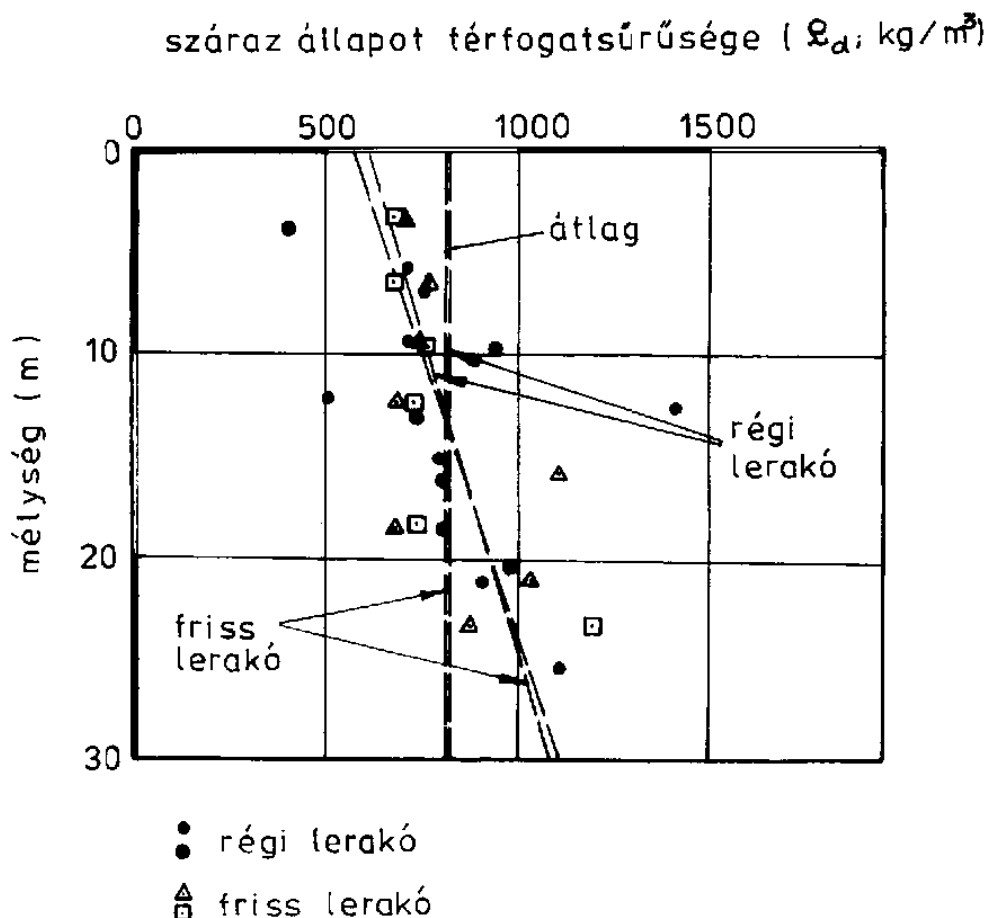
Az állékonyságvizsgálatokhoz ismernünk kell a lerakott hulladékoknak az alábbi paramétereit:

- térfogatsűrűség,
- kohézió,
- belső súrlódási szög.

A térfogatsűrűség értéke igen tág határok között változik és függvénye a hulladék összetételének, nedvességtartalmának, a lebomlás fokának, a napi takarás vastagságának, a lerakás

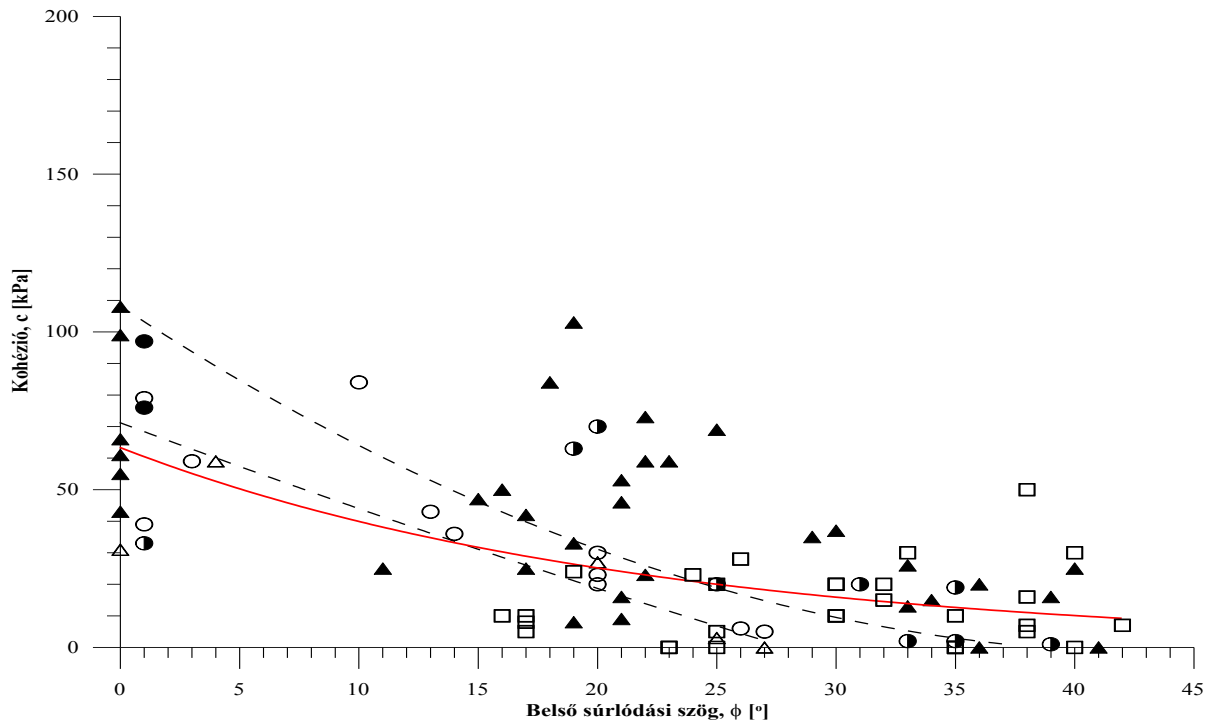
módjának, az alkalmazott tömörítő eszköznek, a depónia magasságának, az egyszerre lerakott hulladék terítési vastagságának, a hulladék korának, stb.

Egy jól üzemelő lerakó esetében a terítési rétegvastagság kb. 0,5-0,7 m, így a tömörítés során átlagosan 500-600 kg/m³-es térfogatsűrűség érték érhető el. Nagyobb rétegvastagság esetén az elérhető tömörség értéke csökken. Nyers hulladék térfogatsűrűsége általában 150-350 kg/m³ között változik, 1 MPa talpnyomásnál kisebb tömörítőgéppel 350-550 kg/m³-es értékkel számolhatunk. Kompaktorokkal 800-1000 kg/m³, egyes speciális eljárásokkal 1000 kg/m³-nél nagyobb érték is elérhető. A lerakott hulladék sűrűsége a lerakóban értelemszerűen a mélységnek is függvénye. Minél mélyebben lévő réteget vizsgálunk, annál nagyobb a térfogatsűrűség, mivel a hulladék egyre konszolidáltabb. **A 24. ábra** helyszíni vizsgálatokkal meghatározott térfogatsűrűség értékek láthatók, különböző korú hulladékok esetén. Mint látható átlagosan 750-800 kg/m³ térfogatsűrűség értéket mértek, és 20-30 m mélységben 1200-1300 kg/m³ volt a jellemző érték. Az állékonyságvizsgálatoknál 1000-1200 kg/m³ értékkel vehetjük figyelembe a hulladék súlyából adódó tömeget.



24. ábra: Helyszíni vizsgálatokkal meghatározott térfogatsűrűség értékek különböző korú hulladékok esetében (OWEIS - KHERA, 1990.)

A kommunális hulladékok általában nem jellemezhetők egyetlen $c; \phi$ értékpárral, a nyírószilárdsági paraméterek értéke, a fentiekén túl, nagymértékben függ a deformáció mértékétől, azaz a nyírószilárdság mobilizációjától.



25. ábra: A hulladék nyírószilárdsági paramétereit irodalmi adatok, laboratóriumi és helyszíni mérések alapján, (JESSBERGER, 1990., SINGH - MURPHY, 1990., SZABÓ, 1999., VILAR ÉS CARVALHO 2002., CAICEDO 2002.)

A fent leírtakból megállapítható, hogy az állékonyságvizsgálatoknál figyelembe vett nyírószilárdsági paraméterek erősen becsült értékek, mivel konkrét vizsgálatok elvégzésére ritkán nyílik lehetőség.

MANASSERO és szerzőtársai a tervezésnél a várható átlagos normálfeszültség (σ_v) függvényében javasolja a nyírószilárdsági paraméterek megválasztását, az alábbiak szerint:

- nagyon kis normálfeszültségek esetén ($0 < \sigma_v < 20$ kPa): $c = 20$ kPa; $\phi = 0^\circ$
- kis-közepes normálfeszültségek esetén ($20 < \sigma_v < 60$ kPa): $c = 0$ kPa; $\phi = 38^\circ$
- nagyobb normálfeszültségeknél ($60 < \sigma_v$): $c \geq 20$ kPa; $\phi = 30^\circ$

Az osztrák gyakorlat általában $c = 5$ kPa; $\phi = 25^\circ$ értékkel számol

Az osztrák gyakorlattal összhangban van SANCHEZ-ALCITURRI és szerzőtársainak (1993.) javaslata, amely a helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokkal egyaránt megerősített értékpárok figyelembevételét javasolja.

Az állékonyság-vizsgálat a depóniatestre elvégezhető valamely hagyományos módszerrel, bár azok eredetileg az alapvetően más viselkedésű talajokra készültek, azonban a számításoknak a hulladékjellemzők értékének becsléséből adódóan oly nagy a bizonytalansága, hogy ez a közelítés megengedhető, de a számítások eredményét kellő kritikával kell fogadnunk.

A hulladéklerakókkal kapcsolatos állékonysági vizsgálatok sajátos problémakörét képviselik azok az esetek, amikor a mozgás a műszaki védelem elemei (geomembrán, geotextília v. geonet) és a hulladék vagy a fedőréteg (védőréteg) között következik be. Az állékonyság-vizsgálatoknál azt a tönkremeneteli felületet kell vizsgálni, ill. megkeresni, amely mentén a legkisebb a megcsúszással szembeni biztonság.

A vizsgálatoknak számos variációja lehet, amelyek közül a legjellemzőbbek:

- az oldalfalszigetelés és a fedőréteg (védő- vagy szivárgóréteg) közötti megcsúszás lehetősége;
- a depóniát lezáró műanyag fólia és a fölötte lévő védőréteg (geotextília) közötti megcsúszás lehetősége;

Mindkét esetben azonos a problémával van dolgunk, csak a vizsgálandó hely és a paraméterek (pl. fedőréteg vastagság) különböznek.

Ahhoz, hogy a vizsgálatokat el tudjuk végezni, szükségünk van az egymáson elmozduló rétegek, elemek közötti súrlódási szög ismeretére.

Amikor a megcsúszást két talajréteg (pl. agyag szigetelőréteg – szivárgó réteg, szivárgó réteg – rekultivációs réteg között vizsgáljuk, viszonylag egyszerűbb a dolgunk, mert ekkor kiindulhatunk a mozgásban rész vevő talajok nyírószilárdsági paraméter értékeiből, amit hagyományos talajmechanikai laborvizsgálati módszerekkel meg tudunk határozni.

Nehezebb probléma a talaj és a geoszintetikus anyagok közötti súrlódási szög meghatározása. A vizsgálatuk ugyan a hagyományos módszerekkel történik, azonban figyelembe kell venni, hogy a mobilizált nyírószilárdság értéke függ az elmozdulás nagyságától, és itt a geotechnikai gyakorlatban megszokottól lényegesen nagyobb elmozdulásokról van szó.

A talaj–geomembrán, geotextília–geomembrán közötti súrlódási szög értékeket speciális laboratóriumi nyíróvizsgálatokkal (direkt nyírás, ún. „pull-out” vizsgálat) tudjuk meghatározni, esetenként erre vonatkozó adatokat a gyártók is közölnék.

Az *oldalfalak állékonyság-vizsgálatánál* Az állékonysági biztonság (F) a következő általános összefüggéssel fejezhető ki

$$F = \frac{\text{rendelkezésre álló nyírószilárdság}}{\text{nyírófeszültség a csúszólapon}}$$

Erősítés nélküli, egyenletes vastagságú fedőréteg (**26. ábra**) esetén egy L hosszúságú, T magasságú cella esetében a biztonsági tényező (F) várható értéke:

$$F = \frac{c \cdot L + N \tan \phi}{S} \quad (2.3.1.)$$

ahol:

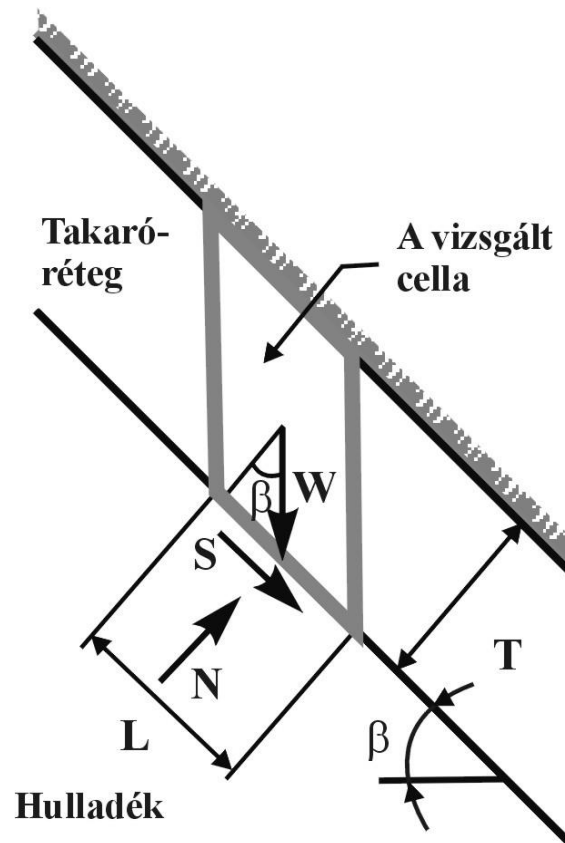
N: a normálerő nagysága a tönkremeneteli /vizsgált felületen

S: a nyíróerő nagysága a tönkremeneteli/vizsgált felületen

L: a vizsgált szakasz/cella hossza

c: a kohézió

ϕ : a talaj belső súrlódási szöge



26. ábra: A depónia oldalsó lezárásának állékonyságvizsgálata

A (2.3.1.) kifejezésben:

$$S = W \cdot \sin \beta$$

$$N = W \cdot \cos \beta$$

$$W = \rho \cdot g \cdot L \cdot T$$

ahol

W: a vizsgált cella súlya

T: a takaróréteg vastagsága

ρ : a takaróréteg átlagos térfogatsűrűsége

β : a lejtőhatás

A fentiek alapján a biztonságos tényezőre a (2.3.2.) kifejezés adódik:

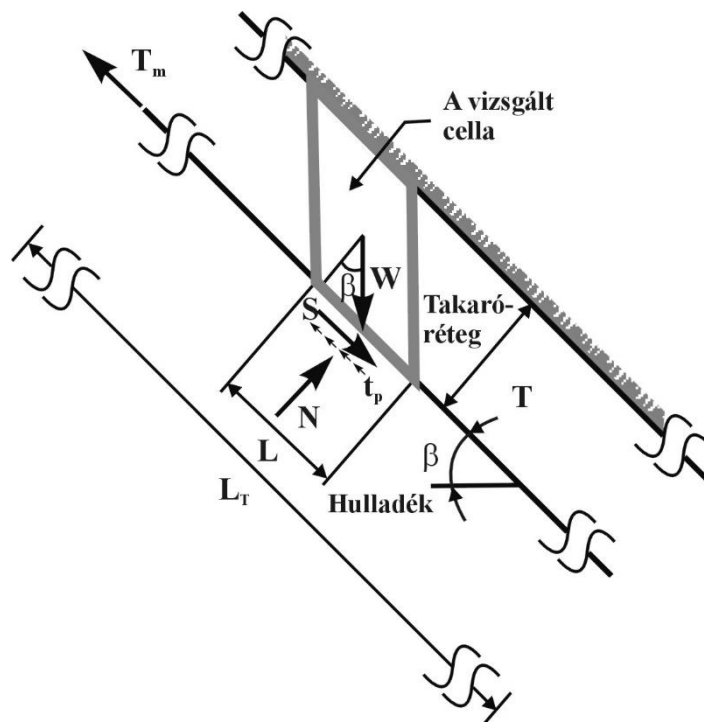
$$F = \frac{c}{\rho \cdot g \cdot T \cdot \sin \beta} + \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \beta} \quad (2.3.2.)$$

Abban az esetben, ha a tönkremenetelt nem két talajréteg, hanem pl. a geomembrán - talaj, vagy geomembrán - geotextília között vizsgáljuk, akkor a fenti összefüggésben:

- a c kohézió helyébe a két vizsgált elem közötti *adhézió értékét*,
- a ϕ helyébe a két elem közötti súrlódási szög (δ) értékét kell helyettesíteni.

Sok esetben a zárószigetelés egyes elemeinél megvan az esélye annak, hogy egymáson megsúsznak, ami ellen valamilyen erősítéssel (pl. georács) tudunk védekezni.

A 27. ábra szemlélteti a lejtőiránnyal párhuzamosan, a teljes felületen erősítő elemmel épített záró-szigetelőréteget.



27. ábra: A lejtőiránnyal párhuzamosan erősített záró-szigetelés állékonyságvizsgálata

Ebben az esetben az S nyíróerő értelemszerűen kisebb lesz, mert annak egy részét felveszi a beépített erősítő elem (pl. a georács), azaz:

$$S = W \cdot \sin \beta - t_p \cdot L \quad (2.3.3.)$$

ahol

t_p : a lejtővel párhuzamos ébredő húzófeszültség

Ha a geoszintetikus erősítés párhuzamos a lejtővel, akkor a húzófeszültség a megengedhető húzóerő (T_m) függvénye lesz, azaz:

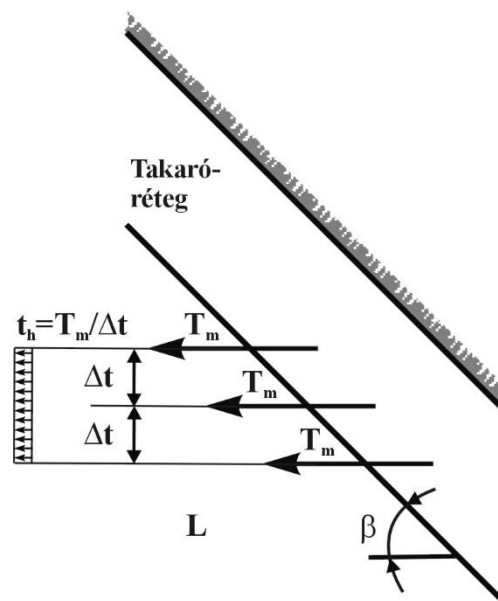
$$t_p = \frac{T_m}{L}$$

A (2.3.1.) egyenlet alapján a lejtővel párhuzamos erősítés esetén a várható biztonsági tényező (F) értéke:

$$F_p = \frac{\frac{c}{\rho \cdot g \cdot T \cdot \sin \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta}}{1 - \frac{t_p}{\rho \cdot g \cdot \sin \beta}} \quad (2.3.4.)$$

A meredek rézsűvel épített visszamaradó hulladéktömbnél sok esetben a lejtővel párhuzamosan elhelyezett erősítés is kevés lehet az állékonyság biztosításához, és ezért számításba jöhet a vízszintesen elhelyezett geoszintetikus erősítés alkalmazása, akár a teljes hosszban, akár támasztó töltés formájában, vagy egy közbelső padka beiktatásával.

A **28. ábra** a vízszintesen erősített takaróréteg modelljét szemlélteti.



28. ábra: A vízszintesen erősített zárószigetelés állékonyságvizsgálata

Ebben az esetben az átlagos húzófeszültséget a megengedhető húzóerőből a következőképpen számíthatjuk:

$$t_h = \frac{T_m}{\Delta t}$$

ahol

T_m : a megengedhető húzóerő

Δt : az erősítések egymástól való távolsága

Ebben az esetben a nyíró (lejtő irányú) és normálerők a következőképpen számolhatók:

$$S = W \sin \beta - t_h \sin \beta \cos \beta$$

$$N = w \cos \beta + t_h L \sin^2 \beta$$

A (2.3.1.) egyenletbe behelyettesítve a biztonsági tényezőre azt kapjuk, hogy:

$$F_h = \frac{\frac{c}{\rho g T \sin \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + \frac{t_h}{\rho g T} \sin \beta \tan \phi}{1 - \frac{t_h}{\rho g T} \cos \beta} \quad (2.3.5.)$$

A (2.3.5.) összefüggéssel kapott biztonsági tényező a valós értéknél kisebb lesz, mert a számításnál nem vettük figyelembe a geoszintetikus erősítés ágyazásából adódó ún. kihúzási („pull out”) ellenállást, ami így a biztonság javára történő elhanyagolást jelent.

2.3.1.4. A depónia vízháztartásának vizsgálata a rekultiváció során

A lerakó rekultivációjának tervezésénél, különösen az utógondozási fázis meghatározásánál alapvető fontossággal bír, hogy minél pontosabban tudjuk meghatározni a lezárt lerakó vízháztartását. Ennek segítségével

- meg tudjuk meghatározni a depóniába zárószigetelőrendszeren (ideiglenes/végleges) bejutó csapadékmennyiséget,
- összehasonlíthatunk alternatív zárószigetelési rendszereket
- becsléseket végezhetünk az esetlegesen szükséges mesterséges vízpótlás mennyiségére, amennyiben a hulladék lebomlási folyamatát szabályozni szeretnénk és ezzel az utógondozási időt optimalizálni szeretnénk
- hasznos információkat nyerhetünk a rekultiváció során a pótlólagosan megépítendő műszaki védelem mértékének meghatározásához.

A vízháztartási vizsgálatok ismertetése az előző fejezetben a „A csurgalékvíz várható mennyiségének a meghatározása” című alfejezetben található.

2.3.2. A lerakó felülvizsgálata

A rekultiváció feladatainak, műszaki megoldásainak meghatározása előtt mindenképpen szükség van a lerakó és környezete felmérésére, felülvizsgálatára. Különösen fontos ez a munkafázis a régi, műszaki védelellemel egyáltalán nem rendelkező lerakók esetében.

A lerakó felmérésénél a vizsgálandó paraméterek többségét tulajdonképpen meghatározza a 20/2006 (IV.5.) Korm rendelet, ha figyelembe vesszük a rendeletnek a lerakó létesítésére, kialakítására vonatkozó követelményrendszerét (1. melléklet).

Ahhoz, hogy a lerakó veszélyeztető potenciálját, környezeti kockázatát meg tudjuk határozni minimálisan szükségünk van az alábbi adatokra:

Az üzemi viszonyokra vonatkozó adatok:

- az üzemeltetés kezdete
- az üzemeltetés vége
- a lerakott hulladék fajtája, összetétele
- az éves lerakás mennyisége
- a lerakó által használt terület
- a depónia mélysége (medencés lerakás esetén)
- a depónia magassága
- a lerakott hulladék átlagos vastagsága
- műszaki kiépítettség, gépek
- a tömörítés, beépítés módja
- rendezettség

A műszaki kialakításra vonatkozó adatok:

- az aljzatszigetelő rendszer felépítése
- lezárás, zárószigetelés kialakítása
- ideiglenes, napi takarás
- a csapadékvíz elvezetés
- a csurgalékvízgyűjtő rendszer kialakítása
- a csurgalékvíz kezelése
- depóniagáz gyűjtés, hasznosítás

A természeti adottságokora vonatkozó adatok:

- talajrétegződés, földtani, hidrogeológiai viszonyok
- az altalaj vízzárósága, szivárgási tényezője
- talajvíz terepszint alatti mélysége
- vízbázistól, potenciális vízbázistól ill. annak kijelölt, vagy kijelölés alatt álló védőidomától való távolság, az esetlegesen meglévő hidrogeológiai „A” ill. „B” védőterület távolsága/viszonya a lerakótól/lerakóhoz
- legközelebbi felszíni víz távolsága
- belvíz-, árvíz-veszélytettség (18/2003. (XII.9.)KvVM-BM egy. rend)
- szennyeződéserzékenységi kategória (33/2000. (III.17.) Korm. rendelet
- természetvédelmi területektől való távolság
- lakóterülettől, beépített területtől való távolság

A fentiekén túl, amennyiben a lerakó nem rendelkezik monitoring rendszerrel, úgy a talajra és a talajvízre gyakorolt hatást is meg kell vizsgálni, amihez további feltárások telepítése szükséges.

A talajmechanikai feltáró fúrásokkal mindenképpen a talajvíz szintjéig kell lemenni, de legalább a 10-15 méter mélységet el kell érni, a földtani, hidrogeológiai adottságoktól függően. Mintákat kell venni mind a talajból mind a talajvízből és azokat a hulladéklerakó jellegéből adódó releváns paraméterekre meg kell elemezni, annak az eldöntése érdekében, hogy a lerakó okozott-e vagy sem környezetszennyezést.

A lerakó körül, külön előírás hiányában minimálisan 3db fúrást kell mélyíteni, és az elhelyezésüknél figyelembe kell venni a talajvíz áramlásának az irányát.

2.3.2.1. A veszélyeztető potenciál meghatározása

Annak érdekében, hogy a lerakó bezárásáról, annak módjáról, az egyidejűleg bezárandó lerakók közötti sorrendről, prioritásról dönteni tudjunk, az előző fejezetben ismertetett paraméterek értékelésénél szükségünk van azok számszerűsítésére is. Az ERM Hungária Kft – Greentech Kft (2003) által kidolgozott pontozásos rendszer jól alkalmazható, amennyiben kevesebb adat áll rendelkezésünkre. Lényegesen több adatra, információra van szükség a SZABÓ A. által kidolgozott módszernél, amely több paramétert súlyozottan figyelembe vevő kockázatelemzéses módszer (SZABÓ A. 2004, 2005., 2008).

Az ERM Hungária Kft – Greentech Kft által kidolgozott módszer:

A két cég által kidolgozott módszer előnye az egyszerűség és az értékelési alapadatok egyszerű hozzáférhetősége, mert az általuk figyelembe vett paraméterek többsége a HU 9911-01. számú Phare projektben található HIR (Linsy) adatbázisból (Royal Haskoning – CANOR, 2003) beszerezhető.

Az általuk kidolgozott értékelési módszer főbb jellemzői az alábbiak:

- egy adott lerakó környezeti hatását 15 adat felhasználásával határozták meg (ebből 6 adat a lerakó területi adottságaira, 9 adat pedig a lerakó műszaki kialakítására, üzemelési körülményeire vonatkozik),
- az egyes adatok esetében a környezetterhelés figyelembe vételével 3 válasz lehetőséget határoztak meg,
- egy adott lerakó esetében a vizsgált adatra vonatkozó választ jellemzően a HIR adatbázisából határozták meg (ha felülvizsgálati dokumentáció is rendelkezésre áll, értelemszerűen akkor abból is meghatározásra kerülhet a válasz),
- egy adat jellemzéséhez tartozó válaszokhoz 0-3 között pontértéket rendeltek

- 0 pont: környezetterhelés nem valószínűsíthető
- 1-3 pont: a környezetterhelés valószínűsíthető mértéke 1 pont esetén kicsi, 2 pont esetén közepes, 3 pont esetén nagy,
- mind a 15 adathoz egy 1-3 közötti súlyszámot is rendeltek, amely súlyszámok az egyes adatoknak a környezetterhelés szempontjából eltérő mértékű jelentőségét fejezik ki.

A módszer során alkalmazott pontozásos rendszert a **8. táblázat** mutatja be.

8. táblázat: Az ERM Hungária Kft – Greentech Kft által kidolgozott értékelő rendszer

kérdés száma	1		2**		3		4		5	
kérdés	Hulladékkal fedett terület nagysága	pont	Talajrétegződés, vízáteresztő képesség	pont	Talajvíz terepszint alatti mélysége (m)	pont	Legközelebbi felszíni víz távolsága	pont	Belvív-, árvíz veszélyes terület	pont
súlytényező		1		3		3		2		2
értékek	<0,5 ha	1	vízzáró	0	10 m	0	>500 m	0	C	0
	0,5-2 ha	2	félíg vízáteresztő	3	3-10 m	3	100-500 m	2	B	2
	>2 ha	3	vízáteresztő	9	0-3 m	9	100 m>	6	A	6

kérdés száma	6		7		8		9		10	
kérdés	Szennyeződéserzé-kenységi kategória	pont	Üzemelés kezdete	pont	Bezárás időpontja	pont	Lerakott összes hulladék mennyisége	pont	Alsó szigetelés	pont
súlytényező		3		1		1		3		3
értékek	C	0	0-10 év	1	>10 év	0	<10 Em3	3	jogszabály szerint	0
	B	3	10-20év	2	5-10 év	1	10-100 Em3	6	van, de nem kielégítő	3
	A	9	>20 év	3	<5 év + működő	2	>100 Em3	9	nincs	9

kérdés száma	11		12		13		14		15***	
kérdés	Műszaki kiépítettség, gépek	pont	Lerakási technológia	pont	Hulladékkréteg vastagsága	pont	Egyéb hulladék fogadása	pont	Egyéb megjegyzés	pont
súlytényező		2		1		2		1		3
értékek	szig, csurg, csap, dep	0	völgy+rendezett	0	0-2 m	2	nincs	0	egyik sem	0
	szig, csap	2	domb+rend-tt, v+r-etlen	1	2-5 m	4	inert (ha >20%)	1	1-re van negatív utalás	3
	egyik sem, csak egy	6	terepszint+rendezetlen	3	>5 m	6	szennyvíz/szv. iszap (>10%)	3	1<-re van negatív utalás	9

** jellemző talajtípus 2,5-7,5 m mélységben
kavics, homok: vízáteresztő
iszap: félíg vízáteresztő

*** a figyelembe vett adatok:
lakott terület 500 m-en belül
természetvédelmi terület, vagy egyéb védettség

2.3.3. A hulladéklerakók rekultivációjának általános kérdései

A Magyarországon rekultiválandó lerakók többsége 1995-2000 előtt létesült, uralkodóan kis lerakók, amelyek mindenképpen bezárásra kerülnek, és a rekultivációnál, a zárószigetelőréteg kialakításánál mind a rendeletből adódóan, mind gazdasági okokból egy józan kompromisszumot kell találni. A kompromisszum mértéke értelemszerűen az előző fejezetben ismertetett felülvizsgálat, kockázatelemzés eredményétől függ, az elsődleges mindig a környezet védelme.

A 2009. július 16-ig bezárásra került több mint 2000 lerakó, amelyeknél:

- a regionális hálózat kialakítása miatt a lerakóra már nincs szükség,
- a szigetelőrendszert nem alakítható át az új rendelet elvárásainak megfelelően,
- az üzemeltető/tulajdonos nem kívánja az új rendelet elvárásainak megfelelően átalakítani

A hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről szóló 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet módosításáról szóló 92/2007 (XI.28.) KvVM rendelet szerinti alapfogalmak:

- *rekultiváció*: a bezárt hulladéklerakó vagy a hulladéklerakó egy része környezeti veszélyességének csökkentése új területhasználat előkészítése érdekében lezárással, műszaki védelem és monitoringrendszer kiépítésével vagy a hulladék felszedésével, továbbá tájba illesztéssel.
- *utógondozás*: a hulladéklerakó rekultivációját követő olyan összetett tevékenység, amely magában foglalja a monitoringrendszer üzemeltetését, a csurgalékvíz és a hulladéklerakó-gáz kezelését, valamint a szükségessé váló karbantartási munkákat.
- *tájbaillesztés*: a létesítmény funkcionális és esztétikai szempontok szerinti környezetalakítása a táj i adottság ok figyelembevételével.

A hulladéklerakó rekultivációjára, utógondozására vonatkozó legfontosabb jogszabályi előírások:

- A hulladéklerakó rekultivációjára és utógondozására akkor kerülhet sor, ha a külön jogszabály szerinti beavatkozásra nincsen szükség. A hulladéklerakó egészének vagy egy részének rekultivációját és utógondozását a Felügyelőség - a külön jogszabályban meghatározott szakhatóság bevonásával - engedélyezi.
- Az engedély iránti kérelemnek tartalmaznia kell a rendelet 4. számú mellékletben meghatározott követelmények szerint elkészített rekultivációs tervet.
- Amennyiben a hulladéklerakó környezetre gyakorolt hatásának feltárására, továbbá megismerésére a rekultiváció és az utógondozás engedélyezését megelőzően környezetvédelmi felülvizsgálat készült, és azt követően a hulladéklerakó állapotában lényeges változás nem történt, a rekultivációs tervet a környezetvédelmi felülvizsgálat alapján a 4. számú mellékletnek megfelelően - kell kidolgozni.
- Ha a hulladéklerakó egészének vagy egy részének rekultivációjára a Felügyelőség hivatalból indít eljárást, az üzemeltetőt, ennek hiányában a terület tulajdonosát részleges környezetvédelmi felülvizsgálatra kötelezi. A részleges környezetvédelmi felülvizsgálatot a rekultivációs tervet a részleges környezetvédelmi felülvizsgálat alapján, a 4. számú mellékletben meghatározott követelmények szerint kell elkészíteni.
- A Felügyelőség a hulladéklerakó rekultivációjára és utógondozására vonatkozó környezetvédelmi követelményeket határozatban írja elő, amelynek a következőket is tartalmaznia kell :
 - hulladéklerakó rekultivációjával kapcsolatos technológiai követelményeket.

- a rekultiváció műszaki kivitelezésének a követelményeit.
 - a rekultivációhoz felhasználható anyagok megnevezését és mennyiségét.
 - a 4. számú mellékletében foglaltak meghatározott utógondozási időszakot.
 - az Üzemeltető megnevezését az utógondozási időszakban.
- A Felügyelőség az utógondozási időszak meghatározásakor figyelembe veszi azt az időtartamot, ameddig a hulladéklerakó még kockázatot jelenthet a környezetre.
 - Az utógondozási időszakban a rekultivált hulladéklerakó karbantartásáért, megfigyeléséért és ellenőrzéséért az üzemeltető felelős a 3. számú mellékletében foglaltak figyelembevételével. Az üzemeltető köteles a utógondozás időszakában észlelt környezetszennyezésről a Felügyelőséget - az észleléstől számított 8 napon belül - értesíteni.
 - A hulladéklerakót *átmeneti felső záróréteg rendszerrel* kell lezárni, amíg a hulladéktest biológiailag lebomló szerves összetevőinek stabilizálódása be nem következik, valamint intenzív gázképződés vagy a lerakó süllyedése várható. A *végleges felső záróréteg* rendszer akkor építhető ki, ha a stabilizálódási folyamat a hulladéktestben gyakorlatilag befejeződött.

A fentiekből következik, hogy a lezárással történő rekultiváció a hulladék stabilizálódásától függően történhet egy illetve két lépcsőben. Előbbi esetben a rekultiváció során rögtön a végleges zárószigetelő-rendszert építjük ki a lerakón, míg utóbbi esetben azt megelőzi egy átmeneti felső záróréteg kialakítása.

A rekultiváció és utógondozás a következő főbb részfolyamatokból tevődik össze:

- A rekultivációra és utógondozásra vonatkozó tervdokumentáció elkészítése és engedélyeztetése.
- A hulladéklerakó felső záróréteg rendszerének átmeneti és/vagy végleges kialakítása.
- A hulladéklerakó-gáz gyűjtési és kezelési rendszerének kialakítása és működtetése.
- A csurgalékvíz és csapadékvíz kezelési rendszerének kialakítása és működtetése.
- Az utógondozási időszakban szükséges monitoringrendszer kialakítása és működtetése.
- A hulladéktest formálása, felszíni rétegeinek tömörítése, rézsűk kialakítása, tájba illesztés, a terület további használatának figyelembevételével.
- A további felhasználásra nem tervezett berendezések és építmények elbontása, az általuk elfoglalt terület tájba illesztése.
- A fenntartási és állagmegóvási munkák elvégzése az utógondozás teljes időszakában.
- Az utógondozás befejezése.
- A jelentéskészítési kötelezettség teljesítése.

A fentieket értelemszerűen kell alkalmazni a lerakott hulladék összetételétől, a hulladéklerakó meglévő műszaki létesítményeinek kiépítettségétől, továbbá attól függően, hogy a rekultiváció és az utógondozás a hulladéklerakó egészére vagy annak egy részére vonatkozik.

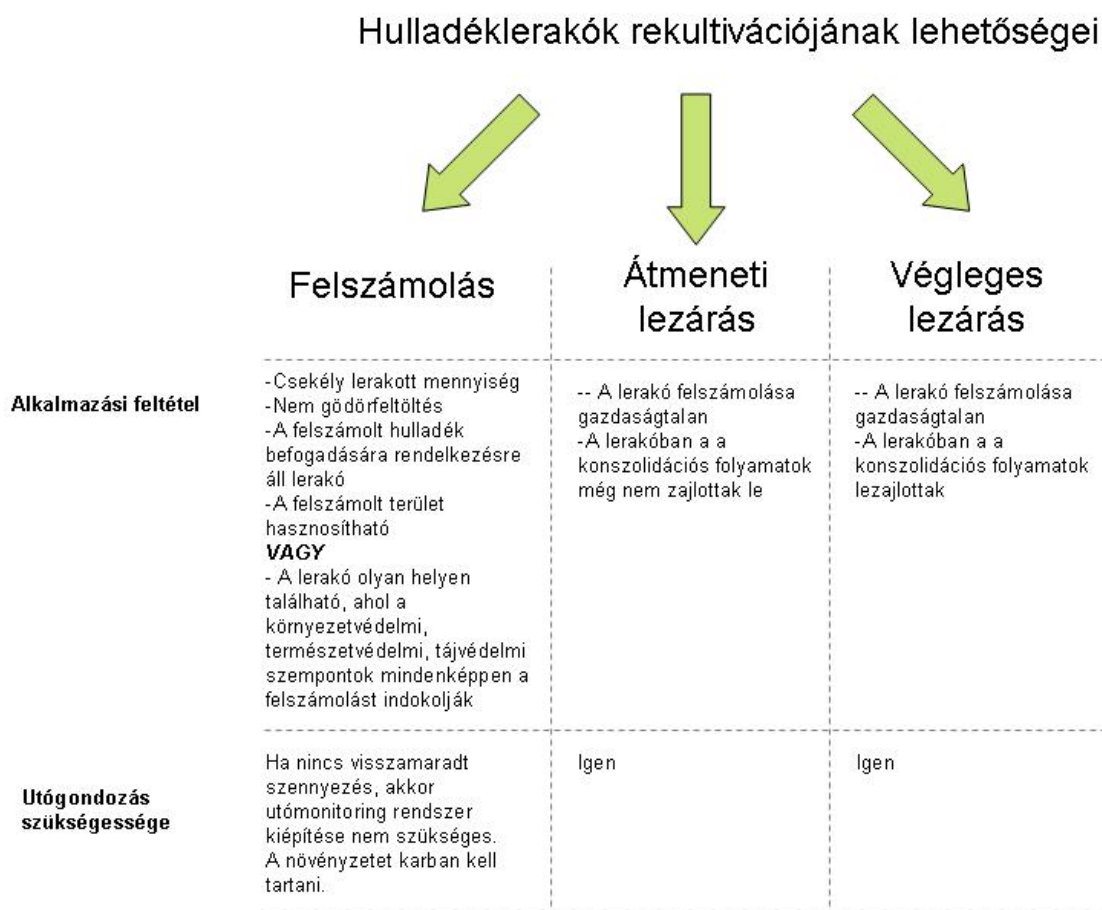
A felső záróréteg rendszer kialakítása értelemszerűen tartalmazza a hulladéklerakó oldalirányú záróréteg rendszerét is, ahol az szükséges.

A rekultivációra és utógondozásra vonatkozó tervdokumentáció tartalmi követelményei (92/2007 (XI.28.) KvVM rendelet 4. melléklete szerint):

- A hulladéklerakó környezeti elemekre, különösen a közvetlen környezetében lévő felszíni és felszín alatti vízre, valamint földtani közegre gyakorolt hatásának, továbbá a környezetszennyezettség kockázatának a bemutatását.

- A hulladéklerakó rekultivációjának ütemezését (átmeneti és/vagy végleges)
- A felső záróréteg rendszer szerkezetét, kialakításának módját (az esési irányokat szintvonalas helyszínrajzon és keresztshelvényeken kell bemutatni).
- Az utógondozási időszakban szükséges monitoringrendszer kialakításának, üzemeltetésének és karbantartásának leírását.
- A hulladéklerakó-gáz kezelésének leírását.
- A csurgalékvíz, csapadékvíz kezelésének leírását.
- A hulladéktest formálását, felszíni rétegeinek tömörítését, a rézsúk kialakítását, a tájba illesztés leírását.
- A további felhasználásra nem tervezett berendezések és építmények elbontásával, valamint az általuk elfoglalt terület tájba illesztésével kapcsolatos tervet.
- A fenntartási és állagmegóvási munkák végzésének tartalmát, módját és ütemezését.
- Az utógondozás befejezésének módját és időpontját.
- Az adatszolgáltatás adattartalmát és módját.

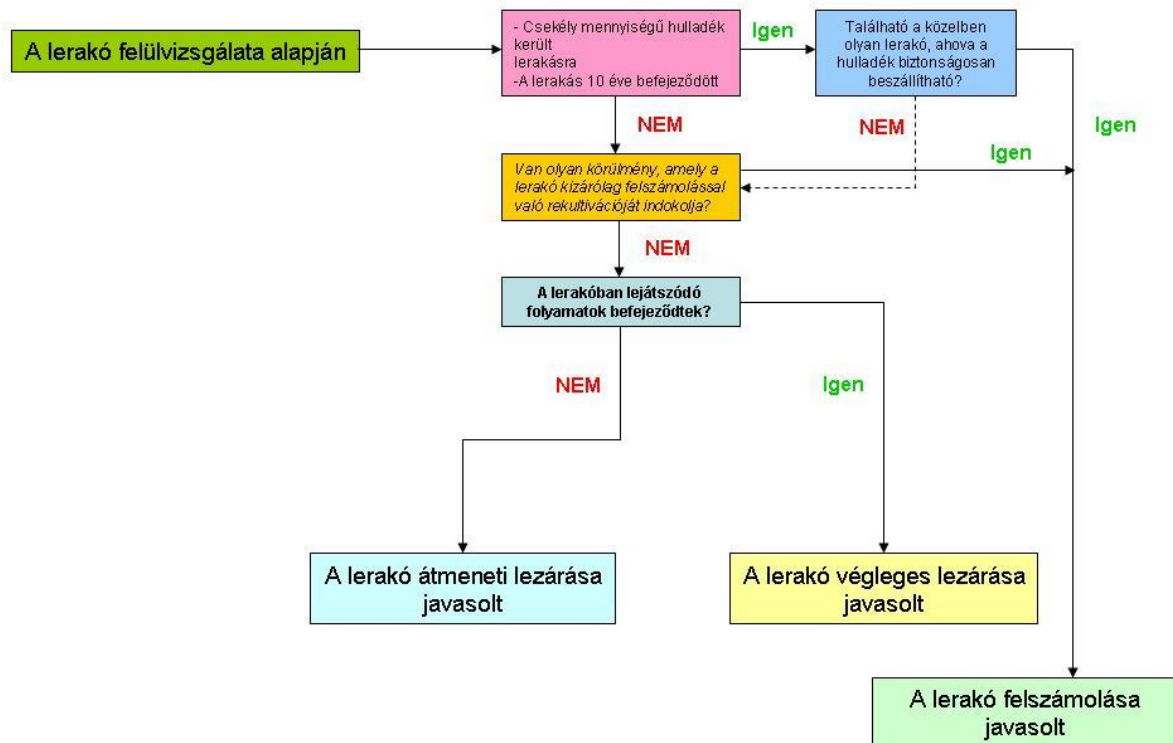
Az idézett rendelet alapján a hulladéklerakók rekultiválásának módját és a rekultiváció különböző típusait összefoglalóan a **29. ábra** mutatja be.



29. ábra: A hulladéklerakók rekultiválásának módjai és a rekultiváció különböző típusai

A különböző rekultiváció módok közül a megfelelő kiválasztásának folyamatát foglalja össze a **30. ábra**.

Hulladéklerakók rekultivációjának módjai közötti választási folyamat



30. ábra: A rekultiváció módjának kiválasztási folyamata

2.3.3.1. A hulladéklerakók átmeneti záró-szigetelőrendszere

Az átmeneti (ideiglenes) záró szigetelőrendszer megépítését a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet 4. sz. melléklete szabályozza.

A megfelelő hulladékbetöltési-, feltöltési magasság elérése után a lerakó vagy annak egy része bezárásra/lezárásra kerül. Azzal, hogy a lerakót lezárjuk a *hulladék-konzolidáció folyamata nem áll meg*, tovább folytatódik/megindul a *hulladék lebomlása*, valamint a *mechanikai konszolidáció*, azaz még hosszú ideig jelentős csurgalékvíz-mennyiséggel és felszínmozgással/süllyedéssel kell számolnunk. Annak érdekében, hogy:

- a hulladék lebomlásához optimális feltételeket biztosítsunk,
- a végleges záró-szigetelőrendszer egyenlőtlen süllyedések miatti tönkremenetelét (funkcionális) megakadályozzuk ill. megelőzzük,
- célszerű a lezárás első fázisában egy ideiglenes, átmeneti záró-szigetelőrendszert beépíteni.

Inert hulladékok lerakójánál, ill. olyan veszélyeshulladék-lerakóknál, ahol a hulladék lebomlásával, a hulladéktest jelentős konszolidációjával nem kell számolni, ideiglenes záró-szigetelőrendszer megépítése nem szükséges.

Az átmeneti záró-szigetelőréteget mindaddig üzemeltetni kell, amíg a hulladéktest biológiai és mechanikai stabilizációja/konzolidációja be nem következik.

Az átmeneti záró szigetelőrendszertől elvárt követelmények:

- az alkalmazott anyag a várható süllyedéseket tönkremenetel, jelentősebb hatékonyságcsökkenés nélkül el tudja viselni;
- segítse elő a minimális csurgalékvíz-képződést;
- akadályozza meg a csapadékvíznek a kívánatosnál nagyobb mértékű beszivárgását a depóniába;
- tegye lehetővé a depóniagáz ellenőrzött kezelését.

Ellentmondani látszik egymásnak az a követelmény, hogy akadályozza meg a csapadékvíz bejutását a depóniatestbe (minimális csurgalékvíz-képződés), de mégis *engedjen át annyi vizet, amennyi a hulladéklebomlási folyamathoz szükséges*. Valójában ezen utóbbi funkció betöltése a legnehezebb, és ez az oka annak, hogy az átmeneti záró-szigetelőrendszer felépítésének rétegrendjére nem adható egy általános mindenhol alkalmazható generális megoldás. Minden lerakó egyedi mérlegelést, egyedi tervezést, egyedi rétegrendet igényel.

Az átmeneti záró-szigetelőrendszer anyaga kiválasztásánál figyelembe veendő szempontok:

- megkívánt vízzáróság;
- időtartam;
- széljárás;
- fagyérzékenység;
- erózióveszély;
- beépíthetőség (aljzat, rézsű);
- újrafelhasználhatóság, a végleges záró-szigetelőrendszerbe való integrálhatóság;
- visszabonthatóság;
- költségek.

Az alternatív záró-szigetelőrendszer felépítésénél leginkább *számításba jövő anyagok, és jellemző méretek* (SCHATZ, 1997.):

Ásványi anyagú szigetelések

- felépítés:
 - védő-kiegyenlítő réteg (30 cm);
 - ásványi szigetelés (30-40 cm);
 - fedőréteg (50-80 cm).
- ❖ *előnyös tulajdonságok:*
 - nem kell szélfúvással szembeni biztosítás;
 - időállóság.
- ❖ *hátrányos tulajdonságok:*
 - nagy előkészítő-munka igény a kiegyenlítő réteg miatt;
 - relatíve nagy vastagság (≥ 30 cm);
 - fagy, erózió, kiszáradás elleni védelem a fedőréteg alkalmazásával;
 - nagyobb lejtések mellett nem alkalmazható;
 - nagy be- és kiépítési munkaigény;
 - jelentős költségek.

Geomembránok

- ❖ *felépítés:*
 - kiegyenlítő réteg (finom hulladék, salak, pernye, stb.);
 - geomembrán (1,0-2,0 mm);
 - szél elleni védelem.

❖ *előnyös tulajdonságok:*

- jó vízzáróság;
- hosszú élettartam;
- hegesztett kivitelnél megfelelő szélfúvással szembeni biztonság;
- kis fagyérzékenység;
- kevés előkészítő munkaigény;
- meredekebb rézsűszög mellett is beépíthető (1:2 ÷ 1:2,5);
- relatíve jó újrahasznosíthatóság;
- kedvező visszanyerési munkaigény;
- közepes költségek.

❖ *hátrányos tulajdonságok:*

- hegesztés nélkül (átlapolással) fektetve szél elleni védelem szükséges;
- a befedett felületek sérülésérzékenyek.

Bentonitszőnyegek

❖ *felépítés:*

- kiegyenlítő réteg (finom hulladék, salak, pernye, stb.);
- bentonitszőnyeg;
- takaróréteg (50-80 cm).

❖ *előnyös tulajdonságok:*

- nincs szükség szél elleni védelemre;
- relatíve egyszerű fektetés;
- rézsűkön is alkalmazható.

❖ *hátrányos tulajdonságok:*

- fagy, erózió, kiszáradás elleni védelem kell;
- viszonylag nagy be- és kiépítési ráfordítás;
- alig visszanyerhető;
- relatíve magas költségek.

Az átmeneti lezárás alkalmazására néhány példát a *BSc tananyag H.8. ábrája* mutat be.

2.3.3.2. *A hulladéklerakó végső záró-szigetelőrendszere felépítésének szabályozása*

A *depóniák végleges lezárására* túlnyomórészt *természetes- és mesterséges anyagú* (elsősorban az aljzatszigetelőknél is megismert műanyag fóliák) szigetelőrétegek jönnek számításba.

Általánosan elmondható, hogy a zárószigetelő-rendszernek a következő elemei vannak (a hulladéktól a felszín felé haladva):

- kiegyenlítő réteg,
- gázvezető (gázmentesítő) réteg,
- szigetelő rétegek:
- természetes anyagú,
- mesterséges anyagú,
- szivárgó paplan,
- szűrő réteg,
- rekultivációs réteg,
- termőtalaj.

A lezáró rendszer méretezésénél figyelembe veendő:

- a földmunkára beépítésre, tömörítésre vonatkozó előírások;
- a rendszer kellő biztonsággal rendelkezzen a *megcsúszással szemben*;

- a geomembrán és a geotextília megfelelő szilárdsági jellemzőkkel rendelkezzen a *mechanikai igénybevételekkel* szemben;
- ellenálló legyen a kémiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (csurgalékvíz, depóniagáz, gázkondenzátumok);
- ellenálló legyen a biológiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (csurgalékvíz, depóniagáz, gázkondenzátumok);
- ellenálló legyen a biológiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (növényi gyökérzet, rágcsálók, mikrobiológiai átalakulási folyamatok);

Figyelembe véve az 1999/31/EK valamint a 33/2003 EK irányelveket, a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet a hulladéklerakók lezárásának szabályozását a **2. ábra – 5. ábra** tartalmazzák.

A zárószigetelés tervezésének szempontjai

Kiegyenlítő és gázvezető réteg

A szigetelőréteg alá egy *kiegyenlítő, és ha szükséges gázvezető réteg kerül.*

A *kiegyenlítő réteg* anyaga homogén, nem kötött, gázvezető talaj, vastagsága legalább 30 cm. Tilos a kiegyenlítő réteget gázmentesítő réteggént használni. Anyaga lehet: kis mésztartalmú szemcsés talaj, kohósalak, hulladékégetőből kikerülő salak is.

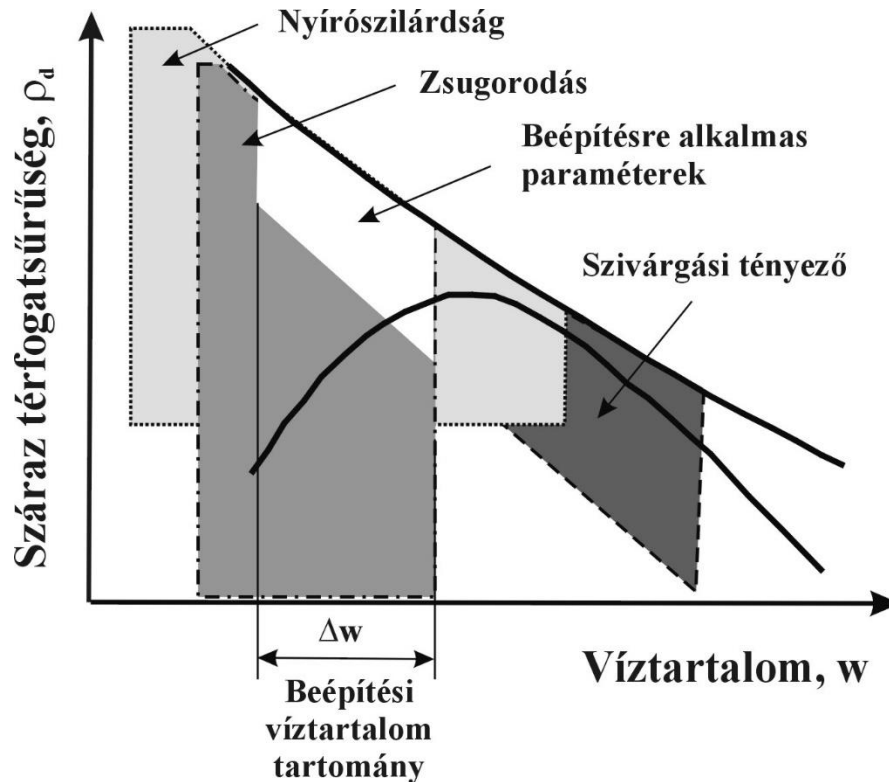
A *gázvezető (mentesítő) réteg* anyaga jó gázvezető képességű, kis mésztartalmú ($\text{CaCO}_3 < 10\%$), egyenletes szemcseeloszlású anyag, amelynek az adott esésviszonyok mellett állékonynak kell lennie. Az állékonyosság a hagyományos állékonyosságvizsgálati módszerekkel (JANBU, BISHOP, rétegcsúszás) ellenőrizendő. Alacsony maradék-gáz tartalom esetén a mésztartalom felső határa 25 %.

A természetes anyagú szigetelőréteg

A természetes anyagú szigetelőréteg, amennyiben előírás (B1b; B3; C típusú lerakók) 2×25 cm vastagságban építendő be, a szivárgási tényező megkívánt értéke B1b és B3 típusú lerakók esetén $k \leq 5 \times 10^{-9}$ m/s, C típusú lerakó esetén $k \leq 10^{-9}$ m/s.

Az ásványi anyagú szigetelés beépítése 1:2,5 rézsűhajlásig az esésiránnyal párhuzamosan történhet, nagyobb esésnél a beépítése kritikus, a réteget erősíteni (pl. georács) kell, vagy az alternatív megoldások előnyben részesítendőek

Ellentétben az aljzatszigetelésnél tapasztaltakkal a zárószigetelésnél a szigetelőréteg tömörítését, beépítését a *Proctor görbe száraz oldali ágán* ($w_{be} < w_{opt}$) kell végezni, $T_{rp} > 95\%$ relatív tömörségi feltétel mellett (lásd a **31. ábra**).



31. ábra: Az agyagszigetelés beépítési víztartalmának meghatározása a zárószigetelés kialakításánál

A természetes anyagú szigetelőréteg *kiválasztásánál* figyelembe veendő szempontok, értékelési kritériumok:

- szigetelőkéesség:
- vízzáróság,
- gázokkal szembeni szigetelőkéesség.
- mechanikai ellenállókéesség:
- állékonyság,
- alakváltozási biztonság,
- erózióval szembeni ellenállókéesség
- időállóság:
- a gázkonduktumokkal szembeni ellenállókéesség,
- hőmérsékletváltozással szembeni érzékenység,
- mikroorganizmusok, gombákkal szembeni ellenállókéesség,
- a növényi gyökérzettel szembeni jó ellenállókéesség.
- kivitelezés
- a szabályoknak megfelelő kivitelezés biztosítása,
- mechanikai ellenállókéesség az építési fázisban előforduló terhekkel szemben,
- időjárás változással szembeni tűrőkéesség,
- ellenőrizhetőség,
- javíthatóság.

A geomembrán

A geomembrán megkívánt vastagsága végleges lezárásnál a C típusú lerakóknál 2,5 mm. Megfelelő anyagválasztás és beépítés esetén élettartamuk mai ismereteink szerint a 100 évet meghaladja.

A kiválasztás szempontjai, követelmények:

- szigetelőkéesség:

- vízzáróság,
- gázokkal szembeni szigetelőképeség.
- mechanikai ellenállóképesség:
- érdesített, struktúrált felszínű lemezek 1:2,5 rézsúhajlásig állékonyak,
- kedvező alakváltozási tulajdonságok, legalább 3%-os nyúlás sérülésmentes felvétele,
- célszerű az egyenlőtlen süllyedéseket jobban elviselő, kedvezőbb többtengelyű nyúlási értékkel bíró membránok (LPDE, EPDM) alkalmazása, alkalmazásának megfontolása.
- időállóság:
- a megfelelő tanúsítvánnyal rendelkező fóliának a releváns kémiai anyagokkal és a gázkondenzátummal szemben ellenállónak kell lennie,
- mikroorganizmusok, gombák elleni ellenállóképesség,
- növényi gyökérrzel szembeni ellenállóképesség.
- az előírásoknak megfelelő kivitelezhetőség,
- külső terheléssel szembeni ellenállóképesség (védőréteg alkalmazása szükséges),
- időjárás állékonyság (5°C alatt tilos fektetni, napsugárzás hatásával szembeni ellenállóképesség),
- ellenőrizhetőség (hegesztés, toldás),
- javíthatóság.

A szivárgó paplan

A szigetelőréteg fölé a nem veszélyes és veszélyes hulladékok lerakóinál (B1b; B3; C) $k \geq 5 \times 10^{-3}$ m/s, a 30 cm vastagságú szivárgó paplan kerül, anyaga mosott kavics.

A szivárgó paplan és a geomembrán közé egy a *mechanikai védelmet* biztosító-, a szivárgó paplan és a rekultivációs réteg közé egy *szűrőréteggént funkcionáló geotextília* kerül. Rézsús, lejtős oldalakon a mosott kavics helyett beépítésre kerülhet osztályozatlan homokos kavics vagy kőzúzalék, a sűrűlódási erők növelése céljából. *Kőzúzalék* alkalmazása esetén a *geomembrán mechanikai védelmére (átlyukadás)* különös gond fordítandó, és előzetes laboratóriumi terhelési kísérletek végzése célszerű.

Amennyiben az egyenértékűség igazolható (hidraulikai), úgy geokompozitok, geodrének beépítése is megengedett.

A rekultivációs réteg

A szivárgó paplan fölé egy legalább 1,0-1,2 m vastag rekultivációs réteg kerül. A *rekultivációs és szivárgó réteg vastagsága együtt legalább 1,5 m* kell, hogy legyen. A vastagságának megválasztásánál figyelembe kell venni:

- a területre jellemző fagylehatolási mélységet,
- a rekultivációs növényzet gyökérzetének lehatolási mélységét. (A szivárgó paplanba a gyökérrzóna ne érjen bele.)
- *vízháztartási viszonyokat*. (A szigetelőréteget a kiszáradástól meg kell védeni.)

A *rekultivációs réteg anyagának* kiválasztásában jelentős szerepet játszanak a helyi adottságok. A lehetőségeken belül figyelembe kell venni, hogy a *réteg elsődleges szerepe a csurgalékvíz minimalizálása*, tehát azok a talajok jönnek elsődlegesen számításba, amelyek *jó víztároló-képességgel* rendelkeznek, és az alkalmazott növényzettel együtt jelentős az *evapotranspiráció*. Német ajánlások szerint leginkább kedvezőek a *homoklisztes-, iszapos talajok*, amelyeknek az *agyag és iszaptartalma* közepes, és az ún. *szabadföldi vízkapacitása (VK_{sz}) legalább 200 mm*.
A

9. táblázat a rekultivációs rétegeként számításba jövő leginkább kedvező talajfajtákat tünteti fel. A szabadföldi vízkapacitás értékénél a kisebb érték a lazán beépített talajokra ($\sigma < 1,45 \text{ g/cm}^2$), a nagyobb érték a közepes tömörségű ($\rho = 1,45\text{-}1,65 \text{ g/m}^3$) talajokra vonatkozik

9. táblázat Rekultivációs rétegeként leginkább ajánlott talajok

Talajtípus	Iszaptartalom (%)	Agyagtartalom (%)	Szabadföldi vízkapacitás (VKsz; mm)
Homoklisztes, iszapos homok	10-40	8-17	185-220
Iszapos homok, homokliszt	10-50	0-15	210-270
Agyagos homok	0-15	5-25	220-270
Homokos homokliszt	10-50	15-45	160-200
Homokos iszap	50-80	0-17	200-260

A rekultivációs réteg vastagságát a rendelet szabályozza, a szigetelőréteg fölött a szivárgó- és rekultivációs réteg együttes vastagságának el kell érnie az 1,0 métert. Ez azt jelenti, hogy ha a szivárgó réteg vastagsága 0,3 m, akkor a rekultivációs réteg 0,7 méter vastag, és geodrén alkalmazása esetében értelemeszerűen 1,0 m.

A rekultivációs réteg vastagságának a csökkentése csak olyan *alternatív megoldásként* jöhet számításba, amelyeknél a szigetelő funkciót betöltő elem nem időjárás érzékeny. Ilyen megoldás lehet pl. a geomembrán alkalmazása, azonban a nagyobb időjárás-hatásnak való kitettség miatt a membrán alá észlelőhálózat építése szükséges.

A rekultivációs réteg vastagságát, a szigetelőréteg hatékonyságát *jelentősen befolyásolja* az alkalmazott növényzet és a növények gyökérlehatolási mélysége. A 10. táblázat a leginkább számításba jövő növények gyökérzetének lehatolási mélységét tünteti fel.

10. táblázat Különböző növények gyökérzetének lehatolási mélysége

Növény	A gyökérzet lehatolási mélysége (cm)
Zöldmezős vegetáció	
szarvas kerep (<i>Lotus corniculatus</i>)	30-100
közönséges aszat (<i>Cirsium</i>)	80-150
réti perje (<i>Poa pratensis</i>)	70-200
francia perje (<i>Arrhenatherum elatius</i>)	100-200
gyermekláncfű (<i>Taraxacum officinale</i>)	70-240
mezei aszat (<i>Cirsium arvensis</i>)	80-150
ökörfarkkóró (<i>Verbascum lychnitis</i>)	< 150
(fodros) sóska (<i>Rumex crispus</i>)	< 150
Bokros, fás vegetáció, cserje	
földiszeder (<i>Rubus fruticosus</i>)	< 200
(hamis) akácfa (<i>Acacia</i>)	> 200
fehér fűz (<i>Salix alba</i>)	< 300
bükkfa (<i>Fagus sylvatica</i>)	180-300
juharfa (<i>Acer</i>)	> 150

A rekultivációs réteg beépítése *rétegesen* történik, általában *2 rétegben elegendő a terítés, mivel az elérendő térfogatsűrűség (a humuszréteg alatt) 1,4-1,6 t/m³, azaz a terítési rétegvastagság 0,5-0,6 m.*

A *humuszréteg* vastagsága ne legyen több, mint 0,3 m, a térfogatsűrűség értéke 1,2-1,45 t/m³ között, a *szabadföldi vízkapacitás* értéke *legalább 200 mm* legyen.

Az átszivárgó vízmennyiséget tovább csökkenthetjük, ha a rekultivációs réteg alját (a humuszréteg és az altalaj alatt) ún. „*gyökérszáró*” *réteggént* képezzük ki, azaz úgy építjük meg, hogy azon a gyökérszóna minél nehezebben hatoljon át. Ilyen réteg lehet pl. egy 0,2-0,3 m vastag *erősen kötött v. erősen kötörmelékös tömör* ($\sigma > 1,8 \text{ t/m}^3$) réteg, vagy számításba jöhetnek a *geoműanyagok is*.

2.3.4. Alternatív megoldások a záró-szigetelőrendszer elemeinél

Bentonitszőnyeg

A bentonitszőnyegeket elsősorban akkor jöhetnek számításba, ha a depóniánál *nagy felszínsüllyedések* várhatók.

Német ajánlások (LAGA) alapján alkalmazásuk a következő esetekben ajánlott:

- kis veszélyeztető potenciált jelentő lerakók végleges zárószigetelésénél;
- általánosan ajánlott ideiglenes lezárásra, amíg a süllyedések nagy része lejátszódik.

Ásványi anyagú szigetelőréteggént való alkalmazásnál:

- két szőnyeg fektetendő egymásra, ezzel elősegítve, hogy az alsó szőnyeg ne tudjon kiszáradni;
- a maximálisan megengedhető rézsűhajlás 1:3, meredekebb hajlásnál a rendszer stabilitását erősíteni kell, pl. georáccsal.

Jelenleg még nem teljesen tisztázott kérdések:

- a geotextília komponens öregedésének a folyamata;
- a kiszáradás, biológiai hatásokkal szembeni hatékony és gazdaságos védekezési módszer.

Polimerekkel javított homok-bentonit keverék (TRISOPLAST)

A *polimer adalékanyagot tartalmazó ásványi anyagú keveréktalajok* a már ismert összetevők mellett további adalékként általában üzleti titokként kezelt összetételű *polimert* adagolnak. A legismertebb ilyen polimer adalékú keveréktalaj a TRISOPLAST nevű szigetelőanyag (TD Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Wentdorf). Magyarországon kevésbé ismert és még egyáltalán nem alkalmazták, ezért a többi alternatív megoldásnál részletesebben ismertetjük.

A TRISOPLAST szigetelőanyag műszaki adatait a **11. táblázat** foglaltuk össze.

Németországi tapasztalatok a keverékkel rendkívül kedvezőek, amit kiterjedt laboratóriumi vizsgálatok támasztanak alá:

Időállósága jelenleg nem tisztázott. A keverék kémiai egyensúlyi állapotban van, várhatóan hosszú távon stabil marad, azonban a polimer adalék időállóságát még vizsgálni kell. Kevés tapasztalat van a szilárdsági tulajdonságoknak a beépített rétegben való változására.

A Na-Ca *kationcsere* lényegesen lassúbb, mint a bentonitszőnyegeknél.

Biológiai hatásokkal (pl. zárószigetelésnél) szemben ellenálló, azonban további tapasztalatokra van szükség.

Szivárgási tényező értéke: nagyon kedvező, az eddigi vizsgálatok eredményei $6 \times 10^{-11} - 10^{-12}$ m/s tartományban mozogtak.

Gázáteresztő-képesség: megegyezik a hagyományos ásványi anyagú szigetelőrétegekével.

11. táblázat A TRISOPLAST szigetelő anyag jellemző paraméterei

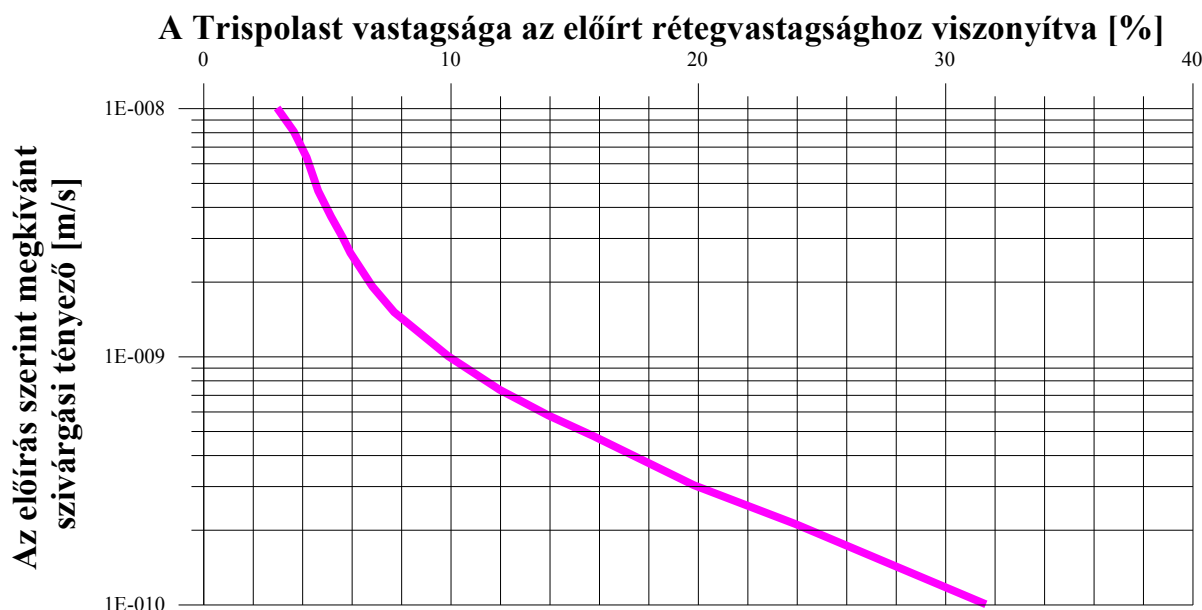
Összetétele:	$\leq 89,1\%$ ásványi alapanyag (pl. homok) $\geq 10,7\%$ bentonit $> 0,2\%$ polimer
Az ásványi alapanyaggal szemben támasztott követelmény:	0,063 mm-nél kisebb szemcseméret : $\leq 10,0$ súly % 4,0 mm-nél nagyobb szemcseméret : $\leq 0,5$ súly % 5,6 mm-nél nagyobb szemcseméret : 0,0 súly % Átlagos szemcseátmérő (D_{50}) : 0,15–0,70 mm Szervesanyag tartalom : $\leq 1,5$ súly % Mész tartalom : $\leq 5,0$ súly % pH érték : 4,5-10,0 vezetőképesség : 1000 μ S/cm
Beépítési térfogatsűrűség	1,62 – 1,76 g/cm ³
Optimális tömörítési víztartalom	8 – 16 %
k- tényező (vízre)	$8,9 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-12}$ m/s
k- tényező (csurgalékvízre)	$4,3 \times 10^{-11} - 2,5 \times 10^{-11}$ m/s
k- tényező többszöri fagyasztás-felengedési ciklus után	$k_f \approx 1,8 \times 10^{-11}$ m/s
k- tényező (10% deformáció mellett)	$k_f < 6 \times 10^{-11}$ m/s
Megengedett lehajlási görbületi sugár	$r \cong 6,0$ m $w_n \cong 6\%$ víztartalomnál $r \cong 2,5$ m $w_n \cong 20\%$ víztartalomnál
Nyírószilárdsági paraméterek	Belső súrl. szög ($\phi \geq 30^\circ$; kohézió: $c \geq 17$ kPa)
Geomembrán (érdesített) és a TRISOPLAST réteg közötti súrlódási jellemzők	Súródási szög: $\phi \geq 28^\circ$; adhézió: $a = 3 - 4$ kPa
Duzzadás	$\sigma = 10$ kPa – nál $\varepsilon_{\max} = 8\%$ $\sigma = 130$ kPa – nál $\varepsilon_{\max} = 0\%$

Deformációs tulajdonságok: kedvezőek, a vizsgálatok szerint a relatíve száraz állapotú réteg több százaléknyi deformációra is repedésmentesen reagált.

Állékonyság: a viszonylag magas bentonittartalom a meredekebb rézsűkön az állékonyságot csökkenti, további helyszíni vizsgálatok szükségesek.

Előállítás: a keveréket *helyszínen keverő-berendezéssel kell előállítani, a recept szigorú betartásával.* A beépítése hagyományos gépekkel lehetséges. A szivárgási tényező viszonylag érzéketlen a tömörítés minőségére, tapasztalat szerint 80–85% tömörségi fok elérése után a k-tényező jelentősen nem változik, $T_{rp} = 92\%$ elérése egyenletes, kis szivárgási tényező értéket biztosít. A minimális beépítési rétegvastagság 7-10 cm. Mechanikai sérülésekre kevésbé érzékeny, mint a bentonitszőnyegek. Folyamatos helyszíni minőségellenőrzés szükséges.

A megkívánt vízzárósági kritérium alapján a szükséges beépítési rétegvastagságot a **32. ábra** alapján határozhatjuk meg.



32. ábra: A TRISOPLAST szigetelőréteg beépítési vastagságának a meghatározása

Bentonit és ásványi anyagú keverékek

A lerakók helyén az esetek többségében nem áll rendelkezésre a helyszínen vagy gazdaságos távolságon belül jó minőségű agyag. Ebben az esetben kedvezően alkalmazhatók szemcsés talaj és bentonit megfelelő arányú keverékéből készített keverékek. A keverék szemcseeloszlása akkor a legjobb, ha megfelel a Fuller-görbe kívánalmainak.

A keverési arányt előzetes vizsgálatokkal kell meghatározni, a szükséges bentonit mennyiség: 6-12% közötti, a bentonit minőségétől, agyagásványos összetételétől, őrlési finomságától függően.

Előnyei:

- meredek rézsúhajlásnál is alkalmazható, max 1:1,5;
- zsugorodásra kevésbé hajlamos, így kisebb az esélye száradási repedések kialakulásának;
- megfelelő tapasztalatok állnak rendelkezésre már kivitelezett zárószigeteléseknél.

Hátrányok:

- kivitelezése fokozott technológiai fegyelmet, felkészültséget igényel;
- a megkívánt vízzáróság csak szűk víztartalom intervallumban biztosítható, ezért a keverék előállítása *speciális keverő-berendezést igényel a helyszínen*;
- kivitelezés közbeni erózióérzékenység.

Kapilláris szigetelőrendszer

A kapilláris szigetelőrendszer egy kétrétegű, eltérő szemcseméretű rétegekből álló rendszer. Alul helyezkedik a *durvább szemcseméretű* 0,2-0,3 m vastag, (általában kavics, homokos kavics) ún. *kapilláris blokk*, fölötte pedig a 0,4-0,6 m vastag, finom-, középfinom-szemcséjű homok anyagú *kapilláris réteg*. Telítetlen állapotban a finomszemcséjű kapilláris rétegnek lényegesen nagyobb a kapilláris szívása, mint a durvaszemcséjű kapilláris blokknak, s így a háromfázisú (talaj–levegő–víz) rendszerben a kapilláris réteg szivárgási tényezője lényegesen nagyobb, mint a kapilláris blokkban.

Számos kedvező tapasztalat áll rendelkezésre a rendszer hatékonyságáról.

1:2,5 lejtőhajlásig problémamentesen kivitelezhető. A kapilláris réteg és kapilláris blokk közé célszerű egy *geotextília szűrőréteg* beépítése, a finomszemcsék bemosódásának elkerülése érdekében.

A rendszer előnyei:

- viszonylag egyszerű kivitelezhetőség, alacsony építési költségek;
- egyszerű minőségi ellenőrzés;
- kiszáradással szemben érzéketlen;
- nagyobb dőlésszögek melletti alkalmazhatóság.

Alkalmazásánál figyelembe kell venni, hogy szemben a többi „hagyományos” természetes anyagú szigetelőrétegekkel, a kapilláris szigetelő rendszer *gázokkal szemben nem szigetel.*

Evapotranspirációs szigetelőrendszer

A hulladéklebomlási folyamat során az optimális lebomláshoz a hulladéktestben egy bizonyos mennyiségű, a hulladék fajtájától, összetételétől, szervesanyag tartalmától függő vízmennyiségre is szükség van (lásd a gázképződéssel foglalkozó fejezetben). Ebből adódóan nem biztos, hogy minden esetben a hulladék teljes izolációja jelenti a legjobb megoldást. Az előzőekben leírtak és a kedvező gazdaságosságuk miatt kerülnek egyre inkább előtérbe az ún. evapotranspirációs (ET) zárószigetelések.

Az ET szigetelések a vízháztartási mérlegen alapulnak, amit a talaj tározási tényezője, a csapadék, a felszíni lefolyás, az evapotranspiráció és az infiltráció határoz meg. Az ilyen típusú szigetelők kialakításánál lényeges kérdések:

- A nagy tározási tényezővel (szabadföldi vízkapacitás nagyobb, mint 200 mm) rendelkező finomszemcsés talajok, mint az iszap, agyagos iszap alkalmazása.
- Őshonos vegetációk telepítése az evapotranspiráció növelése érdekében.
- Helyben előforduló talajok alkalmazása a költséghatékony kialakítás érdekében.

Valójában az előzőekben ismertetett kapilláris zárószigetelő rendszer is bizonyos mértékig az ET szigetelések közé sorolható, legalább is több szerző ide sorolja.

Az egyrétegű ET szigetelőrendszerek koncepciós vázlatát és működésének elvét szemlélteti a **33. ábra.**

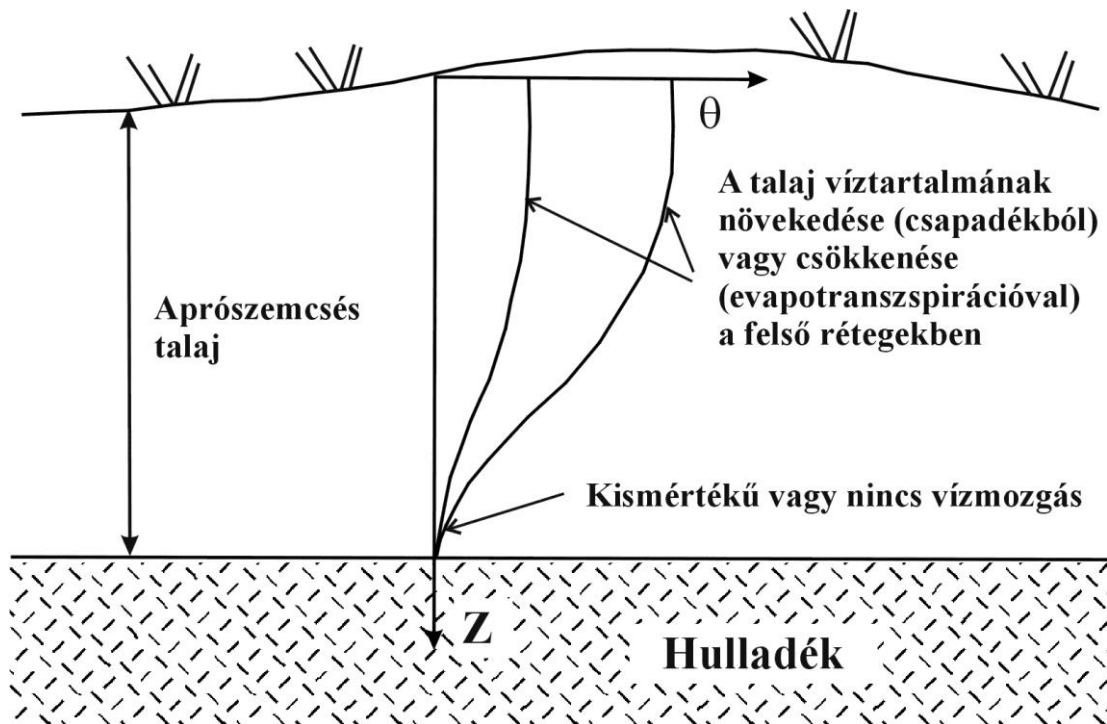
Az ET zárószigetelés szükséges vastagságának a meghatározása a lerakó vízháztartásának a vizsgálatát kívánja meg, amit a korábban ismertetett HELP modellel elvégezhetünk. A méretezés lépései:

- A tervezett éves beszivárgási arány meghatározása a kritikus meteorológiai évre, valamint a tározási tényező definiálása.
- A tervezett beszivárgási arány definiálása. Ezt az értéket általános esetekben 10 mm/év értékben határozzák meg természetes szigetelők (agyagszigetelők) esetében. Geomembrán és geokompozit szivárgóréteg esetében kb. 3 mm/év. A tervezett beszivárgási arányt meghatározhatjuk a hulladéklebomláshoz szükséges vízmennyiség alapján is.
- A zárószigetelő réteg vastagságának kiszámítása.

Geomembrán szigetelő fólia alkalmazása

A geomembrán megkívánt vastagsága nem veszélyes hulladékok lerakójánál, alternatív megoldásként, az alkalmazott geomembrán típustól/anyagtól függően lehet 1,0 - 2,0 mm. Megfelelő anyagválasztás és beépítés esetén élettartamuk mai ismereteink szerint a 100 évet meghaladja.

A kiválasztás szempontjai, követelményei megegyeznek a **2.3.3.2** leírtakkal.



33. ábra: Az evapotranspirációs lezárás elve

Aszfalt szigetelés

Az aszfalt szigetelés számításba jöhet a szigetelő fólia helyett kombinált szigetelőrendszer elemeként, vagy önmagában is a záró szigetelőrendszer kialakításakor. Hazánkban az alkalmazása nem terjedt el.

Általában 1:2,5 lejtésig alkalmazható, esetenként nagyobb lejtőszög esetén is beépíthető, a beépítés kötélvontatással (csörlővel) mozgatott tömörítőgéppel történhet.

Alternatív megoldások a szivárgó paplan esetében

Geoműanyag szivárgók

A geoműanyagokból felépített szivárgó réteg lehet speciálisan erre a célra előállított *drénpaplan*, vagy két geotextília közötti georács (*geokompozit paplan*).

Az alkalmazásnál *megkívánt funkciók*:

- a finom szemcsék bemosódásának megakadályozása;
- a beszivárgó csurgalékvíz elvezetése;
- a műanyag fólia mechanikai védelme;
- a növényi gyökérzettel szembeni ellenálló-képesség;
- időállóság;
- állékonyosság.

Homok szivárgópaplan

A rekultivációs réteg-, az esésviszonyok-, a növényi telepítés jó megválasztásával, a *zárószigetelés vízháztartásának optimalizálásával* esetenként megfontolandó, hogy a felhasználás helyén nagyon sokszor hiányzó *szűrőkavics* ($k > 10^{-4} - 10^3$ m/s) *helyett méretezett*

vastagságú homokréteg kerüljön beépítésre, esetleg akár dréncsövek beépítésével segítve a hatékony víztelenítést (SASSE, T.– BIENER, E., 2002.)

Általában elmondható, hogy műszakilag kedvezőbb és indokoltabb a zárószigetelés, és azon belül a szivárgó paplan méretezése, mint az előírások merev alkalmazása.

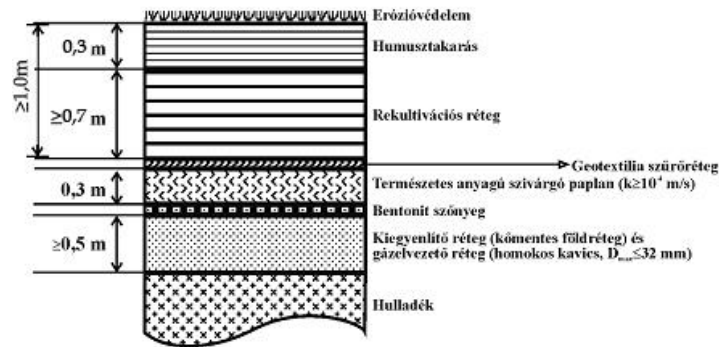
Példák az alternatív szigetelőrendszerek felépítésére

Az alternatív szigetelőrendszerek összehasonlításánál a két legfontosabb paraméter:

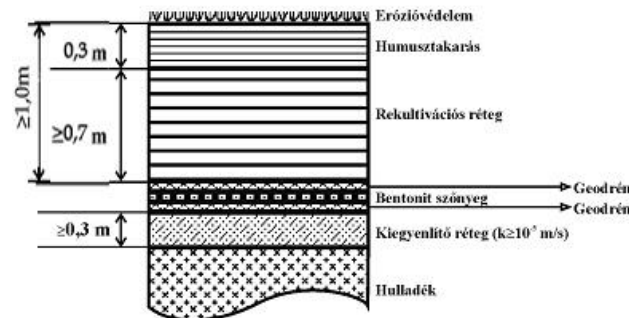
- a hatékonyság,
- a költségek.

Az előzőekben tárgyalt alternatív megoldások alkalmazására mutatnak be példákat a **34. ábra** – **37. ábra**. Az ábrákon feltüntetett rétegekombinációk, méretek összhangban vannak a lerakó rendelet előírásaival, és közülük a helyi adottságok, a lerakó paramétereinek alapján, figyelembe véve a gazdaságossági szempontokat, lehet az optimális megoldást megtalálni. A bentonitszőnyeg alkalmazásával kialakított rétegrend variánsokat a **34. ábra**, a talajkeverékből (pl. bentonit és talaj) kialakított rétegrendet a **35. ábra** szemlélteti, a kapilláris szigetelőrendszer kialakítására mutat be lehetőségeket a **36. ábra**. A geomembrán szigetelő fólia alkalmazására mutat be lehetőségeket a **37. ábra**.

B1

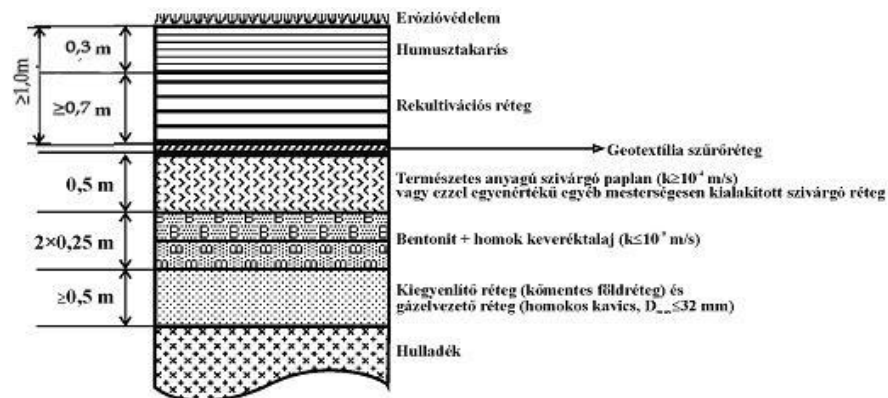


B2

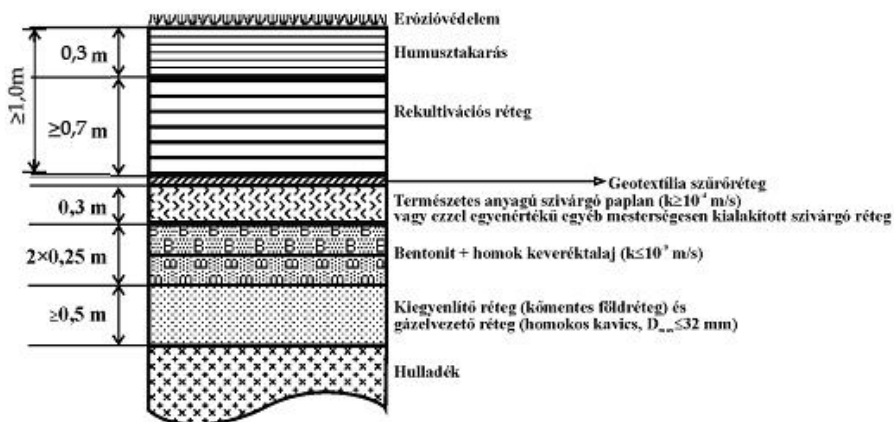


34. ábra: Alternatív zárószigetelő rendszer felépítése bentonitszőnyeg felhasználásával

HB1

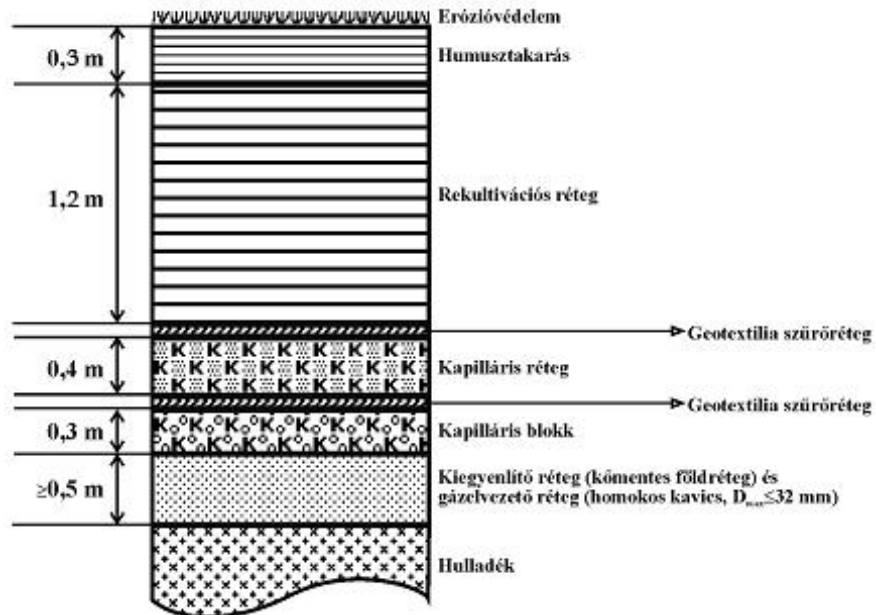


HB2

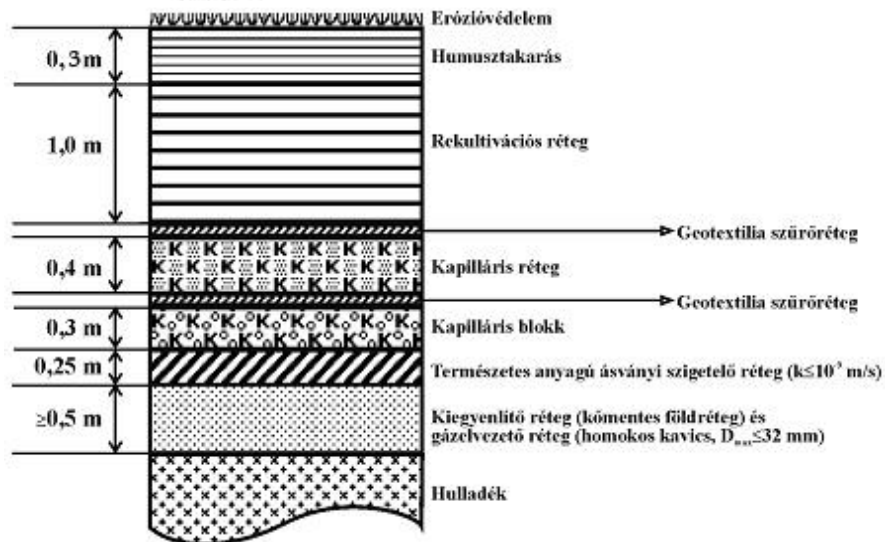


35. ábra: Alternatív zárószigetelő rendszer felépítése talajkeverék felhasználásával

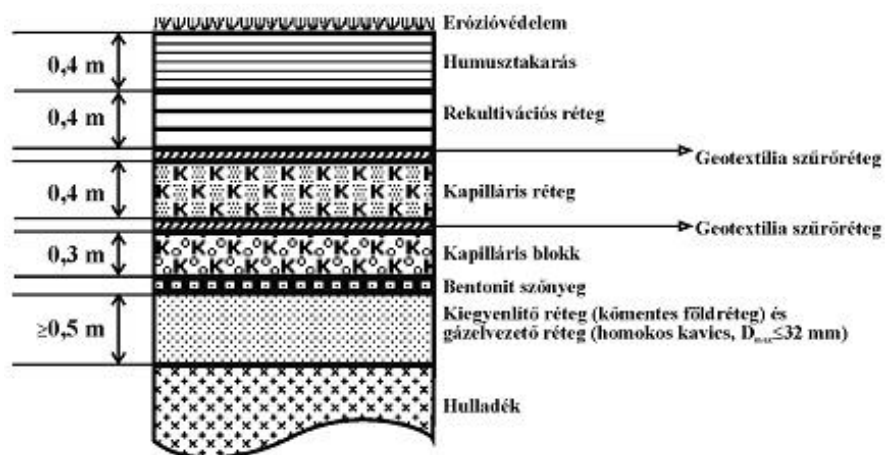
K1



K2

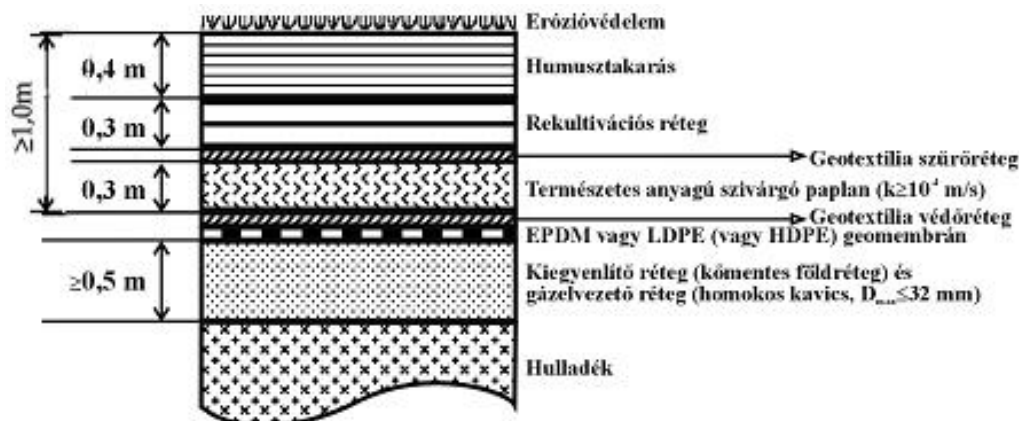


K3

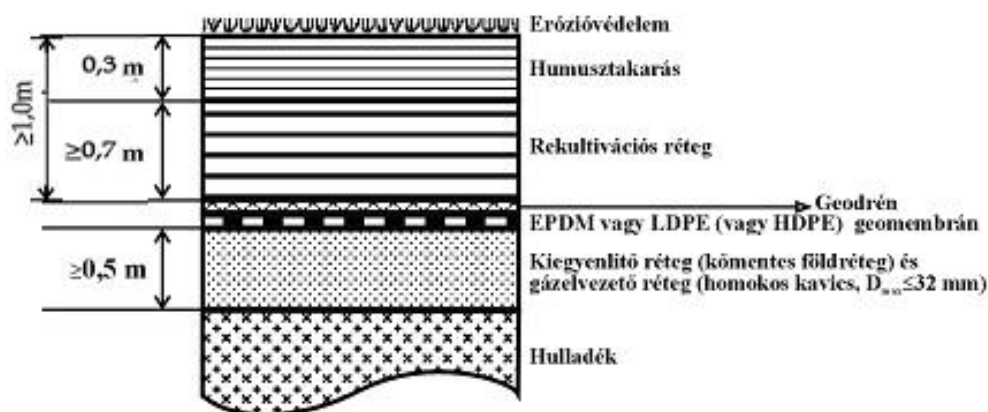


36. ábra: Alternatív zárószigetelő rendszer kialakítása: kapilláris zárószigetelés

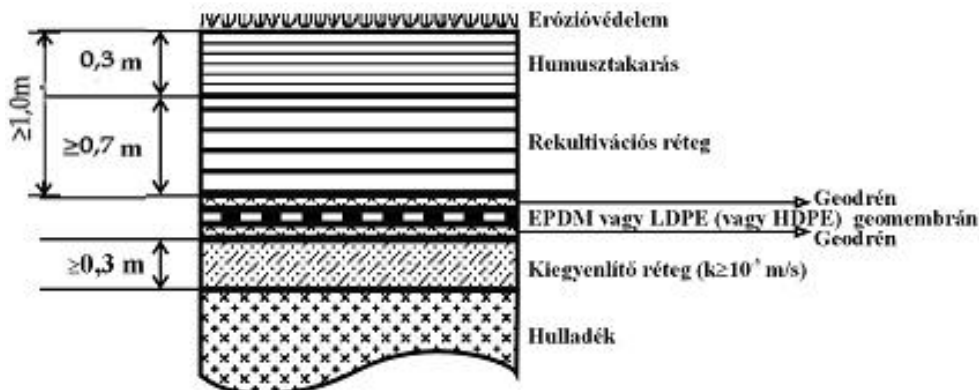
G1



G2



G3



37. ábra: Alternatív zárószigetelő rendszer felépítése geomembrán felhasználásával

2.4. A monitoring rendszer

Egy hulladéklerakó minden esetben – még ha a kor követelményeinek megfelelő védelemmel rendelkezik, akkor is – egy potenciális szennyezőforrást jelent a környezetére, ezért szükséges, hogy megfelelő ellenőrző-megfigyelő (monitoring) rendszerrel rendelkezzen. A lerakó üzemelése alatt és bezárása után is folyamatosan ellenőrizni kell:

- az elsődleges technológiai létesítmények (tárolóterek, műtárgyak) műszaki állapotát, állapotváltozását,
- a tárolóterek szivárgásának megfigyelésére szolgáló eszközök és berendezések működőképességét,

- a lerakótelep védőtávolságán belül a felszín alatti víz minőségét,
- a lerakótelep területéről elvezetett felszíni víz minőségét,
- a levegőszennyező anyagok emisszióját, immisszióját,
- a lerakótelep környezetében a hatásvizsgálatban kijelölt élő szervezetek állapotát és annak változásait,
- a biztonsági célokat szolgáló melléklétesítmények, vízvezető és vízkezelő rendszerek működőképességét.

A fenti ellenőrző vizsgálatok elvégzéséhez szükséges megfigyelőrendszer elemeit két csoportba sorolhatjuk. Ezek:

- a.) a lerakó üzemelésével, állapotváltozásával kapcsolatos megfigyelőrendszer;
- b.) a lerakónak a környezetre gyakorolt hatását figyelő-ellenőrző rendszer.

A hulladéklerakó környezetre gyakorolt hatásainak figyelemmel kísérésére monitoring rendszert kell létrehozni.

A rendszer elemei:

- a szigetelési rendszer működőképességének ellenőrzése;
- talajvíz monitoring;
- levegő monitoring;
- talaj monitoring;
- csurgalékvíz monitoring;
- gáz monitoring.

2.4.1. A szigetelési rendszer működőképességének ellenőrzése

A szigetelés vízzáróságának ellenőrzésére nálunk jelenleg két elfogadott rendszer terjedt el:

A *geoelektromos monitoring rendszer*, melynek az építési fázist követő időszakban van jelentősége, a geomembránok szigetelő tulajdonságára alapszik. Ellenőrzés gyakorisága: a szigetelő rendszer átadásánál, üzembe vételénél és az ezt követő időben havonta.

A geoelektromos rendszerek közül a két legelterjedtebb GEOLOGGER és SENSOR rendszer (**38. ábra**) elsősorban a geomembrán meghibásodását tudja jelezni.



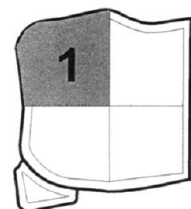
PUSZTAZÁMOR LANDFILL - part 1

SENSOR DDS

1st. measurement

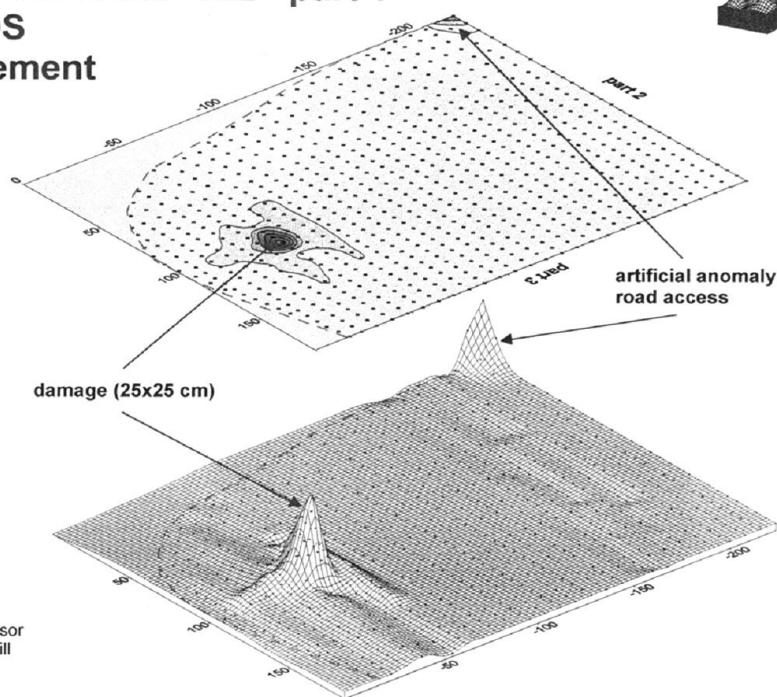
27.4.2000

2&3 D view



Contents:

- + - position of the sensor
- - border of the landfill



38. ábra: A geoelektromos monitoring rendszer beépítése a pusztazámori lerakónál és egy kontrollmérés eredménye

Történhet a hibahely ellenőrzése ún. ellenőrző szivárgó rendszer beépítésével, amit elsősorban két geomembrán beépítésekor (veszélyeshulladék-lerakók) célszerű alkalmazni.

A lerakórendelet a meghibásodás-észlelő rendszer kiépítését a B3 és a C típusú lerakóknál írja elő. A B3 típusú lerakóknál a magyar szabályozás szigorúbb, mint a nemzetközi gyakorlat, a C típusnál azzal megegyező. A C típusnál a monitoring rendszert célszerű a második geomembrán réteg alá helyezni, hiszen a felső membrán meghibásodását a közbenső szűrő-védő réteg észleli.

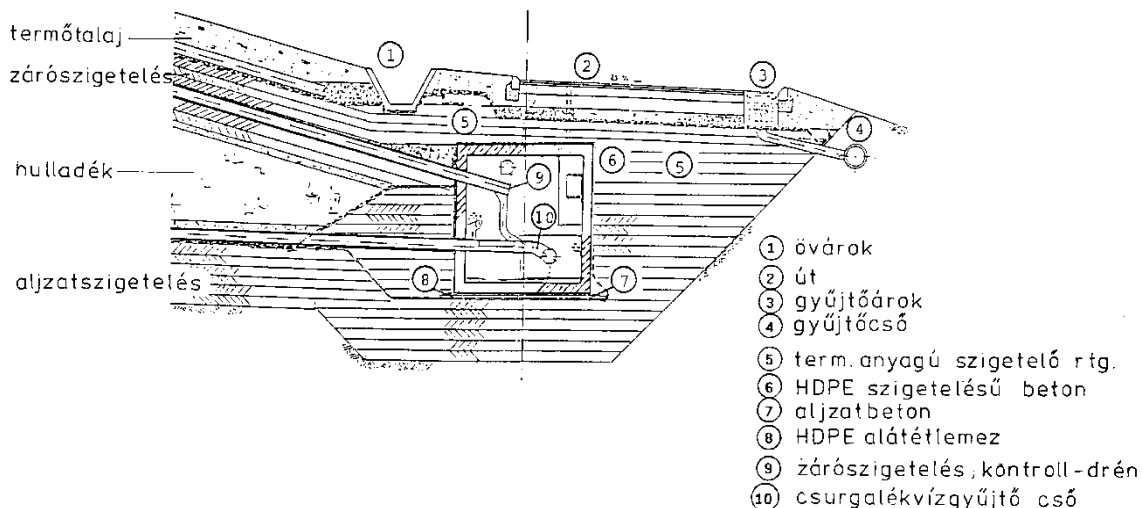
Az aljzatszigetelőrendszeren esetleg átjutó szennyezőanyagok észlelése alapvető fontosságú, mert a kedvezőtlen folyamat legelső fázisában kapunk olyan információt, ami biztosíthatja a megfelelő időben történő beavatkozást. A szigetelőrendszer alatti telítetlen zónának meghatározó szerepe van abban, hogy a talajvíz/rétegvíz minőségét fenyegető szennyezés a telítetlen zónán átszivárogva eléri-e, illetve milyen minőségi változás után éri el a talaj-, ill. rétegvizet.

A szivárgás észlelése és a változó vízminőség nyomonkövetése a telítetlen zónában különböző mélységközökben talajnedvesség mintavevőkkel lehetséges, bár hulladéklerakóknál a gyakorlatban nem különösebben elterjedt. A telítetlen zónában elhelyezkedő víz minőségének rendszeres észlelése esetén olyan (általában kerámia-) szondákat kell beépíteni a megfelelő mélységben, amelyek vákuum segítségével összegyűjtik a környezetükben lévő nedvességet. A csökkentett nyomáson összegyűjtött mintát a berendezésben létrehozott túlnyomás egy szifonszerű rendszerbe juttatja, majd a folyadék a mintavevő csövön kinyerhető. A szondák elhelyezésekor ügyelni kell arra, hogy a furaton keresztül más víz ne juthasson a szondához. A módszer hátránya, hogy a mintát érő vákuum-hatás miatt a vízben oldott könnyen illó komponensek „elveszhetnek” a mintából.

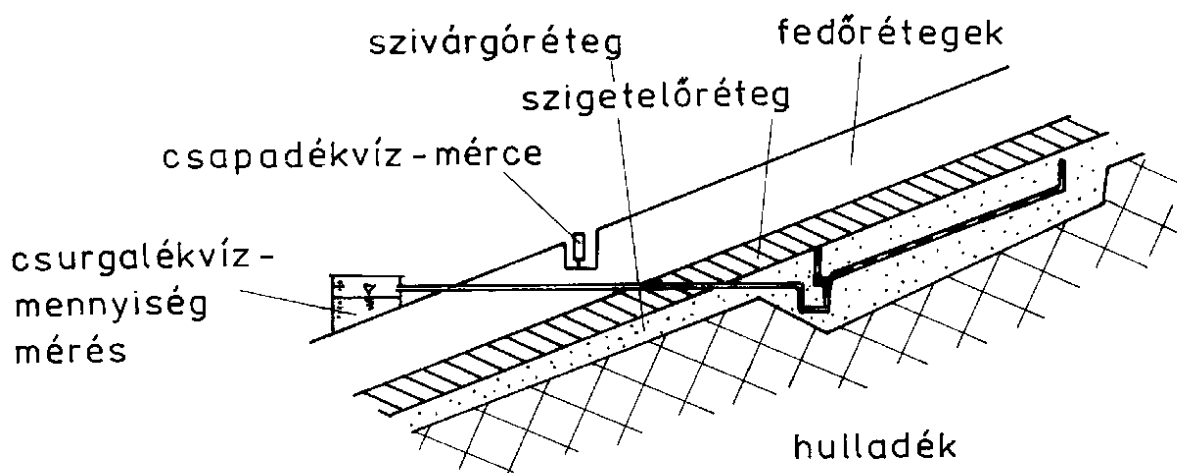
Célszerű közvetlenül a szigetelőrendszer alá, majd különböző mélységbe telepíteni az észlelő egységeket oly módon, hogy a telítetlen zóna teljes vastagságában ellenőrizhető legyen. A beépítést még a szigetelőrendszer kivitelezése előtt el kell végezni. Hulladéklerakóknál

körülményes az alkalmazásuk és így különösebben nem terjedtek el, alkalmazásuk leginkább a szennyezett területek vizsgálatánál ismert.

A záró szigetelő rendszeren történő átszivárgás ellenőrzése *történhet a szigetelőréteg alá beépített kontroll dréncsővel (39. ábra), vagy a szigetelőréteg alá beépített liziméterekkel (40. ábra).*



39. ábra: A depónia szélén kialakított kontrollvágat a csurgalékvíz mennyiségének mérésére 2.4.2



40. ábra: A zárószigetelés vízzáróságának ellenőrzése liziméterrel (HÖTZL – WOHNLICH, 1988.)

2.4.2. Talajvíz monitoring

A talajvíz áramlási ismeretek alapján telepített talajvíz monitoring kutakból vett vízminták alapján dönthető el, hogy a lerakóból csurgalékvíz elszivárgás van-e vagy nincs. A vizsgálatok terjedjenek ki a talajvízszint mérésére és a talajvíz összetételének meghatározására.

A víztartó réteg *telített zónájában* lejátszódó folyamatok és változások nyomonkövetésére leginkább a *figyelőkutak* alkalmasak. A figyelőkutak *telepítésének a célja* olyan mérési, megfigyelési adatok gyűjtése, amelyeknek feldolgozása alapján figyelemmel lehet kísérni, illetve ellenőrizni lehet a hulladéklerakó által érintett terület (*hatásterület*) *vízforgalmát, vízjárását, az áramlási viszonyokat és a vízminőség alakulását.*

A figyelőkutak telepítését úgy kell tervezni, hogy azok külön-külön és az általuk alkotott vizsgálati, vagy ellenőrző rendszer együttléve a lehető legtöbb és legmegbízhatóbb adatokat szolgáltatassa a fenti cél érdekében (JUHÁSZ, 1990.).

A figyelőkutak *szerkezeti kialakításánál* figyelembe kell venni:

- az észlelendő réteg térbeli helyzetét, vastagságát,
- a rétegre jellemző szemeloszlási görbét,
- a rétegben lévő talaj-/rétegvíz áramlási irányát, ingadozásának mértékét,
- a szennyezésterjedés várható alakulását,
- a szennyezőanyag minőségi (kémiai) jellegét.

A figyelőkutak szerkezeti anyagainak (béléscső, szűrőcső) kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy *nem szabad szerkezeti anyagként beépíteni olyan anyagot, amelyen komponens vizsgálatára a figyelőkutat használni akarják.* (Pl. ha réz vagy cink a vizsgálat tárgya, nem alkalmazható sárgaréz, vagy ha ólmot kell vizsgálni nem alkalmazható PVC, stb.).

A környezetvédelmi célú figyelőkutak esetében általános a különböző műanyag, üveg és fém anyagú csövek és szűrők használata.

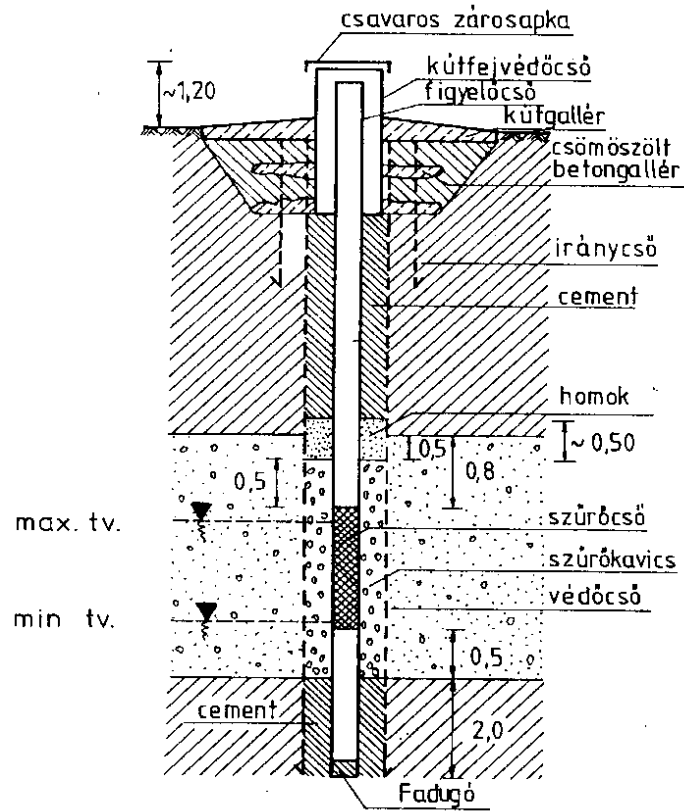
A műanyag szűrőcsövek kedvező tulajdonságaik miatt igen elterjedtek. Korrózióállóságuk, megmunkálhatóságuk, szilárdságuk, üzemeltetési biztonságuk stb. mind-mind olyan előnyös sajátosságok, amelyek alkalmassá teszik szűrővázak és szűrők készítésére. Műanyagból nemcsak szűrővázak, hanem szitaszövetek és huzalok is készülnek. Műanyag csövek egyaránt készülnek polivinilkloridból (PVC), illetve polietilénből (KPE).

A PVC csövek, szűrők hátránya, hogy kémiai reakciókkal szemben kevésbé ellenálló, reakcióba léphetnek a vizsgált vízzel, annak kockázatos összetevőivel. A KPE csövek sem tekinthetők teljesen korrózióállóknak. Erre vonatkozóan a gyártói specifikációk adnak tájékoztatást.

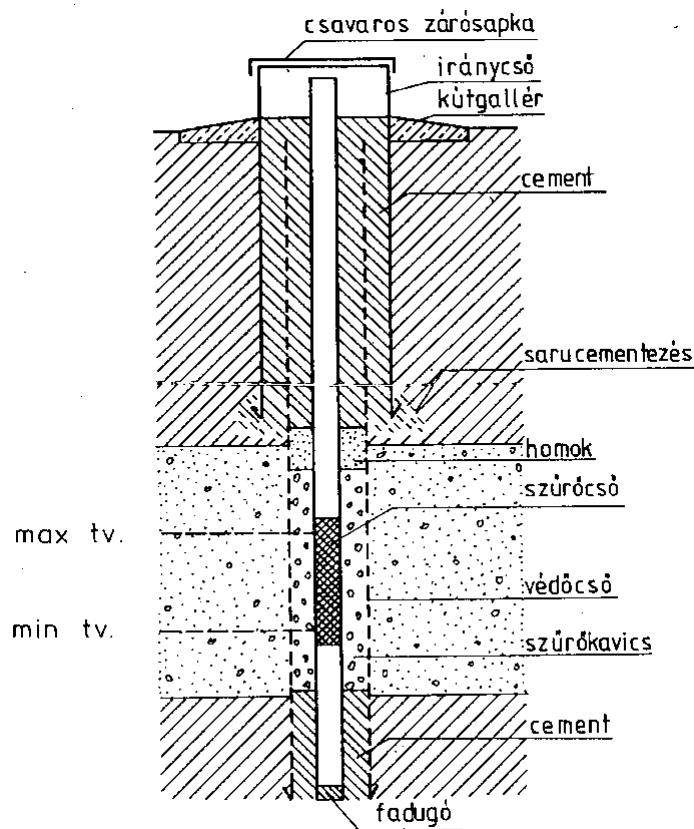
Az üvegszállal erősített műgyanta csövek jó hidraulikus tulajdonságokkal rendelkeznek. A csőgyártásban használt műanyag általában epoxi, de lehet poliészter is. Az üvegszál erősítésű epoxi korrózióálló minden agresszív vízzel szemben, magas hőmérsékleten sem veszti el mechanikai tulajdonságait.

Az acélcsövek általános elterjedését a nagy szilárdság, a könnyű alakíthatóság, megmunkálhatóság, a könnyű menetvágási és hegesztési technológia segíti. Hátrányuk viszont, hogy a korrózióval szemben nem minden acél ellenálló, agresszív víz esetén csak valamilyen védőbevonattal alkalmazhatók.

A *monitoring* kutat általában egy csőrakattal is ki lehet alakítani (**41. ábra**), az iránycső és a védőcső visszahúzásával. A cső melletti szennyezőanyag lejutás az iránycső és a figyelőcső közötti tér tömedékelésével akadályozható meg. A felszínről történő szennyezőanyag lejutás kizárása szempontjából kedvezőbb a bentmaradó iránycsővel való kialakítás (**42. ábra**). Ugyancsak az utóbbi kialakítás ajánlott műanyag szűrőcső esetén is.



41. ábra: Talajvíz-figyelőkút egy csővel (JUHÁSZ, 1990.)



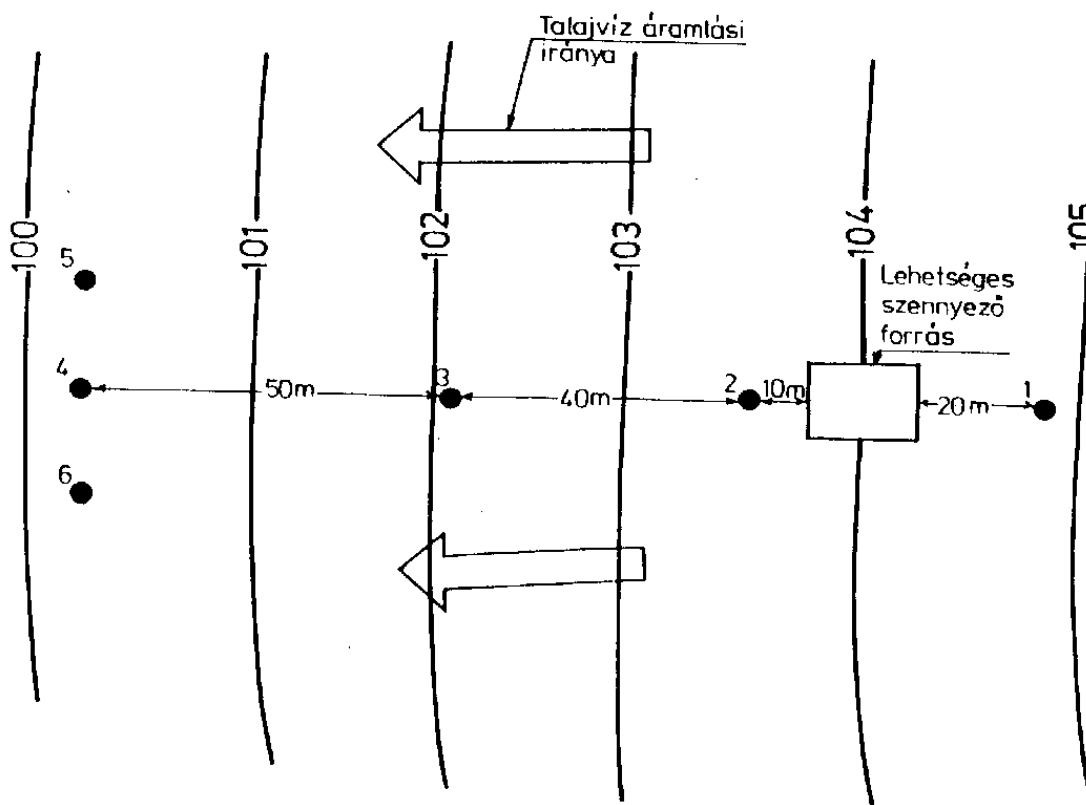
42. ábra: Talajvíz-megfigyelőkút bentmaradó iránycsővel (JUHÁSZ, 1990.)

A laza üledékes kőzetben elhelyezett figyelőkút szűrőcsövét hasítékokkal, vagy ha nincs hasításra lehetőség, perforálásokkal kell ellátni úgy, hogy a szűrővázon legalább 20% szabad felületet kell hagyni. A hasíték mérete célszerűen 2×200 mm.

A szűrővázra 32-es vagy 40/50-es szitaszövet kerül. Az egyrétegű kavicszemcse méretét a szűrőszabály szerint kell megválasztani, figyelembe véve a megfigyelésbe vont réteg szemcseeloszlását. Ha a kútból sohasem szivattyúznak vizet, a kavicsolás lehet durvább is a szűrőszabály által kijelölnél (JUHÁSZ, 1990).

Kavicsos homok vagy annál durvább réteg figyelése esetén a hasítékolt csőből készült szűrővázat szita szűrőszervezet nélkül is alkalmazhatjuk. Hasadozott kőzet talajvizét figyelő kút kialakításánál az iránycső alkalmazása kötelező, sarucementezéssel. A figyelőcső szűrőzésénél a hasított szűrőváz és 2-5 mm átmérőjű szűrőkavics szórás alkalmazása megfelelő. *A talajvízmegfigyelő kutakat a szennyezőforrástól távolodva ütemezve kell telepíteni*, úgy hogy a felszín alatti esetleges szennyezés lehatárolható legyen. A figyelőkutak számát és telepítési helyét a helyi körülmények határozzák meg. Ezek a földtani felépítés, a vízföldtani viszonyok (a talaj/rétegvíz tartók térbeli helyzete, vízszintingadozás, áramlási irány), a szennyezésterjedés várható alakulása.

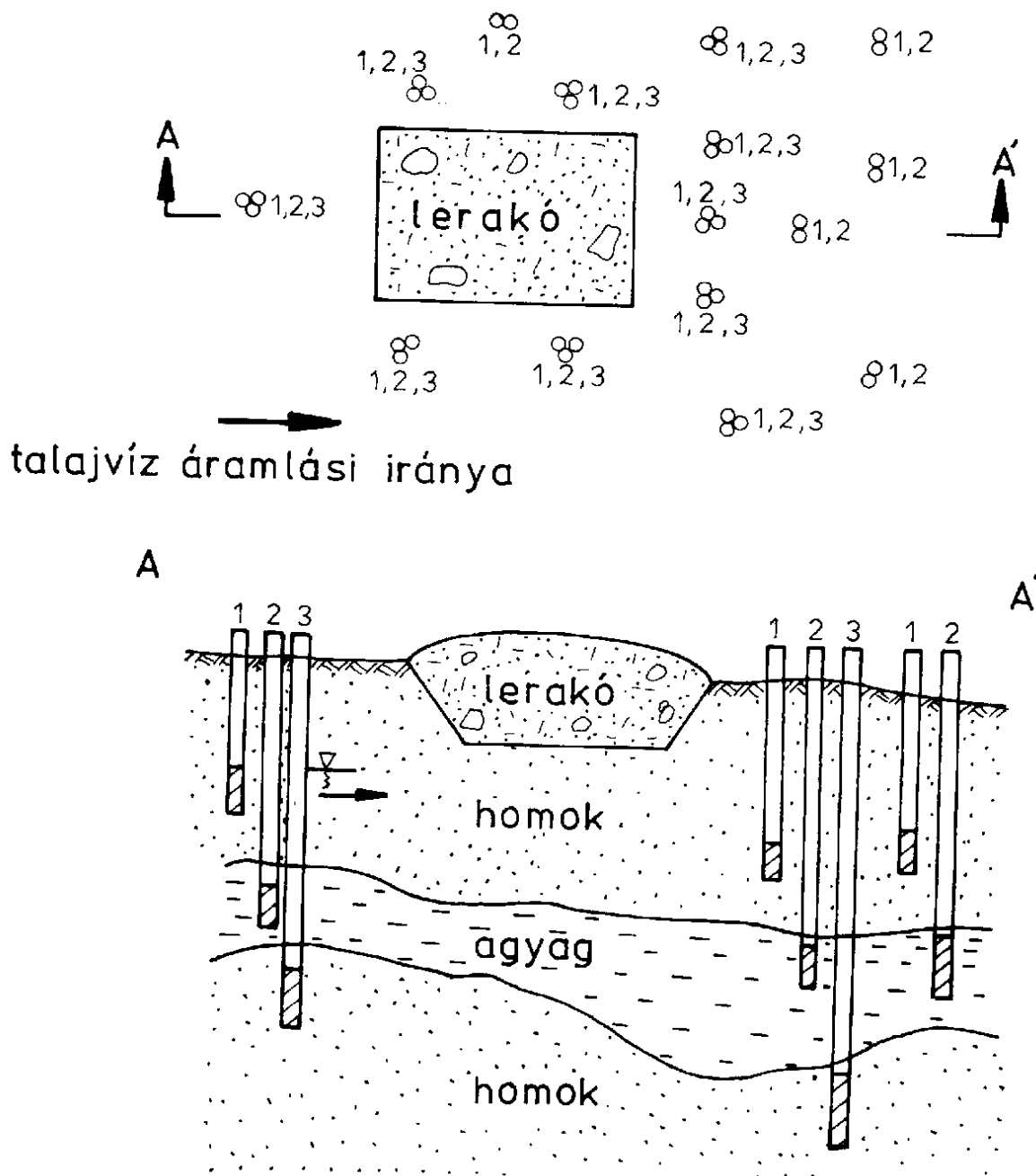
A kúttávolságok *ajánlott méreteit* a **43. ábra** mutatja be. Mindenképpen szükséges, hogy - amennyiben talajvízáramlás van és az ismert - *legalább egy talajvízfigyelő kút* kerüljön a lerakó talajvízáramlással ellentétes oldalára. Ebből a kútból származó vízminták vízminőségi adatai jellemzik a nem szennyezett terület vízminőségét.



43. ábra: A talajvíz-figyelőkutak felszíni elrendezésének a vázlata

A talajvízáramlás irányában célszerű legalább 3-5 db figyelőkutat kell telepíteni, amiből 3 db-ot egy sorban kell elhelyezni: a lerakó szélétől számított 10; 50; és 100 m távolságban. Egy-egy talajvízmegfigyelő kutat pedig a pontszerű szennyezőforrás szélétől 100 m-re kell elhelyezni a talajvíz áramlási irányával bezárt 10-15°-os egyenesek mentén. A lerakó méretének növekedtével szükséges lehet *több kútsor* telepítése is.

Ha a lehetséges szennyeződés a felszín alatt minden irányban terjedhet, a lerakó köré 90° -os szögben, sugárirányban kell elhelyezni 10; 50 és 100 m-re a 3-3 db figyelőkútból álló kútsort. Szennyeződés észlelése esetén a kúthálózat 45° -ban telepített kútsorokkal sűrítethető. Természetesen a földtani felépítés és a figyelésbe bevont rétegek száma a merev előírásokat módosíthatja (44. ábra) a fenti irányszámok valójában a szükséges minimális értéket jelentik.



44. ábra: Példa a talajvíz-megfigyelőkutak kialakítására rétegzett altalaj esetén (BAGCHI, 1989.)

A kútbeli vízszint nem reprezentálja a környező talajvíz minőségét, ezért a mintavétel előtt a pangó vizet el kell távolítani a kútból. A tisztító szivattyúzási eljárásnak biztosítania kell, hogy a kútból gyűjtött minta reprezentálja a formációban tározódó talajvizet. A kút tisztító szivattyúzásakor kiemelt vízmennyiségről eltérőek a szakmai vélemények, a következő álláspontok léteznek:

- a vízmintavétel előtt meghatározott, több kúttérfogatnyi vizet kell kiszivattyúzni,

- a kiszivattyúzandó vízmennyiséget a kút vízhozama határozza meg,
- a vízmintavétel előtt a tisztító szivattyúzást bizonyos geokémiai paraméterek állandósulásáig kell folytatni.

Az optimális tisztítást a talajvíz alacsony áramlási sebességgel történő kiszivattyúzásával érik el.

A tisztító szivattyúzás során a talajvíz kitermelés mértéke ideális esetben nem haladja meg a kb. 0,2-0,3 l/perc mértéket

Kutak tisztító szivattyúzását a talajvíz áramlási sebességével közel azonos hozammal kell végezni. Ezzel egyrészt elkerülhető a szűrőszerkezet további megmozgatása, másrészt elkerülhető a 3-5 kúttérfogatnyi vízmennyiség kitermelése

A tisztító szivattyúzás során biztosítani kell, hogy a kútba beáramló víz semmilyen körülmények között ne "csurogjon" a szűrőcső belső falán. Laboratóriumi kísérletek azt igazolták, hogy a kút belső palástján lecsurgó vízből az illékony komponenseknek akár 70%-a elveszhet a mintavétel előtt. A tisztító szivattyúzást úgy kell végezni, hogy a lehető legkisebb vízszintcsökkenést okozza a kútban.

2.4.3. A levegő monitoring

A mintavételre alapvetően két mód van; passzív és aktív mintavétel. Mind a passzív, mind az aktív mintavevőben töltet van, amely képes megkötni a levegőből bizonyos anyagokat. A vizsgálat mindkét esetben a töltet felületéről leoldott anyagokra terjed ki.

A passzív mintavevőben a levegő szabadon áramlik, míg aktív mintavétel során egy szivattyúval az ember légzésének megfelelő levegőáramot keltenek, és ebbe a levegőáramba helyezik a töltetes mintavevőt. A levegőben mért koncentrációt a megkötött anyagokat leoldva és vizsgálva, a levegőáram és a mintavétel időtartamának ismeretében lehet kiszámítani.

A környezeti levegő minőségére ad információt a levegőből kiülepedő por vizsgálata is, mivel sok szennyezőanyag kötődik a lebegő porhoz.

A vizsgálati pontok kijelölésénél exponált területeket kell figyelembe venni.

2.4.4. Talaj monitoring

Mezőgazdasági terület szomszédságában létesített hulladéklerakóknál talaj monitoring is szükséges. Szükséges gyakorisága vegetációs periódusonként egyszer.

2.4.5. A csurgalékvíz tározó medence ellenőrzése

A talajvíz megfigyelő kutak egyikét javasolható a csurgalékvíz tározó medence mellé telepíteni, az áramlás irány alá.

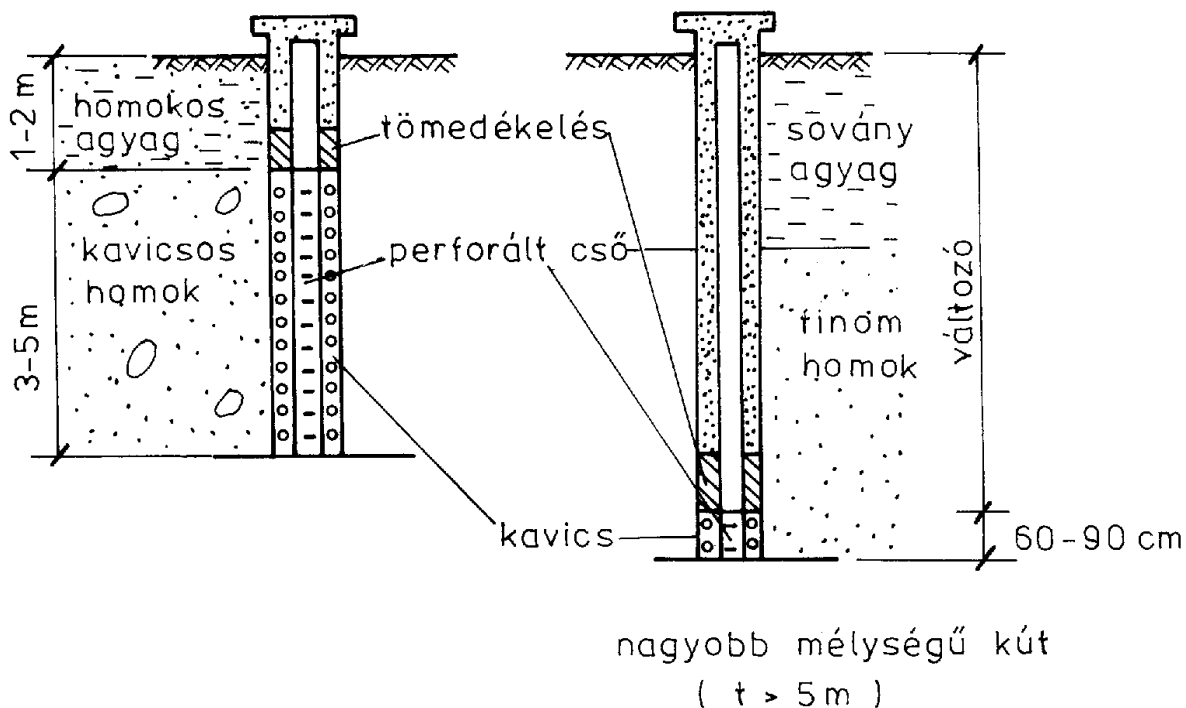
Földmedrű csurgalékvíz tározó medence geomembrán szigetelése alá megfigyelő rendszert kell kiépíteni, geoelektromos vagy ellenőrző szivárgó.

Vasbeton medencék esetén a csurgalékvíz tározó medencét évente egyszer le kell üríteni, és a szigetelés ellenőrzését elvégezni, valamint a medencét kitisztítani.

2.4.6. Gáz-monitoring

A lerakóból különböző, az emberi szervezetre káros *gázok léphetnek ki mind a talajba, mind a levegőbe*. Megfelelően kialakított gázdrének esetén a talajba való kilépés valószínűsége kicsi, de a telepen dolgozók egészségvédelme érdekében észlelése célszerű.

A felszín alatti gázmegfigyelő kutak kialakítása hasonló a talajvízfigyelő kutakéhoz, telepítésük célszerűen a lerakó közelében történik. A gázmigráció elsősorban a szemcsés talajokban, repedezett kőzetekben valószínű. A kutak telepítésénél először meg kell vizsgálni a lehetséges gázkilépési helyeket, és utána dönteni telepítési helyükről. A **45. ábra** a talajba jutó gáz észlelésére alkalmas kutak kialakítását szemlélteti BAGCHI (1989.) nyomán. Az észlelés általában a metánkoncentráció meghatározására korlátozódik, ekkor figyelembe kell venni, hogy a metán és levegő keveréke 5-15 térf.% metánkoncentráció esetén *robbanásveszélyes*.



45. ábra: A talajgáz-figyelőkutak kialakításának vázlata (BAGCHI, 1989.)

2.4.7. A lerakó mozgásmegfigyelő rendszere

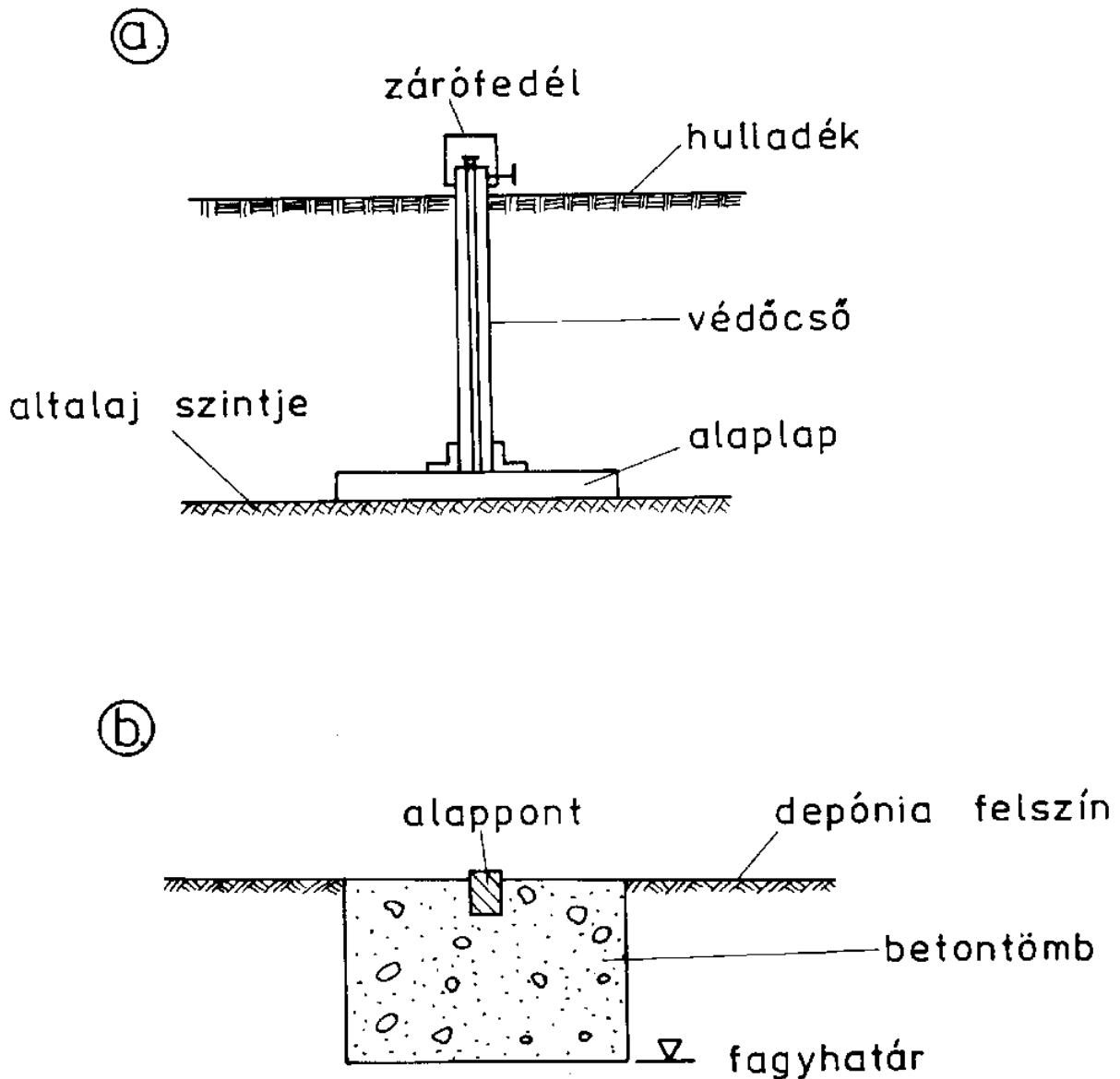
A mozgásmegfigyelő rendszer kiépítése igen fontos, mert az esetlegesen bekövetkező mozgásokkal megsérülhet a szigetelőrendszer (mind az aljzat- mind a fedőszigetelőrendszer), a csurgalékvízgyűjtő rendszer megkívánt esése (lejtése) megváltozik, s pangó vizes területek alakulnak ki. Fontos a mozgások regisztrálása abból az szempontból is, hogy el tudjuk dönteni, hogy a hulladéklebomlás melyik fázisában vagyunk, beépíthető-e a végleges zárószigetelőrendszer vagy sem. A mozgásmegfigyelő rendszer elemei:

a depónia aljzatának és felszínének süllyedésmérési rendszere és

a depóniatestben és a fedőrétegben esetleg bekövetkező mozgások mérő rendszere.

A *depóniaaljzat süllyedésének* a mérésére az építés során elhelyezett *mozgásmérő alappontok* szolgálnak. Hátránya a módszernek, hogy a hulladék magasságának a növekedtével fokozatos toldást kíván. A fellépő sűrűlódások hatásának a csökkentésére célszerű a *mérőrudat* védőcsőben elhelyezni (**46. ábra**). Sajnos ritkán történik a depónia aljzatára vonatkozó süllyedésmérés, pedig a várható süllyedések gazdaságosabb meghatározása érdekében nagy szükség lenne minél több mérési adatra.

A depónia felszínének a süllyedését alapponthálózat kiépítésével követhetjük nyomon. Az alappont kialakítása a 46. ábra szerinti, a betontömb aljának a fagyhatár alá kell kerülnie. A mérési ponthálózatot célszerű 30×30 m-es hálóban kialakítani (BAGCHI, 1989.).



46. ábra: A mozgásmegfigyelő-hálózat alappontjainak kialakítása (a.: a depóniaaljazat süllyedésének mérése; b.: felszínmozgást mérő pont)

A depóniatestben kialakuló felszínmozgások elsősorban a felszín fölött dombépítéssel kialakított lerakóknál fordulhatnak elő. A fedőrétegnek a műanyag szigetelőlemezen való megcsúszása a rézsűszerűen lezárt depóniaoldalakon jellemző, ha a talaj-szigetelőlemez közötti súrlódási szög kisebb a kialakított rézsűszögnél.

A depóniatestben kialakuló mozgások, csúszások figyelésére leginkább az *inklinométer* ajánlott. A méréshez speciális, az inklinométer vezetésére és síkban tartására szolgáló vájattal ellátott béléscső kell. Az *inklinométeres* mérések alkalmasak lehetnek a hulladék konszolidációjának a mérésére is, ha a profilcsöveket vízszintesen építjük be.

2.4.8. A mérések megfigyelések gyakorisága

A monitoring rendszer üzemeltetésével, a mérések gyakoriságával kapcsolatos előírásokat a 20/2006 (IV.5.) KvVM 3. sz. melléklete tartalmazza.

A meteorológiai adatok gyűjtése

A jelentési kötelezettségnek megfelelően az üzemeltető adatokat szolgáltat a meteorológiai adatok gyűjtéséről. Az adatok gyűjthetők közvetlenül az üzemeltető által vagy a nemzeti meteorológiai hálózattal kötött megállapodás alapján.

A hulladéklerakó vízháztartásának megfelelő értékeléséhez vízmérleg készítése szükséges. Annak megállapítására, hogy a csurgalékvíz magában a hulladéklerakóban halmozódik-e fel, vagy elszivárog a hulladéklerakóról, az alábbi adatok gyűjtését kell végezni. Az adatok származhatnak a hulladéklerakónál folytatott megfigyelésből, vagy a közelebbi meteorológiai állomásról, és gyűjtésüket annyi ideig kell folytatni, ameddig azt az illetékes hatóság előírja (**12. táblázat**).

12. táblázat Meteorológiai adatok gyűjtése

Meteorológiai adatok	Működési fázis idején	Utógondozási fázis idején
1. Csapadék mennyisége	naponta	naponta, havi értékekhez hozzáadva
2. Hőmérséklet, 14.00	naponta	havi átlag
3. Uralkodó szélirány és szélereő	naponta	nincs előírva
4. Párolgás (liziméter)	naponta	naponta, havi értékekhez hozzáadva
5. Légköri páratartalom, 14.00	naponta	havi átlag

Kibocsátási adatok: a víz, csurgalékvíz, és gáz ellenőrzése

A csurgalékvíz és amennyiben az engedély előírja, a felszíni víz mintáit az engedélyben meghatározott pontokon kell venni. A csurgalékvíz mintavételét és mérését (mennyiségi összetétel) minden olyan ponton külön kell elvégezni, ahol a hulladéklerakóról csurgalékvizet vezetnek el. A csurgalékvíz jellemzéséhez használt paramétereket a **13. táblázat** tartalmazza.

A konkrét vizsgálandó paramétereket a hulladék összetétele, és a lerakó helyének hidrogeológiai tulajdonságai alapján a felügyelőség határozza meg.

A csapadékvíz összetételének meghatározására a tározó medencéből kell mintát venni.

Amennyiben felszíni víz ellenőrzési kötelezettség is előírt, úgy annak megfigyelését legalább két ponton kell végezni, egyszer a hulladéklerakó fölött, a folyásiránnyal szemben, egyszer pedig alatta, folyásirányban.

A gáz megfigyelését a hulladéklerakó minden egyes kazettájában biztosítani kell. A mintavétel és vizsgálat gyakoriságát a következő táblázat tartalmazza. Csurgalékvíz és víz esetében megfigyelési célra egy, az átlagos összetételre jellemző mintát kell venni. A vizsgálatok gyakoriságát az **14. táblázat** foglalja össze.

13. táblázat A csurgalékvíz jellemzéséhez használható paraméterek

pH	Szerves foszfor-vegyületek
----	----------------------------

Elektromos vezetőképesség	Karbamát-pesticidek
Hidrogén-karbonátokra vonatkozó lúgosság	TDS
Karbonát-ionok,	TOC
Klorid-ionok	TOX
Fuorid-ionok	Illékony szerves vegyületek
Nitrát-ionok	Klórozott herbicidek
Ammónia-N	PCB-k. Más szerves klórozott pesticidek
Szulfát-ionok	Dioxinok és dibenzo-furánok
Szervetlen összetevők (összes és oldott mennyiség) alumínium, antimon, arzén, bárium, berillium, kadmium, króm, kobalt, réz, cianidok, vas, ólom, mangán, higany, nikkel, szelén, ezüst, szulfid-ionok, tallium, ón, vanádium és cink.	

14. táblázat A csurgalékvíz, csapadékvíz, depóniaág vizsgálati gyakorisága

A mintavétel célja	A mintavétel gyakorisága	
	a működési időszakban	az utógondozási időszakban
1. A csurgalékvíz mennyiségének meghatározása	havonta ¹	félévenként
2. A csurgalékvíz összetételének meghatározása*	negyedévenként ²	félévenként
3. Felszíni víz mennyisége és összetétele ³	negyedévente ³	minden hat hónapban
4. A potenciális gáz-emissziók ³ (CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S, H ₂ stb), és a légköri nyomás meghatározása*	havonta ^{4,5}	félévenként ⁵

¹ A mintavétel gyakoriságát a lerakó betelése függvényében módosítani lehet. A módosítást és a gyakoriságot az engedélyben rögzíteni kell.

² A csurgalékvíz elektromos vezetőképességét, legalább évente egy alkalommal kell meghatározni.

³ Ezek az összetevők a hulladékban lévő szerves-anyag összetételével vannak összefüggésben.

⁴ A CH₄, CO₂, és az O₂ monitoring-vizsgálatát rendszeresen kell elvégezni. A többi gáz monitoring- vizsgálatának gyakoriságát a hulladék összetétele függvényében kell megállapítani, az engedélyben kell rögzíteni, és tükrözniük kell a hulladék kioldási jellemzőit.

⁵ A gáz-eltávolítási rendszer működőképességét és hatékonyságát rendszeresen ellenőrizni kell.

⁶ A hulladéklerakó jellemzőinek alapján az illetékes hatóság határozhat úgy, hogy ezeken nem írja elő.

* Az összetétel fluktuációja miatt, kiugróan szóró mért értékek esetén, a méréseket legalább két alkalommal, havonta, meg kell ismételni.

Az 1. és 2. pontot csak akkor kell alkalmazni, ha a csurgalékvíz gyűjtésére kerül sor.

Az üzemeltetőnek a felszín alatti víz és a földtani közeg védelmére vonatkozó megfigyelési és ellenőrzési eljárásokkal kapcsolatos kötelezettségei

A) A mintavétel helye

A hulladék felszín alatti vizekre gyakorolt hatásának ellenőrzésére a felszín alatti vízáramlás szempontjaiból a hulladéklerakó feletti területen legalább egy, a hulladéklerakó alatti területen legalább két mérési pont kialakítása szükséges a hulladéklerakó hatásterületén belül. A mérési pontok helyét és számát az engedélyben kell megállapítani a hulladéklerakó területére (hatásterületére) készített hidrogeológiai szakvélemény alapján.

A hulladéklerakó feltöltési műveleteinek megkezdése előtt legalább három helyszínen mintát kell venni a felszín alatti vízből és a talajból, hogy a későbbi mintavételekhez referencia értékek álljanak rendelkezésre. A felszín alatti vizek és a talajok mintavételét az érvényben lévő szabványokban előírtak szerint kell végezni.

B) Megfigyelés

A megvett felszín alatti vízmintákban a vizsgálandó paramétereket a csurgalékvíz várható összetétele és a területen lévő felszín alatti víz minősége alapján kell megválasztani. A vizsgálandó paraméterek kiválasztásakor figyelembe kell venni a felszín alatti víz mobilitását. A paraméterek között lehetnek indikátor paraméterek abból a célból, hogy a víz minőségének változását már korai fázisban felismerjék. **(15. táblázat)**

15. táblázat A monitoring kutakból vett vízminták elemzési rendje

A mintavétel célja	A mintavétel gyakorisága	
	A működési időszakban	Az utógondozási időszakban
1. A felszín alatti víz szintjének meghatározása	félévenként ¹	félévenként ¹
2. A felszín alatti víz összetételének meghatározása	A lerakó helyétől függő gyakorisággal ²	A lerakó helyétől függő gyakorisággal ²

¹ Ha a felszín alatti víz szintje megközelíti a létesítési követelményként megadott, a lerakó fenék-szintjétől számított 1 m-es távolságot, akkor növelni kell a mérések gyakoriságát. Beavatkozni akkor kell, ha a víz szintje elérte az 1 m-es kritikus távolságot.

² Ha a monitoring-vizsgálatok azt mutatják, hogy az összetevők koncentrációja a referencia-kútban mért értékhez képest növekvő tendenciát mutat, akkor fennáll a gyanúja annak, hogy a lerakóból szennyező komponensek kerültek a környezetébe. Ebben az esetben gondoskodni kell a hiba helyének megállapításáról, és a kijavításáról. Az összetétel mérésének gyakoriságát a létesítmény működési engedélyében szükséges rögzíteni.

Javasolt paraméterek: pH, összes szerves szén (TOC), fenolok, nehézfémek, fluoridok, arzén, továbbá olaj, illetve szénhidrogének.

Ha a szennyezőanyag koncentrációja eléri a külön jogszabályban („A felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. Rendelet”, valamint „A felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről szóló 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet”) meghatározott "B" szennyezettség-értéket, akkor célirányos vizsgálatok alapján meg kell állapítani a kármentesítés szükségességét.

Ha a referencia-kútból vett mintákban a szennyező összetevők koncentrációja nagyobb, mint a B szennyezettség-érték, akkor a területre egyedi szennyezettség-értéket (E) kell kérni a felügyelőségtől.

Amennyiben a felszín alatti víz koncentrációja az üzemelés megkezdése után nagyobb lesz, mint az E szennyezettség-határkoncentráció, akkor gondoskodni kell a terület kármentesítéséről.

Az ellenőrzés során kapott adatokat, minden egyes figyelőkút esetén külön-külön, az engedélyezési okiratban meghatározott ellenőrzési követelmények szerint kell kiértékelni.

2.4.9. A mechanikai változások ellenőrzése a lerakóban

A hulladék testben bekövetkező mechanikai változások miatt a lerakó kiépített részeiben is hasonló változások következhetnek be. A mechanikai változások káros hatásainak elkerülése érdekében rendszeres ellenőrzéseket kell végezni a **(16. táblázat)** szerint:

16. táblázat A lerakó mechanikai változásainak ellenőrzése

Vizsgálat	Az ellenőrzés gyakorisága	
	A működési időszakban	Az utógondozási időszakban

1. A hulladék-test mechanikai szerkezetének és összetételének megváltozása	és évente	-
2. A hulladék-test szintjének süllyedése	évente	évente

A hulladékok lerakása során a részecskeméret és az összetétel változtatásával optimális tömörségű hulladéktestet szükséges kialakítani, annak érdekében, hogy élettartama során a kiindulási tömörség csak minimális mértékben változzék.

A lerakó mechanikai állapotának leírására használható információk:

- a lerakott hulladék által elfoglalt térrész és a szabad lerakó-térrész,
- lerakott hulladék tömege és térfogata, részecskeméret-eloszlása,
- az alkalmazott tömörítés mértéke,
- a lerakó csurgalékvíz- és gáz-gyűjtő rendszerének működőképessége.

2.5. Az utógondozási idő és csökkentésének lehetőségei

A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet 16 §-a (1) bekezdése szerint:

„A hulladéklerakó lezárására vonatkozó kötelező határozatban a felügyelőség utógondozási időszakot határoz meg. A felügyelőség az utógondozási időszak véghatáridejének meghatározásakor figyelembe veszi azt az időtartamot, ameddig a hulladéklerakó még veszélyt jelenthet a környezetre.”

A hulladéklerakó-létesítmény bezárása után hosszú időre vonatkozó, utógondozási és potenciális karbantartási tevékenységre kell berendezkedni. Biztosítani kell a csurgalékvíz, a lerakó-gáz, valamint a csapadékvíz kezelését, továbbá a szükséges monitoring rendszerek működtetését. A meglévő infrastruktúrából fenn kell tartani mindazokat az egységeket, amelyek ezek teljesítéséhez szükségesek.

A hazai jogi szabályozás az utógondozás időtartamát 30 évben állapította meg. Nemzetközi kísérleti tapasztalatok alapján az utógondozás időtartama ennek többszöröse.

Az utógondozási időben szerzett tapasztalatok alapján az utógondozás időtartamát a felügyelőség meghosszabbíthatja.

A fentiek alapján látjuk, hogy jogszabályilag az utógondozás időtartama ma Magyarországon és a nemzetközi gyakorlatban is 30 év, azonban egyáltalán nem biztos, hogy ezen időszak után a depónia már nem jelent veszélyt a környezetre, mint ahogy azt a jogszabály 16 §-a megkívánja, és erre a jogszabály melléklete is utal.

Mai ismereteink és tapasztalataink még nem elegendőek, hogy az utógondozás időtartamát egyértelműen előre meghatározzuk, sőt még a kritériumok sem egyértelműen tisztázottak. Mint láttuk a hulladéklebomlás folyamata évtizedekig is eltarthat.

Az utógondozás várható időtartamát többen megpróbálták laboratóriumi kísérletek alapján megbecsülni. A **17. táblázat** különböző kutatók kísérleti eredményeit tünteti fel. A táblázatban azt az időtartamot találjuk, amely alatt az adott komponens a környezetvédelmi szempontból megengedhető határérték alá csökken. (Megjegyzés: A kísérleteknél a figyelembe vett és a táblázatban feltüntetett határértékek a svájci szennyvíz-rendeletből valók). Jól látható, hogy bizonyos komponenseknél a lebomlási idő messze meghaladja az utógondozási periódusnál ma általánosan figyelembe vett 30 évet, és a szerves szén lebomlásánál ez az időszak több évszázadra is tehető. Nyilvánvalóan a depónia utógondozását nem lehet elrendelni a táblázatban

feltüntetett, kísérletileg meghatározott hosszú időtartamra, de mindenképpen figyelemfelhívóak az adatok, és rámutatnak annak a fontosságára, hogy az utógondozási fázisban ne csak a depónia ellenőrzésével foglalkozzunk, hanem már a rekultiváció tervezése során lehetőleg olyan módszer felé orientálódjunk, amelyek az utógondozási fázisban a hulladék ellenőrzött és minél gyorsabb lebomlását, stabilizálódását segítik elő.

17. táblázat Az utógondozási idő (év) prognosztizálása laboratóriumi vizsgálatok alapján

Paraméter	Határérték*	BELEVI, BACCINI (1989)	KRUSE (1994)	HEYER STEGMANN (1997) és	KRÜMPELBECK (2000)
Szerves szén	-	500-1700	-	-	-
KOI	200 mg/l*	-	280	80-360	65-320
Összes N	70 mg/l*	55-80	-	-	-
NH ₄ -N		-	-	-	évtizedek-100
Klorid	100 mg/l°	100-150	210	90-250	25-130
AOX	0,5 mg/l*	-	-	30-120	40-100
Nehézfémm	0,1-2 mg/l*	-	-	-	<10

* Szennyvízrendelet, Svájc

A következőkben két olyan, jelenleg még csak kísérleti stádiumban lévő, de már nagyüzemi méretek között is kipróbált módszert mutatunk be, amelyek nagyon ígéretes eredményeket szolgáltatottak eddig, és amelyek alkalmasak lehetnek arra, hogy a lebomlási időszakot és ezzel az utógondozási időszakot csökkentjük.

2.5.1. Levegőztetés, aerob stabilizálás

A depóniákból az atmoszférába kerülő metán az összes antropogén metánemisszió mintegy 13%-át adja. Ismert, hogy a metán a széndioxid mellett az egyik legjelentősebb üvegházhatást okozó gáz, és erőssége, veszélyeztető potenciálja lényegesen nagyobb, mint a nagyobb koncentrációban jelen lévő széndioxidé. Mindezekből következik, hogy a levegőbe kerülő metángáz mennyiségének csökkentése különösen fontos, és hulladéklerakóknál, szennyezett területek kármentesítésénél az aerob in situ stabilizálás egy különösen ígéretesnek mutatkozó lehetőség, amit már számos laboratóriumi és helyszíni kísérlet, elvégzett stabilizálás eredményei is igazolnak.

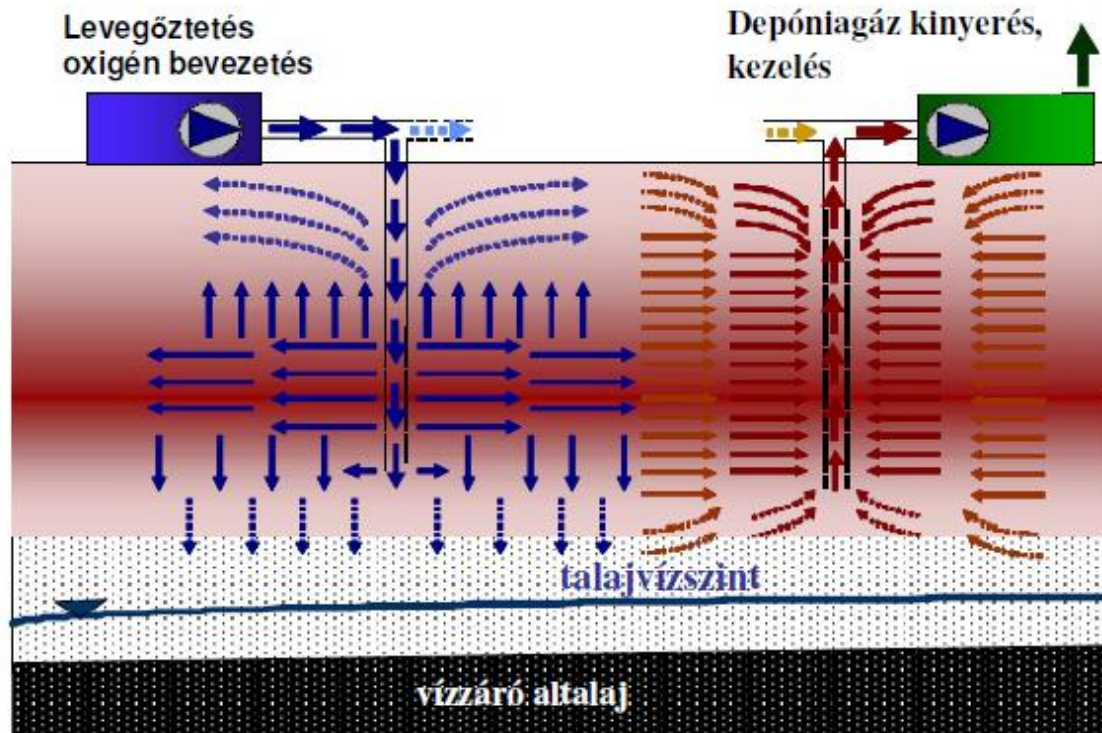
Az aerob stabilizálás megvalósításának a következő lehetőségei ismertek:

- Alacsony nyomás (0,1-0,5 mbar) melletti levegőztetés
- Nyomás és szívás együttes alkalmazása
- Lökésszerű nyomáshullámok mellett (3-7 bar), részben oxigénnel dúsítva
- Elszívás

A levegőztetés, mint a hulladéktest stabilizálását elősegítő folyamat (**47. ábra**), idősebb, alacsony intenzitású depóniagáz képződéssel bíró, és kis mennyiségű biológiailag lebomló hulladék esetében alkalmazható célszerűen.

A levegőztetés kútrendszer alkalmazásával valósul meg. A kutak aktív levegőztetés útján légköri oxigént (lehetőség van oxigénnel való dúsításra is) juttatnak a hulladéktestbe, melynek

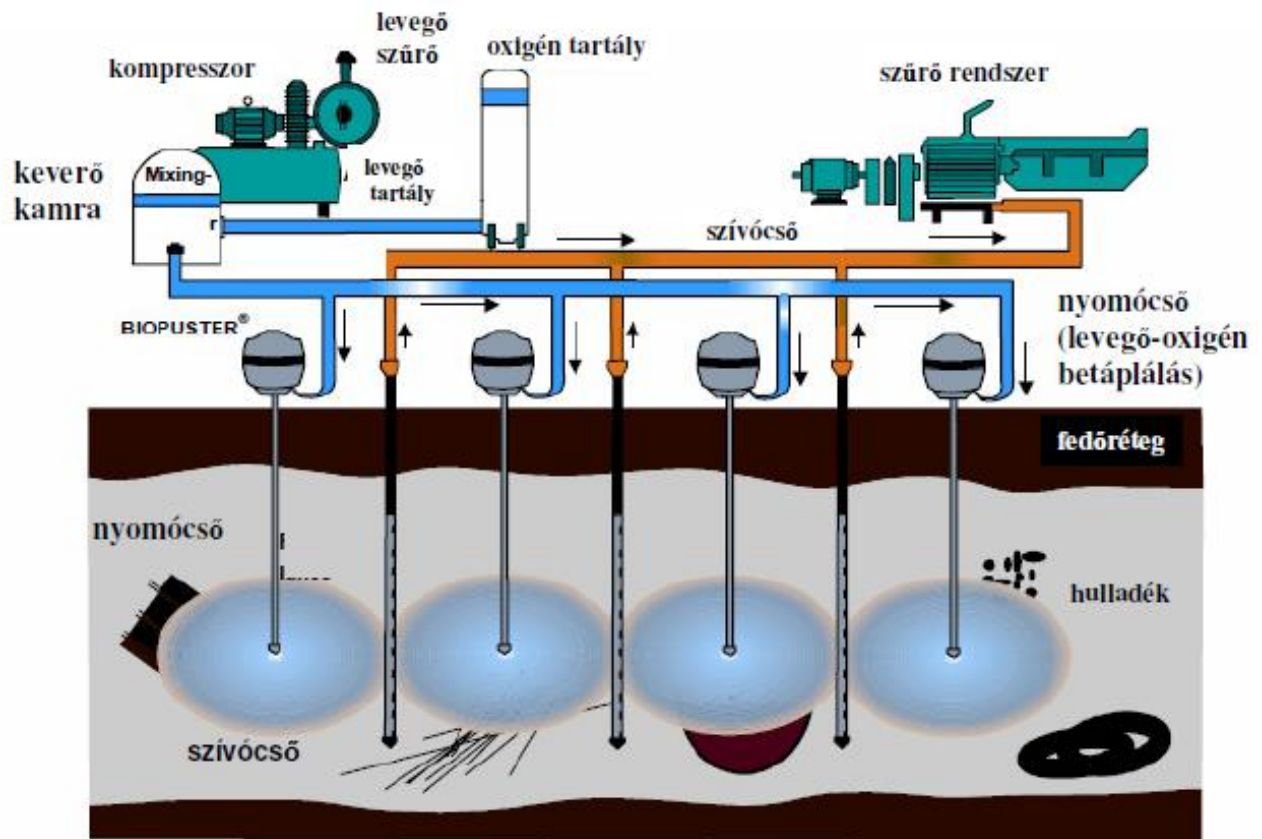
hatására felgyorsul az aerob (oxigén jelenlétében lejátszódó) stabilizáció folyamata. A terület teljes átlegevőztetését a szabályozott túlnyomás és a hozzáadott levegőmennyiség garantálja. Ezzel egyidejűleg további kutakat is üzemeltetnek a lerakó területén a bomlási folyamatok során keletkező gázok gyűjtése céljából.



47. ábra: Az aerob helyszíni stabilizálás elvi ábrája (HEYER, 2002)

A BIOPUSTER eljárás lényegében csak technológiájában különbözik az előzőekben ismertetett átlegevőztetési eljárástól, maga a BIOPUSTER („bio-puffer”), egy egyedi fejlesztésű nyomótartály. Elosztó hálózaton keresztül jut a tartályba az oxigénnel dúsított levegő. Az eljárás sajátossága abban áll, hogy a levegőztetés pulzáló, a rendszer nem állandó nyomáson üzemel, ellentétben a hagyományos levegőztető rendszerekkel, így a levegő – oxigén keverék a nagyobb tömörségű hulladékrészekbe is behatol. A rendszer felépítését és működését szemlélteti a **48. ábra**. A rendszer üzemi nyomása 3 – 7 bar. A levegőztetéssel párhuzamosan a hulladékok bomlásából származó gázok eltávolítását is elvégzi a BIOPUSTER rendszer egy szívó vezetékeken keresztül. A gázkinyerés kapacitása 30%-kal meghaladja a levegőztetés kapacitását. Az ellenőrizetlen gázkibocsátások elkerülése érdekében a vizsgált területen folyamatosan történik a gázkinyerés, kis mértékben mindig vákuum alatt tartják a területet. A kinyert gázokat, ha szükséges kezelik, tisztítják.

A **49. ábra** jól szemlélteti ezen eljárás hatékonyságát



48. ábra: A BIOPUSTER eljárás vázlata



Alacsony nyomású
levegőztetés



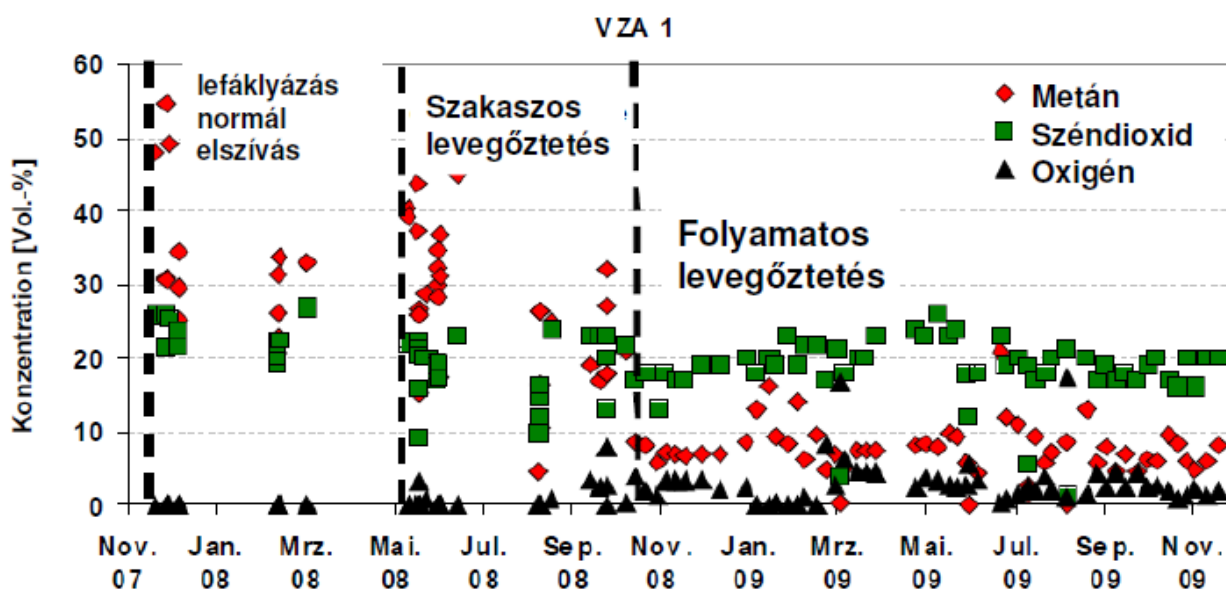
BIOPUSTER

49. ábra: Az alacsony nyomású levegőztetés és a BIOPUSTER eljárás hatékonyságának összehasonlítása

Az aerob stabilizáció az anaerob lebomlást elviszi az aerob lebomlás irányába, és az egyik legagresszívabb üvegházhatású gázt (CH_4) átalakítja CO_2 -dá és vízzé (50. ábra), valamint hőfelszabadulással is számolhatunk.

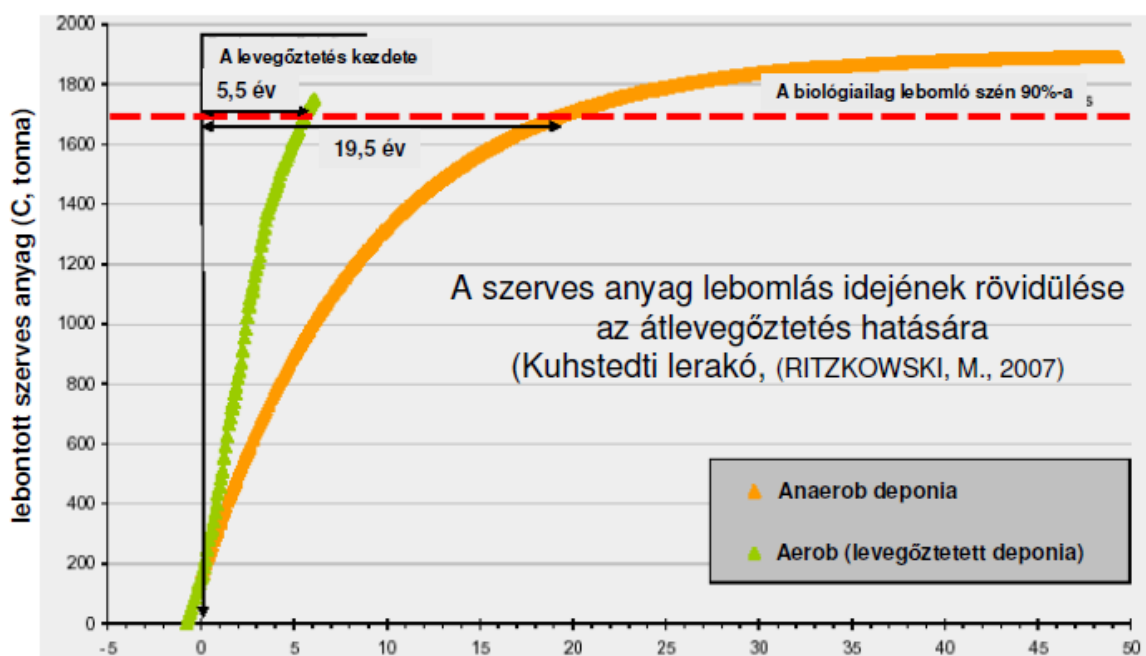
Dörentrup lerakó, Németország

A gázkoncentrációk alakulása az 1. mezőn



50. ábra: A gázkoncentrációk alakulása az 1. mezőn Dörentrup lerakó Németország, (HEYER, K.U et al., 2009)

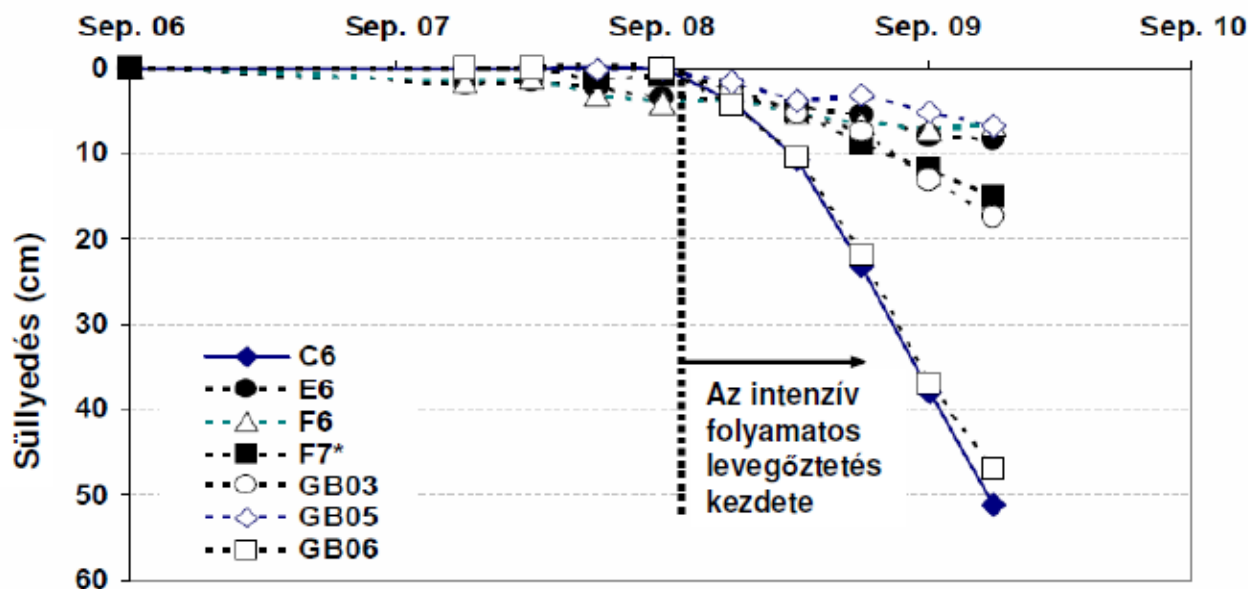
Az aerob biodegradáció lényegesen gyorsabb, mint az anaerob lebomlás, így a biológiai stabilizálódás lényegesen rövidebb idő alatt bekövetkezik (51. ábra)



51. ábra: A szerves anyag lebomlási idejének rövidülése az átlevégtetés hatására (RITZKOWSKI, 2007)

A felgyorsuló biológiai lebomlás hatására a süllyedések rövidebb idő alatt játszódnak le (52. ábra).

A süllyedések alakulása (Dörentrup lerakó, Németország)



52. ábra: A süllyedések alakulása a levegőztetés megkezdte után Dörentrup lerakó, Németország (HEYER, K.U et al., 2009)

Levegőztetés hatására megváltozik a keletkező csurgalékvíz kémhatása, oxigéntartalma és a nitrogén vegyületek koncentrációja is. Gyakorlati tapasztalatok alapján elmondható, hogy a stabilizálás kezdetétől számított rövid időn belül számottevő mértékben lecsökken a csurgalékvíz ammónium-ion, nitrit- és nitrát ion koncentrációja. (RITZKOWSKI, 2002). Csökken a TOC, KOI és a BOI_5 paraméterek értéke a csurgalékvízben.

A stabilizálás egyik hatása ugyanakkor a megnövekvő szén-dioxid képződés.

A stabilizáció a hulladéktestben hőmérséklet-emelkedést eredményez, 35-50 °C a jellemző.

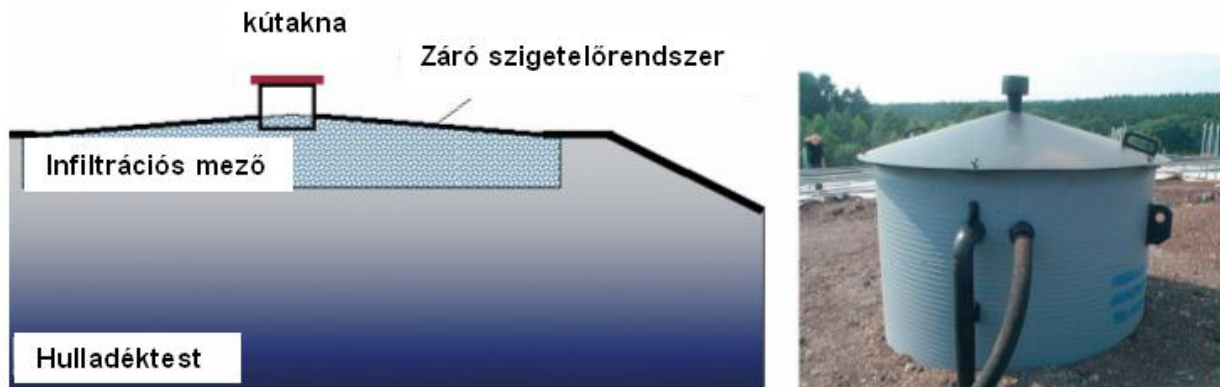
Az aerob biodegradációt számos tényező befolyásolja, amelyeket a kivitelezés során folyamatosan figyelni kell (ZANETTI, 2008). Ezek:

- *Oxigén koncentráció:* Ha az oxigén koncentráció nagyon kicsi, akkor a degradációs folyamat lelassul. Minimálisan 5% oxigénre van szükség, de az optimális üzemi viszonyokhoz a 10% körüli érték a kedvező
- *Hőmérséklet:* Az aerob lebomlás alatt a hőmérséklet magasabb mint az anaerob lebomlás során, és értékének el kell érnie az 50 – 60 °C-t. Bizonyos esetekben a hőmérséklet elérheti a 80 °C-t, amikor is a mikrobiális aktivitás már korlátozott.
- *Nedvesség:* Az aerob biodegradációs folyamat viszonylag nagy mennyiségű vizet igényel, hogy a mikrobiális aktivitás fennmaradjon és a hőmérséklet a kívánt tartományban maradjon. A mikrobiális aktivitás leáll 15%-os nedvességtartalom alatt, az optimális tartomány a 45 – 65 %. 45% százalék alatt a baktériumok aktivitása lassul, 65% felett a víz telíti a hézagokat és az oxigén diffúzió korlátozott lesz.

- *pH érték:* A hulladék biodegradációs folyamata a baktérium fajták változatossága miatt nem kötődik szűk pH határok közé. Az optimális pH érték 6,5 – 8,0 között van, de a biodegradáció még végbemegy pH=5,5 – 9,0 érték között is.

2.5.2. A hulladéklerakók utólagos nedvesítése, a vízháztartás szabályozása

A zárószigetelő-rendszerrel ellátott, fiatal, még nagy mennyiségű biológiailag lebomló alkotót tartalmazó hulladéklerakó esetében a hulladéktest ellenőrzött nedvesítése, öntözése a hulladék stabilizálásának elősegítése céljából sikeresen alkalmazható megoldás (**53. ábra**)



53. ábra: A hulladéklerakó nedvesítése/öntözése

Peremfeltételek

- Hulladéklerakók szabályozott infiltrációjának peremfeltételei:
- legalább 60 cm vastag, $k < 1 \times 10^{-8}$ m/s szivárgási tényezővel rendelkező ásványi aljzatszigetelés;
- üzemelő csurgalékvíz gyűjtő és elvezető rendszer;
- statikailag stabil hulladéktest;
- biológiailag bontható szerves anyagok jelenléte;
- üzemelő gázgyűjtő és elvezető rendszer;
- öntözőrendszer kialakítása;
- a hulladéktest gáz- és vízháztartásának megismerése az infiltráció előtt.

A szabályozott nedvesítés ideje alatt az alábbi paraméterek folyamatos *ellenőrzése* szükséges:

- a lerakó gáz termelése, a gáz összetétele;
- hozzáadott vízmennyiség – elkülönítve az egyes lerakó részeket, ha szükséges;
- a keletkező csurgalékvíz mennyisége és minősége;
- az infiltráció hatásai a hulladéktestre:

= nedvességtartalom, a víz eloszlása a hulladéktestben;

= a hulladéktest mechanikai stabilitása – különös tekintettel a lejtős területek kötési tulajdonságára és statikai stabilitására.

A hulladéktest vízháztartásával kapcsolatos becslések

Hulladéklerakók szabályozott nedvesítésének/öntözésének tervezése során elengedhetetlen a hulladéktest vízháztartásának ismerete (lásd **2.2.4.9**).

A hozzáadott víz mennyiségének becslése

A szabályozott nedvesítéssel/öntözéssel megnövelt nedvességtartalmú hulladéktestben fokozódik a mikrobiológiai tevékenység, és ezáltal a depóniagáz képződés is. A gyakorlat

szerint az optimális nedvességtartalom értéke függ a hulladék összetételétől és a korától. A hulladéktestben lejátszódó anaerob bomlási folyamatokat a nedvességtartalom a következő módon befolyásolja:

- a biológiai lebomlás folyamata jelentős mértékben lelassul, ha a víztartalom kevesebb mint 30%
- a biológiai lebomlás folyamatának előrehaladása korlátozott 40%-tól kisebb víztartalom esetén (függ a hulladék korától és a lebomlás mértékétől is)
- a legkedvezőbb biológiai lebomlás 40%-tól magasabb nedvességtartalom esetén következik be

A fentiek alapján tehát elmondható, hogy legalább 35%-os víztartalom szükséges a bomlási folyamatok optimális lejátszódásához. A szükséges hozzáadott vízmennyiség fajlagos értékét az alábbi egyenlet segítségével határozhatjuk meg:

$$Q_{\text{víz}} = W / M_{\text{ACT}} = (w_{\text{szük.}} - w_{\text{ACT}}) / ((1 - w_{\text{szük.}}) \times \rho_{\text{H}_2\text{O}})$$

ahol:

$Q_{\text{víz}}$: a hozzáadott vízmennyiség fajlagos értéke [m³/tonna_{nedves súly}]

W : a megfelelő nedvességtartalom eléréséhez szükséges hozzáadott vízmennyiség [m³]

M_{ACT} : nedves súly, amellyel a hozzáadott vízmennyiség növeli a hulladék súlyát [t]

$w_{\text{szük.}}$: a szükséges vízmennyiség [-]

w_{ACT} : a hulladéktestben a nedvesítés előtt már meglévő vízmennyiség [-]

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$: a víz sűrűsége [t/m³]

Nedvesítés során a keletkező depóniagáz mennyiségének növelése érdekében – a hozzáadott víz mennyisége minimum 100 – 200 l/m³ kell, hogy legyen.

A szükséges hozzáadott víz mennyisége és a beszivárgás sebessége az alábbi tényezőktől függ:

- Helyi adottságok:
 - = éghajlati viszonyok;
 - = a hulladéklerakó geometriája (a lerakott hulladék mennyisége, magassága, a lerakó felület nagysága stb.);
 - = a hulladék állapota: a hulladék összetétele, vastagsága, vízáteresztő képessége, hézag tényező, hézagterefogat, depóniagáz keletkezés potenciális lehetősége.

Infiltrációs eljárások

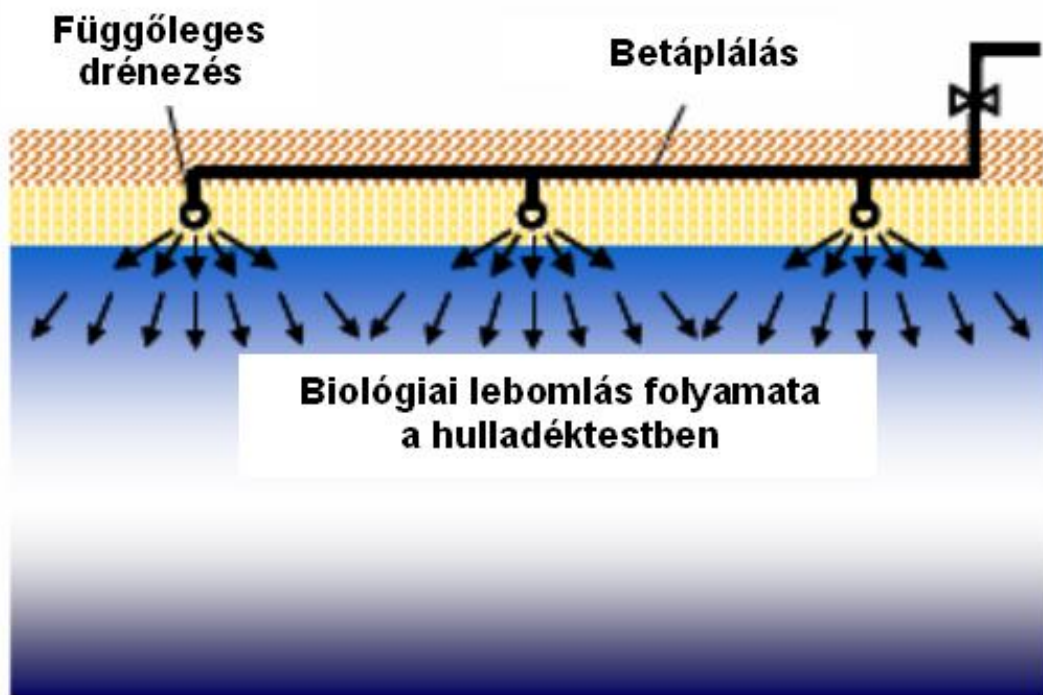
Az infiltráció – a helyi adottságoktól és az alkalmazott infiltrációs rendszertől függően – történhet:

- felszíni vízzel;
- csugalékvízzel:
 - = előkezelt / tisztított csugalékvízzel;
 - = kezeletlen ún. nyers csugalékvízzel;
 - = csugalékvíz kezelésből visszamaradó anyaggal.

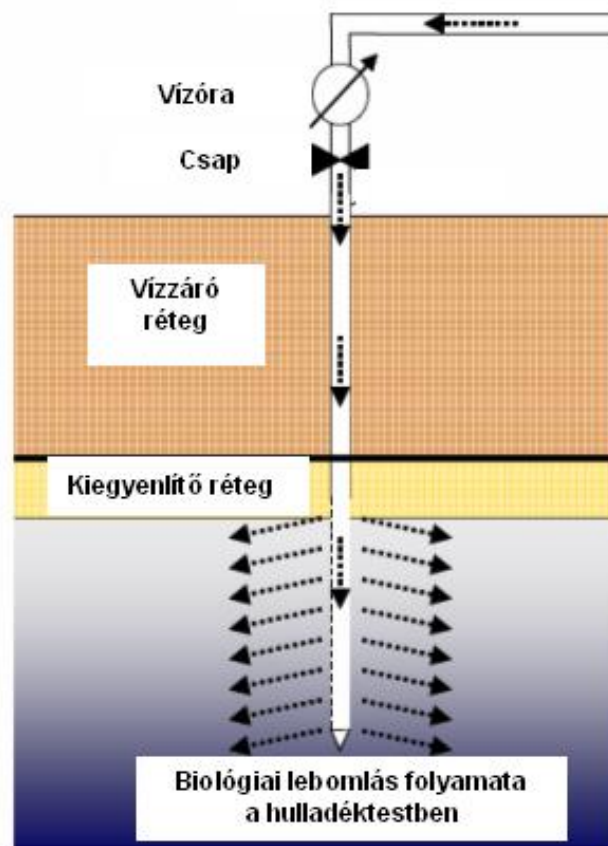
Az infiltráció technikai kivitelezését illetően az alábbi megoldásokat különböztethetjük meg (BOTHMANN, 1997; STEGMANN, 2001; DREXLER, 2001):

- horizontális elrendezésű infiltrációs rendszer (**54. ábra**) a záró szigetelés alatt kialakítva
 - = kétdimenziós
 - = vonalas
- függőleges elrendezésű infiltrációs rendszer (**55. ábra**)
 - = gázgyűjtők felhasználása
 - = mélyfúrású kutak alkalmazása

= A fentiekben felsorolt megoldásokat a gyakorlatban szükség szerint kombinálják.



54. ábra: Horizontális elrendezésű infiltrációs rendszer



55. ábra: Vertikális elrendezésű infiltrációs rendszer

3. Bevezetés: a hulladékok fogalma, fajtái, környezeti hatásai (Dr. Nagy Géza)

Széchenyi István Egyetem, Győr

A hulladék fogalmának meghatározása látszólagos egyszerűsége ellenére is meglehetősen nehéz. Az emberi tevékenység sokrétűsége, a hulladékok anyagi tulajdonságainak változatossága, a gazdaságilag különbözőképpen fejlett országokban a megítélés eltérő szempontjai mind megnehezítik a fogalom minden szempontra kiterjedő megfogalmazását. A hulladék valójában nem környezetvédelmi, hanem jogi és gazdasági fogalom, amelynek azonban fontos környezeti vonatkozásai vannak.

Általános értelemben hulladéknak tekinthető az a bármely halmazállapotú, önállóan vagy hordozó közeggel megjelenő anyag és energia, ami az ember mindennapi életéből, termelő, szolgáltató vagy fogyasztó tevékenységéből ered, és az adott műszaki, gazdasági, társadalmi feltételek között tulajdonosa sem felhasználni, sem értékesíteni nem tud, illetve nem kíván sem kezelve, sem kezeletlenül, ezért átalakítással vagy a nélkül történő, a környezetre ártalmatlan elhelyezéséről átmenetileg vagy véglegesen gondoskodni kell. Annak megítélésében, hogy egy anyag, tárgy hulladéknak minősül-e vagy sem, az anyagi jellemzőkkel legalább azonos súlyú szerepet játszanak a társadalmi, gazdasági tényezők.

Célszerűnek látszik a hulladékgazdálkodás bevezető fejezetét, a tématerület legfontosabb fogalmainak komplex, rendszerszemléletű értelmezését megalapozó rövid állapotértékeléssel kezdeni. Ehhez-mind elméleti, mind gyakorlati szempontból-jó forrásként szolgál a hazánk (2001-2008 közötti időszak) I. Országos hulladékgazdálkodási Terve (OHT I.), annak értékelése, valamint az OHT II., már elkészült, de az új Nemzeti Környezetvédelmi Program (NKP) kihirdetésének csúszása miatt még nem elfogadott anyaga.[1.,2.,3.]

3.1. A hazai hulladékgazdálkodás jellemzése.

Az első Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHT-I.) a második Nemzeti Környezetvédelmi Programmal (NKP-II.) összhangban, annak részeként a hulladékgazdálkodás középtávú – 2003-2008 közötti időszakra vonatkozó – fő célkitűzéseit, az átfogó és elsődlegesnek tekintett cselekvési területek konkrét céljait, az ezek elérése érdekében elvégzendő feladatokat, illetve a teljesítésükhöz szükséges legfontosabb eszközöket rendszerbe foglalva először határozta meg hazánkban.

Megállapítható:

A jelenlegi fogyasztás-orientált társadalmi-gazdasági környezet a környezetbarát termékek és szolgáltatások (újra-használható, illetve tartós termékek, hulladékhasznosítással készült termékek) elterjedését sem segítette elő. Előrelépésnek tekinthető ugyanakkor, hogy az önkéntes vállalatok terén a vállalatok irányításában meghatározó jelentőségűvé vált a Nemzetközi Szabványosítási Szervezet ISO 14001, illetve az EU EMAS környezetirányítási rendszerének alkalmazása, amely a termelők tudatos és tervezett hulladékgazdálkodását is elősegíti.

Magyarország hulladékgazdálkodási helyzete az OHT-I. időszakában kettős képet mutatott: az időszak elején – a közösségi normáknak megfelelő szabályozás és hulladékkezelési gyakorlat ellenére – a veszélyes hulladékok terén jelentkező problémák áttevődtek az akkor még igen elmaradott, azóta megfelelő szabályok közé szorított és jelentős fejlődést mutató települési hulladékgazdálkodási kérdésekre. Eközben a képződő hulladékok nagy részét kitevő, a gazdasági tevékenységekből származó nem-veszélyes hulladékok képződése ugyan jelentősen csökkent, kezelési struktúrája azonban gyakorlatilag nem változott.

A környezetpolitika terén a hat évet a globális kihívások felerősödése jellemezte (éghajlatváltozás veszélyének erősödése, a biológiai sokféleség csökkenése, az ivóvízkészletek egyes térségekben megmutatkozó szűkössége és elszennyeződése, a vegyi anyagokkal, azok kezelésével kapcsolatos problémák), azonban a hulladékgazdálkodás kérdései az időszak elején kissé háttérbe szorultak.

Rövid időn belül világossá vált, hogy a nem megfelelő biztonsággal kialakított és működtetett hulladékkezelő létesítmények nem csak helyi környezeti problémákat okoznak, hanem hozzájárulnak a globális környezeti folyamatok alakulásához is. A hulladékégetők légköri kibocsátása, a hulladéklerakók felszíni és felszín alatti víz szennyezési kockázata, a biológiailag lebomló szerves hulladékok lerakásának üvegház-gáz kibocsátási következményei, a „látszat-hasznosítás” célú nemzetközi hulladékszállítás következményei, a műanyag-hulladékok óceánokban történő megjelenése rámutatott arra, hogy a hulladékgazdálkodás kérdései is nemzetközi összefogást és globális intézkedéseket igényelnek.

A gazdaság globalizációja egyúttal azonban arra is rávilágított, hogy a tervszerű és hatékony hulladékgazdálkodás a fenntartható fejlődés egyik alapvető eszköze is. A hulladékban megjelenő anyagok és energia visszanyerésével a meg nem újuló természeti erőforrások egy része kiváltható, a hulladék hasznos anyaggá és terméké történő alakítása új technikák és új termékek kifejlesztésével és új munkahelyek létrejöttével is jár. Ugyanakkor az is világossá vált, hogy a fenntartható fejlődéshez a leghatékonyabban a hulladék képződésének megelőzése járulhat hozzá, a termékek előállítása során felhasznált veszélyes anyagok kiváltása, az anyagtakarékos és hulladékszegény technológiák alkalmazása a hulladék kezelési igényeinek – és egyben költségeinek – csökkenésével is jár. Mindez azt is eredményezte, hogy a hulladékgazdálkodás mára a globális anyag- és termék-életciklus részévé, az integrált termék- és termelés-politika és tervezés, a fenntartható fogyasztás és termelés egyik meghatározó elemévé vált.

A nemzetközi hulladékgazdálkodási folyamatokhoz történő igazodás, illetve az azok alakulásába történő beleszólás tekintetében elsősorban az ENSZ, az OECD és az Európai Unió keretében folyó együttműködés meghatározó jelentőségű a számunkra. Az OHT-I. időszakában jelentős változások történtek e területen, amelyek közül mindenekelőtt az Európai Unióhoz való csatlakozást kell kiemelni.

Az Európai Unióhoz történt csatlakozásunkat megelőzően a hulladékgazdálkodás terén is jelentős segítséget jelentettek a régi tagországok szakembereinek részvételével lezajlott twinning-programok, amelyek többek között hozzájárultak a Hulladékgazdálkodási Információ Rendszer (HIR), az első területi hulladékgazdálkodási tervek, a települési szilárd hulladék összetétel vizsgálati szabványok hazai létrejöttéhez, valamint a veszélyes hulladékok laboratóriumi vizsgálati módszertanának fejlesztéséhez (Belgium, Franciaország). A közösségi előírások átvételében és értelmezésében, a végrehajtás eszközeinek fejlesztésében több tagországtól kaptunk rendszeres, kétoldalú megállapodásokon alapuló segítséget mind egyes

fejlesztések megvalósításában és finanszírozásában, mind a végrehajtási tapasztalatok átvételében

A térségi és kétoldalú nemzetközi együttműködés a hulladékgazdálkodás területén többnyire az átfogó környezetvédelmi megállapodások keretein belül, általában külön szakterületi munkacsoportokban történik. A munkacsoportok munkájának eredményeként gyakorlatilag az összes szomszédos országgal jött létre fontos tapasztalatcsere és esetenként egy-egy közös hatósági akció is a hulladékok országhatárt átlépő szállításának ellenőrzésére, illetve az ezzel kapcsolatos hatósági eljárások összehangolására

Az EU hulladékgazdálkodási politikáját a legutóbb 1997-ben megfogalmazott közösségi hulladékgazdálkodási stratégia hivatott megalapozni (97/C-76/01 tanácsi állásfoglalás), amely rögzítette a hulladékgazdálkodásban (is) követendő általános alapelveket (a hulladékgazdálkodás hierarchiáját; megelőzés-hasznosítás-ártalmatlanítás, a hulladékért viselt felelősség elveit: szennyező, illetve használó fizet, megosztott és specifikus felelősség). Az alapelvek érvényesítése mellett kiemelt stratégiai feladatként határozza meg a hulladékgazdálkodás átfogó és hulladékaramonkénti, hosszú távú – a globális, illetve a gazdasági és szociális szempontokat is figyelembe vevő – tervezését, a környezet magas fokú védelmét biztosító, a legjobb elérhető technikával megvalósuló hulladékkezelést (BAT), valamint a hulladék országhatárokat átlépő szállításának szigorú ellenőrzést.

Ennek megfelelően az EU elsődleges célja a képződő hulladék mennyiségi növekedésének megállítása új megelőzési kezdeményezésekkel, a források hatékonyabb használatával, a fenntartható fogyasztói szokások kialakulásának elősegítésével. Így, az akcióprogramban foglaltaknak is megfelelően került 2005-ben kidolgozásra a „Tematikus stratégia a hulladék képződésének megelőzéséről, illetve újrafeldolgozásáról” c. dokumentum. A hosszú távú tematikus stratégia célja, hogy Európa a „hasznosítás társadalmává” váljon, törekedve a hulladék képződésének elkerülésére, a képződő hulladékot pedig erőforrásként használja.

A hulladékgazdálkodás tényleges gazdasági tényezőként és a fenntartható fejlődés eszközeként való térnyerését mutatja, hogy mind a megelőzés, mind a hasznosítás szerves részeként jelenik meg több más környezetvédelmi tematikus stratégiában, így elsősorban a „Természeti erőforrások fenntartható használata” tematikus stratégiában. A teljes életciklust felölő szemlélet előtérbe kerülését mutatja, hogy a két tematikus stratégia gyakorlatilag beépült az „Európai Fenntartható Fogyasztás és Termelés Politika”-ba, amely ezeken kívül magában foglalja az „Integrált Termékpolitika”-t (IPP), a környezetirányítási rendszereket (EMAS), az öko-címkézést és az öko-tervezést, a zöld közbeszerzést és a Környezetvédelmi Technológiai Akciótervet (ETAP)

A hulladékgazdálkodás szabályozási rendszerének alakulását alapvetően az OHT I-ben kifejtett, az EU szakpolitikájával összhangban álló stratégiai irányvonal jelölte ki. Így a 2003-2008 közötti időszak jogalkotási tevékenysége a hulladékképződés megelőzésének elősegítésére és a képződő hulladékok minél nagyobb arányú hasznosítására irányult (pl. a kiterjesztett gyártói felelősségre építő szabályozók), ezzel is ösztönözve a természeti erőforrásokkal való fenntartható gazdálkodást. Emellett alapvető feladat volt a hulladékgazdálkodás teljes területét lefedő, a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. évi törvényben (Hgt.) meghatározott kereteknek megfelelő, a hulladékkezelési tevékenységek biztonságát és a kezelési rendszerek rendelkezésre állását biztosító szabályozórendszer teljessé tétele. A szabályozórendszer tartalmi alakulását egyaránt befolyásolták a hazai társadalmi, gazdasági, környezeti változások, valamint az EU jogalkotása.

Az OHT-I. első harmadában a szabályozás és a tervezés fejlesztése kapott hangsúlyt. A még hátralévő jogharmonizációs feladatok befejeződtek és folytatódott a szakterületi végrehajtási szabályok megalkotása. A különböző hulladékfajták szakszerű kezelésének elősegítésére országos programok készültek (pl. biohulladék, mezőgazdasági és élelmiszeripari biomassza, ipari hulladék, települési szilárd és folyékony hulladék, egyes kiemelt hulladékok programjai).

A tervezés területén a Hgt. előírásainak megfelelően az OHT-I. figyelembevételével a környezetvédelmi területi hatóságok, a felügyelőségek irányításával, a helyi önkormányzatok és más hatóságok, szervezetek bevonásával 2003-ban elkészültek a statisztikai tervezési nagyrégiókra vonatkozó területi hulladékgazdálkodási tervek, 2004-ben pedig a települési önkormányzatok helyi hulladékgazdálkodási tervei. Az országos, a területi és a helyi hulladékgazdálkodási tervek megvalósíthatóságának biztosítása érdekében a jelentősebb hulladéktermelő gazdálkodó szervezetek (amelyeknek gazdálkodása során az évente keletkező összes hulladék mennyisége meghaladja a 200 tonnát) egyedi hulladékgazdálkodási tervet készítettek.

A jogszabályok területén 2008-ra kialakult az EU hulladékgazdálkodási acquis-nek is megfelelő szabályozórendszer, amely tartalmazza

- az átfogó, minden hulladékra kiterjedő szabályokat (Hgt., nyilvántartás–bejelentés–adatszolgáltatás hulladékok listája, a hulladékgazdálkodás tervezése, szankciórendszer), az egyes kezelési eljárások feltételrendszerét (lerakás, égetés, komposztálás, szállítás),
- az egyes, jelentősebb hulladékokra vonatkozó speciális szabályozókat (települési, veszélyes, bányászati, egészségügyi, építési-bontási, TiO₂-ipari, PCB/PCT, olaj hulladékok, szennyvíziszapok, állati melléktermékek), ezen belül
- a kiterjesztett gyártói felelősség körébe tartozó termékekre és hulladékaikra vonatkozó szabályokat (gépjárművek, elektromos és elektronikai berendezések, elemek és akkumulátorok, csomagolás).

A hulladéktípusoknak a hazai szabályozással és a gyakorlattal is összhangban három fő csoportját különböztetjük meg:

- települési (kommunális) hulladék
- termelési hulladék
- veszélyes hulladék.

A hulladékoknak- emellett- számos csoportosítása ismert, ezekből néhányat az **18. táblázat** mutat be.

18. táblázat: A hulladékok csoportosítása [4.]

Halmazállapot szerint	Eredet szerint	Környezetihatás szerint
szilárd	települési (kommunális)	nem veszélyes
folyékony	termelési	veszélyes
iszapszerű	technológiai amortizációs	többnyire veszélyes

Szilárd hulladék: makroszkopikus részecskékből összetevődő, szilárd halmazállapotú szerves és szervetlen anyagok.

Folyékony hulladék: az a hulladékká vált folyadék, amelyet nem vezetnek el, és nem bocsátanak ki szennyvízelvezető hálózaton, illetve szennyvíztisztító telepen keresztül (közcsatornába nem kötött szippantott szennyvizek).

Iszapszerű hulladék: egymástól különálló szilárd, finom szemcséjű részecskéket tartalmazó folyadékból kiülepedett vagy kiülepített anyagi rendszer (szennyvíziszap, galvániszap stb.)

Települési hulladék: a háztartásokból származó szilárd vagy folyékony hulladék, illetőleg a háztartási hulladékhoz hasonló jellegű és összetételű, azzal együtt kezelhető más hulladék.

A települési hulladékok csoportosítása a **19. táblázatban** látható.

19. táblázat: A települési hulladékok csoportosítása [4.]

Települési szilárd hulladék
háztartási hulladék közterületi hulladék a háztartási hulladékhoz hasonló jellegű és összetételű hulladék
Települési folyékony hulladék
közműpótló berendezések ürítésébőlnem közüzemi csatorna- és árokrendszerekből gazdasági, de nem termelési, technológiai eredetű tevékenységből származó hulladék Inert hulladék Biohulladék

A települési szilárd hulladék

- A háztartási hulladék: az emberek mindennapi élete során a lakásokban, valamint a pihenés, üdülés céljára használt helyiségekben és a lakóházak közös használatú helyiségeiben és területein, valamint az intézményekben keletkező hulladék.
- A közterületi hulladék: közforgalmú és zöldterületen keletkező hulladék.
- A háztartási hulladékhoz hasonló jellegű és összetételű hulladék: gazdasági vállalkozásoknál keletkező – külön jogszabályban meghatározott – veszélyesnek nem minősülő szilárd hulladék.

A települési folyékony hulladék

- A települési folyékony hulladék a szennyvízelvezető hálózaton, illetve szennyvíztisztító telepen keresztül el nem vezetett szennyvíz, amely származhat:
- emberi tartózkodásra alkalmas épületek szennyvíztároló létesítményeinek és egyéb helyi közműpótló berendezéseinek ürítéséből,
- a nem közüzemi csatorna- és árokrendszerekből
- a gazdasági, de nem termelési, technológiai eredetű tevékenységből.

Az inert hulladék

- Az inert hulladék az a hulladék, amely nem megy át jelentős fizikai, kémiai vagy biológiai átalakuláson. Jellemzői:
- vízben nem oldódik,
- nem ég, illetve más fizikai vagy kémiai módon nem reagál,
- nem bomlik le biológiai úton,
- nincs kedvezőtlen hatással a vele kapcsolatba kerülő más anyagra oly módon, hogy abból környezetszennyezés vagy emberi egészség károsodása következne be,

- csurgaléka és szennyezőanyag-tartalma, illetve a csurgalék ökotoxikus hatása jelentéktelen, így nem veszélyeztetheti a felszíni vagy felszín alatti vizeket.

A biológiailag lebontható hulladék

A biológiailag lebontható hulladék (biohulladék) minden szervesanyag-tartalmú hulladék, ami anaerob vagy aerob módon (mikroorganizmusok, talajélőlények vagy enzimek segítségével) lebontható.

A termelési hulladék: kitermelő, feldolgozó és az anyagi szolgáltató (fenntartás, szállítás) tevékenység során keletkező hulladék ipar, mezőgazdaság, közlekedés területén). A termelési hulladékoknak két csoportja van:

- technológiai hulladék,
- amortizációs hulladék.

A technológiai hulladék: a termelési folyamat anyagáramaiból keletkező hulladék. Keletkezhet:

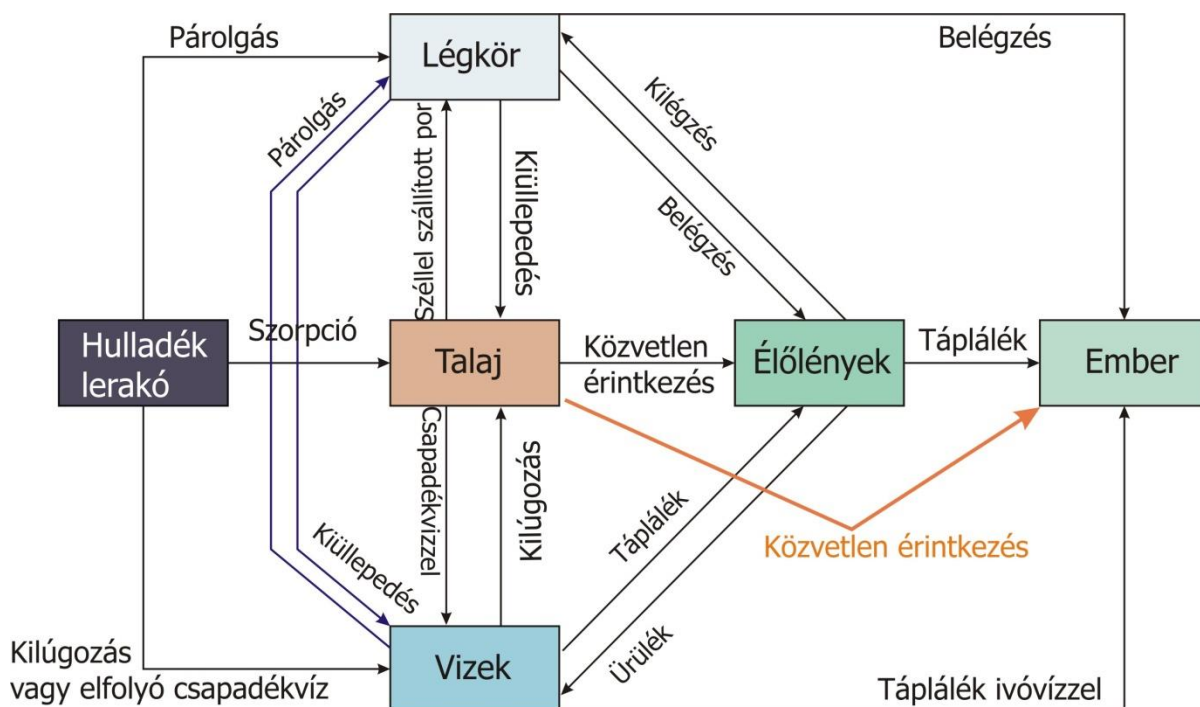
- üzemszerűen: az anyag-átalakítási műveletek során;
- nem üzemszerűen: felújítás, karbantartás, üzemleállás, termékváltás, üzemeltetési hiányosságok, havária stb. során.

Amortizációs hulladék keletkezhet elhasználódott gépek, alkatrészek leselejtezése során, fejlesztések kapcsán feleslegessé vált termelő berendezések leselejtezésével

A helytelenül kezelt hulladékok környeztkárosító hatásai különbözőképpen jelentkeznek:

- okozhatja valamely környezeti elem (talaj, levegő, víz) szennyezését, ekkor a káros hatás hosszú ideig tart, s sok embert érint;
- okozhat káros hatást úgy is, hogy a hulladék káros anyagai a táplálékláncba beépülve (növény – állat – ember) valamennyi résztvevőt, az egész élővilágot, végső soron az ember egészségét károsítja.
- A környezetbe kibocsátott és nem megfelelően kezelt hulladékok környeztkárosító hatásai különbözőképpen jelentkeznek (**56. ábra**).
- A talaj, talajvíz (felszín alatti vizek) és felszíni vizek szennyeződése
- A hulladékok leggyakoribb – évezredek óta – szükségszerűen természetes befogadója a talaj. A nem megfelelően kezelt hulladékokat, azok bomlástermékeit a csapadékvíz a talaj felszínén szétmossa, és az beszívároghat a talajvízbe, ahol az áramlás révén gyakran jelentős vízbázisokat veszélyeztethetnek.
- A hulladék szerves és szervetlen alkotói a csapadék vízzel kilúgozódva, különféle sók – klorid, nitrát, szulfát stb. – nehézfémek, szénhidrogének és nehezen bomló egyéb szerves szennyezők formájában közvetve a vízminőség romlását okozzák. A felszíni vizek közvetett és közvetlen szennyeződését eredményezik a nem megfelelően kezelt kommunális és ipari szennyvízbevezetések, esetenként a káresemények során szennyezett csapadékvizek is.
- A levegő szennyeződése
- A szervesanyag-tartalmú hulladék bomlása során jellegzetes bűzös gázok keletkeznek (ammónia, hidrogén-szulfid stb.), a kezelés nélküli hulladékhalmok finom porát, illetve nagyobb darabjait (papír, műanyag fólia) azonban a szél vagy kisebb légmozgás is a levegőbe emeli. A hulladéklerakókon öngyulladás miatt vagy a hulladékok nyílt téri (tiltott!) égetésekor keletkező égéstermékek (füstgáz, korom, pernye) közvetlenül

szennyezik a levegőt. Nem elhanyagolható a biológiailag bomló hulladékot tartalmazó hulladéklerakók üvegházhatást növelő metán- és szén-dioxid-kibocsátása sem.



56. ábra: A hulladékok környezetbe jutásának útjai[3]

- Fertőzésveszély
- A települési és egyes termelési hulladékok (pl. hígtrágya, vágóhídi hulladékok, egészségügyi intézmények hulladékai) kórokozó mikroorganizmusai különböző fertőző betegségek előidézői lehetnek. A különféle egyéb forrásokból származó hulladékokban is gyakran megtalálhatók a legkülönbözőbb mikroorganizmusok, közöttük fertőző betegségeket is terjesztő kórokozók, amelyek a hulladékban hosszabb ideig életképesek maradnak, onnan a talajba, a vízbe kerülhetnek és közvetlen érintkezés útján is fertőzést okozhatnak. (Meg kell jegyezni, hogy a kórokozók a hulladékban csak a fertőzés lehetőségét jelzik, nem feltétlenül fertőznek, az ilyen hulladékfertőzést terjesztő közegnek tekinthető.)
- A rovarok és rágcsálók elterjedése
- A nem megfelelően végzett települési hulladékkezelés következtében a rovarok (legyek) és rágcsálók (patkány, egér) nagymértékben elszaporodhatnak. Mind a rovarok, mind a rágcsálók közismert közvetítői egyes fertőző betegségek terjesztésének. Ezért a gyakori hulladékbegyűjtés a lakásoktól, a lakott területen minél rövidebb ideig tartó és zárt tárolás a helyes kezelés egyik legfontosabb feltétele.
- A környezet elszennyeződésének esztétikai jelentősége
- A nem megfelelő hulladékkezelés, a rendezetlen, szétszórta hulladék látványa tönkreteszi a táj eredeti szépségét, csökkenti a pihenés, kikapcsolódás teljes körű lehetőségét.

3.2. A hulladék

A hulladék fogalom – napjainkban is nemzetközi viták középpontjaként és akár meddőnek is nevezhető egységes meghatározásra törekvés főszereplőjeként-értelmezése tovább finomodik, de még a folyamat nem tekinthető lezártnak.

Ami azonban kristálytisztán kirajzolódik az a hulladéknak nevezett anyag (benne az energia) nem más, mint értékes környezeti erőforrás és a gazdasági körfolyamatban tartásával a fenntartható gazdaságot szolgáljuk.

Részletesebben, ha a hulladékképződést megelőzzük, vagy mérsékeljük akkor a primer nyersanyagok termékké válásának hatékonyságát javítjuk vagy termékként tovább, ill. újrahasználva növeljük életciklusát, ami a természeti erőforrásokkal történő takarékos gazdálkodás megalapozója.

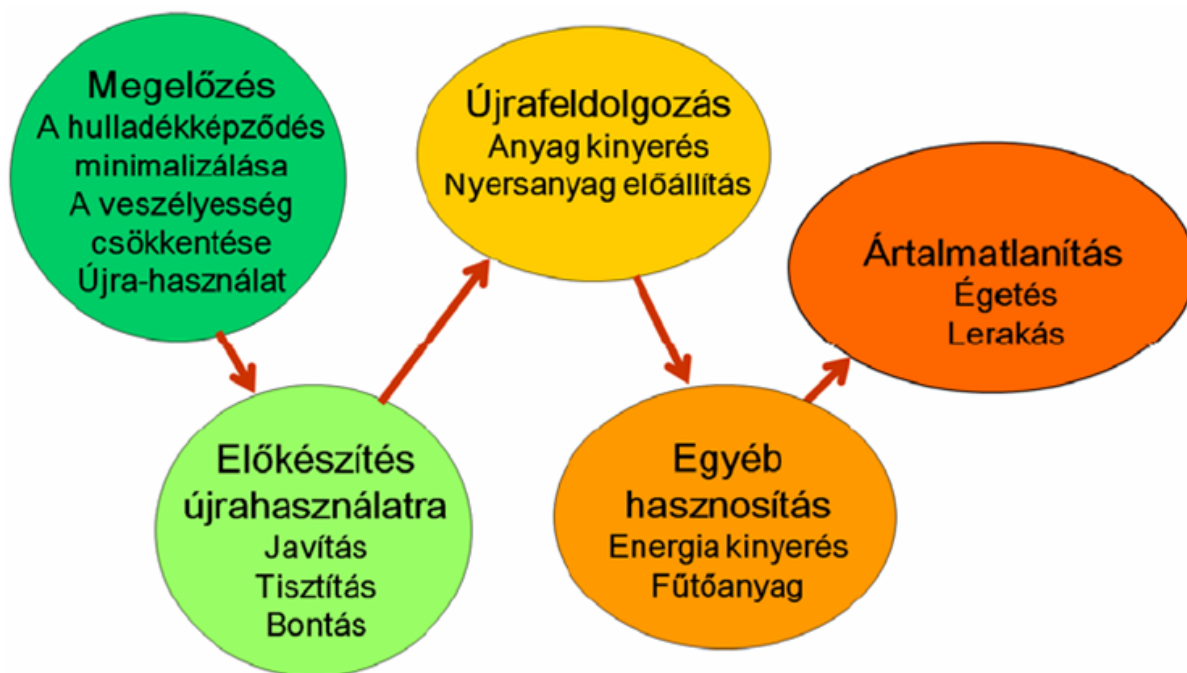
Hasonló, csak a kezelés miatt valamivel drágább a hulladék anyagában történő, vagy energetikai hasznosítása. A hasznosítás nélküli égetés, csak a lerakandó maradék tömegét így a lerakó helyigényét csökkenti. A hulladékkezelés prioritási szintjeit a **57. ábra** tartalmazza. A tankönyv további fejezetei a hulladékgazdálkodást részletesen elemzik ezért itt csupán egy újszerű(hazai vonatkozásban újnak is nevezhető) momentumra” A HULLADÉKBÓL ENERGIA” témakörben gyakran emlegetett biomassza alapú tüzelőanyagok energiagazdálkodási jelentőségére HÍVJUK FEL A FIGYELMET.

A megújuló energiák támogatását célzó 2009/28/EK irányelv szerint a b i o m a s s z a fogalomkörébe tartozik a települési szilárd hulladék biológiailag lebomló hányada is. Így ez az a pont ahol összekapcsolódik a megújuló energiaforrások keresése a hulladékgazdálkodással.

A Mechanikai Biológiai módszerrel előkezelt Hulladékot (M B H), más néven másodlagos tüzelőanyagot tekinthetjük a hulladékok energetikai hasznosítása jövőbeli ígéretes pillérének. Az MBH – a hasznosítható hulladékfrakciók szelektív gyűjtése mellett visszamaradó – vegyesen begyűjtött települési szilárd hulladék, más szóval maradék hulladék, valamint a komposztálásra és az anaerob erjesztésre alkalmatlan biohulladék környezeti veszélyességének csökkentése érdekében, mechanikai és biológiai folyamatok segítségével végzett hulladékkezelés. Az MBH következtében csökken a hulladék térfogata, tömege, víztartalma, biológiailag bomló szervesanyag-tartalma, és ez által a gázképződési potenciálja.

Az MBH technológiákat egyrészt a lerakást megelőzően használják a maradék hulladék biológiai stabilizálására, másrészt az energetikai hasznosítás előkészítéseként, jó minőségű másodlagos tüzelőanyag előállítására. Alkalmazása Európában a hulladéklerakókról szóló 1999/31/EK irányelv rendelkezéseinek köszönhetően terjedt el.

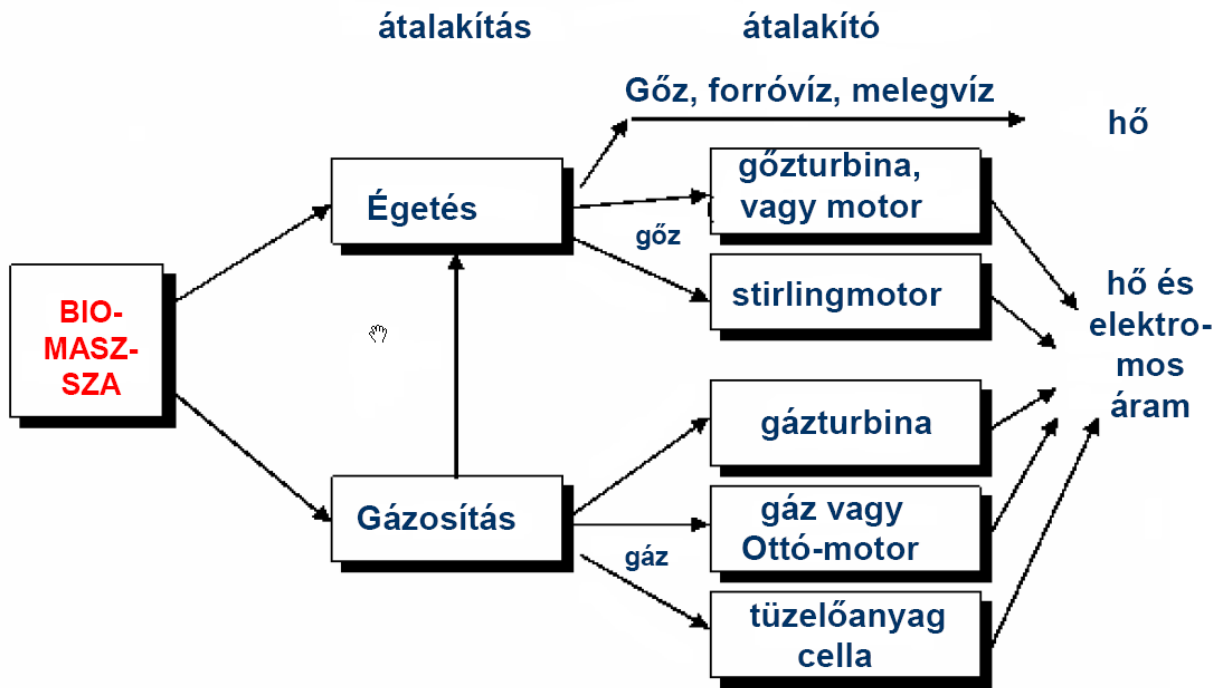
A képződő TSZH mennyiségének alakulását a **20. táblázat** mutatja, az energetikai hasznosítás lehetőségeit a **58. ábra**, a vegyesen begyűjtött TSZH összetételét a **59. ábra** szemlélteti.



57. ábra: A hulladékkezelés prioritási szintje.[1,2.]

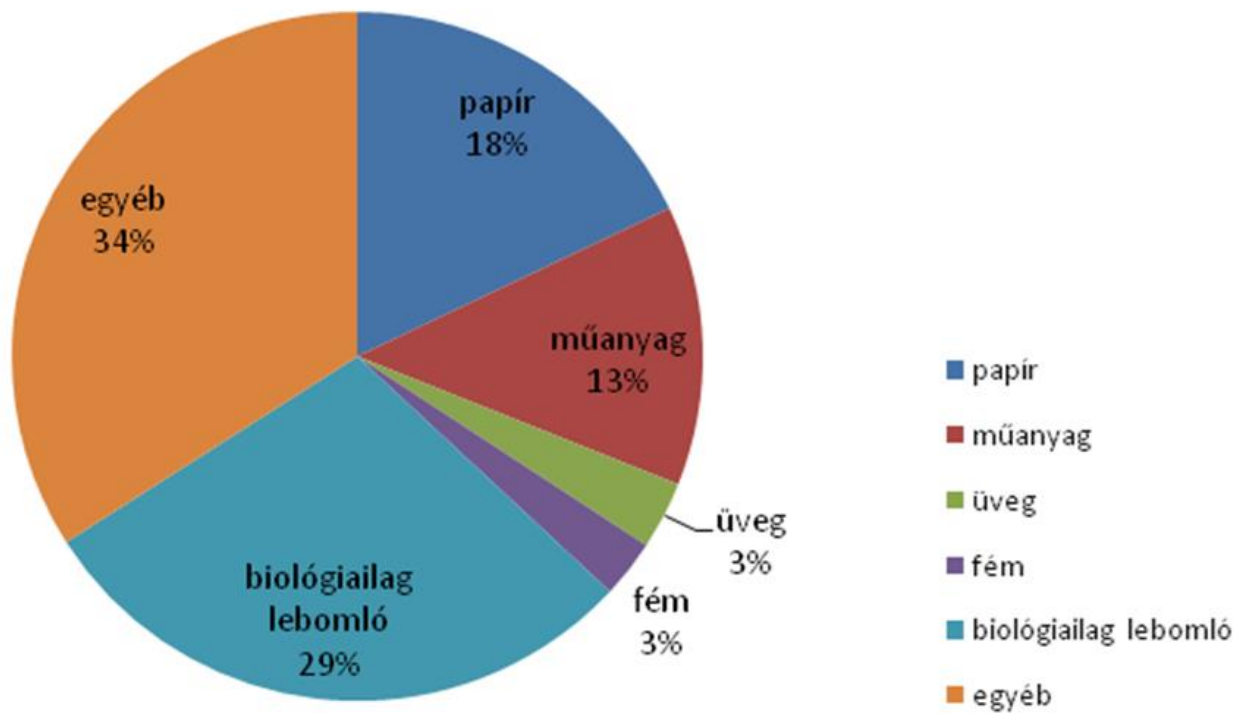
20. táblázat: A képződő települési szilárd hulladék mennyiségének alakulása, 2000-2008.(Forrás: KSH, KvVM)

Megnevezés	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
TSZH mennyiség ezer tonna/év	4.552	4.603	4.646	4.693	4.591	4.646	4.711	4.594	4.553
TSZH mennyiség alakulása, % az előző évhez képest	101,1	101,1	100,9	101,0	97,8	101,2	101,4	97,5	99,1
GDP volumenindex alakulása, % az előző évhez képest	104,9	104,1	104,4	104,3	104,9	103,5	104,0	101,0	100,6
Reálbér alakulása, % az előző évhez képes	101,5	106,4	113,6	109,2	98,9	106,3	103,6	95,4	100,7



58. ábra: A biomassza energetikai hasznosítása [3]

Az összes keletkező települési hulladék összetétele



59. ábra: A vegyesen begyűjtött települési hulladék szabvány szerint mért átlagos összetétele (Forrás: KvVM, 2007)

3.3. Hulladékkezelési modellek

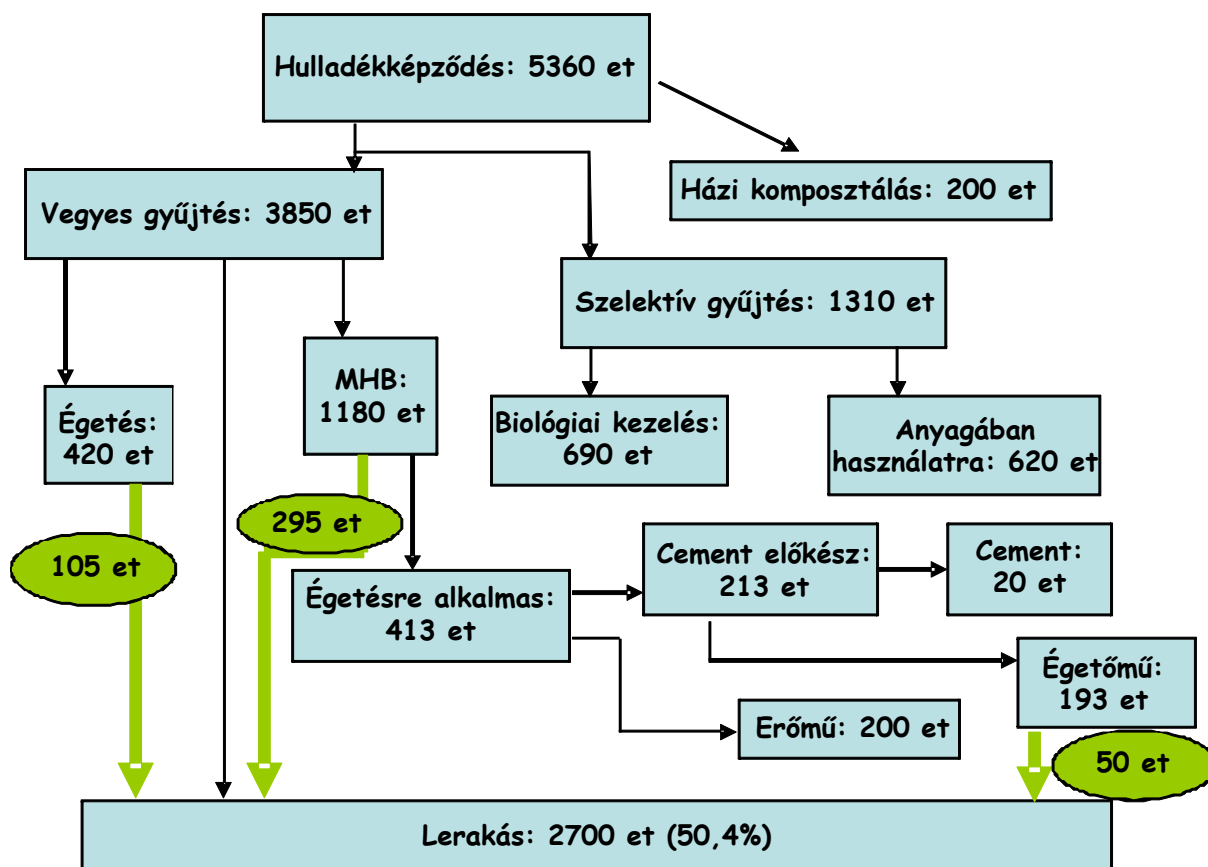
A Magyarországon évente keletkező hulladék mennyiségéről és forrás szerinti megoszlásáról a **21. táblázat** ad eligazítást.

21. táblázat: A keletkezett hulladékok megoszlása a főbb hulladékkategóriák szerint (ezer tonna), (Forrás: KvVM-HIR)

Megnevezés / (ezer tonna)	2000	2004	2005	2006	2007	2008
Települési szilárd hulladék	4 552	4 592	4 646	4 711	4 594	4.553
Települési folyékony hulladék	5 500	4 569	4 939	4 514	4 165	3.925
Veszélyes hulladék	3 393	970	1 203	1 367	1 082	715
Mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladék	5 000	6 215	4 857	3 940	4 858	1188
Ipari és egyéb gazdálkodásból származó hulladék	16 455	9 639	8 784	8 079	7 489	7386
Építési-bontási hulladék	5 100	4 060	4 129	3 996	3 670	4.882
Hulladék mennyiség összesen*	40 000	30 045	28 558	26 607	25 858	22.647

A 2007-2013 közötti időszak a települési szilárd hulladék (TSZH) kezelésére vonatkozó, hazai fejlesztési stratégiánk szerint mechanikai-biológiai kezelésre (MBH) kerülő hányadából, az előkezelés eredményeképpen 413 et másodlagos tüzelőanyag állítható elő 2013-ra [3.] amelyhez, ma még nincs kiépített pirotechnológiai kapacitás.

Nincs országosan összehangolt stratégia, ill. programmá érlelt elgondolás a mező és erdőgazdaságban, a fás- és lágyszárú növények feldolgozása során valamint az ezekből gyártott termékek elhasználódásával keletkező „megújuló energiaforrásként” számításba vehető hulladékok energetikai feldolgozására [4.]. Az EU-s szabályozás miatt ugaroltatott, ill. a kis aranykorona értéke miatt élelmiszer növények termesztéséhez gazdaságtalan szántóföld területeken egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik az energia növények termesztésére.[5.,6.] Ez utóbbi körülmény egy másik hulladékgazdálkodási problémát is megold, nevezetesen fogadni tudja a jelenleg nehezen elhelyezhető- a jövőben növekvő mennyiségben előállításra kerülő-komposztot. Ugyanakkor továbbberősíti/még sürgetőbbé teszi annak eldöntését, hogy melyek azok a pirotechnológiák, amelyek egy – egy nagyváros vagy vidéki körzet/településcsoport, esetenként egy tanya, ill. egy lakóház/lakóházcsoport energia ellátását képes a saját körzetben, vagy gazdaságban termelt, ill. képződő hulladék biomassza tömeg optimális hasznosításával biztosítani



60. ábra: A 2013-ra prognosztizálható hulladékkezelési folyamatábra [3]

3.4. A gazdasági folyamatokban keletkező hulladék fenntartható kezelése:

A hulladékok (hulladéknak nevezett anyagok, energiahordozók) kb. kétharmada termelési, fogyasztási folyamatok (anyag átalakítás „terméke”), lásd. **21. táblázat**.

Az anyagi javak előállítása és felhasználása lényegében az anyag (alapanyag) és az energia (energiahordozó) átalakítását, más formában való megjelenését eredményezi. Gyakorlatilag lehetetlen, hogy a nyers- és alapanyagok, valamint azok átférmálásához szükséges energia teljes egészében a termékben megjelenjen. Ennek oka lehet az, hogy a nyers- és alapanyagaink hasznosítandó alkotóikon kívül más anyagokat, szennyezőket, meddőt stb. tartalmaznak; az anyag átalakítást létrehozó kémiai reakció teljességgel nem játszódik le stb. Ismeretes, hogy a hőenergia nem alakítható át teljes egészében munkává, ezért a hő veszteséggel – hulladék hővel – mindenképpen számolnunk kell. [5]

Központi kérdéssé vált tehát a környezetet terhelő hulladékok mennyiségének a csökkentése, amely elsősorban hulladékszegény (vagy mentes) technológiák elterjesztésével, a működő technológiák emissziójának csökkentésével (tisztább termelés) érhető el. Ugyanakkor megoldandó feladat a felgyülemlett hulladékok ésszerű ártalmatlanítása (anyagának és energiataralmának hasznosítása) újabb környezeti terhelés létrehozása nélkül és a folyamatosan képződő hulladékok visszafogatása a termelési folyamatba.[5.]

A hulladékprobléma kezelésére általános szintjein a **57. ábra** bemutatott megoldások kínálkoznak prioritási sorrendben.[6.]

- Hulladékképződés megelőzése (ill. elkerülése);
- Hulladékképződés mennyiségének csökkentése
- Hulladékhasznosítás (. anyagában történő feldolgozás, ill. energetikai hasznosítás;
- Hulladék ártalmatlanítása (égetés, lerakás).

A hulladék megelőzés módszere a tervezési és egy kis részben a gyártási szakaszhoz tartozik; a csökkentés módszere a gyártási, elosztási és a használati; a többi módszer pedig a használat utáni stádiumra vonatkozik.

Ezeket (a megelőzést és a csökkentést) a tervezési és a termelési folyamatba sorolhatjuk; és mint más területen, itt is komoly kutatásokat végeztek, melynek eredménye az ún. „low waste” (avagy alacsony hulladékszintű) technológia. A „low waste” technológiákat négy nagy csoportra lehet bontani:

Technológia:

- Számítógépes irányítás, szabályozás, tervezés;
- Zárt folyamatok (pl. víz- és vegyszer használatánál);
- Hulladékok visszavezetése a termelési folyamatba;
- Új környezetkímélő technológiák és legjobb elérhető technikák (BAT – Best Available Techniques); stb.

Konstrukció (bontható szerkezetek):

- Fizikai működőképesség növelése;
- Moduláris felépítés (többirányú felhasználás szempontjából);
- Minél kisebb egységek;
- Kiszerezhetőség, szétszerelhetőség;
- Javíthatóság;
- Egységesített kötőelemek;
- Anyag-spektrum (anyagok változatosságának) szűkítése – főleg műanyagoknál fontos;
- Anyagfelismerés elősegítése (pl. műanyagok gyári címkézése);
- Környezetkímélőbb termékre való áttérés.

Anyaghelyettesítés:

- Veszélyes anyagok (pl. CFC, PCB) helyettesítés;
- Újrahasznosíthatóbb* és újrahasznosított anyagok alkalmazása;

*a hasznosítás szempontjából kedvezőbb tulajdonságú anyagok alkalmazása

Multifunkcionális felhasználás: mint másodlagos, harmadlagos és sokadlagos hasznosítás – igen fontos lenne, hogy már tervezési fázisban szem elé kerüljön ez a szempont. Jó példát nyújt erre a számítógépek újraalkalmazása:

- Professzionális alkalmazás;
- Másodlagos fél professzionális alkalmazás (mit PC);
- Harmadlagos hasznosítás (pl. személyi és hobbi célokra);
- Sokadlagos hasznosítás (pl. elektronikus játékok, ital-automata gépek vezérlése, szabályozási funkciók betöltése).

3.4.1. A hulladékkezelés alapmodelljei

3.4.1.1. Hagyományos folyamat-modell („Nyitott rendszer”):

(Ez a modell tulajdonképpen egy visszatekintés a korábban jellemző állapotokra.) A következő lépéseket foglalta magába:

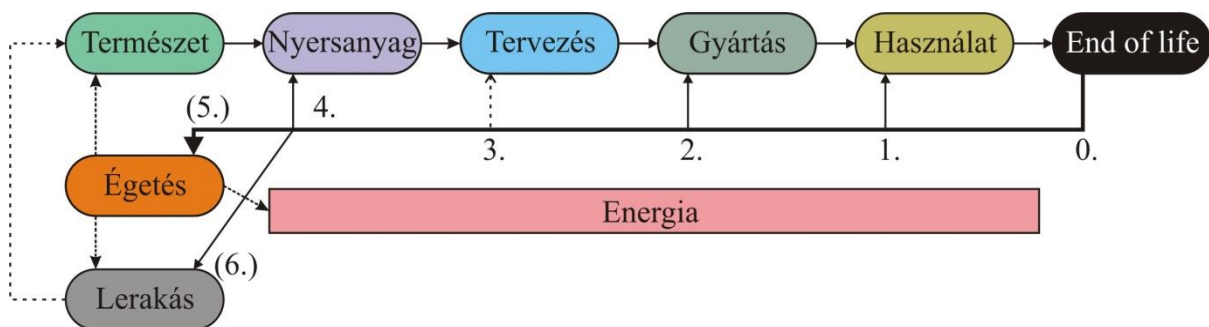
1. Nyersanyag kitermelés
2. Alapanyag előállítás
3. Feldolgozás, gyártás
4. Elosztás, értékesítés
5. Felhasználás
6. Hulladék (lerakás, égetés)

Itt nem valósul meg az anyag mesterséges körfolyamata, mert vagy a hulladék égetésével, vagy pedig lerakásával zárul le a folyamat. Így a hulladék csak a környezeten keresztül kerülhetne újra vissza a gazdaságba környezetkárosítás, szennyezés árán.

3.4.1.2. „Zárt rendszer”, mint modern folyamat modell:

A cél az, hogy az „életút végére” (end of life) eljutott termékeket vissza tudjuk forgatni a termelésbe. Ekképp elkerülhetőek a hulladék káros hatásai. A **61. ábra** alapján jól látszik, hogy a hasznosítás során ellentétes tendencia jelentkezik, mint a termék élete közben. Tulajdonképpen ez egy praktikus visszacsatolt nyitott rendszer, mely az életút végétől kezd érdekessé válni. Az innen kikerülő termék (O.) több helyen is hasznosítható (1-4, +5, (6.)). A hasznosítás helye kívánatosság szerint van sorszámozva.

A leginkább kívánatos hulladékhasznosítási terület napjainkban és a jövőben: a termék visszaforgatása a közhasználatba (reuse – 1.). Ezt a termék-szintű visszaforgatásnak nevezzük.



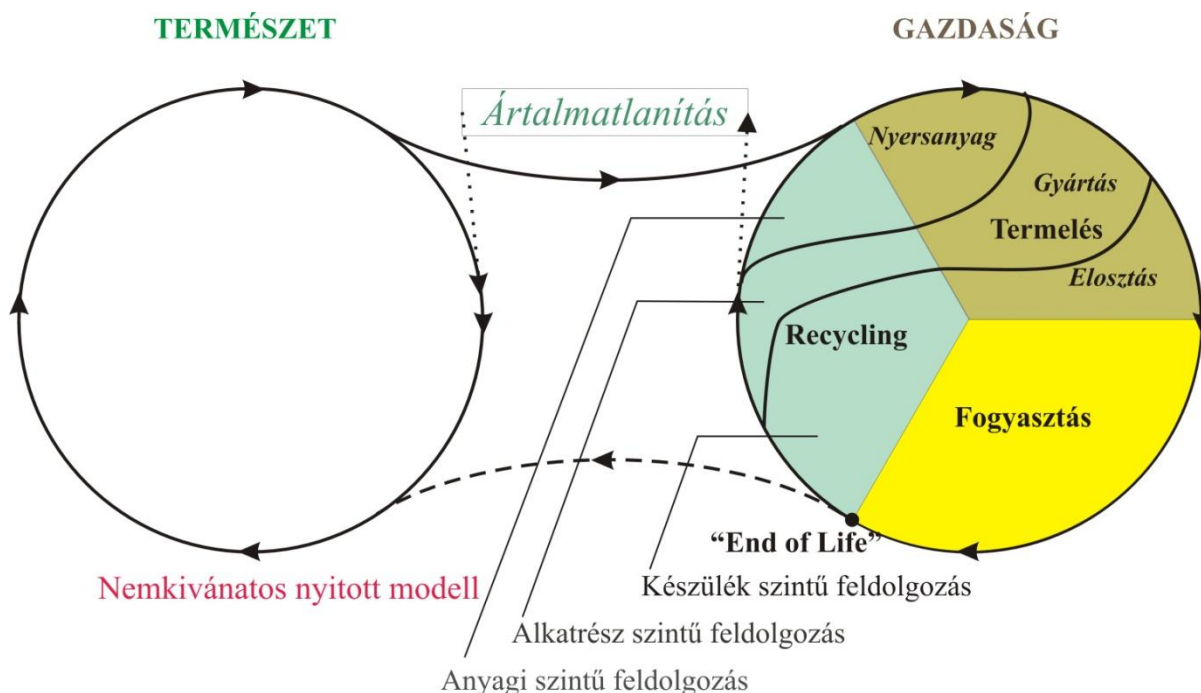
61. ábra: A zárt rendszer modellje [7.]

3.4.1.3. A hulladékkezelés környezetbarát modellje

A legismertebb körfolyamatok a természetben rejlenek, melyek közül soknak több millió az eddigi periódusszámuk.

A gazdasági tevékenység erősen megzavarja a környezeti egyensúlyt. Ezért az elmúlt években kialakult szemléletmód alapján (fenntartható fejlődés) a gazdasági folyamatokat ki akarják választani a természetből, önálló körfolyamatba zárva. Ezt a szemléletmódot takarja az angol „recycle” kifejezés is.

A hulladékgazdálkodás általános modelljét, „a körforgási modellt” a **62. ábra** szemlélteti.



62. ábra: A körforgási modell [8.]

Ezen a modellen jól be lehet mutatni visszaforgatási szintek prioritásának fontosságát. Vegyünk egy példát: a számítógépes processzoroknál (mint alkatrészek) kevésbé ismert az alkatrész szintű újrahasznosítás, inkább a magas nemesfém tartalma miatt anyagként hasznosítják. Amennyiben alkatrész szinten hasznosítjuk, használat után újra visszakerül a hulladékkezeléshez. Ha már alkalmatlan újrafelhasználásra, akkor kellene csak anyagként feldolgozni. Ilyenformán csökkenthető a körforgásban lévő anyagmennyiség, a környezeti elemek igénybevétele és végső soron a termék környezeti költségei is.

3.5. A fenntartható fejlődést szolgáló, hulladék-megelőzést, ill. minimalizálást elősegítő módszerek, irányzatok

Itt bevezetésként röviden összevetjük a hulladék-megelőzést szolgáló (preventív) és hagyományosnak nevezhető utólagos (reaktív) környezetvédelmi módszereket. Később rátérünk az ezek kombinációjából fakadó műszakilag megoldható és a gazdasági előnyöket környezetvédelmi szempontokkal ötvöző korszerű irányzatok rövid bemutatására.

3.5.1. Technológiába integrált megelőző környezetvédelem

A tisztább termelés (TT) egy preventív hulladék-megelőzési, csökkentési stratégia, amelyik a hagyományos (nyitott modell szerinti) hulladékkezelés csövégi (reaktív) módszereivel való összevetés révén értelmezhető jól.

A vállalati gyakorlatban alkalmazott környezetvédelmi megoldásokat közelítésmódjuk szerint két alapvető típusba sorolhatjuk. A „reaktívnak” nevezett megközelítés arra keres megoldást, hogy hogyan lehet a termelés során keletkező szennyezést a környezetre kevésbé ártalmas formába átalakítani. Az ún. „preventív” megoldások ezzel szemben azt tűzik célul, hogy a termelési folyamatot úgy módosítsák, hogy az eleve kevesebb, ill. kevésbé ártalmas szennyezőanyagot bocsásson ki. A **22. táblázat** a reaktív és preventív stratégiát hasonlíttja össze.

A reaktív megközelítés jellemzően ún. „csővégi” (end-of-pipe) technológiák alkalmazásához vezet.

A csővégi technológia általában növeli a technológia komplexitását (ezáltal kockázatát), növeli az anyag- és energiafelhasználást, és végeredményben nem csökkenti (sőt esetenként növeli) a szennyezést, csupán átalakítja a szennyező anyagokat valamilyen kevésbé ártalmas (vagy annak vélt) formába.

A preventív stratégia (TT) ezzel szemben arra törekszik, hogy a termelési folyamatba úgy avatkozzon be, hogy eleve csökkentse (vagy akár teljesen megszüntesse) bizonyos szennyező anyagok keletkezését. Ezt azáltal éri el, hogy a szennyezés keletkezésének okát kutatja, és a forrásnál avatkozik be a folyamatba. Fontos további kritériuma a preventív környezetvédelmi megoldásoknak, hogy az összes szennyezés csökkentését célozzák, tehát bizonyos szennyezések eltávolítása más szennyezések mennyiségének növelése árán nem jelent megoldást.

22. táblázat: Az utólagos (reaktív) és megelőző (preventív) környezetvédelem összehasonlítása [9.]

Reaktív környezetvédelem	Preventív környezetvédelem
„Mit kezdjek a hulladékokkal és emissziókkal? ...többletköltségekhez vezet A hulladékok és emissziók szűrők és kezelés következtében más formában kerülni ki. „csővégi” (End of Pipe) megoldás Utólagos („tüneti”) kezelés A környezetvédelem csak akkor kerül napirendre, amikor a termék és az eljárás már kifejlesztésre került. A környezeti problémákat műszaki úton oldják meg. A környezetvédelem a felelős szakértők dolga. ...vásárolt szolgáltatás ...növeli a vállalati eszköz- és energiafelhasználást ...növeli a komplexitást és rizikót A környezetvédelem kimerül a törvényi szabályozások teljesítésében.	„Hol és miért keletkezik a hulladék és emisszió?” ...költségsökkenéshez vezet A hulladékok és emissziók keletkezését a forrásnál kell megakadályozni. A gyártás és anyagfelhasználás kockázatának csökkentése. A környezetvédelem a termék- és gyártásfejlesztés szerves része A környezeti problémákat minden érintett részleg részvételével oldják meg. A környezetvédelem mindenkit érint ...vállalatra jellemző innováció ...csökkenti a vállalati eszköz- és energiafelhasználást ...csökkenti a rizikót és átláthatóbbá teszi a termelést A környezetvédelem egy állandó kihívás (= folyamatos fejlesztés).

A preventív megoldásokra épülő környezetvédelmi stratégiát nevezik „Tisztább Termelésnek” (TT) is, ezt vizsgáljuk részletesebben a következőkben. [10.]

A tisztább termelés alapvetően arra a kérdésre keresi a választ, hogy „Hol és miért keletkezik a szennyezés?”.

Az anyag- és energia-megmaradás törvénye (a mérleg-elv) értelmében a folyamatba bevitt és az azt elhagyó anyag- és energia-mennyiség egyenlő (stacionárius folyamatban a tározás nulla). Ebből az következik, hogy a hulladékok és emissziók ugyanazon alapanyagokból keletkeznek, mint a termék. A szennyezés tulajdonképpen elpazarolt nyersanyag.

A tisztább termelés tehát arra keresi a megoldást, hogy hogyan lehet a nyersanyagokat és az energiát minél hatékonyabban hasznosítani, azaz hogyan lehet azonos termékmennyiséget minél kisebb anyag- és energia-felhasználással előállítani. Amennyiben sikerül ilyen megoldásokat találni, a fentiek alapján világosan látszik, hogy ezek közvetlenül csökkentik a

termelési költségeket, tehát anyagi hasznot hoznak a vállalatnak (amellett, hogy valóban hatékonyan csökkentik a környezet terhelését).

A tisztább termelés gyakorlati megvalósítását a vállalatnál számos különböző intézkedés szolgálhatja. Ezek közül néhányat (a leggyakoribbakat) az alábbiakban röviden ismertetünk.

- változtatás a terméken (anyagtakarékos desing, egynemű alapanyagok, természetes alapanyagok stb.);
- gondosabb bánásmód (dolgozók motiválása, munkaszervezés, takarékoság stb.);
- alap- és segédanyagok kiváltása (természetes v. biológiailag lebomló anyagok, környezetkímélő vegyszerek stb.);
- technológiai változtatás (anyag- és energiatakarékos technológiák);
- belső visszaforgatás (újbolí felhasználás azonos célra, kaszkád felhasználás, hasznosítás más célra stb.);
- külső recycling (strukturális vagy anyagbeli újrahasznosítás);
- visszaforgatás biogén körfolyamatokba (pl. komposztálás)
- ártalmatlanítás (hagyományos környezettechnikák, ha a fenti lehetőségeket már kimerítettük).

3.5.2. A hulladékminimalizálását szolgáló irányzatok

A tisztább termelés által képviselt szemlélet révén elérhető megtakarításokat helyezi előtérbe a World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, Világ Üzleti Tanácsa a Fenntartható Fejlődésért) által képviselt ökohatékonyság (ecoeficiency) megközelítése is, mely a természeti erőforrások hatékonyabb felhasználását kívánja meg a gazdasági folyamatok során. Ennek értelmében [11.] az ökohatékonyság a piaci feltételeknek megfelelő termékek és szolgáltatások nyújtását jelenti olyan módon, hogy, azok alkalmasak legyenek az emberi szükségletek kielégítésére és járuljanak hozzá az életminőség javításához, miközben egyre kisebb, a Föld becsült eltartó képességét meg nem haladó környezeti hatással és erőforrás-felhasználással járnak teljes életciklusuk során [11.]

E két irányzat mellett Észak-Amerikában „szennyezés megelőzés” (pollution prevention) néven terjedt el a megelőző környezetvédelem filozófiája. A szennyezés megelőzés alapelvei megegyeznek a tisztább termelés és általában véve a megelőző jellegű környezetvédelem elveivel, a különbség elsősorban földrajzi, amint azt a következő definíció is mutatja: a szennyezés megelőzés olyan eljárások, gyakorlatok, anyagok, termékek és energiahordozók alkalmazását jelenti, melyek elkerülik vagy minimalizálják a szennyezőanyagok és hulladékok keletkezését, és csökkentik az ember és a környezet számára fennálló kockázatokat.

A megelőző jellegű környezetvédelem legfontosabb erénye, hogy úgy csökkenti a káros kibocsátásokat, hogy közben a hatékonyság növelésén keresztül gazdasági előnyöket is kínál az elveket alkalmazó gazdálkodó számára. A megelőzés kedvező tulajdonságai mellett azonban néhány korlátozó tényezővel is számolni kell, melyek az elvek szélesebb körben való elterjedését hátráltatják.

Ezek közül az egyik legfontosabb, hogy az alkalmazott technológia módosításával járó intézkedések esetén nem csak a környezeti szempontok figyelembe vétele válik szükségessé, hanem a teljes folyamat újragondolására is elkerülhetetlenné válik, ami magában foglalja a termékekben, illetve szolgáltatásokban történő változtatásokat is.

A csövégi és a megelőző jellegű intézkedések mellett, azokkal részben átfedve, napjainkban egy harmadik irányzati is megjelent, melyet a szakirodalomban „ipari ökológiának” (industrial ecology) neveznek. Bár amint arra már korábban is utaltunk, az egyes irányzatok elkülönítése nem oldható meg egyértelműen, és az ipari ökológia definíciója sem állít fel egyértelmű

határokat, alapvető jellemzői alapján mégis érdemes különválasztani az előbb tárgyalt megközelítésektől.

Az ipari ökológia az előbbieken ismertetett két felfogással ellentétben nem egyetlen technológiai folyamatra teszi a hangsúlyt, hanem kilépve ebből a rendszerből a folyamatok, illetve gazdálkodó egységek közötti anyag- és energiaáramlásokat helyezi a középpontba. Az elnevezés is utal legfontosabb jellemzőjére: az ipari ökológia az ipari rendszereket a természetes ökoszisztémákhoz hasonlítja. Felfogása szerint a cél nem a vállalatok által kibocsátott káros anyagok minimalizálása, azaz a forrásnál történő beavatkozás, mely a megelőzés legfontosabb feladata, hanem a megtermelt melléktermékek újbóli hasznosítása, amint arra a természetből vett példák is útmutatásul szolgálhatnak (az ősszel lehullott levelek a talajban lebomlanak, majd más növények tápanyagául szolgálnak).

Ezen új tudományterület középpontjába ezért a folyamatok helyett a termékek és szolgáltatások kerülnek, legfontosabb módszerei közé pedig az életciklus elemzés, valamint az ökodeSIGN tartoznak.

A fentieket összegezve megállapítható, hogy az ismertetett irányzatok – a csővégi technológiák, a megelőző jellegű intézkedések és az ipari ökológia – egyike sem zárja ki a másik kettő alkalmazását, hanem az adott esetben leginkább megfelelő megoldás feltárását és megvalósítását kell célul kitűzni. Míg bizonyos esetekben a káros kibocsátások keletkezésének a csökkentését kell megcélozni, addig egy másik helyzetben a már megtermelt hulladék nyersanyagként való hasznosítása a célszerű, és amennyiben ezek a módszerek valamilyen oknál fogva nem alkalmazhatóak (például az infrastruktúra sajátosságai vagy technológiai korlátok miatt), akkor a csővégi megoldások is szerepet kaphatnak (**63. ábra**).



63. ábra: A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig. [12.]

A fenntartható fejlődés a javak és szolgáltatások előállításán kívül – amint azt a **63. ábra** is mutatja – azok fogyasztásával kapcsolatban is állít fel követelményeket. A fogyasztás mértékével, illetve összetételével kapcsolatban a legfontosabb feladatot a társadalom környezeti tudatosságának a fejlesztése jelenti. Ennek eszközei között első helyen kell, hogy szerepeljen az iskolai oktatás az alapoktól egészen a felsőfokú képzésig, illetve minden olyan információs csatorna, mellyel a társadalom figyelme felkelthető és tudása gyarapítható.

3.5.3. Integrált szennyezés-megelőzés és szabályozás (IPPC)

A környezetszennyezés integrált megelőzéséről és csökkentéséről (Integrated Pollution Prevention and Control, a továbbiakban: IPPC) szóló 96/61/EK irányelvet az Európai Tanács 1996. szeptember 24-én fogadta el. (Hazai jogszabályként a Kormány az egységes környezethasználati engedélyezési eljárás általános szabályairól szóló 193/2001. (X. 19.) Korm. rendeletében hirdette ki. Ez a rendelet hatályát veszítette, 2006. január 1-jétől a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet hatályos

Az IPPC irányelv olyan engedélyezési rendszer kialakítását írja elő, mely az egész környezet magas szintű védelmi érdekében, a legjobb elérhető technikákra (BAT) építve, azokra az ipari tevékenységekre állapít meg szabályokat, melyeknél a legvalószínűbb a környezeti elemek bármilyen szennyezése.

A szabályozás lényegi tartalma két pilléren áll: az engedélyezési eljáráson és a legjobb elérhető technikák (BAT) alkalmazásán. Ezek mellett kiemelt jelentőséggel bír az információcsere követelménye a szabályozottak, a hatóságok és a tagállamok között, valamint a nyilvánosság részvétele az engedélyezési eljárásban.

A BAT fogalom – mint a irányelv legfontosabb eleme – az alábbiak szerint értelmezhető:

Legjobb Elérhető Technikák (Best Available Techniques – BAT) jelentése az alkalmazott tevékenységek és működtetési módszereik fejlettségének leghatékonyabb és legmagasabb színvonala, ami jelzi az adott műszaki berendezések gyakorlati megfelelőségét arra, hogy biztosítsák az elvi alapot a kibocsátási határértékek meghatározásához, amely határértékeket úgy terveztek, hogy megakadályozzák, vagy ahol ez gyakorlatilag nem lehetséges, általánosan csökkentik a kibocsátásokat és azok hatását a környezetre, mint egészre;

- technika (techniques) jelentése mind az alkalmazott technológia, mind annak módja, ahogy a létesítményt tervezték, építették, karbantartották, üzemeltették és lebontották;
- elérhető (available) technikák azok, amelyeket oly mértékben fejlesztettek ki, hogy a vonatkozó ipari szektorban alkalmazhatóak legyenek gazdaságilag és műszakilag életképes feltételek mellett, figyelembe véve a költségeket és az előnyöket, függetlenül attól, hogy az adott technikát a kérdéses tagállamban alkalmazzák vagy előállítják, vagy sem, addig a mértékig, amíg azok ésszerűen hozzáférhetők az üzemeltető számára. Találkozni lehet még az „available” kifejezés „beszerezhető” vagy „rendelkezésre álló” fordításával is, melyek szintén helyesek;
- legjobb (best) jelentése a leghatékonyabb abban, hogy a környezet, mint egész védelmében egy magas fokú általános szintet érjenek el.

a BAT nem jelent abszolút mércét abban az értelemben, hogy „a” legjobb elérhető technika egyedüli és kizárólagos lenne. Mindig figyelembe kell venni – egyebek mellett – az általános és helyi környezetpolitikai célokat, a műszaki és gazdasági lehetőségeket, a kezelendő hulladék sajátos jellegét, stb. Egy-egy adott szűkebb szakterületen az elérhető legjobb technikákat BAT Referencia Dokumentumokban (ún. BREF-ben) foglalják össze, amelyek teljes terjedelemben a <http://eippcb.jrc.es> honlapon érhetők el.

3.5.4. Az életciklus-elemzés (LCA=Life Cycle Assessment)

Szabványos fogalmak:

Életciklus: (MSZ ISO 14040, 1997)

„Egy termék hatásrendszerének egymás után következő, egymáshoz kapcsolódó szakaszai, a nyersanyag beszerzéstől vagy a természeti erőforrás keletkezésétől az újrahasznosításig vagy az ártalmatlanításig.”

Életciklus-elemzés: (MSZ ISO 14040, 1997)

„Egy termék hatásrendszeréhez tartozó bemenet, kimenet és a potenciális környezeti hatások összegyűjtése és értékelése annak teljes életciklusa során.”

Az életciklus-elemzés egy termékkel vagy egy folyamattal kapcsolatos környezeti terhek értékelésének a folyamata. [13.]

Felismerte, hogy a termékek, folyamatok és szolgáltatások minden egyes életciklus lépcsője környezeti és gazdasági hatásokkal jár. Ez a folyamat a gyártás vagy folyamat során felhasznált energia, anyagok és a környezetbe bocsátott emissziók minőségi és mennyiségi meghatározásával kezdődik. Ezen adatok alapján lehet a termék vagy folyamat környezeti hatását felbecsülni, szisztematikusan értékelni és a környezeti fejlesztés lehetőségeit felmérni. Az LCA a termék, a csomagolás vagy a folyamat teljes életciklusát tartalmazza, nevezhető „bölcstől a sírig” megközelítésnek is.

A teljes életút lépései:

- nyersanyagok kitermelése és feldolgozása,
- gyártás,
- szállítás és terjesztés,
- használat,
- újrafelhasználás, újrahasznosítás,
- hulladék-elhelyezés.

Az életciklus-elemzés az ún. leltár fázisból, hatásbecslésből és a fejlesztés analiziséből áll. Az LCA leltár fázisa az energia- és a nyersanyagszükségletek meghatározásának objektív, adatokon alapuló folyamata. Ezen túl a leltár fázis tartalmazza a vízi és légköri emissziók, a szilárd hulladékok és más környezeti hatások meghatározását a termék, folyamat vagy szolgáltatás életciklusa során. Az életciklus-elemzés hatásbecslése technikai, mennyiségi vagy minőségi folyamat a leltárban meghatározott környezeti terhelések hatásának jellemzésére és becslésére. A becslésnél mind ökológiai, mind az emberi egészséget figyelembe kell venni, illetve olyan egyéb hatásokat is, mint pl. egy élőhely megváltozása vagy a zajhatás. Az LCA fejlesztés analizise a termék, folyamat vagy szolgáltatás teljes életciklusa alatti környezeti terhelés csökkentési lehetőségeinek és szükségességének a szisztematikus értékelése.

A 3. fejezetben szükséges lenne megemlíteni, hogy az EU-ban, és ennek megfelelően a hazai szabályozásban is terjed a gyártói felelősségen alapuló szabályozás, amely szerint (idézet a Hgt-ből)

6. § (1) A gyártó köteles a terméket és csomagolását - külön jogszabályban meghatározottak szerint - úgy kialakítani, valamint olyan technológia- és termékfejlesztést végrehajtani, amely az elérhető leghatékonyabb anyag- és energiafelhasználással jár, továbbá elősegíti a termék újrahasználatát, hulladékká válását követően annak környezetkímélő kezelését, hasznosítását, illetőleg ártalmatlanítását.
- (2) A gyártó köteles az azonos célra szolgáló nyers- és alapanyagok, félkész termékek, az azokból készült termékek, továbbá csomagolóeszközeik közül azokat előnyben részesíteni, amelyek gyártásának és felhasználásának anyag- és energiaigénye alacsonyabb, használata kevesebb hulladék keletkezésével jár, illetőleg az azokból készült termék, csomagolóeszköz tartósabb, többször használható, hulladékként kevésbé terheli a környezetet.
7. § (1) A gyártó köteles tájékoztatni a termék forgalmazóját és a fogyasztót a termék és csomagolása hulladékgazdálkodási szempontból lényeges tulajdonságairól, annak elhasználódása vagy hulladékká válása esetén kezelésének lehetőségeiről.
- (2) A terméken, illetve csomagolásán jól látható módon jelölni kell annak esetleges hulladékszegény, tartós vagy újrafelhasználható voltát, anyagi összetételét, betétdíjas vagy letéti díjas forgalmazását. A tájékoztatás módjáról, tartalmi és alaki követelményeiről - a fogyasztóvédelmi törvénnyel összhangban - külön jogszabályok rendelkeznek.

8. § (1) A gyártó köteles külön jogszabályban meghatározott termékekre vagy termékcsoportokra az ott megállapított arányban és feltételek mellett az általa belföldön forgalmazott termékből származó hulladékot, illetőleg a használt terméket a forgalmazótól, a fogyasztótól visszafogadni, illetőleg visszaváltani annak újrahasználatára, hasznosítására vagy környezetkímélő ártalmatlanítására érdekében.
- (2) Az újrahasználatra, hasznosításra vagy ártalmatlanításra visszaveendő használt termékek, hulladékok fajtáit, a visszavételi és hasznosítási arányokat és azok teljesítésének határidejét az érintett gyártók és forgalmazók által létrehozott tanácsadó testületek javaslatának figyelembevételével a Kormány rendeletben állapítja meg.
- (3) A gyártó saját döntése alapján is visszafogadhatja, visszaválthatja a forgalmazótól vagy a fogyasztótól a termékéből származó hulladékot vagy használt termékét, illetőleg ennek elősegítésére a termék forgalmazóival önkéntes megállapodást köthet.
- (4) A gyártó az (1) bekezdésben meghatározott visszavételi kötelezettségének teljesítését, illetőleg a (3) bekezdés szerinti önkéntes visszavételt a megosztott felelősség elve alapján külön jogszabályban meghatározott feltételekkel megállapodásban - részben vagy egészben - átruházhatja a forgalmazóra vagy az arra feljogosított hulladékkezelőre. A megállapodást jóváhagyásra be kell nyújtani a környezetvédelmi hatóságoknak.
- (5) A gyártó a tevékenységéből származó hulladékaikról, valamint (1)-(3) bekezdés alapján visszavett hulladékról a hulladék birtokosa kötelezettségeinek megfelelően köteles gondoskodni.
9. § (1) A gyártó termékének forgalomba hozatalát megállapodás alapján ahhoz a feltételhez kötheti, hogy a forgalmazó vállaljon kötelezettséget a termék elhasználódása utáni betétdíj - tartós fogyasztási cikk esetén letéti díj ellenében történő - begyűjtésére.
- (2) A gyártó a betétdíjas vagy a letéti díjas termékét vagy annak hulladékát köteles a forgalmazótól visszavenni és a betétdíjat vagy a letéti díjat számára megfizetni.
- (3) Termék forgalmazását jogszabály betétdíj vagy letéti díj megfizetéséhez köti.
- (4) A betétdíjak és a letéti díjak megállapításának és alkalmazásának szabályait külön jogszabály határozza meg.

A törvény e szakaszai a termékek gyártójának kötelezettségeit határozzák meg, tekintettel arra, hogy a gyártó magatartása, döntése meghatározza a keletkező hulladék tulajdonságait és befolyásolja a későbbi felhasználás körülményeit. A gyártó fontos kötelezettsége a hulladék - lehetőségek szerinti - ismételt felhasználása, illetve a forgalmazótól történő visszavétele. Annak érdekében, hogy a termékciklus bezáródjék és a hulladék a lehető legnagyobb mértékben hasznosításra kerüljön, különböző kereskedelmi eszközök is alkalmazhatóak, például a Kt.-ben is meghatározott betétdíj, valamint a letéti díj, mely eszközökre vonatkozó részletes szabályokat a törvény felhatalmazása alapján külön jogszabályok fogják kialakítani. Jelentős rendelkezése a törvénynek, hogy előírja a gyártó tájékoztatási kötelezettségét az általa gyártott termék hulladékgazdálkodási szempontból fontos tulajdonságaival kapcsolatban, valamint az is, hogy előírja a gyártóra vonatkozó visszavételi kötelezettséget (8. §).

3.6. Környezetközpontú irányítási rendszerek (KIR, KMR)

A fenntartható fejlődés, a környezet védelme az 1990-es években vált az üzleti vállalkozások stratégiai tényezőjévé. A vállalkozásoknak jelentősen szigorúbb törvényi, hatósági szabályozásnak kell megfelelni, megnőtt a lakosság érzékenysége a környezeti kérdések iránt, miközben fokozódott az igény a környezeti kockázatokra vonatkozó megfelelő tájékoztatásra. A médiumok is korábban soha nem tapasztalt mértékben összpontosítanak környezeti kérdésekre, és a nemzetközi egyezmények is fokozódó hangsúlyt helyeznek a környezet megővésére. Mindezek következtében nyilvánvaló, hogy a környezetvédelemnek növekvő

hatása van s lesz kis és nagy vállalatokra egyaránt, Magyarországon ugyanúgy, mint más országokban.

A környezettudatos fejlődés tényleges kulcsa azonban az egyéneknek és szervezeteknek a minőség és a környezeti teljesítmény iránti elkötelezettsége, amely nem csak helyi méretekben valósul meg, hanem az egész földkerekségre kiterjed.

A környezetirányítás szabványos rendszerei közül az Angliában kidolgozott BS (British Standard) 7750 szabvány és az Európai közösségek Tanácsa által kiadott EC-Eco-Management and Audit Scheme (EMAS), az európai követelményrendszer a legismertebbek. Ezek szolgálták az 1996 őszén kiadott (2004-ben új!) ISO 14001 szabvány, a 14000-es sorozat első tagjának alapjául.

Az „ISO-14000” megnevezés az ISO által készített környezetvédelmi szabványok összességét jelenti, számozásuk 14000-el kezdődik.

A szabványsorozat egyes elemeinek tartamát itt mutatjuk be röviden. Később részletesebben tárgyaljuk az ISO 14001 szabványt, amely az egész sorozat kulcseleme.

Az ISO 14000 szabványsorozat írja le azon alapelemeket, amelyekből felépül egy hatékonyan működő környezeti menedzsment rendszer. Ezek közé tartozik a saját környezetpolitika és célkitűzések kialakítása, ezek elérésére szolgáló programok megvalósítása, a környezeti teljesítmény mérése, a hibák kijavítása és a környezeti teljesítmény növelését szolgáló rendszer figyelemmel kísérése.

A hatékony környezetirányítási rendszer segíti a vállalatokat működésük környezeti vonatkozásainak megítélésében és javításában. Mindez összességében a szokásos, és a szokásoson túlmenő, eredményesebb teljesítéshez vezethet, miközben a környezeti kockázatok csökkentésének gyakorlata beépül a vállalatirányítás szokásos tevékenységei közé.

3.6.1. Az ISO 14001 céljai és eszközei

A 14001-es nemzetközi szabvány egy Környezetközpontú Irányítási Rendszer (KIR) – más néven környezeti menedzsment rendszer (KMR) – követelményeit írja le, oly módon, hogy alkalmazgató legyen mindenféle típusú és nagyságú szervezetben, és igazodni tudjon különböző földrajzi, kulturális és társadalmi feltételekhez.

A szabvány az irányítási rendszer követelményeit a „tervezés, bevezetés, ellenőrzés és átvizsgálás” dinamikus ciklusos folyamat alapján építi fel.

Egy ilyen típusú rendszer képessé teszi a szervezetet arra, hogy olyan eljárásokat hozzon létre, amelyekkel kitűzheti környezeti politikáját és céljait, értékelje ezek hatékonyságát, elérje teljesülésüket és igazolja mások számára is a teljesülést. A szabvány alapvető célja a környezetvédelem segítése, és a szennyeződés olyan mértékű megelőzése, ami egyensúlyban van a társadalmi-gazdasági szükségletekkel.

A KIR 14001 szabványa csak olyan követelményeket tartalmaz, amelyeket objektíven lehet felhasználni audithoz tanúsítás/regisztrálás és/vagy önellenőrzési nyilatkozat céljaira. Lényeges, hogy a 14001-es szabvány nem tartalmaz abszolút követelményeket kibocsátásokra vagy hasonló környezeti kritériumokra. A hangsúly az elkötelezettségeken van, amelyek a környezeti politikában szerepelnek, a jogszabályok teljesítését illetik és a folyamatos javítást tűzik ki célul. A szándék az, hogy a szabványban rögzített követelmények szerinti KIR bevezetése jobb környezeti teljesítést eredményezzen. A követelmények azon az elgondoláson alapulnak, hogy a szervezet időszakonként átvizsgálja és kiértékeli a KIR-ét, hogy megkeresse a javítási lehetőségeket és bevezesse ezeket. A környezetközpontú irányítási rendszer javításának célja a környezeti teljesítés további javítása.

3.6.2. Az EMAS rendelet

Az EMAS teljes neve: 1836/93/EGK tanácsi rendelet az iparvállalatok önkéntes részvételéről a Közösség öko irányítási és auditálási rendszerében. (Ezt a közösségi rendeletet hatályon kívül helyezte a szervezeteknek a közösségi környezetvédelmi vezetési és hitelesítési rendszerben (EMAS) való önkéntes részvételének lehetővé tételéről szóló, az Európai Parlament és a Tanács 2001. március 19-i 761/2001/EK rendelete. A rendelet hazai végrehajtását a környezetvédelmi vezetési és hitelesítési rendszerben (EMAS) részt vevő szervezetek nyilvántartásáról szóló 74/2003. (V. 28.) Korm. rendelet segíti.)

Az EMAS szintén egy környezetközpontú irányítási rendszer, egy KIR, formáját tekintve azonban nem egy szabvány. Az EMAS-t az ipari szennyezéscsökkentés és kockázatsökkentés témakörébe sorolja az EU: a szabályozás formája regulation, vagyis közvetlenül alkalmazandó minden országban, nincs szükség arra – mint a direktívák esetében – hogy az egyes országok azt adaptálják és beemeljék saját jogi szabályozásukba.

Az EMAS az ipari tevékenységet végző vállalatok önkéntes részvételén alapuló európai uniós rendszer, melynek fő célja az ipari tevékenységek környezetvédelmi teljesítményének folyamatos javítása:

- a vállalatok által kiépített és bevezetett környezeti politika, környezetvédelmi programok és menedzsment rendszer által,
- ezen elemek rendszerezett, objektív és rendszeres auditja által,
- és azáltal, hogy információt szolgáltat a vállalat a közvélemény számára.

3.7. Hulladékgazdálkodási tervek

A magyar környezetpolitikának a fenntartható fejlődést elősegítő – a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvényben rögzített – elveit és céljait a hulladékkal kapcsolatban a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény (a továbbiakban: Hgt.) határozza meg.

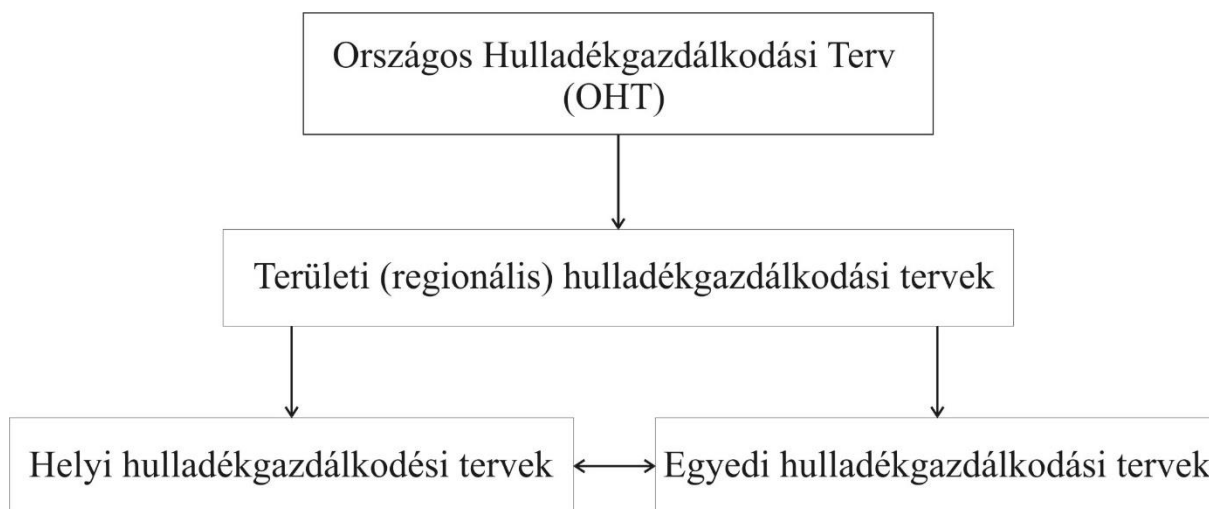
A hulladékgazdálkodási törvény kiemelt fontosságú, elérendő célként határozza meg:

- a képződő hulladék mennyiségének, veszélyességének csökkentését, az újrahasználatot,
- a keletkező hulladék hasznosítását,
- a nem hasznosuló, vissza nem forgatható hulladék előírásoknak megfelelő ártalmatlanítását.

A törvényben meghatározott célok elérését a hulladékgazdálkodási tervek az alapelvek érvényesítésével segítik elő. Az Országos Hulladékgazdálkodási Tervet (OHT) az Országgyűlés 2002. november 26-án fogadta el, kihirdetése a 110/2002.(XII.12.) OGY határozattal történt meg. Az OHT-t és az annak alapján készülő egyéb, különböző szintű hulladékgazdálkodási terveket – kidolgozóik – hat évre készítik el és 2 évente beszámolót állítanak össze az abban foglaltak végrehajtásáról.

A különböző szintű hulladékgazdálkodási terveket a területen lévő, illetve működő helyi önkormányzatok, érintett más hatóságok, érdekképviseleti szervezetek, környezetvédelmi társadalmi szervezetek bevonásával kell készíteni (Hgt. 33.-36.§).

A hulladékgazdálkodási tervek rendszere (**64. ábra**) hatásterületi hierarchia szerint épül fel.



64. ábra: Hulladékgazdálkodási tervek rendszere [14.]

Országos Hulladékgazdálkodási Terv

Az átfogó tervezési rendszert megalapozó első Országos Hulladékgazdálkodási Terv a hulladékgazdálkodás célrendszerének megfelelően elemzi a magyarországi hulladékképződés és kezelés mai helyzetét, meghatározza a Nemzeti Környezetvédelmi Program (NKP) tervezési periódusához igazodóan a 2003–2008. között elérendő célokat, valamint a célok elérését biztosító intézkedéseket és programokat. Ezek keretében kijelöli a feladatokat mind a különböző hulladéktípusokra, mind az egyes gazdasági szektorokra vonatkozóan, illetve meghatározza a feladatok megosztását a hatósági, közigazgatási szervezetek, az önkormányzatok, a társadalmi és gazdasági szervezetek, valamint az ipar, a kereskedelem, a mezőgazdaság és a szolgáltatások területén működők között.

Az OHT célkitűzéseinek és intézkedéseinek meghatározásánál fokozott figyelemmel van az Európai Unióhoz történő csatlakozásból adódó kötelezettségekre, az Európai Közösség integrált hulladékgazdálkodási politikájához történő igazodásra, a már harmonizált vagy később harmonizálandó vonatkozó közösségi jogi szabályozás tartalmára, illetőleg a „Környezet 2010: A jövőnk a mi választásunk” című az Európai Közösség 6. Környezetvédelmi Akcióprogramjára.

Az OHT megvalósításával megoldandó, illetve kezelendő főbb feladatok:

- Csökkenteni kell a mind abszolút mértékben, mind a termelési értékhez viszonyítottan magas hulladékképződési arányt;
- Emelni kell a legtöbb hulladékfajtánál alacsony hasznosítási arányt, ösztönözni kell a takarékos anyag- és energiagazdálkodást;
- Meg kell oldani a nagy mennyiségben tárolt hulladék nyersanyagkénti felhasználását;
- Minimalizálni kell a lerakással történő ártalmatlanítás igen magas arányát;
- Növelni kell a számos esetben nem megfelelő hulladékkezelés színvonalát és biztonságát, mérsékelni kell az egészségügyi és környezeti veszélyeztetés, illetve kockázat mértékét;
- Fokozatosan fel kell számolni az elmúlt évtizedekben kialakult, nem megfelelő hulladék elhelyezésből származó veszélyeztető forrásokat és szennyezett területeket;
- Növelni kell az elvek és szabályok betartásának, a környezettudatos és jogkövető magatartásnak a mértékét;
- Teljessé kell tenni az egyes területeken hiányos szabályozási rendszert, növelni kell a szemléletformálás és a szakmai útmutatási eszközök alkalmazásának hatékonyságát;
- Erősíteni kell a hatósági jogérvényesítés személyi, szakmai és intézményi feltételrendszerét;

- Fejleszteni kell a hulladék monitoring (nyilvántartás, statisztikai adatszolgáltatás, mérés-ellenőrzés) eszközrendszerét, különös tekintettel az adatok megbízhatóságára;
- Piac konform gazdasági szabályozókkal kell ösztönözni a fenntartható fejlődés elvének megfelelő, hosszú távon előnyös megoldásokat, a korszerű, komplex hulladékgazdálkodási rendszerek kiépülését, különös tekintettel a hasznosításra;
- Ösztönözni kell a hulladékgazdálkodási célok elérését segítő kutatást és műszaki fejlesztést;
- Erősíteni kell az állami és a magánszféra közötti együttműködést, támogatni kell a helyi, illetve helyi közösségi kezdeményezéseket, különös tekintettel a hulladék elkülönített gyűjtésére és hasznosítására;
- Hatékonyabbá kell tenni az oktatási, nevelési, szemléletformálási tevékenységet.

Területi hulladékgazdálkodási terv

A területfejlesztésről és területrendezésről szóló 1996. évi XXI. tv. 5. §-ban meghatározott tervezési-statisztikai régióra vonatkozóan a környezetvédelmi felügyelőségek által készített hulladékgazdálkodási terv. A hét területi hulladékgazdálkodási terv elkészült és a 15/2003.(XI.7.) KvVM rendelettel került kihirdetésre.

A környezetvédelmi felügyelőség a területi hulladékgazdálkodási terv készítése során bekéri a területi hulladékgazdálkodási terv tervezetere a tervezési területtel érintett közigazgatási szervek, a helyi önkormányzatok, az érintett érdek-képviselői szervek, valamint a környezetvédelmi társadalmi szervezetek által delegált személyek véleményét.

A területi hulladékgazdálkodási tervet úgy kell elkészíteni, hogy a területi hulladékgazdálkodási terv biztosítsa a Hgt. 56. §-a (7) bekezdésében meghatározott szervesanyag-tartalom csökkenést, valamint a Hgt. 56. §-a (8) bekezdésében meghatározott csomagolási hulladékhasznosítás arányt.

Megyei hulladékgazdálkodási terv

Egy megye közigazgatási területére vonatkozóan meghatározott tartalommal a megyei önkormányzat által készített hulladékgazdálkodási terv. Készítése nem kötelező. Tartalma, felépítése a területi tervekéhez hasonló.

Helyi hulladékgazdálkodási terv

Egy települési önkormányzat területére, vagy az egy körjegyzőséghez tartozó települések területére, illetve hulladékgazdálkodási feladataikat társulásban, vagy más módon közösen ellátó települési önkormányzatok illetékességi területére meghatározott tartalommal készített hulladékgazdálkodási terv. A tervezés során kiemelt figyelmet kell fordítani a települési hulladékok körére, a szelektív gyűjtésre és az önkormányzatok egyéb, hulladékeletkezéssel járó tevékenységi körére.

Egyedi hulladékgazdálkodási terv

Egyedi terv készítésére kötelezett az a gazdálkodószervezet, amelynél legalább 10 tonna veszélyes hulladék keletkezik évente, vagy az éves keletkező összes hulladékmennyiség meghaladja a 200 tonna hulladéktömeget. Az egyedi tervet az egyes telephelyekre kell készíteni, több telephely esetén, együttesen is elkészíthetik azt, de az egyes telephelyekre vonatkozó tervrészeknek külön kell megjelenniük a tervben [15.]

A hulladékgazdálkodási tervek tartalmi követelményeit általánosan a Hgt., részletesen a 126/2003. (VIII. 15.) Korm. rendet tartalmazza. Idézet a Hgt 37. §-ból:

(4) A hulladékgazdálkodási terveknek tartalmaznia kell különösen:

- a) a keletkező, hasznosítandó vagy ártalmatlanítandó hulladékok típusait, mennyiségét és eredetét;
 - b) a hulladékkezeléssel kapcsolatos alapvető műszaki követelményeket;
 - c) az egyes hulladéktípusokra vonatkozó speciális intézkedéseket;
 - d) a hulladékok kezelésére alkalmas kezelőtelepeket és létesítményeket, a kezelésre felhatalmazott vállalkozásokat;
 - e) az elérendő hulladékgazdálkodási célokat;
 - f) a kijelölt célok elérését, illetve megvalósítását szolgáló cselekvési programot: a hulladékok kezelésének (begyűjtésének, szelektálásának, szállításának, ártalmatlanításának és hasznosításának) racionalizálását elősegítő intézkedések meghatározását, végrehajtásuk sorrendjét és határidejét, a megvalósításhoz szükséges eszközök, megfelelő előkezelő, ártalmatlanító és hasznosító eljárások, berendezések és létesítmények meghatározását, valamint ezek becsült költségeit.
- (5) A csomagolási hulladékokra és a veszélyes hulladékokra vonatkozó feladatokat a (4) bekezdés szerinti tartalommal a hulladékgazdálkodási tervek önálló tervrészeként vagy külön tervben kell meghatározni.
- (6) A hulladékgazdálkodási tervek részletes tartalmi követelményeit külön jogszabály határozza meg.

A hulladékgazdálkodás szervezési kérdéseiről rendelkeznek a törvény e szakaszai. Az országos hulladékgazdálkodási terv elkészítésével, közzétételével, és az ország területi egységeire történő lebontásával az egyes térségekben kialakításra kerülő kezelő berendezések és létesítmények meghatározhatóakká válnak; a tervezést és forrásbiztosítást követően üzembe helyezhetőek. Kiemelkedően fontos jelentőségű a hulladékgazdálkodási tervre vonatkozó szabályok bevezetése, egyfelől azért, mert a helyi, területi és országos tervek kialakításával lehetőség nyílik az átfogó, egységes hulladékgazdálkodási politika végrehajtására, és egyben a közösségi jogszabályok a Keretirányelv által előírt kötelezettségek teljesítésére is. A fenti rendelkezések bevezetése módot ad arra is, hogy országos szinten átláthatóvá és tervezhetővé váljanak a hulladék-feldolgozó háttéripár szükséges kapacitásai.

A törvény háromszintű tervkészítést ír elő: az országos tervet, mely a Nemzeti Környezetvédelmi Programhoz kapcsolódik és melynek készítése az Országgyűlés feladata, a területi tervet, amelyet a felügyelőségek-, és a helyi tervet, melyet a települési önkormányzatok készítenek. A törvény meghatározza a hulladékgazdálkodási terv tartalmának alapvető szabályait, illetve előírja, hogy milyen időközönként kell az egyes terveket elkészíteni.

Irodalomjegyzék/SZE 1. fejezet /

1. BESZÁMOLÓ (2009.)a 2003-2008. közötti időszakra vonatkozó Országos Hulladékgazdálkodási Terv végrehajtásáról
2. Országos Hulladékgazdálkodási Terv, 2009-2014.(OHT-II.)
- 3.NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft.
4. ÁGOSTHÁZI L., BARÓTFI I., BORIÁN Gy., CS. FELLEG Á., PODA J.: Környezetvédelmi alapismeretek II; 2001; Budapest; KvVM; 162.Ágostházi et al. 2001
5. NAGY G.: A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig. (előadás);2005; Mosonmagyaróvár; OMBKE Mosonmagyaróvári Szervezete; Szakmai Tudományos Napok; 2005. július 3–4.
6. SZEDER Z.: Elektronikai készülékek hulladékainak kezelése; 2000; Budapest; BBS-E Bt.
7. NAGY G.: Technológiai rendszerek; 2001; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft.

8. NAGY G., P. RÁCZ É. V.: Hulladék megelőzés és hulladék csökkentés a tisztább termelés módszereinek alkalmazásával; 2005; Lajosmizse; XI. Ipari Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás; pp.9–18.
9. TÓTH G.(szerk.): Környezeti vezető és auditorképzés; 1999; Budapest; Magyar Szabványügyi Testület.
10. KERÉKES S., KINDLER J. (szerk.): Vállalati környezetmenedzsment; 1997; Budapest; Aula.
11. MAYER Z. (szerk.): Zöld út az együttműködéshez; 2001; Budapest; MTV TTMK.
12. ZILAHY Gy.: A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig; 2001; Budapest; Átfogó I. évf. 1. szám; ELMO Csoport Kft.
13. TAMASKA L., RÉDEY Á., VIZI Sz.: Életciklus elemzés készítése. 2001; Veszprém, Tisztább Termelés Kiskönyvtár II.
14. OKTVF: Hazánk környezeti állapota; 2005; Budapest; Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium; p. 123.
15. FARKAS H.: Az egyedi hulladékgazdálkodási tervezés; 2003; Budapest; Hulladéksors 12. 10–16.

4. Regionális hulladékgazdálkodási rendszerek tervezése, létesítése, működtetése és fenntarthatósága (Buruzs Adrienn*, Kovács Barnabás)**

*Széchenyi István Egyetem, Győr; **GYŐRSZOL, Győr

4.1. Jogszabályi előírások, szabályozás

A hulladékgazdálkodásra vonatkozóan az EU joganyaga több, mint 60 tanácsi vagy bizottsági rendeletet, irányelvet, határozatot és ajánlást fogalmaz meg, melyek három fő csoportba sorolhatók:

- hulladékokra és hulladékgazdálkodásra vonatkozó általános és átfogó szabályok,
- hulladékkezelő létesítményekre és tevékenységeikre vonatkozó követelmények,
- egy-egy anyag- vagy hulladékáramra vonatkozó speciális előírások.

Az Unió hulladékgazdálkodását átfogó, az elvi, szakmapolitikai és intézményi alapokat biztosító szabályozását a többször módosított, a hulladékokról szóló 75/442/EGK tanácsi keretirányelv, továbbá a hulladékgazdálkodás közösségi stratégiájáról szóló 97/C 76/01 tanácsi állásfoglalás alapozza meg, melyek előírásait a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény harmonizálja.

Az EU egyik elsődleges célja a hulladék mennyiségének és veszélyességének csökkentése, és a képződő hulladék minél nagyobb arányú hasznosítása. A hulladék-megelőzést újabb, a hulladék keletkezésének mérséklését célzó kezdeményezésekkel, jobb erőforrás-felhasználással és a fenntartható felhasználási mintákra való átváltással szeretné elérni.

A cél a Közösségi VI. Környezetvédelmi Akcióprogramja értelmében 2000-2010. között a hulladék mennyiségének 20 %-os, 2050-ig 50 %-os csökkentése, különleges hangsúlyt fektetve a veszélyes hulladékok mennyiségének redukálására.

Az Unió hulladékgazdálkodása három elven alapul:

1. a hulladékképződés megelőzése
2. hasznosítás és újrahasználat
3. a hulladék biztonságos ártalmatlanításának fejlesztése, monitoring.

A hulladéklerakással kapcsolatban az EU nagyon szigorú szabályokat hozott, amelyek között megtiltja a használt gumiabroncsok lerakását, és előírja a biológiai úton lebomló hulladékok mennyiségének csökkentését a lerakókon. Magának a lerakásnak a biztonsága érdekében részletesen meghatározza a hulladéklerakók kialakításának és működtetésének feltételeit.

A 2001. január 1-jével hatályos a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény – amely teljes mértékben megegyezik az Európai Unió Tanácsának vonatkozó direktíváival – célja az emberi egészség védelme, a természeti és az épített környezet megóvása, a fenntartható fejlődés biztosítása és a környezettudatos magatartás kialakítása a hulladékgazdálkodás eszközeivel.

A törvény hatálya kiterjed többek között minden hulladékra, a hulladékgazdálkodási tevékenységekre és létesítményekre. Alapelvei között szerepel többek között az *integrált szennyezés-megelőzés elve*, mely szerint a legkisebb mértékűre kell szorítani a képződő hulladék mennyiségét és veszélyességét a környezetterhelés csökkentése érdekében, továbbá a *regionalitás elve*, amely kimondja, hogy a hulladékkezelő létesítmények kialakításánál a

gazdaságossági és környezetbiztonsági szempontok figyelembevételével gyűjtőkörzetek ésszerű hálózatának kialakítására kell törekedni. A törvény meghatározza a hulladékgyűjtés és -szállítás kritériumait, kitér a hulladékhasznosítás és ártalmatlanítás feltételeire, valamint a települési önkormányzatok ezzel kapcsolatos kötelezettségeire.

A hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény definíciója szerint a települési szilárd hulladék a háztartásokból származó szilárd hulladék, illetőleg a háztartási hulladékhoz hasonló jellegű és összetételű, azzal együtt kezelhető más hulladék. A települési szilárd hulladék ingatlantulajdonosoktól (termelőktől) történő elszállítása (begyűjtése) és elhelyezése (ártalmatlanítása vagy hasznosítása, illetve hasznosításra történő átadása) a települési önkormányzatok kötelezően ellátandó feladata, amelynek ellátására közszolgáltatást kell szervezniük és fenntartaniuk. A közszolgáltatás keretében a települési önkormányzatoknak joguk van az általuk meghatározott hulladék-összetevőkre szelektív gyűjtést szervezni és annak igénybevételére az ingatlantulajdonosokat kötelezni.

A hulladékgazdálkodás ily módon egyre kevésbé tekinthető egy különálló, a nem kívánatos, de elkerülhetetlen kibocsátás hatásainak mérséklésére irányuló tevékenységnek, hanem részévé válik egy holisztikus, az anyagok és termékek teljes életciklusát lefedő, a környezeti hatásokat összességében minimalizáló szemléletű tevékenységnek.

Magyarország az Európai Unióhoz történő csatlakozással elkötelezte magát, hogy elfogadja és az ország területén érvényre juttatja az Unió környezetvédelmi politikáját. Ez a vállalás a szükséges jogi háttér megteremtése mellett számos új feladatot ró a magyar gazdaságra, közigazgatásra és a lakosságra. Az Unió irányelveinek magyarországi érvényesítésével olyan kötelezettségeket kell teljesíteni, amelyek alapvetően megváltoztatják az ország hulladékkezelésének korábbi gyakorlatát.

A célkitűzés a települési önkormányzatok bevonásával integrált, komplex hulladékgazdálkodási rendszerek kialakítása, beleértve a szelektív hulladékgyűjtést, -kezelést és újrahasznosítást, illetve az újrahasznosítás előfeltételeinek megteremtését, valamint a nem hasznosítható hulladékok számára a környezetvédelmi szempontból kifogástalan lerakóhely kialakítását és működtetését. További célkitűzés az országban lévő, engedély nélküli vagy megtűrt, de nem biztonságos, környezeti kockázatot jelentő helyi lerakók bezárása, rekultivációja, és ehhez kapcsolódóan indokolt az EU irányelveinek megfelelően komplex hulladékkezelési rendszerek kiépítése. További feladat a szükséges műszaki, technikai, szervezeti és tudati feltételek megteremtése. Ennek teljes megvalósítására az önkormányzatok nem rendelkeznek saját forrással, tehát csakis hazai és nemzetközi pályázati források elnyerésével teremthetik meg a lehetőség a szilárd háztartási hulladékkezelés EU konform megoldására.

Az EU követelmények a települési szilárd hulladékgazdálkodás fejlesztési stratégiájának irányát is meghatározzák. A környezetvédelmi alapelvek (az integrált szennyezés megelőzés, a szennyező fizet, az elérhető legjobb technika, az önellátás, a regionalitás, a költséghatékonyság elve), a hulladékgazdálkodási prioritások (megelőzés, hasznosítás, ártalmatlanítás) és a vonatkozó szabályozási rendszer figyelembe vételével stratégiai célként került meghatározásra:

- a korszerű települési szilárd hulladék kezelési közszolgáltatás kiterjesztése az ország teljes lakosságára,
- a korszerűtlen, régi hulladéklerakók bezárása és rekultiválása,
- a szilárd hulladék kezelési rendszerek EU normákhoz igazodó átalakítása,
- a hulladékgazdálkodás fejlesztéséhez, irányításához és ellenőrzéséhez szükséges jogi-szervezeti háttér megteremtése.

4.2. A települési önkormányzatok hulladékgazdálkodási kötelezettségei

A Hgt. szabályozza, hogy a **települési önkormányzatok kötelezően ellátandó közszolgáltatásként** az ingatlantulajdonosoknál keletkező települési hulladék kezelésére hulladékkezelési közszolgáltatást (a továbbiakban: közszolgáltatás) szerveznek és tartanak fenn.

A gazdálkodó szervezet akkor köteles a közszolgáltatás igénybevételére, ha a gazdasági tevékenységével összefüggésben keletkezett települési hulladékának kezeléséről önállóan nem gondoskodik.

A közszolgáltatás egyebek mellett kiterjed:

- a közszolgáltatás ellátására feljogosított hulladékkezelő (a továbbiakban: közszolgáltató) szállítóeszközéhez rendszeresített gyűjtőedényben, a közterületen vagy az ingatlanon összegyűjtött és a közszolgáltató rendelkezésére bocsátott települési szilárd hulladék elhelyezés céljából történő rendszeres elszállítására;
- a települési hulladék ártalmatlanítását szolgáló létesítmény létesítésére és működtetésére.

A közszolgáltatás – a helyi önkormányzat határozata szerint – kiterjedhet begyűjtőhelyek (hulladékgyűjtő udvarok, átrakóállomások, gyűjtőpontok), előkezelő és hasznosító (válogató, komposztáló stb.) telepek létesítésére és működtetésére is.

- A települési önkormányzat a helyi feltételekhez igazodva, rendeletében előírhatja a települési szilárd hulladék egyes összetevőinek szelektív gyűjtését, közszolgáltatás keretében történő begyűjtését, illetőleg meghatározhatja az erre vonatkozó részletes szabályokat.
- A települési önkormányzat képviselő-testülete önkormányzati rendeletben állapítja meg:
 - a) a helyi közszolgáltatás tartalmát, a közszolgáltatással ellátott terület határait;
 - b) közszolgáltató megnevezését, illetőleg annak a működési területnek a határait, amelyen belül a közszolgáltató a közszolgáltatást rendszeresen köteles ellátni;
 - c) a közszolgáltatás ellátásának rendjét és módját, a közszolgáltató és az ingatlantulajdonos ezzel összefüggő jogait és kötelezettségeit – beleértve az egyes ingatlanfajtákra vonatkozó speciális szabályokat –, a szolgáltatásra vonatkozó szerződés egyes tartalmi elemeit;
 - d) a közszolgáltatás keretében kötött szerződés létrejöttének módját, valamint a közszolgáltatás igénybevételének – jogszabályban nem rendezett – módját és feltételeit;
 - e) a közszolgáltatással összefüggő – jogszabályban nem rendezett – települési önkormányzati feladat- és hatáskört;
 - f) az elvégzett szolgáltatás alapján az ingatlantulajdonost terhelő díjfizetési kötelezettséget, az alkalmazható díj legmagasabb mértékét, megfizetésének rendjét, az esetleges kedvezmények eseteit vagy a szolgáltatás ingyenességét;
 - g) a közszolgáltatással összefüggő személyes adatok (köszolgáltatást igénybe vevő neve, lakcíme, születési helye és ideje, anyja neve) kezelésére vonatkozó rendelkezéseket;

- h) a gazdálkodó szervezet számára a gazdasági tevékenységével összefüggésben keletkezett, nem elkülönítetten gyűjtött és nem hasznosított vagy ártalmatlanított hulladéka tekintetében a közszolgáltatás kötelező igénybevételét.

Az önkormányzatok hulladékgazdálkodási feladataikat társulásba szervezeten is elláthatják, melynek működési szabályait szerződésben rögzítik.

A Hgt. előírja, hogy a települési hulladékkezelési közszolgáltatást ellátó közszolgáltatónak a feladatait – a környezetvédelmi előírások megtartása mellett – az önkormányzati rendeletben előírt módon kell végeznie. A közszolgáltató az önkormányzattal közszolgáltatási szerződést köt, amely a következő feladatokra terjedhet ki: a települési hulladék ingatlantulajdonosoktól történő begyűjtése, elszállítása a települési hulladékkezelő telepre, a települési hulladék kezelése, a kezelő létesítmény üzemeltetése és a szolgáltatás folyamatosságának biztosítása. A közszolgáltatás teljesítése csak törvényben vagy kormányrendeletben meghatározott esetekben szüneteltethető, illetőleg korlátozható.

4.3. A települési hulladékgazdálkodás céljai és a megvalósítás eszközei

4.3.1. Megelőzés a települési hulladékok területén

Magyarországon a települési hulladék mennyisége 2006-ig nőtt, azóta stagnál (2007-ben a keletkezett települési szilárd hulladék mennyisége 4.593 ezer tonna volt). A települési szilárdhulladék-képződés mértéke jól követte a lakossági fogyasztás mértékét erősen befolyásoló reáljövedelmek alakulását, a jövedelem növekedése esetén átlagosan 1%-os hulladékmennyiség-növekedés tapasztalható.

Az országban keletkező települési szilárd hulladék lassú, de egyenletes – évi 1-1,5 %-os – növekedésével kell számolni (térfogatában ez kb. 2-3 %-os mennyiségi növekedést jelent). Csökkentését alapvetően csak a jelenleginél szélesebb körre kiterjedő szelektív hulladékgyűjtés megvalósításával lehet elérni. A szelektív gyűjtési rendszereket úgy kell kialakítani, hogy azok a lakosság legalább 60 %-ának kiszolgálását biztosítsák.

Célok

- A települési szilárd hulladék 2014-ben se haladja meg az 5 millió tonna (500 kg/fő/év), ezen belül a háztartásokban a napi 1 kg/fő mennyiséget.
- A házi és közösségi komposztálás elterjesztése, a zöldhulladékok helyben történő visszaforgatása, valamint az újrahasználati központok létrehozásának ösztönzése.

A célok elérése érdekében szükséges intézkedések önkormányzati szinten

- Házi és helyi komposztálás szervezése, oktatása.
- A komplex hulladékkezelő rendszer részeként újrahasználati központok kialakítása (a feleslegessé vált tárgyak gyűjtése, tisztítás és javítás utáni értékesítése).

Mutatók

- A házi komposztálás mértéke (bevont, illetve támogatott háztartások száma).
- Újra-használati központok száma.
- A képződő települési hulladék mennyisége (külön a lakossági és intézményi eredetű hulladék).

4.3.2. A hasznosítás elősegítése a települési hulladékok terén

A települési hulladékok terén az általános hasznosítási tendenciával ellentétesen jelentős növekedés következett be, a hasznosítási arány 2008-ra 20% fölé emelkedett (ebből 8% a fővárosi energetikai hasznosítás). A növekedés egyrészt a szelektív gyűjtés és az elkülönített biohulladék-kezelés fejlesztésének támogatásából, másrészt a gyártói kötelezettségbe tartozó csomagolási és elektronikai hulladékok hasznosítási kötelezettségeinek teljesítéséből adódik.

A fejlesztések eredményeként ma már a lakosság mintegy felének rendelkezésére állnak a szelektív gyűjtési lehetőségek. A fejlesztések eredményeként bővült a biohulladék elkülönített kezelésének közparkja is, több térségben komposztáló telepek létesültek, amelyek kapacitását azonban csak részlegesen használják ki a magas üzemeltetési költségek és komposzt elhelyezhetőségének nehézségei miatt.

Célok

- A korszerű regionális hulladékkezelő rendszerek hálózatát ki kell építeni az ország valamennyi lakosa számára.
- A 2020-as cél teljesítéséhez szükséges szelektív gyűjtési rendszereknek 2015-re ki kell épülniük, amihez a szelektív gyűjtés infrastruktúrájának biztosítása szükséges a lakosság 80%-a számára.
- Komposztáló és biogáz-üzemek létesítése szükséges, a komposztok minőségbiztosítási rendszerének kialakításával egyidejűleg.
- A szelektív gyűjtés infrastruktúrájának biztosítása a lakosság 80%-a számára.
- A települési szilárd hulladék újrafeldolgozási arányának 30%, teljes hasznosításának 40% fölé emelése.
- 2014-ig a papír, üveg, fém és műanyag hulladékok összességében 35%-os hasznosítása (2020-ig 50%).
- A biológiailag lebomló összetevők elkülönített kezelésének megoldása oly módon, hogy 2016-ban legfeljebb 820 ezer tonna biológiailag lebomló szervesanyag-tartalmú települési hulladék kerüljön lerakásra.
- A maradék hulladék biológiailag lebomló szervesanyag-tartalmának stabilizálására mechanikai-biológiai hulladék előkezelés megvalósítása – szükség szerint.
- A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának bővítése; a mechanikai-biológiai hulladék-előkezelés éghető frakciójának elkülönítése és energetikai hasznosítása interregionális megoldásokkal, erőművek, cementgyárak, hulladék-erőművek igénybevételével (Észak-Dunántúl, Dél-Dunántúl, Közép-Magyarország, Észak-Magyarország, Alföld).
- A gyártói felelősségi körbe tartozó hulladékok lakossági begyűjtő rendszerének fejlesztése (csomagolóanyag, elem-akkumulátor, elektronikai hulladék).

A célok elérése érdekében szükséges intézkedések önkormányzati szinten

- A szelektív gyűjtés rendszerének kiépítése, bővítése.
- A biohulladék elkülönített kezelésének megoldása (komposztáló és biogáz üzemek létesítése).

Mutatók

- A szelektíven gyűjtött, illetve anyagában és energetikai célra hasznosított települési hulladék mennyisége, anyagfajtánként.

4.3.3. A települési hulladékok biztonságos ártalmatlanítása

A megelőzést szolgáló intézkedések és a hasznosítás ellenére megmaradó hulladék környezetet és egészséget nem veszélyeztető ártalmatlanításáról mindenképpen gondoskodni kell. A hazai keletkezett hulladéknak még ma is közel 70%-a ártalmatlanítást igényel, ami a gyakorlatban többnyire a hulladékgazdálkodási hierarchia legalján lévő (bár még mindig legolcsóbb) lerakást jelenti (a képződő hulladék közel 45%-a lerakásra kerül).

A vonatkozó EU irányelv szerint 2009. július 15. után nem működhet olyan hulladéklerakó, amely nem elégíti ki a lerakásra vonatkozó követelményeket.

A települési szilárd hulladék 80%-a lerakásra kerül. 2008 végén az országban még 132, 2009. július 15-ig bezárandó települési (nem veszélyes) hulladéklerakó üzemelt. A kieső kapacitások pótlását jelentik azok a korszerű ártalmatlanító létesítmények, amelyek a folyamatban lévő, illetve már kezdeményezett települési hulladékkezelési fejlesztési projektek keretében, az EU társfinanszírozásával valósulnak meg. Az ország teljes hulladéklerakási igényét 75-80 lerakó fogja ellátni (2009 júliusától ebből várhatóan 75 fog működni, a folyamatban lévő fejlesztések eredményeként 2012-ig további 5 lerakó lép üzembe). A bezárt, régi lerakók biztonságba helyezéséről, rekultiválásáról és folyamatos monitorozásáról még évtizedekig gondoskodni kell.

Célok

- A lerakással történő ártalmatlanítás arányának 60% alá csökkentése.
- A lerakott hulladék biológiailag lebomló szerves anyag tartalmának csökkentése (2016-ra ne haladja meg a 820 ezer tonnát).
- Az elkülönítetten gyűjtött vagy válogatott, hasznosítható összetevők lerakásának megszüntetése.
- A régi, felhagyott, bezárt lerakók folyamatos rekultiválása és monitorozása.

A célok elérése érdekében szükséges intézkedések önkormányzati szinten

- A lerakási igényeket kielégítő, közszolgáltatás keretében működő, térségi ártalmatlanító kapacitások biztosítása.
- A papír és a biohulladék lerakástól eltérő kezelésének megoldása.
- Lakossági szemléletformálás a lerakás minimalizálása és hulladékelhagyás megszüntetése érdekében.
- A hulladék szállításakor a környezeti szempontok figyelembevétele (pl. távolságok minimalizálása).
- Közterületen elhagyott hulladékok begyűjtése, kezelése.

Mutatók

- A lerakásra kerülő települési szilárd hulladék mennyisége és biológiailag lebomló szervesanyag-tartalma.
- A rekultivált lerakók száma.

A *hasznosítás alapvető feltétele* a hasznosítható összetevők elkülönített gyűjtése, illetve adott esetben azok utólagos kiválogatása, kinyerése. A fogyasztói szférában ezt jelentősen befolyásolja a szelektív gyűjtéshez rendelkezésre álló infrastruktúra kiépítettsége, valamint a lakosság szokásai és anyagi érdekeltsége.

A lakossági szelektív hulladékgyűjtés lehetősége egyre szélesebb körben válik elérhetővé, elsősorban a papír, műanyag, üveg, illetve fém frakciók esetében, leginkább a csomagolási hulladékokra – köszönhetően a gyártói felelősségbe tartozó hasznosítási kötelezettségeknek,

valamint az EU támogatással megvalósuló települési hulladékkezelési rendszereknek. A szelektív hulladékgyűjtésbe a lakosság 68%-ának van módja bekapcsolódni. A bevont lakosság legnagyobb része (57%) hulladékgyűjtő szigeteken keresztül kapcsolódik a rendszerbe, míg kisebb részüket (6-7%) házhoz menő gyűjtéssel vonják be. A hulladékudvarokon történő szelektív gyűjtésre 2008-ban 52 településén volt lehetőség, összesen 81 hulladékudvaron (a települések lakosság száma több mint 3,5 millió, de a gyakorlatban ennek kb. 10%-a tekinthető ténylegesen elérhetőnek). A közszolgáltatások keretében működő szelektív gyűjtési rendszerekből az anyagában hasznosított települési hulladéknak alig több mint 10%-a származik.

A települési szilárd hulladékok esetén a hasznosítás aránya az elmúlt években jelentősen növekedett, köszönhetően a szelektív hulladékgyűjtés terjedésének, az elkülönített biohulladékkezelés növekedésének, valamint az egyes, gyártói kötelezettségbe tartozó csomagolási, elemakkumulátor és elektromos berendezés hulladékok hasznosítási kötelezettségeinek.

A hasznosítás helyzetét és problémáit az alábbi SWOT elemzés szemlélteti.

Az általános hasznosítási célok (a képződő hulladék legalább 50%-ának hasznosítása, ezen belül az újrahasználatra történő előkészítés és az anyagában történő újrafeldolgozás összességében érje el a 40%-ot) lebontásával a következő részcélok elérésével számolunk:

Települési szilárd hulladék:

- A szelektív gyűjtés infrastruktúrájának biztosítása a lakosság 80%-a számára.
- A települési szilárd hulladék újrafeldolgozási arányának 30%, teljes hasznosításának 40% fölé emelése.
- 2014-ig a papír, üveg, fém és műanyag hulladékok összességében 35%-os hasznosítása (2020-ig 50%).
- A biológiailag lebomló összetevők elkülönített kezelésének megoldása oly módon, hogy 2016-ban legfeljebb 820 ezer tonna biológiailag lebomló szervesanyag kerüljön lerakásra.
- A maradék hulladék biológiailag lebomló szervesanyag-tartalmának stabilizálására mechanikai-biológiai hulladék előkezelés megvalósítása.
- A hasznosítási célok elérése érdekében teendő intézkedések jelentős része a hulladékok elkülönített gyűjtésének erősítését szolgálja. A begyűjtő és kezelő rendszerek kialakításának és működtetésének fejlesztéséhez elengedhetetlen a hulladék(anyag)fajtákra specializálódott szolgáltatások bővítése, amit a települési szilárd hulladék összetevői esetében az önkormányzati közszolgáltatásokra célszerű alapozni.

A hasznosításon belül ugyan az újrahasználatra előkészítés és az újrafeldolgozás növelése az elsődleges feladat, a lerakás minimalizálása érdekében a hulladékok egyéb – elsősorban – energetikai célú felhasználásának növelése is szükséges. A biohulladékok és a magas fűtőértékű, technikai és gazdasági okokból feldolgozásra alkalmatlan más hulladékok energiatartalmának minél hatékonyabb kinyerése és hasznosítása a nem megújuló energiahordozók kiváltásához is hozzájárul. A fenntarthatóság elvének érvényesüléséhez a biogáz- és más fűtőanyag-előállítás és hasznosítás, a közvetlen energetikai célú hasznosítás mellett a talajerő pótlásra történő felhasználás bővítése is hozzájárul.

23. táblázat: A hasznosítás helyzetét jellemző SWOT analízis (forrás: OHT-II., 2009)

Belső tényezők – Erősségek	Belső tényezők – Gyengeségek
Erős hagyományai és megfelelő feldolgozási kapacitásai vannak a vas- és acél-, valamint a papírhulladékoknak.	Számos hulladékfajtának nincs hazai feldolgozó kapacitása (színes üveg, elem, akkumulátor, színesfémek többsége, képcsövek).
Folyamatosan növekszik a települési hulladékok és az építési-bontási hulladékok elkülönített gyűjtése és hasznosítása.	Számos hasznosítható hulladékfajta hasznosítása – a gyűjtés és előkészítés magas költségei, a helyettesíthető elsődleges alapanyag olcsósága, a felhasználás rendezetlen feltételei, és nem utolsó sorban érdektelenség következtében – csak minimális mértékben valósul meg.
A szelektív gyűjtés lehetősége a lakosság több mint 60%-ának rendelkezésére áll.	A szelektív gyűjtő hálózat nagy része hulladékgyűjtő szigetekre épül, sűrűsége nem kielégítő, kihasználtsága magas, lefedettsége alacsony.
A települési hulladék hasznosítási aránya 8 év alatt 3%-ról 20% fölé emelkedett.	A települési hulladék alig egyötödének a hasznosítása igen alacsony.
Folyamatosan bővül a bio-hulladékok komposztáló és biogáz-előállító kapacitása.	Magas a komposztáló telepek üzemeltetési költsége, szűkös a komposzt elhelyezési lehetősége, illetve felvevő piaca.
A hulladékból történő fűtőanyag, illetve energia-előállítás igényének megerősödése.	A magas fűtőértékű összetevők anyagában történő hasznosításának háttérbe szorulása.
Külső tényezők – Lehetőségek	Külső tényezők – Veszélyek
Szelektív gyűjtési rendszerek bővítése, kiépítésének és igénybevételének kötelezővé tétele.	Díj- és üzemeltetési költség növekedés miatt a hulladékelhagyás növekedése, a rendszerek összeomlása, kapacitások kihasználatlansága.
A hulladék előkezelésének és hasznosításának támogatása.	A gazdaságfejlesztési és a környezetvédelmi, fenntarthatósági szempontok és érdekek ütközése, az előállítási költségek a piacon nem érvényesíthetők.
Hulladék feldolgozó és hasznosító létesítmények létrehozása, energetikai hasznosítás bővítése.	Lakossági/civil ellenállás a létesítendő hasznosító művekkel szemben.
Biohulladékok, komposztok, szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának növelése.	Mérsékelt vagy ellenérdekelt mezőgazdasági fogadókészség, szigorodó előírások és adminisztráció.

A hulladékokkal kapcsolatos tevékenységek prioritási sorrendjében az ártalmatlanítás áll az utolsó helyen. Ennek megfelelően az ártalmatlanításra kerülő hulladék mennyiségét a lehető legalacsonyabb mértékre kell szorítani, különösen a lerakásra kerülő, a gazdaság számára – legalábbis egy ideig – hozzáférhetetlenné váló hulladék mennyiségét.

4.3.4. Az ártalmatlanítás helyzete, problémái

A hulladék lerakással történő ártalmatlanítása még mindig a legolcsóbb és legelterjedtebb hulladékkezelési megoldás, különösen a települési hulladékok kezelésében igen magas a közel 75%-os lerakási arány (összességében 42%).

A nem-megfelelő települési hulladéklerakók 2009. július 15-i bezárásával az igénybe vehető lerakók távolsága számos településtől a korábbi lehetőséghez képest jelentősen megnőtt, de a 2009-10-ben átadásra kerülő lerakókat is figyelembe véve legfeljebb 60 km-en belül elérhető a megfelelő kapacitás. A települési hulladéklerakás további problémáját jelenti, hogy a biológiailag lebomló összetevők lerakott mennyisége – az irányelv lerakás-csökkentési előírásai következtében – 2016-ban nem haladhatja meg a 820 ezer tonnát, aminek eléréséhez

– és az azt kiváltó egyéb megoldások fejlesztéséhez – további lerakást korlátozó és az elkülönített gyűjtést és kezelést ösztönző intézkedéseket kell hozni.

24. táblázat: Az ártalmatlanítás helyzetének SWOT elemzése (forrás: OHT-II., 2009)

Belső tényezők – Erősségek	Belső tényezők – Gyengeségek
A környezettudatos szemlélet terjedése	Gyakori a hulladékelhagyás
Magas a rendszeres hulladékgyűjtésbe bevont lakások száma (93%)	Magas a lerakás aránya, különösen a települési hulladék esetében
Az ártalmatlanító létesítmények megfelelnek a környezetvédelmi követelményeknek	Sok a bezárt, de nem rekultivált települési hulladéklerakó Egyenetlen a hulladéklerakó kapacitások eloszlása Magas a lerakott települési hulladék szerves hulladék tartalma.
A hulladékégetők mindegyike rendelkezik hőkinyerő és energiahasznosítási rendszerrel	Sok égethető és hasznosítható veszélyes és nem-veszélyes hulladék kerül a lerakókba
A szennyező fizet elv egyre inkább érvényesül a kezelési szolgáltatási díjakban, ösztönözve ezzel az ártalmatlanítás elkerülését	Egyéb kezelési módszerekhez képest olcsó hulladéklerakás, a lakosság fizetőképességéhez (hajlandóságához) képest viszont magasak a lerakási díjak
Külső tényezők – Lehetőségek	Külső tényezők – Veszélyek
A szerves hulladékok külön kezelésének ösztönzése, eltérítés a lerakókról	Nem kifizetődő a hulladék lerakástól eltérítő szelektív gyűjtési és feldolgozási kapacitások működtetése Nem csökken a hulladéklerakás
A hasznosítható hulladékok lerakásának korlátozása	Az illegális hulladék-elhelyezés növekedése
A lerakási tilalmak és korlátozások megnövelik a kiépített lerakási kapacitások élettartamát	A kevesebb lerakandó hulladék növeli az egységnyi hulladékra jutó fajlagos üzemeltetési költségeket, ami az üzemeltető érdekeltségét csökkentve a szükséges kapacitások rendelkezésre állását, vagy az utógondozáshoz szükséges tartalékképzést veszélyeztetheti
Az égethető hulladékok eltérítése a lerakókról, az égetési kapacitás növelése	Az anyagában történő hasznosítás növekedése miatt az égethető frakció mennyisége csökken, hosszútávon a kizárólag hulladéokra alapozott égetési kapacitások ráfizetésessé válhatnak, kihasználtságuk csökken

A jelenlegi ártalmatlanítási helyzet és üzemeltetési problémák, illetve veszélyek alapján az ártalmatlanítás területén a következő célok elérését lehet reálisan prognosztizálni 2014-re.

- A hazai ártalmatlanítási igények folyamatos kielégítése, a megszűnő, de szükséges kapacitások folyamatos pótlása az ártalmatlanítási díjából.
- Összességében a lerakás arányának 40% alatt tartása
- A települési hulladék lerakás 60% alá csökkentése
- A lerakási tilalmak betartatása (gumiabroncs, ipari és gépjármű elem-akkumulátor, egyéb, a lerakási szabályozás szerint kitiltott tulajdonságú hulladékok)
- A hasznosítható és a magas fűtőértékű hulladékok lerakásának korlátozása
- A biológiailag lebomló szerves hulladék lerakásának további korlátozása
- A lerakásra kerülő hulladékok előkezelésének fejlesztése
- A veszélyes hulladékok elkülönített gyűjtésének és ártalmatlanításának fejlesztése
- A bezárt hulladékártalmatlanító létesítmények területének rekultiválása, és hatásaik folyamatos monitorozása

4.3.5. A települési hulladékgazdálkodás jelenlegi helyzete

A települési szilárd hulladék keletkezésének és kezelésének elmúlt évekbeni alakulását mutatja a következő tábla:

25. táblázat: A települési szilárd hulladék kezelése (forrás: OHT-II., 2009)) (ezer tonna)

Megnevezés	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008.
TSZH mennyiség	4.552	4.603	4.646	4.693	4.591	4.646	4.711	4.594	4.553
Anyagában hasznosított	350	360	400	490	540	444	490	554	692
Energetikailag hasznosított*	340	350	280	240	155	303	389	383	393
Lerakott	3.760	3.800	3.890	3.900	3.857	3.859	3.792	3.428	3.341
Egyéb	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	40	40	40	229	126

Magyarországon a települési szilárd hulladékkezelés területén az elmúlt tíz év során elsősorban a szolgáltatás elérhetőségének és a kezelés biztonságának a növelése határozta meg a fejlődés irányait, amelyek alapjául szolgálnak az elkövetkezendő időszak fejlesztéseihez. Az elért eredmények a következők szerint foglalhatók össze:

- Megteremtődtek a közszolgáltatás jogi feltételei.
- A rendszeres hulladékgyűjtésbe bevont lakások száma 2007-ben elérte a 93%-os arányt, ami a belterületen található lakásokra nézve gyakorlatilag teljes ellátottságot jelent, mindezt korszerű, zárt pormentes technológiával végzik.
- A gyakorlatban alkalmazzák az önkormányzatok a hulladékkezelési közszolgáltatás megszervezésére vonatkozó jogszabályokat, a díjképzésre vonatkozó előírásokat és a rekultiváció technikai feltételeit meghatározó normákat.
- Kialakultak a lakosság mintegy 60%-át kiszolgáló regionális hulladékkezelési rendszerek, amelyek korszerű, költséghatékony működést tesznek lehetővé.
- 2009. július 15-ig bezártak a nem EU-konform TSZH lerakók, az ártalmatlanítást 80, megfelelően kialakított regionális lerakó végzi, amelyek legnagyobbbrészt EU forrásokból finanszírozott projektek, vagy magánforrások segítségével valósultak meg.
- Elindultak a régi lerakók rekultivációs programjai.
- A hulladékégetés (energetikai felhasználás) aránya az összes begyűjtött települési hulladék tömegéhez képest 2001 óta nem változott, továbbra is 8-9 % között mozog (évi 420 ezer tonna égetési kapacitás a Fővárosban, már korszerűsített, EU-normáknak megfelelő égetőműben), de megkezdődött a települési hulladék éghető összetevőinek energetikai hasznosítása együttégetéssel, pl. a Mátrai Erőműben, valamint néhány cementgyárban is.
- Ma már országsszerte több mint 1200 településen a lakosság 55%-a részére elérhető a szelektív gyűjtési rendszer, a begyűjtő szigetek száma a nyolcezret, a hulladékudvaroké pedig a százat közelíti, a háztól történő szelektív gyűjtés közel 200 településen, 900.000 lakost ér el, a térségi komposztáló telepek száma 40.
- A szelektív hulladékgyűjtés aránya 2008-ra mintegy 12%-ra nőtt az összes képződő települési szilárd hulladékhoz viszonyítva, hozzá véve a szelektíven gyűjtött szerves hulladékok mennyiségét is ez az arány meghaladja a 15%-ot. A fővárosi energetikai hasznosítást is figyelembe véve a teljes hasznosítási arány 23-24%, ami több mint 1 millió tonna hulladékot jelent;

Az eredmények mellett azonban szembe kell néznünk a működés problémáival és hiányosságaival is. A jelentősebb problémák a következők:

- A korszerű lerakók magasabb üzemeltetési költségei, a nagyobb szállítási távolság, valamint a kötelezően beépítendő költségelemek (amortizáció, rekultiváció) megnövelték a lakossági hulladékkezelési díjat.
- Emeli a hulladékkezelési díjat az, hogy a gyártók nevében eljáró koordináló szervezetek sok esetben alulfinanszírozzák a szelektív gyűjtést, illetve egyes frakciókat senki sem finanszíroz (pl. biohulladék). Ezek a költségek a vegyesen gyűjtött hulladék kezelési díjában jelennek meg.
- A díjnövekedés miatt nőtt a lakosságtól be nem hajtható hulladékkezelési díj mértéke (kintlévőség), emelkedett az illegálisan elhagyott hulladék mennyisége.
- Az önkormányzatok díjpolitikájukban nem elég hatékonyan differenciálnak a lakossági csoportok között (pl. választható kukaméret, időszakos lakók kérdése), illetve a lakók gyakran nem az általuk igénybe vett szolgáltatással arányos díjat fizetik.
- A gyűjtőszigetes szelektív gyűjtés nem elég hatékony, ezért – ahol ez gazdaságos –, ki kell alakítani a házhoz menő gyűjtési formát.
- A biohulladék lerakási arányának csökkentése nem megfelelő ütemben halad, alapvetően a begyűjtő rendszer hiánya, illetőleg a kis hatékonyságú szelektív gyűjtés miatt.
- A közösségi komposztálók kihasználtsága alacsony, magasak az üzemeltetési költségek, a komposztra pedig nincs fizetőképes kereslet.

4.3.6. A települési hulladék képződésének és kezelésének előrejelzése

Az elkövetkezendő időszakban keletkező hulladék mennyiségére a gazdasági visszaesés következtében 2009-től csökkenés, majd 2011-től (a megelőzési intézkedések hatására, a várható gazdasági növekedésnél alacsonyabb) kismértékű emelkedés prognosztizálható. Az egyes frakciókon belül eltérő növekedési ütemek valószínűsíthetőek: a szerves hulladék mennyisége a tervezési időszakban várhatóan közel állandó marad, a papír, műanyag, üveg, fém összesített aránya nagyjából a teljes mennyiség változását követi.

A teljes mennyiség valamivel több, mint 60%-a lakossági forrásból származik.

26. táblázat: A települési hulladékok keletkező mennyiségének előrejelzése 2014-ig (forrás: OHT-II., 2009)

(et)	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Összes települési hulladék	4 502	4 457	4 413	4 457	4 502	4 547
Ebből szerves papír nélkül	1 306	1 293	1 280	1 293	1 306	1 319
Összes települési hulladékon belül: papír, műanyag, üveg, fém	1 666	1 649	1 633	1 649	1 666	1 682
Újrafeldolgozható	2 972	2 942	2 913	2 942	2 971	3 001
Lakossági hulladék	2 727	2 700	2 673	2 699	2 726	2 754
Ebből papír, műanyag, üveg, fém	1 009	999	989	999	1 009	1 019

A tervezési időszakban megvalósuló fejlesztések hatására

- a szelektív gyűjtési rendszerek egyre szélesebb körben kiépítésre kerülnek és egyre nagyobb hatékonysággal működnek.
- a szerves hulladék egyre nagyobb hányadának kezelése házi és közösségi komposztálóknak, illetve a szervezett elkülönített gyűjtést követően térségi komposztálóknak, biogáz üzemekben történik.
- a vegyesen gyűjtött hulladék egy részének kezelése mechanikai-biológiai kezelő művekben valósul meg, és a leválogatott nagy fűtőértékű frakció energetikai hasznosításra kerül.

A fejlesztések hatása a tervezési időszak hulladék kezelési adataira, a megvalósítás, illetve az előkészítés alatt lévő projektek vállalt célkitűzései alapján becsülhető:

27. táblázat: A települési hulladékok kezelésének előrejelzése 2014-ig a 2009-ig jóváhagyott fejlesztések hatásait figyelembe véve (forrás: OHT-II., 2009)

(et)	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Összes újrafeldolgozás	748	896	975	1040	1085	1129
Ebből szerves hasznosítás	205	317	350	350	350	350
Egyéb újrafeldolgozás	543	579	625	690	735	779
Minimálisan feldolgozandó lakossági papír, műanyag, fém, üveg	131	150	198	260	313	357
Minimálisan feldolgozandó lakossági papír, műanyag, fém, üveg újrafeldolgozás %	13	15	20	26	31	35
Egyéb hasznosítás*	461	468	555	678	678	678
Összes hasznosítás	1 209	1 364	1 530	1 718	1 763	1 807
Összes hasznosítás %	27	31	37	45	46	46
Lerakás**	3 264	3 044	2 583	2 090	2 090	2 091
Lerakás %	73	69	63	55	54	54
Szerves lerakás	1 308	1 222	1 063	901	901	901
Szerves lerakható	1 303	1 175	1 065	1 032	981	953

* vegyes hulladék égetése+mechanikai-biológiai kezelés után képződő nagy fűtőértékű frakció hasznosítása

** vegyes hulladék és mechanikai-biológiai kezeléssel stabilizált frakció lerakása

Az előző táblázatból a következők állapíthatók meg:

- A hulladékgazdálkodási rendszerek 350 ezer tonna komposztáló kapacitása, valamint a 650 ezer tonna MBH-kapacitás 2014-re lehetőséget ad a lerakásra kerülő mennyiség lényeges csökkentésére.
- A lakossági papír, műanyag, fém és üveg 35%-os hasznosítását 2014-re úgy lehet elérni, ha az összes hasznosítás meghaladja a 350 ezer tonnát, ezen belül a műanyag visszagyűjtésének mintegy 90 ezer tonnával kell nőnie. A lakossági papír visszagyűjtése már jelenleg is 45% körüli, míg az üveg és a fém visszagyűjtését 10-10 ezer tonnával kell növelni.
- Az összes hasznosítás a fenti feltételek mellett elérheti a 46%-ot, így a lerakás 60% alá csökken.
- A hulladékmérlegben figyelembe vették az MBH-kezelés során keletkező mintegy 40% veszteséget (228 ezer tonna), ami sem a hasznosításban, sem az ártalmatlanításban nem jelenik meg.
- Feltételezve, hogy a lerakásra kerülő maradék hulladéknak 40%-a biológiailag lebomló (figyelembe véve a finom frakciót is), az MBH-kezelések és a papírhasznosítás tervezett szintjének fönntartása mellett a biológiailag lebomló összetevők lerakására vonatkozó csökkentési kötelezettségek teljesíthetők.

4.3.7. Eszközrendszer

Megelőzés

- Indokolt a települési önkormányzati felelősségi szabályok továbbfejlesztése, a Hgt. és az Ötv. felülvizsgálatával erősíteni kell a több önkormányzat közös felelősségében működő (kis)térségi, illetve társulásban üzemeltetett rendszerek kialakulását, fejlesztését, meg kell határozni a közös feladatokat.
- A jegyző hatásköri, szankcionálási lehetőségeinek erősítése szükséges a települési hulladék begyűjtés, kezelés ellenőrzésében, figyelemmel a lomtalanítás, az elhagyott hulladékok, a magánterületek tisztán tartásának kérdéseire.
- Az újrahasználati központok hálózatának fejlesztése érdekében módszertani útmutatót kell kidolgozni annak céljairól, kialakításáról, működtetéséről, meg kell teremteni a szükséges támogatási rendszert és a működtetés finanszírozásának kereteit.
- Tovább kell népszerűsíteni és arányában növelni a házi és közösségi komposztálást a lakosság körében. Ennek érdekében támogatási forrásokat kell biztosítani az eszközök beszerzéséhez, illetve tájékoztató füzeteket és útmutatókat kell biztosítani a szakszerű megvalósításhoz.

Hasznosítás

- A közszolgáltatási hulladékkezelési díj szelektív gyűjtést ösztönző szerepét növelni kell.
- A szelektív gyűjtésre és a szerves hulladék kezelésére vonatkozó, számszerű jogszabályi kötelezettségek meghatározása szükséges. A 2020-as 50%-os hasznosítási arány eléréséhez szükséges a kötelező szelektív gyűjtés bevezetése 2014-től, és amennyiben a teljesítés nem éri el a megfelelő szintet, akkor betétdíj kötelező alkalmazását kell előírni.
- Szükséges a papír, a műanyag, a fém és az üveg, valamint a szerves hulladék szelektív gyűjtésére vonatkozó kapacitások kiépítése, beleértve a kistérségi hulladékudvar-rendszer kialakítását is, továbbá a hasznosításra előkészítést is. Az elkülönítetten gyűjtött hulladék anyagok újrafeldolgozására alkalmas kapacitások fejlesztését – elsősorban a műanyagok és az üveg területén – gazdaságfejlesztési eszközökkel kell támogatni.
- Fejlesztteni kell a begyűjtő- és kezelőrendszerek kialakításának és működtetésének részletes műszaki szabályozását, különös tekintettel az MBH-kezelés, a gyűjtőudvarok, a veszélyes alkotók, a lomtalanítás, a házhoz menő begyűjtés, az újrahasználati központok tekintetében.
- Fejlesztteni szükséges a hulladékudvarok rendszerét, amelyben legalább kistérségi szinten biztosítani kell az elkülönített gyűjtési lehetőséget. Egyértelműen meg kell határozni a gyűjtőudvaron átveendő hulladék-fajtákat és azok átvehető mennyiségét.
- A hulladékból előállított tüzelőanyag árának piaci szempontú szabályozása során szem előtt tartandó szempont, hogy az erőműveknek hozzávetőlegesen ki kelljen fizetniük az energia megtakarítás és az erőművekben felmerülő költségek közti különbséget.

Ártalmatlanítás

- A TSZH-ra vonatkozó országos célkitűzéseket érvényesíteni kell a lerakókra vonatkozó előírásokban.
- A lerakás visszaszorítása érdekében 2012-re be kell vezetni a lerakásra az igénybevételi járulékot, mely alapvetően mennyiségarányos díj, különösen a hasznosítható áramokra (papír, műanyag, fém, üveg, építési-bontási hulladék, biohulladék) tekintettel.

- Az ellenőrzéseket fokozni kell a hulladékelhagyás, illetve az illegális hulladéklerakás esetén, valamint a lerakási követelményekben, melyhez szükséges a közterület felügyelet, a polgárőrség, a rendőrség és az ÁNTSZ fokozottabb bevonása.
- A kialakult komplex hulladékgazdálkodási rendszerekre építve tovább kell fejleszteni a térségi begyűjtő és kezelő rendszereket, növelni költséghatékonyságukat.
- A hulladékelhagyás, illetve az illegális hulladéklerakás felderítése, felszámolása hatékonyabbá tehető közmunka bevonásával.
- Folytatni kell a felhagyott/bezárt települési lerakók rekultivációs programját, amelyhez támogatási forrásokat szükséges biztosítani.

A HULLADÉKKEZELÉS JELENLEGI HELYZETE, PROBLÉMÁK ÉS MEGOLDÁSOK

- A települési hulladék – az Országos Hulladékgazdálkodási Terv alapján – magába foglalja a kb. 4,6 millió tonna települési szilárd hulladékot, amelynek mintegy 2/3-a származik a háztartásokból, míg 1/3-át az intézményekben, szolgáltatásokban és az iparban keletkező, a háztartási hulladékhoz hasonló, azzal együtt kezelt hulladék adja. Ebből a szervezeten begyűjtött és kezelt mennyiség 4,1 millió tonna.
- A végrehajtást szolgáló eszközrendszert meghatározó alacsonyabb szintű jogi, gazdasági és műszaki kezelési szabályok közül több is jelentős befolyással van a szakterületen folytatott gyakorlatra. Rendező elvként a költséghatékonyság, a regionalitás és a célspecifikus megoldások vehetők figyelembe.

4.3.8. Gazdasági eszközök

A hulladékgazdálkodási feladatok teljesítése csak igen nagy volumenű beruházások megvalósításával lehetséges. A feladatok végrehatásáért a gyakorlatban felelős gazdasági és állampolgári szféra, illetve a lakosság képviselőiben az önkormányzatok anyagi helyzete azonban az esetek döntő többségében nem képes a szükséges beruházások teljes mértékű finanszírozására. A finanszírozási hiányok részbeni pótlását az állami költségvetés szolgálja a címzett és céltámogatási rendszereken, a környezetvédelmi, a területfejlesztési, a területi kiegyenlítést szolgáló fejlesztési, valamint a gazdaságfejlesztési célleírányzaton keresztül.

A települési hulladékokkal kapcsolatos beruházásokra – regionális hulladékégető, térségi szilárdhulladék-kezelő rendszer építése, szelektív gyűjtés bevezetése, hulladékudvar kiépítése, megfelelő edényzet és szállítójármű beszerzése – különféle támogatási formák léteznek, amelyekben keresztül az önkormányzatok a beruházási költségek 80-90 %-át is megszerezhetik támogatások formájában.

4.4. Regionális hulladékgazdálkodási rendszerek

Az országban új, korszerű nagytérségi települési hulladékkezelő és lerakó létesítmények megvalósítására van szükség, és ehhez kapcsolódóan az EU irányelveinek megfelelő hulladékkezelési rendszer kiépítése indokolt. Ennek teljes körű megvalósítására az önkormányzatok nem rendelkeznek saját forrással, tehát csakis hazai és nemzetközi pályázati formák elnyerésével teremtődik meg a lehetőség a települési szilárd háztartási hulladékkezelés EU konform megoldására.

Az EU direktíváknak megfelelő komplex hulladékgazdálkodási rendszer kialakítása olyan mértékű projekt, mely egyrésztől szükségesség teszi külső pénzforrások bevonását, másrésztől – méreteinél fogva is – alkalmas arra, hogy az Európai Unió támogatási forrásaiból részesülhessen.

Az Országos Hulladékgazdálkodási Terv, valamint a Nemzeti Fejlesztési Terv is számos, EU-s, valamint állami támogatással épülő korszerű, több százezer embert kiszolgáló hulladékgazdálkodási rendszer kialakításával számol. Ezek önkormányzati tulajdonban lesznek, működtetését viszont gazdasági társaságok vállalják.

A regionális hulladékgazdálkodási rendszerek alapvető célja, hogy a néhány évvel ezelőtti, szétszórta és gyakran nem kellően ellenőrzött hulladékkezelési tevékenység színvonalát, valamint a környezet minőségét javítsa.

Magyarországon nem olyan régen még 2700 lerakó működött, amelynek mindössze 30%-a felelt meg az előírásoknak. Az e követelményeknek meg nem felelő hulladéklerakókat legkésőbb 2009-ig be kellett zárni. Ez kormányzati számítások szerint a számuk a 2000-es 728 db lerakóról 2008-ban 100-ra, majd végül 38-ra csökken majd. Ez nyilván azt is jelenti, hogy új, nagyobb lerakókat is kell építeni, amelyekre a hulladékot viszonylag nagy területről szállítják be.

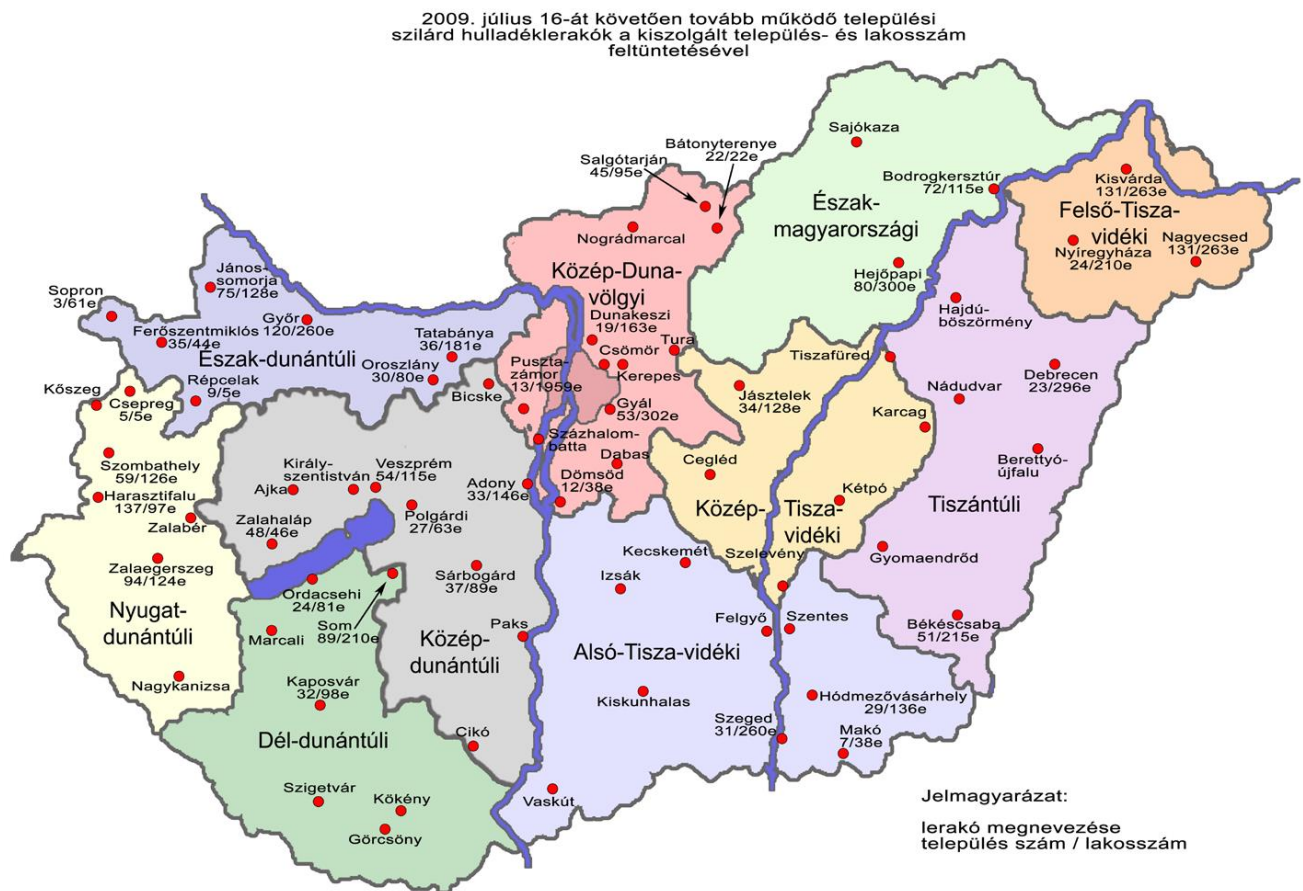
A hulladékkezelési közszolgáltatásba bekapcsolt háztartások aránya az utóbbi időben megnőtt, ez részben annak köszönhető, hogy szinte minden településen helyi jogszabályban kötelezővé tették a közszolgáltatás igénybevételét. Ezzel a nem megfelelően kezelt hulladék mennyisége is csökkent.

ISPA, Kohéziós Alap, illetve egyéb EU-s forrásból a következő hulladékgazdálkodási rendszerek alakulnak Magyarországon:

- Abaúj-Zempléni Szilárdhulladék-gazdálkodási Önkormányzati Társulás.
- Dél-Balaton és Sió-völgye Hulladékgazdálkodási Program
- Dél-Kelet-Alföld Regionális Hulladékkezelési Program (100 települést érint)
- Duna-Tisza közti Nagytérség Hulladékgazdálkodási Program
- Duna-Vértes köze Regionális Hulladékgazdálkodási Rendszer
- Észak-Baltoni Regionális Hulladékkezelési Program (158 település)
- Észak-Kelet Pesti Hulladékgazdálkodási Program
- Hajdú-Bihar Megyei Hulladékkezelési Program
- Heves Megyei Regionális Hulladékgazdálkodási Program (104 települést érint)
- Homokhátság Hulladékgazdálkodási Program (82 települést érint)
- Győr Nagytérségi Hulladékgazdálkodási Önkormányzati Társulás (112 települést érint)
- Kapos-menti Hulladékgazdálkodási Program
- Közép-Duna völgyi Hulladékgazdálkodási Program (169 települést érint)
- Mecsek-Dráva Önkormányzati Társulás
- Miskolci Regionális Hulladékkezelési Program
- Mosonmagyaróvár Térségi Hulladékgazdálkodási Önkormányzati Társulás (70 települést érint)
- Nyugat-Balaton és Zala-völgye Hulladékgazdálkodási Program
- Sajó-Bódva völgyi Hulladékgazdálkodási Program
- Sopron Térségi Hulladékgazdálkodási Önkormányzati Társulás (44 település)
- Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Regionális Hulladékgazdálkodási Program II. üteme

- Szegedi Regionális Hulladékkezelési Program
- Szolnok Térségi Hulladékgazdálkodási Rendszer

Tisza-tavi Hulladékgazdálkodási Program



65. ábra: Regionális hulladéklerakók Magyarországon 2009. július 15-e után (Forrás: Köztisztasági Egyesülés, 2010)

4.4.1. A települési szilárd hulladékgazdálkodási rendszerek működésének finanszírozása

A hasznosítás alapfeltétele az egyes hulladékok elkülönített gyűjtése. Ennek megoldása a gazdasági szférában alapvetően a hulladék termelőjének kötelezettsége, a fogyasztói szférában pedig elsősorban az önkormányzatok (illetve az általuk szervezett közszolgáltatás), valamint a fogyasztási cikkek gyártói és forgalmazói (illetve az általuk szervezett koordináló szervezetek) feladata, a lakossággal és a hulladék begyűjtő és hasznosító gazdálkodó szervezetekkel igen szoros együttműködésben. Igen fontosak a tájékoztató, szemléletformáló programok, melyekben a civil szervezetek részvétele szintén nagyon fontos tényező.

4.4.2. Települési hulladékgazdálkodás tervezése

2003. július 16-ig minden tagállamnak nemzeti stratégiát kellett kidolgoznia a hulladéklerakókba kerülő települési szilárd hulladék biológiailag lebontható szervesanyag-tartalmának csökkentésére. Magyarországon ezt a stratégiát az Országos Hulladékgazdálkodási Terv tartalmazza. E stratégia megvalósítása révén az irányelv értelmében 2006. július 16-ig a

hulladéklerakókba kerülő települési hulladék biológiailag lebontható hányadát az 1995-ben lerakott mennyiség 75 tömeg%-ára, 2009. július 16-ig 50 tömeg%-ára, 2016. július 16-ig 35 tömeg%-ára kell csökkenteni. Azok a tagállamok, melyek a begyűjtött települési hulladékok több, mint 80 %-át hulladéklerakókban helyezik el, a fenti célkitűzések eléréséhez maximum 4 év haladékot kaphatnak (hazánk is ebbe a kategóriába tartozik). A hulladékgazdálkodási törvény az előbbiekhöz képest két évvel korábbi határidőket állapít meg.

A települési szilárd hulladékban található biológiailag lebomló szerves anyag lerakását az 1995. évi szinthez képest csökkenteni kell:

- 2004. július 1. napjáig 75 %-ra (max. 1,74 millió tonna rakható le)
- 2007. július 1. napjáig 50 %-ra (max. 1,16 millió tonna rakható le)
- 2014. július 1. napjáig 35 %-ra (max. 0,81 millió tonna rakható le).

A települési hulladékok tekintetében a biológiai úton lebomló szerves hulladékok közül elsősorban a bio- és zöldhulladék (konyhai szerves hulladékok, kerti és közterületi növényi hulladékok), valamint a papír lerakását fokozatosan kell csökkenteni. Ezeknek a feladatoknak a teljesítése elsősorban a képződés helyén történő szelektív hulladékgyűjtés és a külön hulladékkezelés biztosításával érhető el.

A kerti és közterületi hulladékokat, a konyhai szerves hulladékokat és a papírhulladékokat mezőgazdasági és kertészeti célokra célszerű felhasználni, biztosítva ezzel a növények számára értékes anyagoknak a természeti körforgásba való visszajuttatását.

A lerakásra kerülő hulladékban a szerves anyagok arányának 75 %-ra való csökkentését a zöldhulladékok, élelmiszerhulladékok kezelésére alkalmas helyi és központi kezelőrendszerek együttes alkalmazása, valamint az előállított termék (pl. komposzt) saját felhasználása révén kell elérni. A kisebb települések, kisvárosok lakossági és közterületi zöldhulladékát zöldterületek, közterületek karbantartási céljaira célszerű felhasználni.

Az 1998-ban elfogadásra került I. Nemzeti Környezetvédelmi Program fogalmazta meg a hulladékgazdálkodással kapcsolatos célkitűzéseket, amelyek teljesítést hulladékgazdálkodási tervek rendszerének kell biztosítania. A 2000. évi XLIII. Törvény a Hulladékgazdálkodásról már meghatározza a hulladékgazdálkodási tervezés rendszerének felépítését.

A Hulladékgazdálkodási törvény három szintet határoz meg, ahol hulladékgazdálkodási terveket kell készíteni:

- Az Országos Hulladékgazdálkodási Tervet a Magyar Parlament 2002. december 12-én fogadta el. /110/2002. OGY határozat az Országos Hulladékgazdálkodási Terv elfogadásáról/
- A Regionális Hulladékgazdálkodási Tervek elkészítését a területileg illetékes Környezetvédelmi Felügyelőségek végezték, amelyek hivatalos elfogadására 2003. november 7-én került sor. /15/2003 KVVVM rendelet a területi hulladékgazdálkodási tervekről/
- A tervezés utolsó lépcsőjeként a Helyi Hulladékgazdálkodási Tervek 2004. évben készülnek el.

A tervek a 2008-ig tartó időszakot ölelik fel, felülvizsgálatukra két évente kell sort keríteni. A hulladékgazdálkodási tervek jelentőségét az adja, hogy meghatározzák azokat a szakmai követelményeket, amelyeket a hulladékgazdálkodási beruházások elindítóinak figyelembe kell venniük. A tervek elfogadása után Magyarországon csak olyan hulladékgazdálkodási

beruházások támogathatók, amelyek összhangban vannak a hulladékgazdálkodási tervekkel. Így a hulladékgazdálkodási tervezés egyfajta szakmai minőségbiztosítási funkciót lát el.

4.4.3. Hulladékgazdálkodási rendszerek megvalósítása

A korábbi lerakási gyakorlat alapvető megváltoztatására van szükség. A meglévő regionális gyűjtőkörű lerakók korszerűsítése – ahol az lehetséges és szükséges – kell, hogy megtörténjen, illetve új – a régi, korszerűtlen, kis kapacitású lerakóhelyeket kiváltó –, legalább 100 ezer főt kiszolgáló regionális lerakók létesítése révén 38-40 regionális lerakó működjön az országban. Ezzel párhuzamosan a korszerűtlen és/vagy gazdaságtalan lerakók bezárása és rekultiválása, szükség esetén kitermelése, felszámolása szükséges. Ugyanakkor biztosítani kell, hogy a lerakók begyűjtő körzetében komplex rendszerek alakuljanak ki, amelyek az elkülönített begyűjtési és lerakás csökkentési feladatokat is teljesítik. Célszerű a rekultivált területeket továbbra is hulladékkezelés céljára hasznosítani (hulladékudvar, komposztáló telep, válogatómű, építési hulladék feldolgozó stb.).

A regionális begyűjtő-szállító körzetek és a kapcsolódó kezelő létesítmények tervezését és rendszerbe állítását a területi hulladékgazdálkodási tervek keretén belül kell megvalósítani, meghatározva a rendszerhez tartozó településeket, a rendszerben alkalmazott begyűjtési módszereket és a létesítmények helyét. Gondoskodni kell arról, hogy a térségben található minden település része legyen a kezelési rendszernek.

A hulladékok kezelési költségét – a szennyező fizet elv alapján – a hulladékot előállító – jelen esetben a lakosság – köteles finanszírozni, ennek értelmében a települési hulladékkezelési díj megállapítására vonatkozó jogszabály alapján az önkormányzatoknak meg kell határozniuk a hulladékbegyűjtés, -elszállítás lakossági díjtételét. Az alkalmazandó díjakat mérsékelheti, ha a gyártói felelősségre alapozott begyűjtési, visszavételi és hasznosítási kötelezettség teljesítéséért létrejövő koordináló szervezetekkel kötendő szerződés alapján a koordináló szervezet a begyűjtött hulladék mennyisége alapján finanszírozza az elkülönített gyűjtésből adódó többletköltségeket.

A komplex rendszerek megvalósítása kettős célú:

- megelőző jellegű (környezetszennyezés megelőzése) és
- helyreállító jellegű (régie lerakók felszámolása és rekultivációja).

A komplexen megvalósított rendszerek racionalizálják a hulladékgyűjtés korábbi rendszerét a gazdaságosabb üzemeltetés érdekében. Jelentősen csökkentik a lerakásra kerülő hulladékok mennyiségét. A vegyesen gyűjtött hulladékhányad mechanikai-biológiai előkezelésre kerül, ezzel teljesíthető a Hgt. vonatkozó kötelezése, egyúttal az így kezelt hulladékból értékesíthető szilárd tüzelőanyag előállítás is lehetővé válik, így a lerakásra kerülő hulladék mennyisége radikálisan csökken.

Egy komplex átfogó hulladékgazdálkodási rendszer jellemzője, hogy

- egy földrajzilag összefüggő területen, a terület összes településeire kiterjedően oldja meg a hulladékgazdálkodás feladatát és
- azonos környezetvédelmi, műszaki szempontoknak megfelelően, egységes rendezési elvek szerint, azonos műszaki színvonalon oldja meg a területi egység hulladékgazdálkodását.

4.4.4. A regionális hulladékgazdálkodási rendszerek kialakításának koncepciója

A térségekre vonatkozóan is érvényesíteni kell az Európai Unió direktíváiban és a hazai törvényekben és jogszabályokban foglalt, a települési hulladékgazdálkodás koncepcióját, nevezetesen:

- a) A települési szilárdhulladék un. alacsony környezeti kockázatú kezelés megvalósítását, amelynek eredményeképpen a települési szilárdhulladék szelektív gyűjtési aránya a jelenlegi 3-6 %-ról 2008-tól 30-40 %-ra emelhető, biztosítható a hasznosítás regionális feltételrendszere, hatékonyan csökkenthető a hulladéklerakás környezeti kockázata a lerakásra kerülő települési szilárd maradék hulladékok mennyiségének, a szükséges lerakótér fogat csökkentésével és a hulladéklerakók legmegfelelőbb területekre való koncentrálással.
- b) A régi, nem megfelelő műszaki védelemmel üzemelő hulladéklerakók által okozott környezeti terhek megszüntetése, az önkormányzati tulajdonban lévő települési hulladéklerakók rekultiválása vagy felszámolása, a területek rehabilitációja.
- c) Az un. alacsony környezeti kockázatú települési hulladékkezelést biztosító komplex, térségi feladatokat ellátó települési hulladékkezelő rendszerek kiépülése már megkezdődött az országban (pl. Nyugat-Balaton, Észak-Alföld, Dél-Alföld, Közép-Dunavölgy régiókban). A megvalósítást és a fejlesztést a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény előírásai alapozták meg, amelyre az Országgyűlés és a Kormány környezetvédelmi, azon belül a hulladékgazdálkodásra vonatkozó határozatai, nemzeti programok, országos és regionális hulladékgazdálkodási tervek épülnek.
- d) A térségi hulladékgazdálkodási rendszerek kialakítását különösen indokolja a lakosság jelenlegi és várhatóan fokozódó városi és a városok agglomerációs település-együttesében és vonzáskörzetében való koncentrálódása.
- e) A lakosság együttműködése nélkülözhetetlen a hulladékgazdálkodási rendszer fejlesztéséhez, amelyre számítani csak a folyamatos és közvetlen kapcsolattartás, informálás, PR-tevékenység mellett lehetséges. A jó gyakorlat tapasztalata többszörösen hasznosulhat egy regionális hulladékgazdálkodási projekt megvalósításában is.

A képződő települési hulladékok korszerű kezelését biztosító projektek célja, hogy területükön a közszolgáltatás keretében biztosítsák a megfelelő szintű, korszerű elkülönített gyűjtés és a települési szilárd hulladékkezelés létesítményeinek megvalósulását.

A regionális települési szilárd hulladékkezelő rendszerek részeként biztosítandók a szelektív gyűjtés és kezelés után fennmaradó hulladék ártalmatlanításához szükséges lerakó és energetikai hasznosítást megvalósító égető kapacitások.

4.4.5. Korszerű regionális hulladékkezelő telepek létesítése

Egy adott térségében megalakult önkormányzati társulásnak a működési terület földrajzi, gazdasági és társadalmi környezetéhez legjobban igazodóan – a kitűzött hulladékgazdálkodási célok elérésére és a környezetvédelmi normák teljesítésére, optimálisan a haszonanyagok és a biohulladékok szelektív gyűjtését és a lerakásra kerülő hulladék ártalommentes elhelyezését kell megvalósítani. Ehhez hulladékgyűjtő szigeteket, hulladékudvarokat, átrakóállomás(oka)t és egy központi regionális telepen megvalósítandó haszonanyag-válogatóművet, mechanikai és biológia hulladékkezelési technológiákat, valamint korszerű és biztonságos hulladéklerakót kell kiépíteni, továbbá ennek működtetésére beszerezni a logisztikai és technológiai eszközöket, gépeket.

A regionális lerakók rendszere elősegíti a gépesítettség fokozását, a lerakási technológia hatékonyabb és gazdaságosabb üzemeltetését, valamint – a helyi lehetőségek kihasználásával – a keletkező biogázok energetikai hasznosítását. Elősegíti továbbá a regionális lerakók mellett a komplex hulladékkezelési módszerek alkalmazását (zöld- és biohulladékok kapcsolt komposztálása, a szelektíven gyűjtött alkotók ipari hasznosításra történő előkészítése, az építési hulladékok hasznosítási célú előkezelése). A regionális lerakók építése szükségszerűen megköveteli a gyűjtési-szállítási rendszer változtatását (nagy teljesítményű tömörítő gépek és átrakóállomások alkalmazása).

A kezelési körzetek kialakítását és a kapcsolódó lerakók kiépítését a hulladékkezelési súlypontok, a lehetséges lerakási helyek környezetföldtani és vízföldrajzi adottságai és a szállítási körülmények együttesen határozzák meg. A regionális lerakók országos hálózatának kiépítését a települési hulladékgazdálkodás minimálisan szükséges alaprendszerének kell tekinteni, amely részben kiegészül a már említett komplex hulladékkezelő rendszerekkel, részben pedig lehetőséget biztosít a későbbi korszerűbb (pl. termikus) hulladékkezelési eljárások maradékanyagainak kifogástalan ártalmatlanítására (végső elhelyezésére).

Az új regionális lerakók 38-40 korszerű regionális létesítményből (2009-ig) kiépülő országos hálózata a meglévő, környezetszennyező lerakók döntő többségének bezárását, majd rekultiválását teszi szükségessé.

A hulladékgazdálkodási rendszerek különböző funkcionális egységekből (hulladékgyűjtés és -szállítás, hulladékválogatás, hulladékártalmatlanítás) állnak, ezek különböző mértékben fejleszthetők illetve kombinálhatók egymással, szem előtt tartva a hulladékgazdálkodás fő célját, a lerakásra kerülő hulladék mennyiségének és a környezet veszélyeztetésének minimalizálását. A regionális hulladékgazdálkodási rendszerben az önkormányzatokkal és egyéb hulladéktermelőkkel (pl. vállalatok) is hosszú távú együttműködések kötnek.

A rendszerek kialakításának stratégiai célja van. Ez konkrétan azt jelenti, hogy nagyjából hazai forrásokra és munkaerőre alapozva, Magyarország számára a legelőnyösebb, komplex környezetvédelmi szolgáltatásokat nyújtó, a hulladékkezelés valamennyi ágazatában teljes körű megoldást eredményező, a regionális elveket szem előtt tartó rendszer alakuljon ki.

A regionális hulladékgazdálkodási rendszer egyes lényegi elemeit az alábbiakban lehet összegezni:

- kialakul a hulladékok valamennyi fajtájának együttes kezelése;
- hatékonyabb a gyűjtés, szállítás, előválogatás ill. előkezelés, ártalmatlanítás és hasznosítás;
- kisebb térfogatú és minél kisebb kockázatot jelentő (veszélytelenebb) hulladék kerüljön végleges lerakásra;
- az elhelyezett hulladék sem a jelenben, sem a jövőben ne veszélyeztesse a környezet állapotát;
- összességében egy jól ellenőrizhető, irányítható rendszer alakul ki.

A kommunális hulladékok lerakással történő ártalmatlanítása terén:

- az ártalmatlanítandó hulladék mennyisége csökkenthető;
- rögzíthető, hogy további új hulladéklerakó építése kb. 10 éven belül nem szükséges;
- a rendszer kialakítása során olyan előkezelő technológiákat kell működtetni, amelyekkel a hulladék további elsősorban energetikai célú hasznosítása megoldható.

A regionális rendszer fő intézkedései:

- heti rendszeres hulladékgyűjtés bevezetése;
- korszerű gépjárműpark biztosítása;
- egységes edényrendszer bevezetése; optimális járatszervezés és logisztikai rendszer;
- keletkezett hulladék mennyiségének csökkentése;
- hasznosítható komponensek arányának növelése;
- felhasználható hulladék tényleges újrahasznosítása;
- az így csökkentett hulladékmennyiség biztonságos elhelyezése.

A regionális hulladékgazdálkodási rendszer várható eredményei:

- kevesebb hulladék kerül a lerakókban;
- növekszik a felhasznált hulladékok mennyisége;
- csökken az égetőkben ártalmatlanításra kerülő anyagmennyiség;
- csökken a környezetterhelés és -igénybevétel;
- hasznosítható hulladékok feldolgozása hatékonyabbá és szélesebb körűvé válik;
- a hulladékok illegális vagy szakszerűtlen elhelyezéséből származó környezetszennyezés csökken;
- növekszik a környezeti tudatosság.

Összességében egy térségi integrált hulladékgazdálkodási rendszer kialakítása jelentheti a problémák végleges megoldását.

4.4.6. A rendszer elemeinek korszerűsítése

A hulladékok gyűjtésének és szállításának korszerűsítése

Lásd: „A regionális hulladékgazdálkodási rendszerek hulladékgyűjtési és –szállítási módozatai” c. fejezetben.

A hulladékkezelés korszerűsítése

Célkitűzés a hulladék szelektív gyűjtési rendszerének alkalmazásával és a regionális hulladékkezelő telepeken a hulladék mechanikai-biológiai előkezelése eredményeként a lerakásra kerülő hulladék mennyiségének mintegy 30-35 %-ra történő csökkentése, valamint az előkezelt hulladék hasznosítása.

- A szelektíven gyűjtött csomagoló anyagok bálázásra kerülnek, majd ezt követően haszonanyagként visszaforgatódnak a nyersanyag-áramba.
- A komposztálható hulladékok gyors komposztálóműben átalakításra kerülnek, a képződött komposzt rekultivációs céllal kerül felhasználásra.
- A hulladékudvarokon a lakosságtól begyűjtött veszélyes hulladék anyagai a megfelelő átvételi engedélyekkel rendelkező ártalmatlanítóhoz kerülnek (veszélyes hulladéklerakó, égetőmű, újrahasznosító vállalatok)
- A vegyes kommunális és ipari intézményi hulladék mechanikai-biológiai előkezelésre kerül, ahol a kezelés után keletkező termék energetikai hasznosításra bálázóba, illetve a depóniátérre kerül
- A nem hasznosítható hulladékok a lerakóba kerülnek

- A szelektíven gyűjtött hulladékok és a vegyes kommunális hulladékok kezeléséhez válogatómű és lerakó létesül
- Az inert mechanikai hulladékot különböző rostáló és törő berendezésekkel kezelik. A képződött különböző szemcseméretű anyagok visszahasznosítható ásványpótlókká válnak, amelyet a hulladéklerakás technológiájának takaróanyagaként, valamint a rekultivációs munkák részeként lehet felhasználni. A nem hasznosítható hányad az inert hulladéklerakóban kerül elhelyezésre.

A hulladékártalmatlanítás korszerűsítése

A probléma megoldásának érdekében az első lépések: az új létesítmény előzetes környezeti hatástanulmányának, illetve elvi engedélyezési tervdokumentációjának elkészítése, majd a részletes környezeti hatásvizsgálat lefolytatása.

A tervezett létesítmény az EU előírásainak megfelelően nem elsősorban a keletkező hulladékok ártalmatlanításával, hanem azok válogatásával és a szelektíven gyűjtött anyagok hasznosítására történő előkészítésével foglalkozik. Ennek megfelelően csak a már nem hasznosítható, maradék hulladékok kerülnek lerakásra.

4.4.7. A hulladékkezelés korszerű technológiái

A mechanikai-biológiai előkezelés (stabilizálás) technológiája

A korszerű és a környezetvédelmi előírásoknak is minden szempontból megfelelő minőségű hulladéklerakók magas beruházási költségei, valamint a maximális kihasználtság elérése mind azt kívánják, hogy az épített létesítmény a lehető leghosszabb ideig befogadóképes legyen, és minél több hulladék ártalmatlanítását tegye lehetővé.

A hatályos hazai jogi szabályozás értelmében ezért a vegyesen gyűjtött települési szilárdhulladék lerakással történő ártalmatlanítását kizárólag előkezelést követően lehet elvégezni. Ezzel együtt előtérbe került napjainkban a másodlagos energiaforrások, a hulladék alapú tüzelőanyagok alkalmazása energiakinyerés céljából.

Mindkét követelménynek eleget tesz a vegyes települési hulladékok előkezelési módszerei között az a mechanikai-biológiai stabilizálási eljárás, amely a kezelt hulladék térfogatát, tömegét, nedvességtartalmát jelentős mértékben csökkenti, mindezt alacsony üzemeltetési költségekkel, a környezet terhelése nélkül.

A stabilitási eljárás lényege az, hogy a begyűjtött hulladék nedvességtartalmát minimálisra csökkentik, és csak a kiszáritott, további bomlási folyamatoktól mentes, stabil állapotú hulladék kerül a lerakóba. A stabilizálás révén a kezelt hulladékból könnyen és egyszerűen leválaszthatók egyes hasznosítható komponensek (stabilizált biohulladék, üveg, fém), valamint magas fűtőértékű másodlagos tüzelőanyag. Ezzel jelentős további térfogatcsökkenés érhető el a lerakni kívánt hulladéknál, továbbá a szilárd tüzelőanyag hasznosításával jelentősen növelhető a rendszer hatékonysága.

Az előkezelési eljárás a komposztálási folyamat tapasztalatain alapul, melynek során az előzetesen aprított kommunális hulladékot 2-3 m magas támfalak között helyezik el a támfalak közé telepített levegőztető csövek segítségével, számítógép vezérlésű kompresszor révén szabályozottan levegőztetjük, szárítjuk. A támfalak fölé speciális szemipermeabilis membránt, egy háromrétegű takarófoliát helyeznek el (**66. ábra**). A szemipermeabilis membrán alkalmazása lehetővé teszi az optimális, kiegyenlített a hőháztartást. Ezt a hő-visszatartást aktív levegőztetés egészíti ki, így biztosítva az anyag teljes és folyamatos higienizációját a folyamat

alatt. A levegőztető egység és a laminát membrán együttes alkalmazása egyenletes hő megoszlást biztosít még az olyan kritikus területeken is, mint a halom felszíne. A prizmában túlnyomás alakul ki, ami egyrészt elősegíti az egyenletes oxigén-megoszlást, másrészt megakadályozza azt, hogy túl gyorsan, túl sok nedvesség távozzon el. E paraméterek – oxigéntartalom, hőmérséklet, nedvességtartalom – együttes beállításával, a folyamat ellenőrzésével garantálható az anyag stabilizálódása és az egyenletes nedvességtartalom csökkenése. Az anyag leggyorsabb szárítása a levegőztetés fokozásával érhető el. A **67. ábra** a stabilizálási eljárás után, a takarófólia eltávolításakor látható a kezelt hulladék.



66. ábra: Szemipermeábilis fóliával takart hulladék (© Buruzs, 2010)



67. ábra: Stabilizált hulladék a kezelés után (© Buruzs, 2010)

A hulladékkezelő központba beérkező, vegyesen gyűjtött települési szilárd hulladékot a mérlegelés követően közvetlenül a mechanikai-biológiai kezelőterre szállítják.

A szemipermeábilis membrántakarásos és mesterségesen levegőztetett humifikálás technológiai elemei a következők:

1. A helyszínre szállított vegyes hulladék 250-300 mm méret alá történő durva aprítása. Az aprítás lényegesen csökkenti az anaerob, levegőtlen gótok kialakulásából fakadó bűzhatás mértékét, valamint elősegíti az anyag keveredését, homogénizálódását is.
2. Az aprított hulladék támfalak közé rakása homlokrakodó géppel. A telepített levegőztető csövek, az azokhoz kapcsolt számítógépes vezérléssel szabályozott mesterséges levegőztető rendszer és a szabályozást biztosító mérőszondák (hőmérséklet és oxigén), valamint a hulladékot takaró szemipermeábilis membrán együttesen biztosítják a folyamat ellenőrzött irányítását. A támfalak közé a hulladék feltöltése homlokrakodóval történik. A stabilizálási folyamat 3-4 hetes időtartamú. Ezt követően kerül sor a prizma bontására, amely a takarómembrán leszedésével, majd a szondák és a vezetékek eltávolításával, és végül a prizma anyagának markolóval történő lebontásával végződik.
3. A stabilizátumot dobrostán választják szét (**68. ábra**) a 30-50 mm feletti méretű, ún. tüzelőanyag és a lerakásra kerülő maradékanyag frakcióra. A dobrosta kihordószalagjára telepített mágneses szeparátor választja ki a tüzelőanyag-frakció vastartalmát. A kiszáradt tüzelőanyag-frakció közvetlenül a speciális, többrétegű fóliába csomagoló bálázóba kerül (**69. ábra**). A többrétegű fóliába csomagolt bálák tárolása elszállításig – akár 12 hónapig – nyílt téren történik.

4. A rostálásból kikerülő, méret alatti maradékanyag-frakciót a rendezett lerakóban kerül ártalmatlanításra.



68. ábra: Stabilizált hulladék dobrostán történő osztályozása (© Buruzs, 2010)



69. ábra: 4. kép: Többrétegű fóliába csomagoló bálázóba (© Buruzs, 2010)

Az eljárás során visszanyert stabilizált és bálázott – másodlagos tüzelőanyag felhasználható energetikai hasznosításra cement vagy fűtőműben. A 30-50 mm feletti tüzelőanyag-frakció fűtőértéke 10 % nedvességtartalom mellett kb. 12-15 MJ/kg érték tartományban van.

Az aprított hulladék a stabilizálás során tömegének 25-35%-át elveszti (intenzív szárítás esetén ez elérheti a 40 %-ot). A stabilizált anyag tömegének mintegy 57-62 %-a kerül a hulladéklerakóra, míg 34-38 %-a másodlagos tüzelőanyagként és a 4-5 %-a visszanyert vasfémként hasznosítható. Ennek alapján 1 tonna beszállított és aprított vegyes hulladékból a stabilizálást követően kb. 0,7 t rostálendő stabilizátum keletkezik, amelyből átlagosan 0,25 t a tüzelőanyag, 0,42 t a lerakandó maradék és 0,02 t a visszanyert vashulladék.

Megjegyzendő, hogy az aprítás hatását is figyelembe véve, a stabilizálási folyamat a hulladék térfogatát is mintegy 50 %-kal redukálja. A 30-50 mm feletti tüzelőanyag-frakció fűtőértéke 10 % nedvességtartalom mellett kb. 12-15 MJ/kg érték tartományban van.

Komposztálás

A komposztálóműben a kétkannás gyűjtésből származó biohulladék, illetve a gyűjtőkörzet hulladékudvaraiból származó zöldhulladék kerül feldolgozásra. A zöldhulladék a lakosság által a hulladékudvarokra beszállított részét (nyesedék) laza állapotban, nagykonténeres célgépekkel, a további részét (fű, lomb) szabvány edényzetben, a családi házas övezetben közvetlenül a lakosságtól, tömörítő célgépekkel gyűjtik.

A technológia szerint a beszállított hulladék a manipulációs téren kerül ürítésre. A homlokrakodó a kalapácsos aprítóberendezésbe termeli az anyagot, ahol a technológiának megfelelő méretűre darabolják. Ezt követi az aprított anyagok összekeverése a komposztáláshoz szükséges optimális jellemzők beállítása.

A komposztálótér előkészítését (szellőző-, csurgalékvíz elvezető csatorna tisztítása) követően az aprított és bekevert anyag prizmába rakása következik, a hőmérséklet- és oxigénmérő szondák elhelyezése és végül a szemipermeabilis takaró fóliával, a fólia rögzítésével. A takarás után indul a mérőszondák adatainak visszacsatolásával működtetett levegőztető rendszer.

A négy hetes érési időtartam alatt a levegőztetés a hőmérséklet és oxigéntartalom mérése alapján működik, számítógépes vezérléssel. Az anyag átforgatása a komposztálás ideje alatt nem szükséges. A takarófólia lebontására négy hetes érés után kerül sor, a komposzt ezt követően rostáláson esik át, majd homlokrakodóval az utóérlelő térre kerül. A komposztálótér, levegőztető rendszer tisztítása magasnyomású mosóberendezéssel történik a kitermelést követően, a hulladékmaradványok rászáradás előtt, azonnali eltávolításával. A rostálásból visszamaradt anyag (rostaalj) a folyamat elején kerül vissza oltóanyagként történő felhasználására. A rostaalj háromszori visszaforgatást követően a benne fellelhető idegen anyagok (jellemzően műanyagok) feldúsulása miatt a lerakótéren kerül elhelyezésre.

Az utóérlelés prizmákban történik, mintegy további két hónapon keresztül, nyílt utóérlelő téren. Az utóérlelés alatt az anyagot szükség szerinti gyakorisággal, de legalább 2-3 hetente traktorral szerelt komposztforgató adapter segítségével átforgatjuk.

A végső munkafázis az érett komposzt mobil dobostával és a hozzákapcsolt légosztályozó géppel való tisztítása. A durva frakciót oltóanyagként visszaforgatják a rendszerbe. A kitisztított kész komposztot fedett tárolótérben tárolják az értékesítésig, illetve egyéb felhasználásig. Az eltávolított maradékanyagok a lerakón kerülnek ártalmatlanításra.

A naponta begyűjtött biohulladék azonnali feldolgozásra kerül, a szaghatás elkerülése miatt. A komposztálási idő 7-9 hét. Az év folyamán, a léghőmérséklettől függően max. 4-5 teljes komposztálási ciklust lehet kezelni.

A nyílt téri prizmás komposztáló (**70. ábra**) vízzáró beton burkolattal ellátott csapadék-, illetve csurgalékvíz-elvezetéssel és a felszíni vízhozáfolyást megakadályozó szegéllyel kialakított térbeton felület. Szükség esetén a csurgalékvíz a komposztáló térre visszaemelhető legyen a nedvességigény biztosításához.

A tervezhető átlagos komposztkihozatal (értékesíthető végtermék) a feldolgozott hulladék 35-40 % (m/m)-a.



70. ábra: Nyílt rendszerű prizmás komposztálás (© Buruzs, 2010)

A kész komposzt tárolására beton aljzatú fedett szín készül. A kész komposzt előállított mennyisége a bio- és zöldhulladék begyűjtött mennyiségének függvényében tervezhető. A kész komposzt terméként minősíthető és értékesíthető.

Válogatóművek

A válogatómű feladata a gyűjtőszigetekről, a hulladékudvarokról és a házhoz menő szelektív gyűjtésből beszállított szelektíven gyűjtött másodnyersanyagok típusazonos (döntően kézi) válogatása és értékesítésre történő előkészítése, valamint a papír és a műanyag hulladékok bálázott formába hozása. Továbbá elvégzik a szolgáltatók az ipari üzemektől szelektíven begyűjtött csomagolóanyagok hasonló feldolgozását. A gyakorlat szerint az ilyen hulladékok feldolgozása a kapacitás maximum 60-60 %-át veszi igénybe.

A szelektív hulladékgyűjtő szigetekről beszállított anyagok a válogatóműbe kerülnek. A másodnyersanyag frakciók utóválogatására szolgáló válogatómű a kézi válogatásra épül, vasleválasztóval kiegészítve. A válogatószalag a legszigorúbb munkaegészségügyi, munkavédelmi körülményeket teljesítő zárt, klimatizált válogatókabinban nyer elhelyezést. Az épületbe telepített válogatómű a szükséges műveleti egységekkel (előrostálás, félautomata folyamatos bálázás lokális porelszívás és légtisztítás, belső anyagmozgatás, mágneses vasleválasztás) felszerelt.

A válogatás technológiai folyamata:

- a szállítmány (papír, műanyag, fém) ürítése, előszelektálás, rakatba tárolás a válogatócsarnokban,
- a nagy tisztaságú hulladékok feladószalagon keresztül közvetlenül a bálázóra kerülnek,

- utóválogatást igénylő hulladékok szemrevételezést követően, szennyezettségük függvényében a dobrostán keresztül, illetve közvetlenül a válogatószalagra kerülnek. A dobrostán szükség szerint a finomszemcsés szennyeződés leválasztását végzik el,
- a klimatizált válogatókabinban a hasznanyagok kiszedése pozitív válogatással történik a kabin alatti boxokba (**71. ábra**),
- a szalag végén a maradékanyagokból a fém hulladékot elektromágneses vasleválasztással gyűjtjük ki,
- a válogatott anyag a boxokból tolólapos munkagéppel feladószalagra kerül, mely a bálázógép garatába juttatja a hasznanyagokat,
- a folyamatos üzemű bálázóból kikerülő bálák mozgását bálafogóval felszerelt szállítótargonca végzi, hasznosítóba történő elszállításig a bálátároló csarnokban tároljuk.
- a válogatószalagon átmenő, nem hasznosítható maradékanyagot konténerbe gyűjtjük és az a már leválasztott finomfrakcióval együtt a nem veszélyes hulladék-lerakóra kerül.

A válogatóműben egy soron legalább 6-7 frakcióra osztályozást biztosítanak, 6-7 pár (12-14 fő) dolgozóval. A gyűjtőjáratok szervezésénél célszerű biztosítani, hogy a válogatósoron lehetőség szerint egy műszakban csak egyféle frakció kerüljön feldolgozásra folyamatos munkavégzés mellett.

A szelektív szigetekről beszállított üveg frakciót közvetlenül a hasznosítóba történő szállításra rendszeresített konténerbe ürítik, elszállításig manipuláció nélkül tárolják.



71. ábra: Válogatómű kézi szortírozó egysége (© Buruzs, 2010)

A válogatóműveket a fokozatosan kiépülő szelektív gyűjtési rendszer elején meg kell valósítani, biztosítva a felútás miatti kapacitástartalékokat. A technológia alapegységei:

- telepített dobroszta

- kézi válogatószalag klimatizált kabinban
- mágneses vasleválasztó
- elkülönített üvegszortírozó
- gyűjtőboxok konténerekkel
- automatikus üzemű horizontális bálázó
- szállítószalagok
- lég- és klimatechnikai rendszer.

Kiegészítő egységek:

- porelszívó és –szűrőrendszer
- bálamozgató targonca
- tolólapos ésmarkolófejes mobil rakodógép.

A technológia az anyagfogadással és –tárolással együtt zárt épületben nyer elhelyezést. Az épületméretek a kapacitás függvényében változóak. A válogatókból a feldolgozás során kb. 5-10 % lerakandó maradék kerül ki.

Bálázó és bálátároló.

Bálázásra a visszanyert papír- és műanyag hulladék kerül. A kész bálákat fedett tárolóhelyen tárolják.

Építési és bontási hulladék

Az elkülönítetten beszállított, nagy ásványi anyag tartalmú építés és bontási hulladék (beton és téglatörmelék, aszfalthulladék) mobil aprító-osztályozó berendezésekben kerül feldolgozásra, előkészítve az értékesítésre. Az aprított anyagból három szemcsefrakciót állítanak elő, melyeket külön halmokban kerülnek tárolásra a hasznosításig. A vegyes, erősen szennyezett hulladék közvetlenül az inert hulladék-lerakóhelyeken ártalmatlanítandó. A feldolgozó lehetőség szerint az inert lerakóhoz közel helyezkedjen el.

A száraz-eljárással feldolgozott építési hulladék – a termékminősítés kritériumai szerint – újrafelhasználható, 30-50 %-a kerül az inert hulladéklerakóba.

Égetőmű alkalmazása

Magyarországon jelenleg egyetlen települési hulladék égetésére alkalmas égetőmű üzemel Budapesten. Az elmúlt években a lakosság fogyasztási szokásaiban és az ország településszerkezetében lassú változás következett be, ezért a keletkező hulladék egyes régiókban a korábbiaknál nagyobb mennyiségben áll rendelkezésre. Ez a tendencia kedvező feltételeket teremt a hulladékban lévő – onnan szelektív gyűjtéssel el nem különíthető – energiatartalom égetéssel történő hasznosítására.

Hulladéklerakás alkalmazása

A hulladékgazdálkodási szempontok megkövetelik a települési szilárd hulladék nem hasznosítható összetevőinek ártalmatlanítását, lerakását.

A korábbi években végzett lerakási gyakorlat számos esetben környezetszennyező, területigényes, nyersanyag- és energiapazarlással járó tevékenység volt. A legtöbb hazai település saját, korszerűtlen, nem a környezetvédelmi előírásoknak megfelelő lerakóján ártalmatlanította a hulladékot.

A cél – érvényt szerezve a jogszabályok előírásainak – az, hogy hazánkban regionális hulladékkezelő-telepek, azon belül olyan hulladéklerakók működjenek, amelyek megfelelnek a környezetvédelmi követelményeknek (műszaki védelemmel készülnek) és regionális jellegük miatt több települést képesek kiszolgálni. Így a magasabb műszaki színvonalon, viszont nagyobb költséggel épült lerakók kapacitásával ésszerűbben lehet gazdálkodni, és ellenőrzésük is könnyebb. A szelektív hulladékgyűjtés elterjedését követően továbbra sem lesznek nélkülözhetők a lerakók a maradék hulladék ártalmatlanítása terén.

A Hgt. szerint új hulladéklerakó csak regionális célra épülhet, és minimum 100.000 lakos hulladékának ártalmatlanítását kell megoldania. A tervezett lerakó helyszínére vonatkozóan a megyei vagy regionális területfejlesztési koncepciónak, területi (regionális) hulladékgazdálkodási tervnek tartalmaznia kell azt, hogy ott valóban ilyen létesítmény üzemelését határozta el a régió közössége.

Hulladéklerakót csak engedéllyel lehet létesíteni és működtetni. Az egyes hulladéktípusoknak a lerakóhelyen történő elhelyezéséért fizetendő árnak fedeznie kell a lerakó létesítéséből és működtetéséből származó költségeket, beleértve azt a garanciát is, mely a telep bezárásának és legalább 30 évig tartó utógondozásának becsült költségeit biztosítja.

A korszerű követelményeket kielégítő, EU előírásoknak megfelelő lerakók kapacitása általában tovább bővíthető. Sajnálatos, hogy – országos, illetőleg regionális tervekészítési követelmény hiányában – ezek a hulladéklerakók nem mindig az optimális helyszínen épültek meg, illetőleg gyakran előfordul, hogy a lerakóhoz nem kapcsolódnak más kezelőlétesítmények, amelyek a lerakandó mennyiség csökkentésére hatással lehetnek.

Annak érdekében, hogy a hulladék hasznosítása az elérhető legnagyobb mértékben megvalósuljon és a már kiépült regionális lerakók kapacitása hosszú távon szolgálja a hulladékártalmatlanítást, célszerű a kapacitásokkal való jobb gazdálkodás megvalósítása oly módon, hogy a még hiányzó kezelő létesítmények megépítésével a hulladék nagyobb mennyisége hasznosításra kerüljön és így legyen biztosítva a lerakó hosszabb távú üzemelése. Ezért az eddig csak regionális lerakót működtető vállalkozások pótlólagos beruházásait célszerű támogatni (hulladék udvarok, gyűjtőpontok, komposztálók, válogatók stb.).

A még hiányzó kapacitások kiépítéséig, valamint a már kiépült hulladékkezelő létesítmények működése alatt is szükséges erőteljes felvilágosító, tevékenység, adatok és információk közzététele mind az önkormányzatok, illetve a lakosság, mind a vállalkozások közreműködő és elfogadó készségének fokozása érdekében. Új lerakó kapacitását (medencetér fogatát) nem több mint 5 éves időtartamra célszerű kiépíteni a tartalékterületek biztosítása mellett. A helykiválasztásnál előnyben kell részesíteni azokat a területeket, amelyek a régió hulladékkezelési súlypontjának közelében vannak. Természetesen azt követően, miután a hulladéklerakó létesítésénél figyelembe veendő egyéb szempontok (pl. a terület földtani, hidrogeológiai adottságai) mérlegelése után a terület alkalmas lerakó építésére.)

Műszaki védelem nélküli települési hulladéklerakók felhagyása

A korábban működött és betelt lerakóhelyek többsége nem rendelkezett műszaki védelemmel, ezért ezeket potenciálisan környezetszennyezőnek kell tekinteni. A környezeti kockázat csökkentése és a lerakóhelyek további hasznosítása céljából ezeket a sajátos környezetvédelmi építményeket le kell zárni, tájba kell illeszteni, rekultiválni kell és, ha szükséges, akkor az utógondozásukról is gondoskodni kell. Magyarországon még nincs kialakult gyakorlata a települési hulladéklerakók lezárásának, nem közismertek az ilyen munkák költségei. Előrelépés – a rekultivációs munkák tervezése és elvégzése terén – csak állami és Európai Unió támogatással lehetséges.

A rekultivációs terveket teljes körű környezetvédelmi felülvizsgálatot követően kell kidolgozni, azokat az érvényes környezetvédelmi jogszabályok alapján engedélyeztetni szükséges. Az engedélyezési kérelem alapja olyan tényfeltáró vizsgálatok elvégzése és dokumentálása, amely leírja a környezet állapotát a lerakón és környékén, és megoldásokat javasol a felhagyás tartalmára és időtartamára. Ezen belül kell kidolgozni a hulladéklerakó-gázkinyerés és -hasznosítás megoldását, a hosszú távú monitorozásra vonatkozó feltételeket. Az engedélyezést követően végezhető el a szükséges kivitelezés.

A terület terhelési szintjének megállapításához fel kell térképezni a hidrológiai viszonyokat, vizsgálni kell, hogy szennyezi-e a lerakó a környezetet, ha igen, akkor szükséges a szennyezés lehatárolása, a szennyezés mértékének és terjedésének meghatározása. Kívánatos a biológiai monitoring létesítéséhez alapállapot-felmérés elkészítése, a környezetben található, a rekultivációt követően indikátorként felhasználható élő szervezetek feltérképezése.

A lerakó üzemeltetési technológiájának és módjának ismeretében, valamint a felszín alatti víz állapota szempontjából érzékeny területek besorolása függvényében kell meghatározni a szükséges takarási (lefedési) rétegrendet, a lerakott hulladék mennyiségének és összetételének becslését követően.

A munkákat a jogszabályok és szakmai határértékek (pl. földtani közeg és felszín alatti víz minőségi védelméhez szükséges határértékei) figyelembe vételével, a kivitelezési munkákra vonatkozó részletes költségterv alapján lehet végezni. A rekultivációt követően a monitoring rendszer hosszú távú működtetésére és az utógondozásra a lerakó helye szerint illetékes önkormányzatnak (vagy az üzemeltetőnek) az engedélyben foglaltak előírásai szerint kötelezettséget kell vállalnia.

A rekultivációt célszerű összehangolni a terület új használati funkciójával. Gazdaságilag is indokolt, hogy a rekultivált terület továbbra is hulladékkezelési célokat szolgáljon, így a (rekultivációs) költségek némileg csökkenthetők és a lakosság is könnyebben elfogadja, hogy az egyébként a továbbiakban is szükséges hulladékkezelési létesítmények a régi lerakó területén működjenek. Mindezek miatt praktikus tervezhető a betelt lerakók területén átrakó állomások, komposztáló telepek, válogatóművek és/vagy hulladékgyűjtő udvarok működtetése.

Mivel a rekultiváció hosszabb időszak alatt megvalósítható műveletek sorozata (felszín-rendezés, különböző takaróanyagokkal megvalósuló rétegek kialakítása, hulladéklerakó-gázkinyerés és -hasznosítás, humuszfedés, figyelő kutak üzemeltetése) stb., szükséges a hulladéklerakó felügyelete.

Prognosztizálható továbbá, hogy a komposztálásból származó végtermék iránti mezőgazdasági kereslet (vagyis a hasznosítási ütem) és a komposzttermelés mértéke nem lesz azonos, ezért a kezdeti időszakban a kész komposztot célszerű a lerakók fedőrétegében felhasználni.

4.5. A fenntartható fejlődés horizontális területén vállalható intézkedések

A fenntartható fejlődéshez való hozzájárulás a térségi hulladékgazdálkodás szintjén több módon is megjelenhet.

A rendszer fenntarthatóságnak való megfelelése akkor biztosítható, ha a projekttevékenység minden fázisa megfelel a fenntarthatóság szempontjainak, így a fenntarthatóság szempontjait szem előtt kell tartani a projekt tervezésében, a projekt kivitelezésekor (telepítés, létesítés, építés) a projekt eredményeinek fenntartásában (működtetés), illetve a projekt tevékenység felhagyásakor.

A társulások elsősorban két fenntarthatósági kategóriában tesznek vállalásokat:

- I. Környezettudatos menedzsment és tervezés
- II. Fenntartható fejlődést szolgáló megvalósítás és fenntartás

INDIKÁTOROK

A térségi hulladékgazdálkodási projektek indikátorai a kiindulási érték és a célérték meghatározásának függvényében az alábbiak lehetnek:

- **Eredménymutatók:** A képződő települési szilárd hulladék mennyisége a kezelés módja szerint [kg/fő/év]
 - Anyagában hasznosított (komposztáltat is beleértve)
 - Energetikailag hasznosított
 - Égetett
 - Lerakott (biológiai előkezelés nélkül)
- Szelektíven gyűjtött hulladék aránya a begyűjtött hulladékhoz képest
- Szerves hulladék lerakótól történő eltérítésének aránya a begyűjtött hulladékhoz képest
- Lerakott hulladék aránya a begyűjtött hulladékhoz képest:
 - Elsődlegesen lerakott
 - Másodlagosan lerakott

CÉLCSOPORTOK

Egy térség településeire kiterjedő, regionális szintű önkormányzati hulladékgazdálkodási rendszer megvalósításának *közvetlen* célcsoportjai a hulladékgazdálkodási közszolgáltatást igénybevevő háztartások és intézmények. A *közvetett* célcsoport magába foglalja az állandó lakónépességet és a térségben ideiglenesen tartózkodó lakosokat, látogatókat.

A TÉRSÉGI HULLADÉKGAZDÁLKODÁSI RENDSZER VÁRHATÓ EREDMÉNYEI, HATÁSAI

A térségi hulladékgazdálkodási projekt megvalósítása a következő várható környezeti hatásokkal jellemezhető:

- A hulladékkezelő telep környezetterhelése a hulladékgazdálkodási tevékenység során a munkavégzéssel járó üledő és szálló por, szag, valamint a gépek üzemeltetéséből származó, diffúz jellegű levegőterhelésből és környezeti zajterhelésből adódhat. A tevékenység levegőterhelése a telep telekhatárától 1-200 m-es hatástávolságban érzékelhető. A hatályos jogszabályok szerint a nem veszélyes hulladékok ártalmatlanítását végző telephelyek (50 t/d kapacitáson felül), illetve a hulladéklerakók (10 t/d feltöltési kapacitáson felül) környezetében az illetékes környezetvédelmi hatóság védelmi övezetet kijelölésére jogosult. A védelmi övezet sugara, bűzhatással járó tevékenység esetén legalább 500 m.
- A talaj- és talajvíz szennyeződés kockázatát a hulladékkezelés létesítményeinek előírászerű műszaki védelmi rendszere (aljzatszigetelés, vízzáró térburkolat, csurgalékvíz-elvezetés, gyűjtés, visszaforgatás) minimálisra csökkenti. A telep

vízgyógyászati létesítmények előírás szerinti üzemeltetésével a csurgalékvíz felszíni befogadóba bocsátása kizárható.

- A rendkívüli szennyezések megelőzésére rögzítik az üzemeltetés eljárásait, felelősségi köröket, minőségbiztosítási rendszert célszerű bevezetni.
- Az esetlegesen bekövetkező vízminőségi káresemények esetében a vízgyógyászati rendszerben célszerű, ha lehetőség van vízkormányzással lokalizálni a szennyeződést (véstározással), a lokalizáció és kárelhárítás módjait az üzemeltetési utasításokban rögzítettek figyelembe vételével a kárelhárítási terv rögzíti.
- A tevékenységből eredő környezetterhelések nyomon követésére monitoring rendszert kell kialakítani:
 - a hulladéklerakó és a csurgalékvíz-medencék aljzatszigetelésének geofizikai jelző-ellenőrző rendszere,
 - talajvíz monitoring kutak,
 - meteorológiai érzékelő állomás a lerakó éves vízháztartási mérlegének elkészítéséhez,
 - a csurgalékvíz mennyiségének rendszeres mérése, összetétel-vizsgálata,
 - talajmonitoring a védelmi övezeten belül,
 - szükség esetén hulladék-vizsgálat,
 - biológiai monitoring működtetése.

A telephely üzemeltetése megfelelő hulladékkezelési engedély birtokában, a hatályos jogszabályok előírásai szerint végezhető.

Gazdasági hatások:

- Haszonanyagok visszaforgatása a nyersanyag-áramba
- Energiatermelés
- A hatásterületen található ingatlanok értékének növekedése
- A beruházás során munkahelyteremtés

Társadalmi hatások:

- Társadalmi kohézió növekedése
- Lakosság elégedettségének növekedése
- Lakosság környezettudatos gondolkodásának fejlődése
- A települések vonzerejének megtartása, növelése
- Esélyegyenlőség biztosítása

Környezeti hatások:

- Környezet állapotának javulása
- A táj esztétikai hatásának növekedése
- A környezeti elemek veszélyeztetésének megszűnése
- Levegőszennyezés csökkenése

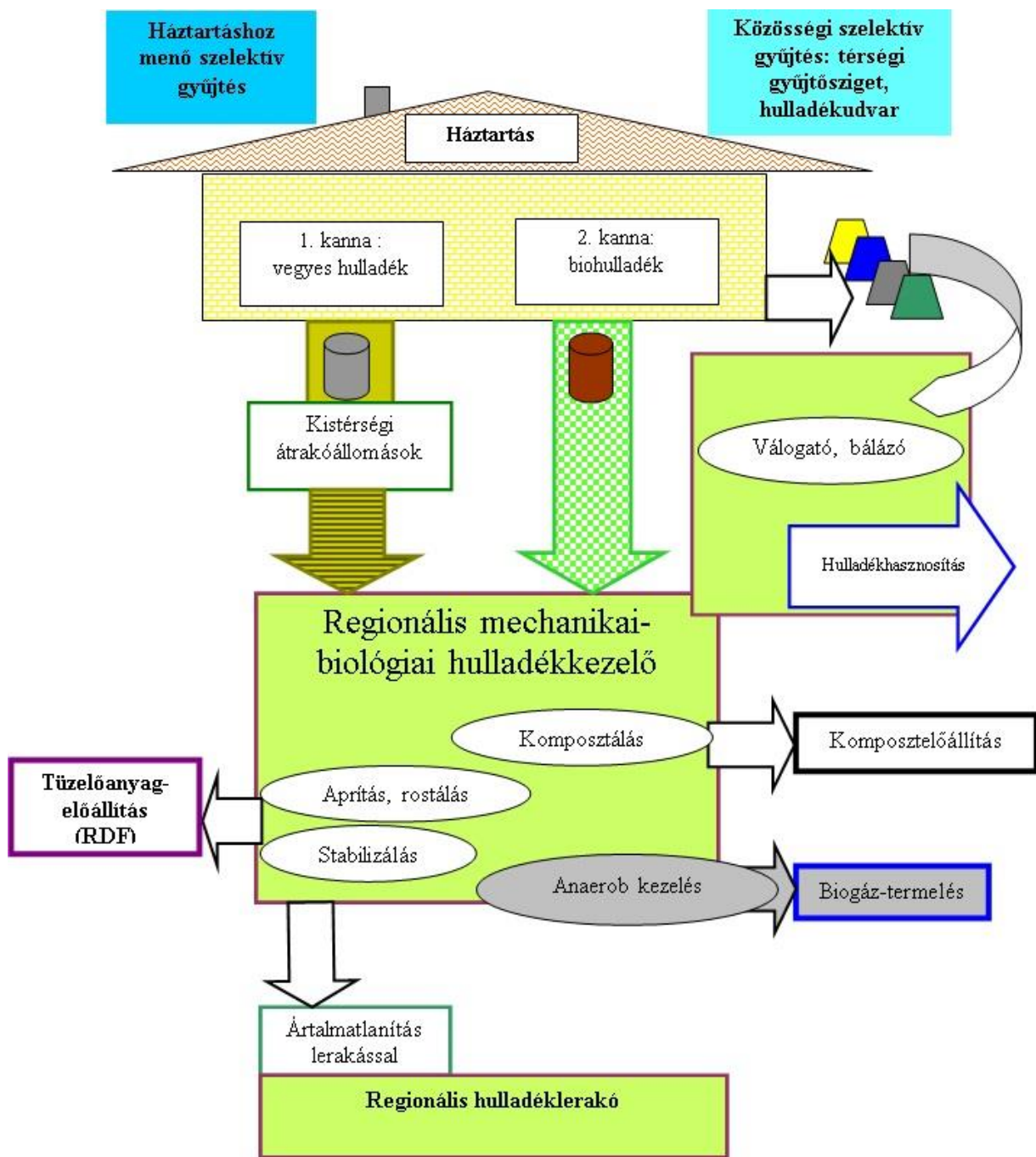
A hulladékgyógyászati térségi fejlesztése keretében a következő célokat kell elérni:

- A hulladékképződés megelőzése érdekében az újrahasználatot elősegítő bázisokat szükséges létesíteni és a házi komposztálás ajánlására eszközöket és oktatóprogramokat biztosítani a lakosság részére.
- A gyártói felelősségi körbe tartozó hulladékká vált csomagolóanyagok hasznosításának a jelenleginél jelentősebb arányú begyűjtéséhez a szelektív gyűjtés térségi infrastruktúráját kell kialakítani úgy, hogy az a működési terület minden településén elérhető legyen.
- A közszolgáltatás folyamatos fenntartása és a szolgáltatási színvonal emelése érdekében új, környezetbiztonságos hulladéklerakót kell építeni és ezzel párhuzamosan a szervesanyag-tartalmú, szelektíven gyűjthető hulladékáramokra differenciált és rugalmasan kombinálható mechanikai és biológiai hulladékkezelő eljárásokat kell bevezetni és alkalmazni.

Egy, a célkitűzéseknek és a működési terület földrajzi, településszerkezeti és környezeti adottságainak legjobban megfelelő önkormányzati hulladékgazdálkodási rendszer elemeinek jellemzőit a **28. táblázat** összegzi. A háztartási vegyes hulladék begyűjtési és kezelési eljárásait a **72. ábra** mutatja be.

28. táblázat: Egy önkormányzati hulladékgazdálkodási rendszer elemeinek jellemzői

Célkitűzés	Módszer, technika, technológia	Eszközök
1. Hulladékképződés megelőzése	Termék-újrahasználat és házi komposztálás ajánlása lakossági körben, PR, oktatóprogramok	Térségi újrahasználati bázis kialakítása, fenntartása Központi oktatóbázis létesítése és működtetése Házi komposztálás segítése, 500 komposztláda beszerzése
2. A gyártói felelősségi körbe tartozó hulladékok térségi begyűjtési feltételeinek biztosítása	Gyűjtési technika: közösségi szelektív gyűjtés térségi kiterjesztéssel Logisztika: szelektív, differenciált, körzetes Hulladékkezelés: utóválogatás, bálázás Átadás: hasznosítónak	Gyűjtőszigetek létesítése (edényzettel), működtetése Hulladékudvarok létesítése (edényzettel), működtetése Speciális hulladékgyűjtő járművek beszerzése, üzemeltetése Regionális válogatómű, bálázó létesítése, üzemeltetése
3. Biológiai hulladékkezelés bevezetése, a hulladék szervesanyag- és energia tartalmának hasznosításával (TSZH szervesanyag eltérítése lerakótól)	Gyűjtési technika: házhoz menő, kétkannás szelektív, lakossági osztályozással Logisztika: szelektív direkt és kistérségi körzetes, ügyfélazonosító rendszerrel Hulladékkezelés: differenciált biológiai Biohulladék-komposztálás; a komposzt felhasználása városgazdálkodásban, rekultivációban Osztályozott vegyes háztartási hulladék mechanikai és biológiai kezelése (aprítás, stabilizálás, vasleválasztás, tüzelőanyag kinyerése), bálázása, energiatartalmának hasznosítása vagy ártalmatlanítása hőhasznosító műben.	Lakossági gyűjtő edényzet beszerzése (ügyfélazonosítóval) Speciális hulladékgyűjtő járművek beszerzése, üzemeltetése Kistérségi átrakóállomások létesítése Regionális komposztálómű létesítése, üzemeltetése Regionális mechanikai-biológiai kezelőmű létesítése, üzemeltetése
4. Környezetbiztonságos hulladékártalmatlanítás lerakással	Műszaki védelem, csurgalékvíz-gyűjtés, depóniagáz-gyűjtés és -kezelés, környezeti monitoring-létesítés, -fenntartás.	Regionális hulladéklerakó építése.



72. ábra: A háztartási vegyes hulladék differenciált gyűjtési és kezelési eljárásai

DÍJPOLITIKA

Az új központi szabályozás szerint a díjak fedezetet kell, hogy nyújtsanak:

- a hatékonyan működő közszolgáltató folyamatos ráfordításaira, azaz a műszakilag megalapozott, a szolgáltatási feladatok ellátását biztosító költségek fedezetére,
- a működéshez szükséges, azaz a gazdálkodás biztonságát garantáló nyereségre,
- a pótlási, rekonstrukciós munkálatokra,
- indokolt fejlesztésekre és a befektetések megtérülésére.

A települési hulladékkezelési közszolgáltatási díj megállapítására a döntéshozás lehetősége és felelőssége az önkormányzatoké.

A díjstruktúrával a díjak nagyságával szembeni elvárások többek között:

- a díjmeghatározás legyen stabil, az érintettek számára áttekinthető, egyértelmű, objektív tényezők által meghatározott,
- a díjbevétel nyújtson fedezetet az indokolt működési (üzemeltetési és fenntartási) költségekre, ráfordításokra.
- a díjbevétel nyújtson fedezetet a megfelelő szolgáltatási színvonal biztosításához szükséges pótlások és rekonstrukciók forrásainak megteremtésére,
- a díj nagysága fedezetet kell, hogy nyújtson az önkormányzat döntésétől függően a fejlesztések egy részének vagy egészének megvalósítására,
- a díjmechanizmus ösztönözzön a hatékonyság javítására és egyben kezelje a hatékonyságjavulás hatásait is.

A hulladékgazdálkodási rendszerek változó és állandó üzemelési költségei a hulladékáramok alapján csoportosítva az alábbiak lehetnek:

- Megelőzés és újra-használat költségei
 - Haszonanyagok szelektív gyűjtése, szállítása, kezelése (válogatás).
 - Biohulladékok gyűjtése, szállítása, kezelése (komposztálás).
 - Vegyes hulladék gyűjtése, szállítása, kezelése (MBE), maradék lerakása.

A társulások által folytatott díjpolitika általában figyelembe veszi a szennyező fizet elv alkalmazását, illetve működési költségek megtérülését, de törekszik arra, hogy a fizetendő díj összhangban legyen az elszállított hulladék mennyiséggel. Ennek érdekében a biohulladék elszállításával kapcsolatban szezonális díjat alakítanak ki.

A regionális rendszerek bevételei az alábbi tételekből tevődnek össze:

- Elsődleges bevételi források
 - Bevétel hulladékgyűjtésből (vegyes, bio- és maradék hulladék).
 - Bevétel másodlagos nyersanyagok – papír, üveg, műanyag és fém – értékesítéséből (árbevétel és termékdíj).
- Másodlagos bevételi források
 - Bevétel komposzt értékesítéséből.

A projekt egyéb nem számszerűsített gazdasági hasznai:

A komposztfelhasználás csökkenti a környezetszennyezést, javítja az organikus mezőgazdaság lehetőségeit a tápanyag-utánpótlás területén.

Externális költségek

Az externális költségek számbavételekor feltételezhetjük, hogy a megépítendő létesítmények az elérhető legjobb technológiával (BAT) épülnek meg, figyelembe véve a környezetvédelmi előírásokat.

A levegő, víz és talajszennyezéssel összefüggő externális költségek számszerűsítésekor a „hatásút-módszer” (impact pathway method) módszer alapján megbecsülhetők az egyes receptorokkal (emberek, fauna, flóra, épületek, amelyeket kapcsolatba kerülnek a szennyezőanyagokkal) kapcsolatos károk (halálozás, megbetegedések, alacsonyabb mezőgazdasági termés, erdők pusztulása, épületekben okozott károk, éghajlatváltozás, ökoszisztémát ért kedvezőtlen hatások), és azok időbeni lefolyása.

A hulladékkezelő telep létesítése kapcsán az alábbi externális költségekre és hasznokra érdemes helyezni a hangsúlyt:

- klímaváltozást okozó „üvegház” gázok externális költségei,
- hagyományos légszennyező anyagok, és levegőbe került toxikus anyagok externális költsége (pl. egészségre gyakorolt hatás),
- szennyezőanyagok talajba és vízbe történő szivárgásának externális költsége,
- a létesítmények által kiváltott kellemetlen hatás (látvány, zaj, szag, stb.) externális költsége,
- energia-visszanyerés externális haszna.

A lerakás során externális költségekkel járó outputok:

- hulladéklerakón keletkező gázok
- szennyezőanyag-szivárgás talajba és vízbe
- területhasználat
- energia-visszanyerés (a hagyományos energia-előállítás során keletkező környezeti károk elkerülése)
- a lerakó üzemeltetésével járó kellemetlenségek (zaj, por, szag, vizuális szennyezés)

A KOMPLEX HULLADÉKGAZDÁLKODÁSI RENDSZER HASZNAI

A komplex hulladékgazdálkodási rendszerek előnye, hogy a lerakandó hulladékmennyiség csökkentésével, az egyes hulladékfajták elkülönítésével (szelektív kezelésével) igen hatékony hulladékhasznosítás érhető el, számottevő hulladékmennyiség a kezelés (pl. komposztálás) után visszaforgatható a természetes körfolyamatba, és fokozatosan elérhető, hogy a hulladék jelentős része megszűnik hulladék lenni.

A rendszerek jelentősége elsősorban a környezeti hatásokban várható, mivel a számtalan helyi lerakó bezárásával csökken a felszín alatti vízkészletek szennyezettsége, szennyezésének kockázata, valamint jelentős mértékben csökken a lerakott hulladék mennyisége. Jelentős mértékben javul az érintett területek környezeti állapota, ezáltal bővül a térségek gazdasági potenciálja is.

Ennek eredményeként:

- teljes körűen megvalósul a szelektív hulladékgyűjtés;
- nagymértékben lecsökken a lerakóban elhelyezett települési hulladék szervesanyag-tartalma;
- csökken a lerakó terület- és térfogatigénye, csökken a környezetterhelés;
- a szelektív gyűjtéssel a veszélyes hulladék kikerül a körből;
- felszámolásra kerülnek a jelenlegi, nem megfelelően működő lerakók.

Az beruházás megvalósításával elérhető további eredmények:

- egy korszerű műszaki védelemmel ellátott hulladéklerakó működése a nagyszámú, védelem nélküli lerakó helyett;
- a hulladékgyűjtés és –szállítás optimalizálva lett;
- szelektív hulladékgyűjtés került kialakításra;
- a régi, környezeti kockázatot jelentő lerakók felszámolásra kerülnek/kerültek.

A bevezetett intézkedések olyan léptékűek, hogy jelentős hatást gyakorolnak a környezetvédelmi problémák megoldására a projekt teljes területén.

Összességében hatással van a komplex vidékfejlesztésre, a helyi társadalom kulturált, természetbarát, a jövő számára alapvetően fontos, a fenntartható fejlődéshez való viszonyának alakítására.

Felhasznált irodalom

A korszerű regionális hulladéklerakók létesítése és üzemeltetése. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Hulladékgazdálkodási és Technológiai Főosztály. Hulladékgazdálkodási Szakmai Füzetek 8. Készítette a Köztisztasági Egyesülés munkacsoportja Budapest, 2003. május

Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-ig. (OHT-II.). 2009

A települési szilárd hulladékgazdálkodás fejlesztési stratégiája 2007–2016. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, 2006.

Szakmai ajánlat. Győri Kommunális Szolgáltató Kft. 2009

Győr Nagytérségi Hulladékgazdálkodási Önkormányzati Társulás működési területén települési szilárdhulladék-gazdálkodási rendszer kialakítása. Részletes Megvalósíthatósági Tanulmány. KEOP-1.1.1. / 2F. Készítette: Győr Nagytérségi Hulladékgazdálkodási Önkormányzati Társulás. Projekt Megvalósító Szervezete. az NFÜ hivatalos honlapján 2007. november 6-án közzétett kiírás és útmutatók szerint és az általános sablon felhasználásával

Győr, Moson és Sopron hulladékgazdálkodási rendszer projektcsoport. Beruházás előkészítő tanulmány. Technoplus Környezetvédelmi Technológiai Fejlesztő Kft., Budapest, 2004.

Győr-Mosonmagyaróvár-Sopron hulladékgazdálkodási rendszer. Támogatási kérelem. Környezetvédelem. Megvalósíthatósági tanulmány.

A települési hulladék kezelésének jellemző költségviszonyai, a szolgáltatás gazdasági összefüggései a közszolgáltatók szemszögéből. Köztisztasági egyesülés. 2010. március

Jogszabályok

A hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény

213/2001. (XI. 14.) Korm. rendelet a települési hulladékokkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről

96/2009. (XII. 9.) OGY határozat a 2009-2014 közötti időszakra szóló Nemzeti Környezetvédelmi Programról

Internetes források

<http://www.szelektiven.hu/index.php?modul=cikkek&file=content&id=21>

http://hulladekkor.hu/hu/hulladekok_a_kiralyi_regioban/regionalis_hulladekgazdalkodasi_rendszerek

<http://www.hulladek.gyor.hu/index.php?p=page@content&pid=6>

http://www.kvvm.hu/szakmai/hulladekgazd/telhullgazd/feladatok_telszilhullkez.html

http://www.mdhp.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=22:oht-rht-hht

http://www.pcpzoldenergia.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=3&lang=hu

5. A regionális hulladékgazdálkodási rendszerek hulladékgyűjtési és –szállítási módozatai (Kovács Barnabás*, - Buruzs Adrienn)**

GYŐRSZOL, Győr; Széchenyi István Egyetem, Győr

5.1. Komplex hulladékgazdálkodási rendszerek megvalósítása

A komplex hulladékgazdálkodási rendszer kezeli a lakosságnál képződő szilárd halmazállapotú kommunális hulladékok minden frakcióját, és megoldást nyújt az önkormányzatokra háruló e témakörbe tartozó kötelezettségekre.

A rendszer létrejötte a hulladékáram korszerűsítését négy fő területre bontva valósítja meg:

- a gyűjtési rendszer korszerűsítése;
- a szállítási rendszer korszerűsítése;
- a hulladékártalmatlanítás korszerűsítése és
- a régió tájsebeinek felszámolása.

A komplex rendszer alapvető célja, hogy minimálisra csökkentse a lakosságnál képződött hulladékok hulladéklerakóban elhelyezendő mennyiségét, a hasznosítás különböző elemeinek bevonásával.

5.1.1. A gyűjtés, begyűjtés szabályai

A gyűjtés a hulladék tulajdonosa által végzett művelet, ami a begyűjtőnek történő átadásig tart. A begyűjtés során a hulladékkezelő összeszedi a hulladékot a termelőktől és elszállítja a begyűjtőhelyre. Lehetséges olyan megoldás is, hogy a hulladék termelői, birtokosai viszik a hulladékot a begyűjtőhelyre, gyűjtőpontokra, ahol a kezelő fogadja azt.

A hulladékgazdálkodási törvény értelmében a hulladék gyűjtése, begyűjtése hulladékkezelésnek minősül, és engedélyköteles tevékenység. Az ehhez szükséges engedély illetve az engedélykérelem tartalmi követelményeit a 213/2001. (XI. 14.) Korm. rendelet rögzíti.

A hulladékkezelő az általa üzemeltetett begyűjtőhelyet kialakíthatja úgy, hogy ott a hulladékot csak átmenetileg tárolják, amíg a gazdaságos szállításhoz szükséges mennyiség összegyűlik, majd a hulladékot továbbszállítják a kezelést végző telepre. Lehetőség van arra is, hogy a begyűjtőhelyet egyben az előkezelésre is alkalmassá teszik, illetőleg úgy szerelik fel, hogy a hulladék további kezeléséhez, hasznosításához szükséges előkészítés is elvégezhető legyen (ekkor a kezelésre műszakilag fel kell készíteni, ki kell alakítani és a szükséges engedélyeket be kell szerezni).

A begyűjtőhely megépülhet úgy, hogy önálló telephelyként ott csak a begyűjtés folyik, de megvalósítható az is, hogy adott telephelyen belül, annak részeként működik a begyűjtés. Az első esetre a települések belső területein kialakított hulladékgyűjtő udvar szolgál, míg a második esetben például az átrakóállomás céljait szolgáló telephely egy részét képezik ki a begyűjtés céljaira. Hogy melyik megoldást célszerű megvalósítani, azt a helyi adottságok határozzák meg. Sok tényező befolyásolja a döntést, leginkább a kezelő felszereltsége, az hogy a rendelkezésre álló telephely milyen övezetben található stb.

Szelektív hulladékgyűjtés esetén elsősorban a hulladék anyagában történő hasznosítása a cél, ezért a gyűjtés megszervezése során erre tekintettel kell a begyűjtés feltételeit megteremteni.

Az ilyen program beindítása előtt fel kell mérni azt, milyen mennyiségű hulladékra lehet számítani, milyen a legpraktikusabb edényméret és –forma erre a célra, hogyan lehet leginkább elérni a hulladékbirtokosok, ingatlantulajdonosok közreműködését. Számításba kell venni azt is, hogy a begyűjtött hulladékot kell-e még valamilyen művelet során kezelni annak érdekében, hogy a további hasznosítás eredményes legyen. Előbbi ismeretek birtokában el kell dönteni, hogy a hulladék birtokosai számára melyek a legkedvezőbb feltételek a szolgáltatás igénybevételére, és ennek ismeretében házhoz menő begyűjtő-járatot, hulladékgyűjtő udvart, gyűjtőszigetet vagy ezek kombinációját kell kialakítani.

A hulladékkezelő elhatározását befolyásoló tényezők között azt is figyelembe kell venni, hogy a begyűjtést közszolgáltatásként látja-e el vagy vállalkozási alapon.

Hulladékgyűjtő udvar(ok) üzemeltetése esetén célszerű az udvaron a hasznosítható és veszélyes összetevők begyűjtésére is felkészülni, főleg akkor, ha egy településen csak egy gyűjtőudvar működik. Ha a település nagyságából következően több gyűjtőudvar is kialakításra kerül, elegendő csak kevesebb udvaron (esetleg egyen) a veszélyes összetevők fogadását megoldani. A csak hulladékgyűjtő udvarként működő telephelyen ártalmatlanítási műveleteket nem szabad végezni. Ezt a szabályt főleg a lakosság bizalmatlanságának feloldása érdekében volt szükséges bevezetni.

A hulladékgyűjtő szigeten csak a települési szilárd hulladék hasznosítható összetevőinek begyűjtése történhet, mivel a gyűjtősziget őrzés nélküli létesítmény, ahol a szükséges biztonsági intézkedések (pl. a gyűjtőedények bedobó-nyílásainak speciális kialakítása) ellenére sem garantálható az illetéktelen hozzáférés, ezért a veszélyes hulladékok gyűjtését eleve nem szabad megszervezni. Gyűjtőszigetes szelektív gyűjtés bevezetése esetén a veszélyes összetevők begyűjtését begyűjtő-járatokkal célszerű megoldani. A gyűjtőszigeten összegyűlt hulladék a lakossági szelektálás ellenére utóválogatást igényel a feldolgozó iparnak történő átadás előtt.

Elkülönített hulladékgyűjtés bevezetése esetén a hulladékkezelőnek kell gondoskodnia arról, hogy a begyűjtést szolgáló gyűjtőedény jól megkülönböztethető legyen az egyéb gyűjtőedényektől. Ezt jelöléssel (piktogrammal, más színnel, felirattal stb.) vagy speciális kialakítással (más alakú, színű edény) kell biztosítani.

Mivel a hulladékgyűjtő udvar, illetve gyűjtősziget használatáért a közszolgáltatást igénybe vevő ingatlantulajdonos számára a közszolgáltatás díján felül külön díjazás nem számítható fel, a hulladékkezelőnek vagy a begyűlt hulladék értékesítéséből származó bevételeiből kell fenntartania a rendszert, vagy ha a közszolgáltatás keretében történik a szelektív gyűjtés, akkor a hulladékkezelés díját úgy kell megállapítani, hogy az fedezetet nyújtson a szelektív gyűjtés következtében megnövekvő költségek és a hulladék értékesítéséből származó bevétel közötti különbségre.

Az egészségügyi miniszter (16/2002. (IV. 10.) EüM rendelet) rendeletben részlegesen szabályozta a hulladékbegyűjtés gyakoriságát, amikor a bomló szerves anyagot tartalmazó hulladékra vonatkozóan meghatározta, hogy azt nagyvárosias és kisvárosias lakóterületen hetente legalább kétszer, egyéb lakóterületen hetente legalább egyszer, illetőleg szükség szerint nagyobb gyakorisággal el kell szállítani. (A nagyvárosias és kisvárosias lakóterület fogalmát az országos településrendezési és építési követelményekről szóló előírásoknak megfelelően használja.) Ez az előírás egyben azt is jelenti, hogy ahol nem működik szelektív hulladékgyűjtés a biohulladékra, ott a fenti előírás szerint kell eljárni.

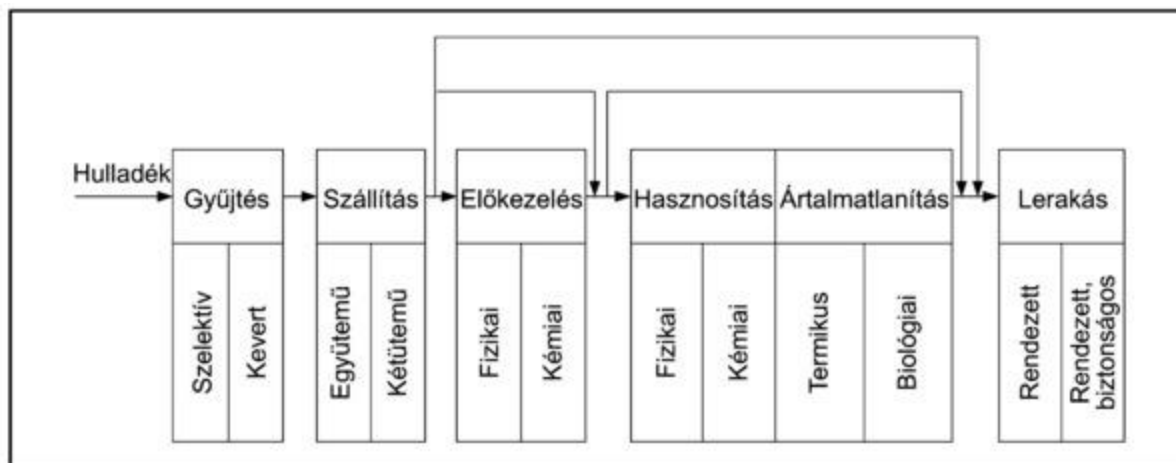
A települési szilárd hulladék kezelését biztosító létesítmények kialakításának és üzemeltetésének részletes szabályait külön rendelet - az 5/2002. (X. 29.) KvVM rendelet – tartalmazza.

A házhoz menő begyűjtő-járatot veszélyes hulladék begyűjtésére is alkalmazzák, amely megoldás esetén szakképzett személyzetről is gondoskodni kell a járaton. A járat működtetése feltételezi azt is, hogy a veszélyes hulladék tárolására alkalmas telephely is rendelkezésre áll, ahol a járatnap végén (esetleg naponta több alkalommal) az összegyűjtött hulladékot elhelyezik. A gyűjtőjárművön és a telephelyen alkalmazott gyűjtőedényeknek egymáshoz és a tervezett hasznosítási célhoz illeszkedniük kell.

A települési szilárd hulladékokkal kapcsolatos önkormányzati feladatok közé tartozik a kötelező helyi közszolgáltatás körébe tartozó települési szilárd hulladék rendszeres összegyűjtésének és ártalmatlanításának megszervezése, valamint a kötelező közszolgáltatás rendjének rendeletben történő meghatározása.

5.1.2. A hulladékkezelés technológiai rendszere

A hulladékkezelés önállóan is alkalmazható eljárásokból álló, összehangolt technológiai rendszer, amely magában foglalja a hulladék gyűjtését, átmeneti tárolását, esetleges előkezelését, valamint szállítását, továbbá hasznosítását, ártalmatlanítását és bizonyos ártalmatlanító létesítmények utólagos gondozását. Az egyes eljárások kapcsolatát szemlélteti az **73. ábra**.



73. ábra: A hulladékkezelési technológiai rendszer

A hulladékgyűjtés a hulladék összeszedésére, rövid ideig tartó tárolására irányul a keletkezés helyén. Célja a további kezelési műveletekhez, a hulladék környezetet nem szennyező készletezése.

A megfelelő kezelhetőség érdekében – könnyebb ártalmatlaníthatóság, hatékonyabb hasznosíthatóság, nagyobb környezetbiztonság – sokszor elengedhetetlen a hulladék fajtánkénti, anyagféleségek szerint elkülönített – szelektív – gyűjtése.

Az átmeneti tárolás a hulladék meghatározott időre szóló, környezetszennyezést megakadályozó módon történő raktározása, a megfelelő hasznosításig vagy ártalmatlanításig.

A hulladékszállítás az összegyűjtött hulladékok mozgatása a hulladékkezelési helyek között a célnak megfelelően kialakított járművekkel, helyhez kötött eszközökkel, ill. zárt rendszerben áramló közeggel.

A hulladékszállítás során alkalmazkodni kell a hulladék keletkezési üteméhez, anyagi tulajdonságaihoz, a keletkezési hely és a kezelő helyek környezetéhez, jellemzőihez valamint a gyűjtő alrendszer tárolókapacitásához. A szervezett hulladékszállításon belül megkülönböztetünk kommunális (települési), termelési és veszélyes hulladék szállítást.

5.1.3. A hulladékok gyűjtése, átmeneti tárolása

A hulladékkezelés technológiai folyamatának első fázisa a hulladéknak a keletkezés üteméhez igazodó, szervezett, környezetkímélő összegyűjtése és készletezése az elszállításig. Ennek során alkalmazkodni kell a hulladék keletkezésének üteméhez, anyagi tulajdonságaihoz, a keletkezési és kezelő hely környezetéhez, jellemzőihez, valamint a gyűjtési módokhoz, azok változataihoz és a gyűjtési kapacitáshoz.

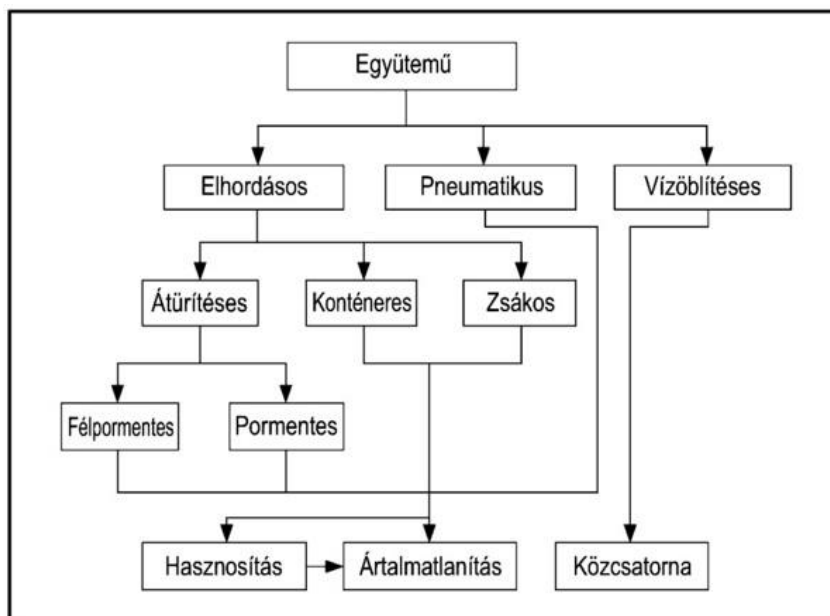
A hulladékok gyűjtése és szállítása egymással szoros kölcsönhatásban van, egységes rendszert képez. A hulladékok gyűjtésére- szállítására különböző módszerek alakultak ki, attól függően, hogy:

- milyenek a hulladék tulajdonságai,
- a keletkezési helyről milyen mennyiséget, milyen gyakran kell elszállítani,
- melyek a gyűjtési és szállítási feladat megvalósítása iránti közegészségügyi és környezetvédelmi követelmények,
- milyen gazdaságossági szempontok merülnek fel.

A hulladék gyűjtésének és szállításának összehangolt tárolási és anyagmozgatási folyamata a hulladékgyűjtési rendszer, amely lehet együtemű és kétütemű.

AZ EGYÜTEMŰ HULLADÉKGYŪJTÉS

Az együtemű hulladékgyűjtés: a hulladék átrakás nélküli mozgatása ugyanazzal a szállító célgéppel, a gyűjtésből a hasznosítást vagy ártalmatlanítást végző létesítményig (74. ábra). Az együtemű szállítás maximum 30 km-ig tekinthető gazdaságosnak.



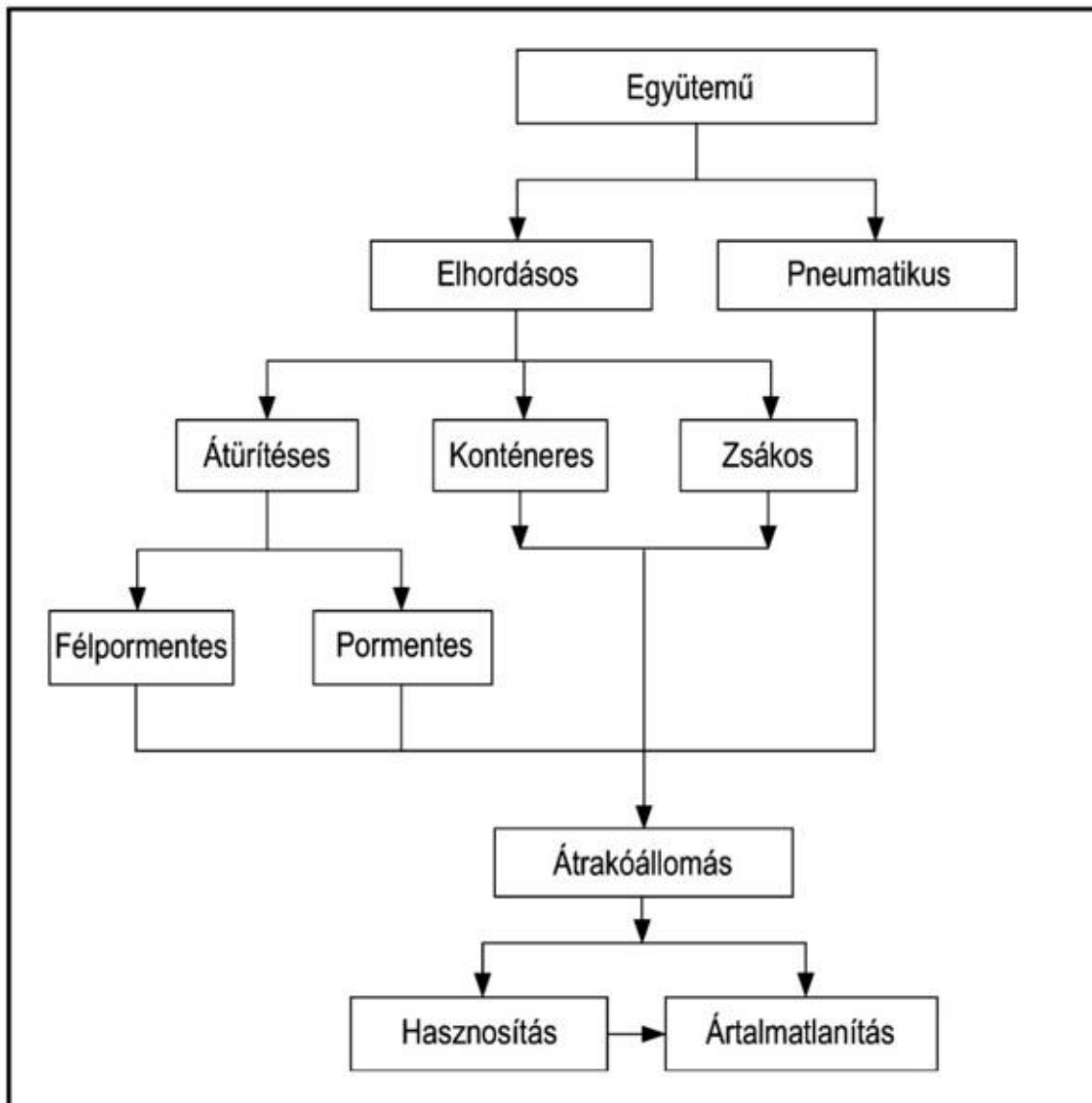
74. ábra: Együtemű gyűjtési rendszer

A KÉTÜTEMŰ GYŪJTÉSI-SZÁLLÍTÁSI RENDSZER

Az átrakó-állomások az összegyűjtött vegyes hulladék átrakására szolgálnak. A szolgáltatási terület földrajzi kiterjedése révén, a távolságok miatt átrakóállomásokkal az anyag minél nagyobb mennyiségű és tömörségű szállítását kell megvalósítani a fajlagos szállítási költségek

csökkentése érdekében. Az átrakó-állomás alkalmas különféle gyűjtőjárművekkel összeszedett vegyes hulladék átrakására zárt, görgős rendszerű tartályokba. További felhasználási lehetőség a szelektív szigetekről begyűjtött papírfrakció átrakóállomáson keresztül történő szállítása a központi hulladékkezelő műbe, illetve direktben a hasznosítóhoz.

A kétütemű hulladékgyűjtés a hulladék mozgatását a hasznosítást vagy ártalmatlanítást végző létesítményig, átrakóállomáson való átrakását (esetleg előkezelés közbeiktatásával) jelenti. Az átrakás tömörítetlen vagy tömörített módon történhet. A kétütemű hulladékgyűjtés lényegében a szállítási távolságok jelentős növekedése miatt – regionális rendszerek kiépítése – alakult ki. A kétütemű szállítást leginkább körzeti, regionális kezelőtelepekhez kapcsoltan alkalmazzák (75. ábra) a teljesítmények fokozása és a költségek csökkentése érdekében.



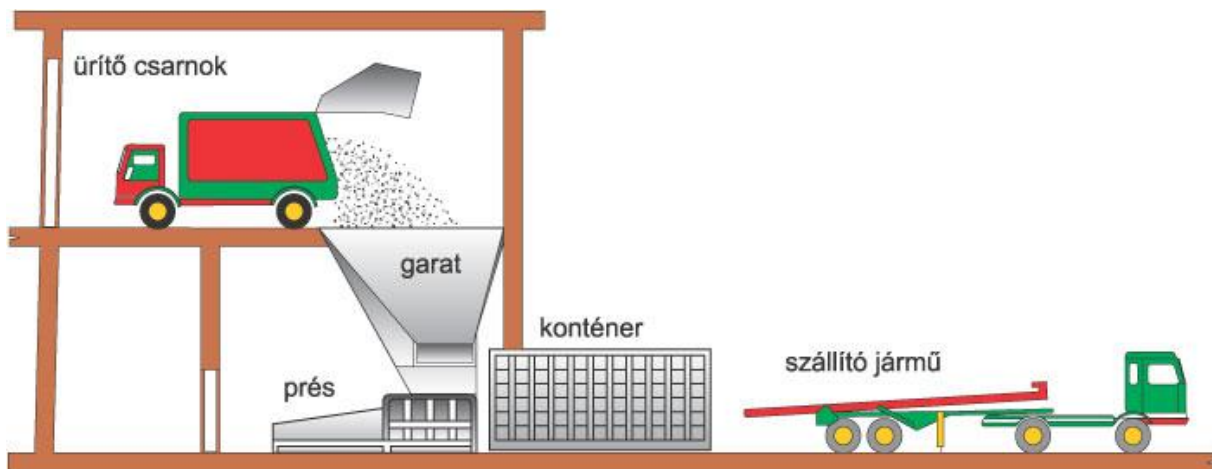
75. ábra: Kétütemű gyűjtési rendszer

A hulladékátrakó részei:

- a tömörítő szerkezet,
- a balesetek elkerülése érdekében védőkorláttal ellátott felhajtórampa és

- a 24 m³ űrtartalmú szállító konténerek mozgatását, rakodását biztosító térburkolat, valamint a megközelíthető útpálya.

A **76. ábra** szemlélteti az átrakóállomás elemeit.



76. ábra: Az átrakóállomás vázlata

A berendezés lényege a garattal ellátott tömörítő szerkezet, amelyet villanymotor működtet. A tömörítőhöz tartozó garathoz csatlakozik a lekapcsolható szállító konténer, amelyben a hulladék tömörítése történik. A szállítókonténer a tömörítő berendezés felhajtórámpájával párhuzamos sínpályán mozgathatóan kapcsolódik a tömörítőhöz.

A garathoz felhajtó rámpa vezet. A hulladékot szállító konténer vagy gyűjtőkocsi a felhajtó rámpáról ürít a garatba. A tömörítő szerkezet a beöntött hulladékot nagy nyomással a földszintre helyezett és a szerkezethez kapcsolt 24 m³-es szállítókonténerbe préseli. A tömörítés aránya megközelítően 1:5. A szállítókonténert telítés után lekapcsolják, zárják, majd elszállítják a lerakóhelyre. A rendszer teljesen zárt, csak a beöntő garat nyitott.

A gyűjtőjárművek munkarendjéből és a technológiából adódóan a létesítmény általában szakaszos üzemelésű, így állandó személyzet jelenléte nem szükséges. A be- és kiszállítások automatizálásával a beléptető rendszert a mérlegeléstől a szükséges adminisztrációig a járművek személyzete végzi. A beszállítás során, a mérlegelést követően a felhajtórámpán keresztül az ürítőgarathoz tolatnak a járművek. Az ürítést követően a személyzet elvégzi a konténerbe tömörítést, és igény szerint a gép környezetében a takarítást, majd mérlegelést követően az állomást alaphelyzetbe állítja.

Az átrakóállomásokon a helyi viszonyok, az átrakással szembeni különös követelmények és a finanszírozási források figyelembe vételével alakítják ki az építészeti és a műszaki megoldásokat. Az átrakóállomások – és így a kétütemű hulladékszállítás – jelentősége nő a regionális kezelő rendszerek kiépítésével, az azokhoz kapcsolódó gazdaságosabb nagytávolságú szállítás működtetésével.

A szállítási módszer megválasztása:

A települési hulladékok szállításának szervezése a feladat végrehajtása iránt támasztott sajátos igények miatt jelentősen különbözik a szokásos szállítási feladatoktól. Begyakorlott személyzetet, megfelelő szállító járművekkel jól ellátott, megszervezett, tervszerűen működő szervezetet igényel. A szervezési munka fontos része a szükséges alapinformációk rendelkezésre állása. Ezek:

- a keletkező hulladék fontosabb jellemzői,
- a gyűjtőhelyek jellegzetességei (gyűjtési mód, megközelítési lehetőségek stb.),

- a szállítási útvonalak adatai (közlekedési-forgalmi viszonyok, kiépítettség, szállítási távolság stb.),

Az alapinformációk birtokában meghatározhatók:

- a hulladékszállítási kapacitások, a célgépek száma és típusa,
- a gyűjtőtartályok száma és kialakítása,
- a gyűjtőkörzetek jellemzői (gyűjtési időszükséglet, fordulódő stb.).

Az együtemű szállításszervezésnél a hulladékgyűjtő célgép a kialakított és előre meghatározott járatleírásban rögzített, megtervezett útvonalakon járja be a hulladék-keletkezési helyeket. A célgép gyűjtőtartályának megtelését követően felkeresi a rendezett lerakót, égetőt leürítés céljából. A szállítási feladat ezután ismétlődik. A munka szervezésénél alapvető szempont, hogy a kijelölt feladat – a gyűjtési és a szállítási időszükségletet is figyelembe véve – a műszakidő alatt végrehajtható legyen.

Alapfeltétel, hogy a szükséges és elégséges létszám és üzemképes technikai eszköz rendelkezésre álljon. Az együtemű szállítás legérzékenyebb paramétere a szállítási távolság, mivel annak növekedése növeli a szállítási időszükségletet.

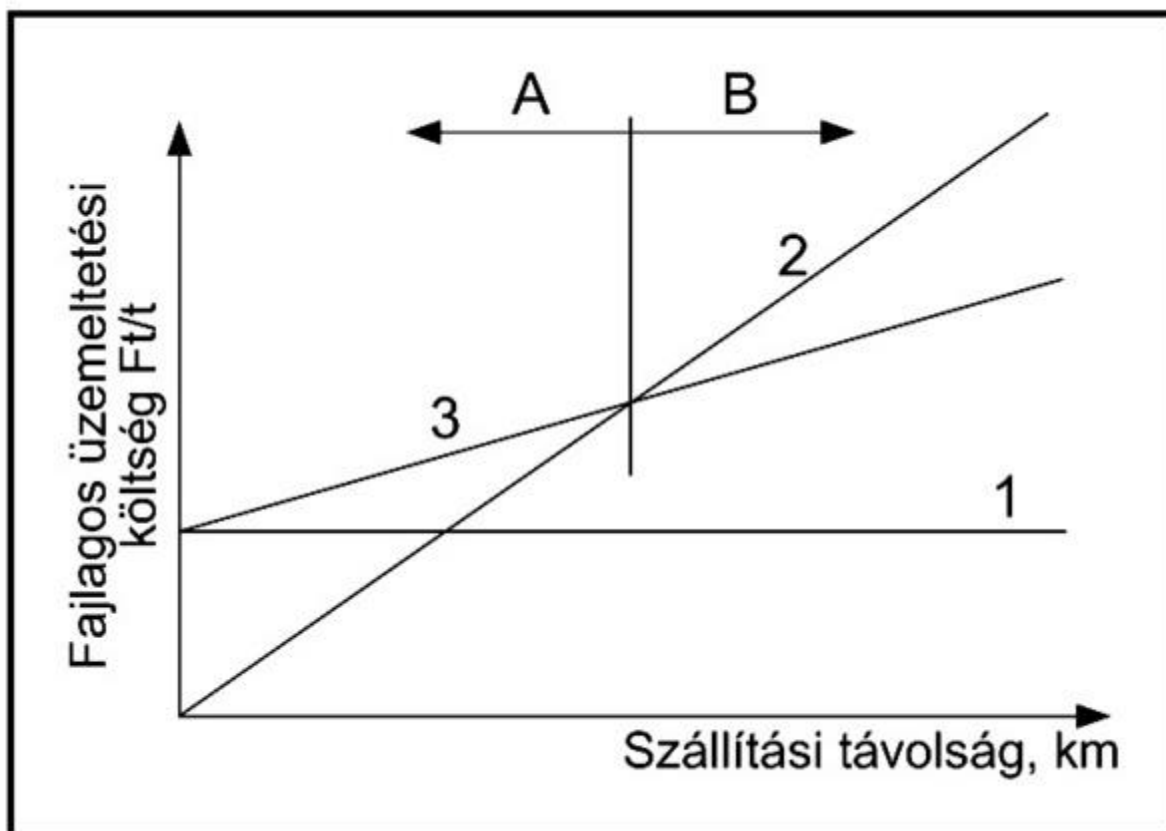
A kétütemű szállításszervezésnél a hulladékártalmatlanító helyre való szállítási távolságok növekedése teszi szükségessé a gyűjtési és szállítási folyamat időbeli és térbeli szétválasztását. A szállító járművek műszakidőn belül teljesíthető fordulóinak száma ugyanis jelentősen csökken, nő a „haszontalan” szállítási idő a „hasznos” gyűjtési idő terhére.

A kétütemű szállítás bevezetését – átrakóállomások létesítésének szükségességét – különböző műszaki, szervezési és gazdaságossági tényezők, valamint a helyi adottságok döntenek el. **A 77. ábra** az egy- és kétütemű szállítás közötti gazdasági választás elvét tünteti fel.

Cél a szállítási teljesítmény növelése, ill. a szállítási feladat teljesítése. A kétütemű szállításnál a szervezési intézkedéseknek arra kell irányulniuk, hogy a ráhordás és az átrakás, ill. továbbszállítás összhangja meglegyen. Zavarok esetén, pl. nem ütemezett behordás vagy kis átrakási mennyiségek esetén romlik a szállítóeszköz kapacitásának kihasználása, növekednek a költségek.

A hulladékszállítási feladatoknál, a korszerű matematikai módszereket felhasználva, műszaki-gazdasági elemzést kell végezni a legjobb döntés érdekében. A szállítási távolságok és a szállítási körülmények, a hulladék jellemzői, a rendelkezésre álló kapacitások ismeretében tulajdonképpen anyagmozgatási feladatot kell optimalizálni, ehhez jól alkalmazhatók a szállítási probléma megoldási és a körutazási-járatszerkesztési módszerei. Az operációkutatásból ismert ún. szállítási probléma megoldásánál a hulladék keletkezési helyétől az ártalmatlanítás helyéig való szállítás optimálási modellje lineáris programozással megoldható.

Az optimalás célja, hogy a szállítókapacitás maximális kihasználtsága mellett a szállítási költségek minimálisak legyenek. A hálótervezés, a körutazási-járatszerkesztési modell módszerének adaptációja pedig egy-egy gyűjtőkörzet optimális járatrendszerének kialakítását segíti elő.



77. ábra: Együtemű és kétütemű szállítási mód közötti választás elve

1. átrakóállomás üzemeltetési költsége; 2. együtemű szállítás üzemeltetési költsége; 3. kétütemű szállítás üzemeltetési költsége; A. az együtemű szállítás alkalmazása gazdaságosabb B. a kétütemű szállítás alkalmazása gazdaságosabb

5.1.4. Gyűjtési módszerek, eszközök

A hulladékgyűjtési rendszer megvalósításának módja a gyűjtött hulladéknak a gyűjtés helyéről, meghatározott technológiai rend szerinti elszállítása. Az együtemű hulladékgyűjtési rendszer módozatai: elhordásos, pneumatikus és vízöblítéses hulladékgyűjtés.

Az elhordásos hulladékgyűjtés: megfelelően kialakított eszközökben (tartályok, konténerek, szabványos gyűjtőedények) gyűjtött hulladéknak a gyűjtés helyéről alkalmas szállítóeszközökkel, meghatározott technológiai rend szerinti elszállítása.

Változatai: átürítéses, konténeres, zsákos hulladékgyűjtés.

Az átürítéses módszernek a gyakorlatban két megoldása van: a felpormentes és a pormentes. Az előbbinél a hulladékot a gyűjtőedényzetből nem zárt rendszerben ürítik a gyűjtő járműbe, ezért az ilyen nagy porképződéssel jár.

Az utóbbinál a gyűjtő jármű zárt, speciális felépítményű és az ehhez kapcsolódó szabványosított gépi beürítőszerkezettel rendelkezik. Gyűjtéskor a zárt, szabványos gyűjtőedény gépi emeléssel, zárt terű fedélnyitás közben, környezeti porképződés nélkül ürül a jármű zárt felépítményébe.

A pormentes változat felel meg a környezetvédelmi és közegészségügyi követelményeknek, mert:

- korszerű, gyors és higiénikus megoldás,
- por-és bűzmentes,
- a tömörítéssel szállítás gazdaságos.

Az átürítéssel gyűjtés-szállítás hátrányai:

- speciális célgép, edényzet, ürítőszerkezet szükséges hozzá,
- nagy a beruházási és üzemeltetési költségigénye,
- kiszolgáló személyzetet igényel.

A települési hulladékoknak világszerte legelterjedtebben alkalmazott gyűjtési-szállítási módszere.

A konténeres módszer gyűjtési munkafázisa során használatos, fémből vagy műanyagból készült különböző űrméretű edényzet (konténer) közvetlenül alkalmas a hulladék gyűjtésére, befogadására – majd azt szállítóeszközre helyezve – annak elszállítására. A szállítás folyamatában a megtelt konténert a gyűjtő jármű üresre cseréli (cserekonténeres gyűjtés-szállítás), majd a megtelt konténert magára emeli és elszállítja. A nyitott konténereket általában nem veszélyes termelési, a zárt konténereket pedig a települési hulladék gyűjtésére, szállítására alkalmazzák.

Ez utóbbiak – az ADR-előírásoknak megfelelő módosításokkal – szilárd veszélyes hulladékok szállítására is alkalmassá tehetők. A konténeres szállítás előnyei:

- különféle, darabos hulladék befogadására is alkalmas az edényzet,
- miután a tartály egyúttal maga a csomagolóanyag is, így az elszállítás higiénikus körülmények között történik,
- a rakodás, szállítás munkaerőigénye minimális.

Hátrányai:

- meg kell szervezni a konténerbe való gyűjtést,
- csak a tömörítő berendezéssel ellátott edényzet űrtartalma használható ki igazán,
- speciális szállítójármű kell, alkalmas felépítménnyel.

Ott célszerű alkalmazni, ahol nagyobb tömegű hulladék keletkezik és megoldható az összehordás, kevés a munkaerő és a feldolgozó-ártalmatlanító létesítmény közel van. A zsákos

módszer a települési szilárd hulladék papír vagy műanyag zsákokban való gyűjtése, amelyhez a hagyományos, egyszerű szállítóeszközök is alkalmazhatók.

Előnyei:

- olcsó, könnyen kezelhető gyűjtőeszköz,
- az elszállítás egyszerű, olcsó járművekkel megoldható,
- rugalmasan alkalmazkodik a változó hulladékmennyiséghez,
- a lezárható zsákok miatt por-és bűzmentes,
- a zsák újrafelhasználása elmarad, így nincs szükség kiegészítő munkafázisokra (tisztítás, fertőtlenítés),
- olyan helyen is alkalmazható, ahol nincs szervezett és rendszeres hulladékszállítási szolgáltatás.

Hátrányai:

- nem minden hulladék gyűjtésére alkalmas,
- a megtelt zsákokat rövid időn belül el kell szállítani,
- folyamatos zsákellátásról kell gondoskodni.

A zsákos települési hulladékgyűjtés és a szállítás elterjedőben van annak ellenére, hogy az összes szállítási térfogatnak a zsákos csak 2–3%-át éri el még a fejlett országokban is.

Elterjedésének oka, hogy:

- jól alkalmazható az elkülönített (szelektív) hulladékgyűjtésben és -szállításban,
- jó és gyors kiegészítő módszer a csúcsidőszaki hulladékkeletkezéseknél (pl. üdülőterületeken),
- megfelelően kielégíti a higiéniai követelményeket.

Az elhordásos hulladékgyűjtési módszereknél technológiai, egészségügyi és munkavédelmi szempontból egyaránt megfelelően kialakított típuseszközök használatosak. A szilárd települési hulladék mennyisége és a gyűjtőterület jellege (beépítettség, laksűrűség stb.) szerint különböző térfogatú típus-edényzetet alkalmaznak:

- kistartályok (35, 50, 60 l űrtartalommal),
- középtartályok (80, 110, 120, 240, 360 l űrtartalommal),
- kiskonténerek (660, 770, 1100 l űrtartalommal),
- konténerek (1,1 m³ feletti űrtartalommal).

A kiskonténerek és a konténerek guruló, üríthető és csererendszerben egyaránt használatosak.

Szerkezeti és formai kialakításuk szempontjai a következők:

- időálló, tömör, nedvességet fel nem szívó, sima felületű, mechanikai igénybevételekkel szemben és vegyi hatásoknak ellenálló, tűzbiztos anyagból készülnek,
- jól záródó, könnyen mozgatható fedelük legyen,
- könnyen és gyorsan üríthetők legyenek,
- könnyen kezelhetők és tisztántarthatók legyenek, csekély önsúllyal rendelkezzenek,
- beürítő-, ill. csererendszer esetén az emelőszerkezethez illeszkedve készüljenek.

A konténerek változatos kivitelben, zárt és nyitott megoldásokkal egyaránt forgalmazottak, 4-5 m³ űrtartalomtól több tíz m³-es befogadóképességig. A méreteknek kizárólag a szállítójármű felépítményi kialakítása és teherbírása szab határt.

A gazdaságosabb szállítás érdekében terjedtek el az ún. öntömörítős konténerek, amelyeknél a megerősített szerkezeti kialakítású konténerbe hidraulikus tömörítőegységet építenek, amely a laza hulladékot a konténerbe tömöríti. (a szokásos tömörítési arány 1:5–1:8 közötti, a gyűjtött hulladékféleségek függvényében).

Hasonló célt szolgálnak a nagy mennyiségben keletkező szilárd hulladék gyűjtésére az ún. telepített tömörítő berendezések is, amelyeket főként ipari és szolgáltató létesítményekben, bevásárló központokban, áruházakban előnyös telepíteni. Ezeknél a hidraulikus tömörítőegység fixen telepített és a gyűjtőkonténereket cserélik, majd elszállítják. Ezeknél a berendezéseknél használják a nagyméretű, több 10 m³ kapacitású zárt konténereket, amelyeknél az elérhető tömörítési arány hasonló az öntömörítős konténerekéhez.

Sajátos gyűjtőeszközöket igényel a veszélyes hulladékok gyűjtése és szállítása. Itt alapkövetelmény a különböző veszélyes hulladékféleségek elkülönített, szelektív gyűjtése. Ennek oka, hogy ezek az anyagok egymással reakcióba léphetnek, ami környezetbiztonsági, tűzbiztonsági és munkavédelmi szempontból káros hatásokat – hőfejlődés, gyulladás, robbanás, gázképződés, heves kémiai reakció – eredményez. További műszaki feltétel, hogy a tárolt anyag a gyűjtőedényzet anyagával ne lépjen reakcióba. Ezek miatt a különböző típusú és halmazállapotú veszélyes hulladékok elkülönített gyűjtésére nagyon változatos, mindig a kezelendő hulladék anyagi jellemzőit figyelembe vevő gyűjtőeszköz-féleségek kerültek kialakításra és forgalmazásra. Ezek lehetnek zárt hordók, kannák, tartályok és konténerek egyaránt, amelyeken fel kell tüntetni a hulladék megnevezését, azonosító kódját és veszélyességi jellemzőit. Az ilyen eszköz más célra nem használható fel.

5.1.5. A szelektív gyűjtés alkalmazásának jelentősége, eszközei

A szelektív hulladékgyűjtés célja az, hogy a települési szilárdhulladék-áram veszélyes és hasznosítható összetevői és a biológiailag lebomló szervesanyag-tartalmú hulladék (biohulladék) minél kisebb arányban kerüljenek a lerakókra, történjék meg előbbiek ártalmatlanítása, utóbbiak hasznosítása. E cél elérésének feltétele, hogy a hulladék elkülönítve kerüljön begyűjtésre. Szelektív gyűjtéssel a keletkező települési hulladék 35-50%-át lehet külön kezelni, és kezelését követően hasznosítani vagy ártalmatlanítani.

A környezetvédelmi és hulladékgazdálkodási szempontok megkövetelik a települési szilárd hulladék

- veszélyes összetevőinek szelektív gyűjtését és megfelelő ártalmatlanítását,
- hasznosítható összetevőinek szelektív gyűjtését és utóválogatását hasznosításuk céljából,
- a biohulladék elkülönített gyűjtését és biológiai kezelését, az így keletkező komposzt hasznosítását.

A hulladékalkotók szelektív gyűjtésének megvalósításához megfelelő eszközök, berendezések beszerzése, különböző hulladékkezelő létesítmények kialakítása szükséges a vegyesen gyűjtött hulladék kezelését szolgáló eszközök kiváltására.

A megvalósítás történhet:

- hulladékgyűjtő udvar, gyűjtőpont kialakításával,
- mobil gyűjtőjárművek alkalmazásával és a szükséges gyűjtési lehetőségek megteremtésével,
- a települési szilárd hulladék elkülönített gyűjtésével a hulladékkeletkezés helyén vagy annak közelében,
- utólagos válogatással.

Ahhoz azonban, hogy a visszagyűjtési arányokat és a hasznosítást országos szinten a jogszabályok szerinti kívánt mértékben el lehessen érni, olyan szelektív gyűjtési megoldásokat kell alkalmazni, amelyek az e téren tapasztalatlan szereplőknek segítséget nyújtanak. A helyi adottságokhoz illeszkedve célszerű kombinált megoldásokat alkalmazni a fokozatos bevezetés érdekében. A szelektív gyűjtés kialakításánál alapelv, hogy csak ott célszerű bevezetni, ahol már van hagyományos szervezett hulladékgyűjtés és rendelkezésre állnak a gyűjtés-szállítás eszközei.

A külföldi tapasztalatok sora igazolja, hogy a szelektív hulladékgyűjtést csak alaposan, gondosan előkészített, jól szervezett és a lakosság együttműködését megnyerni tudó szolgáltatási rendszer kialakításával és folyamatos működtetésével lehet eredményesen megvalósítani. Emellett természetesen bizonyos externáliák is szükségesek, úgymint a támogató jellegű jogi szabályozás és a potenciális másodnyersanyagként hasznosítható alkotókat átvevő feldolgozóipar műszaki felkészültsége és nem utolsósorban gazdasági érdekeltisége.

A szelektív gyűjtés kiterjedhet a település egészére, illetve annak egy-egy jól, a beépítési módok szerint lehatárolható területi egységére is (ez főként a bevezetési időszakban javasolt, hogy az érintett lakosság az újfajta gyűjtéshez hozzá tudjon szokni). Az egyes gyűjtőterületeket már csak szervezési okokból is jól le kell határolni.

A gyűjtőterületek kijelölését alapvetően:

- a terület jellege, beépítettsége (családiházas-kertes, zárt sorú-többszintes, egyedi magasházás, lakótelepi);
- az ellátandó lakosság, a keletkező hulladék mennyisége;
- a hulladék térfogatsűrűsége, jellemzői, a szelektíven gyűjtendő alkotók mennyisége és részaránya;
- a hulladékgyűjtés, -szállítás gyakorisága;
- szállításszervezési és -gazdaságossági szempontok határozzák meg.

A családi házas, kertes beépítésű területeken a gyűjtőedényzet korlátozás nélkül elhelyezhető. A zártosított, többszintes beépítésű területeken – rendszerint településcentrumok – a gyűjtőedényzet épületen belüli elhelyezése korlátozott, ezért a szelektív gyűjtés edényzetének egy részét a közterületen kell elhelyezni. Hasonló a helyzet az egyedi magasházak területeken. A lakótelepeken a szelektív gyűjtés a zöldterületeken létesített közterületi gyűjtőszigeteken oldható meg legelőnyösebben.

A szelektív gyűjtés kialakítása során figyelembe veendő fontosabb szempontok:

- a hulladékkeletkezési helyhez minél közelebbi és lehető legkényelmesebb elkülönítést biztosító gyűjtőhelyek kialakítása,
- a megközelítési távolság az érintett lakosok számára a lehető legkisebb legyen,
- rugalmas, igényekhez alkalmazkodó kialakítás,
- a települési környezetbe harmonikus illesztés, esztétikus kivitel.

A házon (telken) belüli gyűjtőhelyek lehetnek lépcsőházban, közös helyiségekben, szeméttárolókban, kapu alatt, illetve a családi házaknál az udvaron. Fontos a praktikus helykihasználás, az olcsó és egyszerű műszaki megoldású kialakítás, a jó hozzáférhetőség és könnyű ürítési megoldás, valamint a könnyű tisztíthatóság, és ne zavarja a lakóház funkcionális működését.

A települési hulladékok szelektív gyűjtésének módszerei két fő csoportba sorolhatók. Mindkét esetben a hulladék birtokosa szállítja olyan meghatározott helyre az elkülönített hulladékfajtákat, ahol biztosított az elszállításig azok tárolása:

- a) gyűjtőszigetek,
- b) hulladékudvarok.

SZELEKTÍV HULLADÉKGYŰJTŐ SZIGETEK

A települési hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről szóló 213/2001. (XI. 14.) Korm. rendelet meghatározása szerint a hulladékgyűjtő sziget (gyűjtősziget): a háztartásokban keletkező, hasznosításra alkalmas, különböző fajtájú, elkülönítetten gyűjtött, háztartási hulladék begyűjtésére szolgáló, lakóövezetben, közterületen kialakított, felügyelet nélküli, folyamatosan rendelkezésre álló begyűjtőhely, szabványosított edényzettel.

A lakóházak közelében, ill. közterületeken kialakított gyűjtőhelyek (gyűjtőszigetek) esetében fontos a gyűjtőedényzet zárhatóságának biztosítása, a hulladékalkotók beürítéséhez könnyen hozzáférhető beürítő lehetőségekkel való ellátása, a közterületi funkciók zavartalanságának biztosítása, az esztétikus és környezetbe illeszkedő, de figyelemfelkeltő (színezés, felirat stb.) kivitel, az időjárás-állóság és szándékos rongálás elleni védelem, valamint a gyűjtőjárművek számára a jó megközelíthetőség. A minél egyszerűbb, gazdaságosabb műszaki megoldásokra kell törekedni.

A gyűjtőszigetek előnyös telepítési helye a lakóövezeteken kívül a kereskedelmi egységek parkolói. Őrzés nélkül üzemelnek. A ráhordás minden esetben gyalogos formában történik, ezért a ráhordási távolság legfeljebb 200 méterre tervezhető. Az ürítés és edényzetcsere gyűjtőszállító célgépekkel valósul meg. A gyűjtőszigeteken biztosítani kell a papír, a színes és fehér üveg, valamint az alumínium italos dobozok szelektív gyűjtését, amely kiegészíthető műanyag,

esetleg textilhulladék elkülönített gyűjtésével. A gyűjtősziget engedélyezése önkormányzati hatáskör, szakhatóságok bevonása nem szükséges, védőtávolság nincs. A gyűjtőeszközök (edényzet) megválasztásánál a mai meglévő edényzet felhasználásával, annak kiegészítéseként ajánlatos az új típusú edényzetrendszer kialakítani. A gyűjtőszigetek nyitott, térburkolattal ellátott területek, célszerűen – lehetőség szerint – védősövényrel és három oldalról korláttal körülvéve. A kialakítást meghatározza a gyűjtősziget konkrét helye. Célszerűen kialakított beton, térbeton burkolat, a termőföldre (talajra) helyezett kavicsagyazat felett. Műanyag gyűjtőedényekben történik a hasznosítható összetevők gyűjtése.

A lakóházaknál, ill. a gyűjtőpontokon (gyűjtőszigeteken) telepítendő konkrét gyűjtőedényzet-típusok és azok számának meghatározása a települési adottságok és a gazdaságos járatszervezés alapján történik.

A gyűjtőszigetek a települések központi helyein létesülnek, átlagosan 800-1000 fő/sziget sűrűséggel. Funkciójuk, hogy az újrahasznosítható csomagolási hulladékok visszagyűjtésével csökkenjen a szemételepeken lerakott hulladék mennyisége. A szelektív gyűjtőszigeteken általában négy edény (**78. ábra**) található, melyek papír, műanyag, üveg és fém csomagolási hulladékok elhelyezésére alkalmasak. A kék jelzésű edénybe olyan papír alapú hulladékokat dobhatunk, mint az újságpapír, kartonpapír, füzet, csomagolópapír. A sárga színű tárolóba a műanyag hulladékok – üdítő palackok (PET), műanyag poharak, reklámtáskák, fóliák, műanyag kupakok kerülnek elhelyezésre. Az üveg tárolóedény jelzése a zöld szín, melybe színes és fehér üveget is dobhatunk, mint például üvegpoharat, befőttes üveget és italos üveget. A szürke jelzésű fém tárolóba konzervdobozokat, alufóliát, alumínium italos dobozokat tehetünk.

A szelektív hulladékgyűjtő szigetekre kizárólag az előbb felsorolt anyagok kerülhetnek, így van néhány alapvető szabály arra nézve, hogy mit nem szabad bedobni a gyűjtőedényekbe. A papír tárolóedénybe nem kerülhet zsebkendő, matrica, illetve szennyezett papír, a műanyagba pedig nem dobhatunk CD-t, DVD-t, hungarocellt és vegyszeres flakonokat. Az üveg gyűjtőedénybe nem szabad elhelyezni tükröt, ablaküveget, villanykörtét, szemüveget, orvosságosüveget, valamint a fém tárolóba ételmaradékkal szennyezett konzervdobozt.

A szelektíven gyűjtött hulladékok megfelelő elhelyezéséhez az edények bedobónyílása is segítséget nyújt, hiszen azok úgy lettek kialakítva, hogy műanyag palackot csak összelapítva, kartondobozt csak összetépve lehet behelyezni.

A szelektíven gyűjtött hulladékok újrahasznosíthatók, számtalan új termék alapanyagát adják. A hulladékok anyagának feldolgozásával jelentős mennyiségű elsődleges nyersanyagot takarítunk meg, mely a környezet számára kedvező.

Útmutató a szelektív gyűjtőszigetek használatához

1. MŰANYAGHULLADÉK

- Mit tegyen bele? Ebbe az edénybe teheti a nem visszaváltható, műanyag üdítő és ásványvizes palackokat, a samponos és öblítő flakonokat, tejfölös-, joghurtos-, margarinos dobozt.
- Mit ne tegyen bele? Szennyezett tejfölös-, joghurtos-, margarinos dobozt, vegyszeres flakonokat.
- Hogyan? A palackokat és flakonokat öblítse ki, távolítsa el róluk a címkét és a kupakot, majd laposra taposva helyezze a gyűjtőedénybe!
- Hova kerül? Az így gyűjtött hulladék a telephelyen válogatásra, majd bálázásra, végül újrahasznosításra szakosodott vállalkozásokhoz, üzemekhez kerül.

2. PAPIRHULLADÉK

- Mit tegyen bele? Ide teheti az újságokat, kartonpapírt, csomagoló dobozokat, telefonkönyvet, papírzacskót, többrétegű italos dobozokat.



78. ábra: Szelektív gyűjtősziget edényzete

- Mit ne tegyen bele? Műanyag zacskót, olajos vagy zsíros csomagolópapírt.
- Hogyan? A kartondobozokat hajtsa szét, vagy tépje kisebb darabokra, az italos dobozokat öblítse ki mielőtt beleteszi a gyűjtőbe!
- Hova kerül? A szelektíven gyűjtött papírhulladékot válogatják, bálázzák, majd újrahasznosításra szakosodott vállalkozásoknak értékesítik.

3. ÜVEGHULLADÉK

- Mit tegyen bele? Lekváros, üdítős, bébiételes üvegeket, befőttes üvegeket és minden olyan üveget, amelyet nem váltanak vissza az üzletekben.
- Mit ne tegyen bele? Villanykörtét, tükröt, ablaküveget.
- Hogyan? Az üvegeket címke és kupak nélkül, elmosva tegye a gyűjtőedénybe!
- Hova kerül? Az így gyűjtött üveghulladék újrahasznosítással foglalkozó vállalkozásokhoz kerül.

4. FÉMHULLADÉK

- Mit tegyen bele? Üdítős , sörös alumínium dobozokat, alufóliát, fém kupakokat, konzervdobozokat.
- Mit ne tegyen bele? Alkatrészeket, festékes dobozt, elemet, akkumulátort.
- Hogyan? A kiürült alumínium italos- és konzervdobozokat kiöblítve, laposra taposva dobja a gyűjtőedénybe!
- Hova kerül? A szelektíven gyűjtött fémhulladék újrahasznosításra szakosodott vállalkozásokhoz kerül.

HULLADÉKUDVAROK

A 213/2001. (XI. 14.) Korm. rendelet meghatározása szerint a hulladékgyűjtő udvar (hulladékudvar) az elkülönítetten (szelektíven) begyűjthető települési szilárd, valamint a külön jogszabályban meghatározottak szerint a veszélyes hulladékok átvételére és az elszállításig elkülönített módon történő tárolására szolgáló, felügyelettel ellátott, zárt begyűjtőhely.

A hulladékudvarok általában több fajta és nagyobb tömegű előre szelektált hulladék átvételére szolgálnak. Az elhelyezhető hulladékok típusait és azok mértékét mindig az üzemeltető határozza meg. A hulladékudvarok segítenek a szelektív gyűjtés lakosság általi elfogadtatásában, szelektív gyűjtéshez történő hozzászoktatásban, iniciáló erőt jelentve a lakossági együttműködés biztosításában.

Az udvarokban a lakosság a hulladékait díjfizetés nélkül adhatja le, redukálva ezáltal a szemétdíjjal terhelt hulladék mennyiségét és csökkentve a szállítás díját, ami a lakosnál megtakarítást eredményez. Szélesebb körű funkciókkal rendelkezik, mint a lakóházaknál, vagy a gyűjtőszigeteken telepített szelektív gyűjtés, azt komplexebbé, teljesebbé teszi.

Az 5000 fő/udvar sűrűséggel kialakított hulladékudvarokban 13 frakciót gyűjtenek, szabvány gyűjtőedényzetben és konténerben. A gyűjtőkonténereken minden esetben és egyértelműen fel kell tüntetni a tárolandó hulladékfajtát (felirat, piktogram).

A hulladékudvar (**79. ábra**) funkciói a következők:

- a lakosság (esetleg intézmények) által behordott hulladékok átvétele,
- az átadott hulladékok mennyiségi és minőségi adatainak nyilvántartása,
- a begyűjtött hulladékok rövid idejű szelektív tárolása (az elszállítás menetrendjétől függően),
- a hulladékok fizikai kezelése (aprítás, tömörítés, bálázás, válogatás stb.),
- a begyűjtött hulladékok rendszeres elszállításának szervezése hasznosító vagy ártalmatlanító telephelyekre.

A hulladékgyűjtő udvarban a következő hulladékok gyűjthetők:

- a) a települési szilárd hulladék hasznosítható összetevői,
- b) nagydarabos hulladék (lom),
- c) a lakosnál keletkező veszélyes hulladék,
- d) nem lakoságtól származó kis mennyiségű veszélyes hulladékok, a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenység végzésének feltételeiről szóló jogszabályban meghatározottak szerint, valamint
- e) a lakosnál keletkező 1 m^3 -t meg nem haladó építési, bontási hulladék.

Veszélyes hulladék esetén egy lakostól alkalmanként legfeljebb 100 kg mennyiségű hulladék gyűjthető be, illetve vehető át.

Nem veszélyes hulladékból egy lakostól alkalmanként begyűjthető (átvehető):

- a) mennyiségi korlát nélkül a 15 és 20 főcsoport hulladékai,

- b) 200 kg vagy annál kevesebb mennyiségű hulladék a 02, 03, 07, 08, 09, 13, 16 főcsoport hulladékai,
- c) 1000 kg vagy annál kevesebb mennyiségű hulladék a 17 főcsoport hulladékai esetében.

A hulladékudvarban átvett hasznosítható hulladékok a regionális hulladékkezelő-telepen bálázásra kerülnek és a bálátárolóban gyűjthetők.

A hulladékgyűjtő udvar műszaki felszerelése:

- a) kerítés, sorompó, kapu,
- b) csapadékvíz-elvezető övárók,
- c) összefüggő beton térburkolat, csurgalékvíz-elvezető csatorna,
- d) zárható tároló konténerek,
- e) mérőberendezés a veszélyes hulladék mérésére.



79. ábra: Hulladékudvar ábrája

A hulladékgyűjtő udvar nyitva tartását a helyi igényeknek megfelelően, a lakossági időbeosztás figyelembe vételével kell kialakítani, biztosítva a délutáni és a hétkévi lakossági használatot is. Lakossági beszállításról – külön kérésre – az átvett hulladékról bizonylatot kell kiállítani. A hulladékgyűjtő udvaron begyűjtött hulladék kezelőtelephelyről történő kiszállítását minden esetben bizonylaton kell rögzíteni.

A begyűjtött hulladék – a biológiailag lebomló hulladék kivételével – az átvétel időpontjától számított 1 évig tartható a hulladékgyűjtő udvaron. A biológiailag lebomló hulladékokat legfeljebb 1 hétig, zárt körülmények között lehet a hulladékudvaron tartani.

A hulladékudvarok által begyűjtendő hulladékok mennyiségét a település települési szilárd hulladékainak elemzése alapján lehet meghatározni. A gyűjtendő hulladékmennyiségnél

figyelembe kell venni, hogy a vonzáskörzetében lévő lakosságnak – legalábbis az első 3–5 évben – csak a 20–40%-a veszi igénybe a külföldi tapasztalatok szerint. A kezdeti időszakot követően rendszerré váló, megszokott szolgáltatásnál is csupán az érintett lakosság legfeljebb 60–80%-os részvételével lehet számolni. Ez is csak akkor igaz, ha:

- jogszabály is erősíti a használatot (pl. önkormányzati rendelet írja elő a szelektív hulladékgyűjtést),
- a hulladékgyűjtő udvar igénybevétele nem okoz különösebb kényelmetlenséget a lakosság számára (távolság, helyszín stb.),
- az udvar működéséről, annak használatáról rendszeres és részletes információkkal rendelkezik a lakosság.

A hulladékgyűjtő udvarok létesítésénél alapvető szempont a lakosság és a környezet biztonsága, de a költségtakarékosságot is figyelembe véve, a minimálisan szükséges edényzet egy részét fedett, zárt területen kell elhelyezni, míg más részük tető alatt vagy szabad területen tárolható.

A hulladékgyűjtő udvarba beszállított hulladékmennyiséget befolyásolják:

- a lakosság által elfogadott ráhordási távolság, elérhetőség,
- a nyitvatartási rend (mennyire igazodik a lakosság szabadidejéhez),
- a fogadási feltételek megfelelése (pl. könnyű parkolás).

Ismerve a külföldi tapasztalatokat és tekintettel a hazai lakosság környezeti tudatosságának relatíve alacsony színvonalára azzal kell számolni, hogy még a szelektív gyűjtésért valóban tenni akaró lakosság sem lesz hajlandó túl nagy távolságokat megtenni. Ezért legfeljebb 1–1,5 km ráhordási távolság vehető figyelembe a kezdeti időszakban, ami nem zárja ki ennek fokozatos bővülését (tapasztalatok szerint ez a ráhordási távolság legfeljebb 2–2,5 km-re bővíthet, főként a gépkocsival rendelkező lakosok miatt).

A hulladékgyűjtő udvarokban a hulladékokat legfeljebb néhány hétig lehet tárolni, célszerű azonban azokat egy-egy fuvarnyi mennyiség összegyűlését követően azonnal a felhasználókhoz továbbítani. Az indokolatlanul hosszabb időn át tárolt hulladékok feleslegesen kötnek le tárolási kapacitást és helyet, ez gazdasági szempontból nyilvánvalóan kedvezőtlen. Ezért nagyon lényeges, hogy a potenciális átvevőkkel rendszeres, hosszú távú szerződésekkel biztosított együttműködés jöjjön létre.

Egy település számára fenti elemek kombinációjával kialakítandó szelektív gyűjtési rendszer megvalósítása sajátos logisztikai tervezést igényel, amelyet a hulladékgyűjtésben már alkalmazott számítógépes járatszervezéssel kell összehangolni.

A szelektív gyűjtési rendszer kialakításánál, tervezésénél irányadó szempont az a külföldi tapasztalat, miszerint még 100%-os lakossági együttműködés esetén sem lehet a hasznosítható alkotóknál a teljes mennyiség visszagyűjtésével számolni. Az optimálisan elérhető visszagyűjtési arányok:

- papírféleségeknél 60–70%,
- műanyagoknál 30–40%,

- fémeknél 80–90%,
- üvegnél 60–70%,
- textilhulladéknál 60–70%,
- veszélyes alkotóknál 60–70%.

Ennek objektív okai vannak (pl. a papír és műanyag jelentős hányada ugyan relatíve tiszta és elkülönítetten gyűjthető, de nem kis része erősen szennyezett). Mindez akkor is igaz, ha a hasznosítható komponensek a szelektív gyűjtést követően utóválogatásra kerülnek.

A lakossági szelektív gyűjtésből származó hasznosítható komponensek megfelelő piaci értékesítéséhez nélkülözhetetlen utóválogató alkalmazása. A válogatósor – előrostálás mobil dobrostával, mágneses vasleválasztás, munka-és egészségvédelmi szempontból megfelelően kiképzett kézi válogatószalag a csatlakozó gyűjtőkonténerekkel – funkciója, hogy az utóválogatással a szelektíven gyűjtött és az ipar számára hasznosítható alkotókat az átvételi igényeknek megfelelő minőségben állítsa elő, biztosítva így az értékesítés által megkövetelt homogenitást és minőségi feltételeket. Az utóválogató gépsort szelektív gyűjtőhálózat kiszolgálására, kizárólag egy helyen, arra alkalmasan kiképzett hulladékkezelő-műbe célszerű telepíteni.

KÉTKANNÁS GYŰJTÉSI RENDSZER

A magyarországi és az uniós előírások megkövetelik, a biológiailag lebomló – komposztálható – hulladékok lerakásra kerülő mennyiségének csökkentését, valamint a hulladékok szelektív gyűjtési arányának növelését. Hogy ezeknek a követelményeknek megfelelő legyen a hulladékszállítás, egy lehetséges megoldás a „kétkannás gyűjtési mód” bevezetése. Ennek az új gyűjtési módnak a lényege, hogy a háztartásokba, az eddigi gyűjtőedény mellé egy barna fedelű kukát is kihelyeznek, melybe a keletkező komposztálható hulladékot kell gyűjteni. A hagyományos, szürke kukába a nem komposztálható és szelektív gyűjtésre sem alkalmas hulladékot kell gyűjteni.

Így a lakossági kommunális hulladékgyűjtésben alkalmazott egy gyűjtőedényes rendszert a kétkannás gyűjtés váltja fel, mely külön edény biztosítását jelenti a lakosságnál képződő komposztálható biohulladékoknak. A kétkannás ügyfélrendszerrel együtt bevezetésre kerül az elektromos ügyfélazonosító, vonalkódos rendszer, mely biztosítja, hogy az ügyfél (lakosság, illetve intézmény) a ténylegesen elszállított hulladékmennyiség után járó díjat fizeti meg.

Az alkalmazott edények 120 literes kerek fedett kivitelűek, megkülönböztetés a színük alapján történik, a bio-edény színe barna, a vegyes és maradék hulladék gyűjtésére sötétszürke edények állnak az ügyfelek rendelkezésére. A kétkannás gyűjtési rendszerben valamennyi edényen azonosító chip kerül elhelyezésre, amely csak az edény roncsolásával távolítható el. A chip-olvasó meghibásodás esetén az adatbeolvasás biztonsága érdekében az edények ezen felül vonalkóddal is jelöltek. Az ürítő járművekre szerelt elektronikai berendezés alkalmas mindkét jelzés automatikus vagy kézi olvasására.

Ürítéskor az ürítő szerkezeten elhelyezett chip-olvasó azonosítja az edényt, majd a csapató felső holtponthelyzetében (amikor az edényből a hulladék kihullik) rögzíti az ürítés tényét. Mivel az egyes edény a beépített azonosítója alapján fogyasztóhoz rendelhető, a „fogyasztás” mérhető. Az adatokat a vezetőkábelben felszerelt számítógép rögzíti. Műszak végeztével az adatok a központi telephelyen kiolvasásra kerülnek, és az ügyfélnyilvántartó rendszerhez kapcsolódva a számlázás alapját képezik.

Fentiek alapján megvalósítható az igénybevétellel arányos díjfizetés, érvényesül a „szennyező fizet” elve.

Barna fedeles kuka

Ebbe az edénybe, a komposztálható hulladékot kell gyűjteni a lakosoknak. Beletehetik a konyhában keletkező biohulladékot, például zöldségek tisztítása után visszamaradt hulladékot, gyümölcs maradványokat, a déligyümölcsök (banán, narancs stb.) héját, kávézaccot, a már kiáztatott filteres teát, tojáshéjat, kis mennyiségben ételmaradékot, a ház körül gyűjtött avart, gyomnövényeket, fűnyíradékot, falevelet. Nem tehetnek bele viszont húst, folyadékot, csontot, macska- és kutyaürüléket (**80. ábra**).



80. ábra: Barna fedeles kuka

Szürke fedeles kuka

Ebbe az edénybe (**81. ábra**) a nem komposztálható és újrahasznosításra is alkalmatlan hulladékot kell gyűjteni. A lakosok beletehetik a tejfölös-, joghurtos-, margarinos dobozokat, a műanyagablakkal vagy címkével ellátott borítékokat, élelmiszerrel szennyezett csomagolópapírt, villanykörtét, tükröt, összetört poharakat, kerámiákat stb.

Nem tehetnek bele olyan hulladékot, amely komposztálható vagy szelektíven gyűjthető. Ezeket a hulladékokat a barna fedelű edénybe, illetve a szelektív gyűjtőszigeteken kihelyezett edényekben kell gyűjteni.

Ha a lakos különgyűjti a háztartásában keletkező komposztálható hulladékot, és szelektíven gyűjti a műanyag palackokat, a papírt, az üveghulladékot, valamint az alumínium italos- és konzerves dobozokat, ez az edény ritkábban fog megtelni. Ezzel a lakos hozzájárul ahhoz, hogy minél kevesebb hulladék kerüljön a lerakóhelyekre.



81. ábra: Szürke fedeles kuka

Azokon a lakóterületeken, ahol megoldható, – így például a falusias és családi házas övezetekben – segíteni kell azt, hogy a lakos maga gondoskodjék a komposztálásról és annak

saját célú hasznosításáról. A jellemzően 1000 m² feletti teleknagyság és a mezőgazdasági tevékenységből élő területeken esetén megvalósítható a házi komposztálás, amely így a termőföld talajerő-utánpótlását is segíti. Mindazokban a lakóövezetekben – főleg a nagy lakótelepeken – ahol a helyben történő felhasználás nem megoldható, ott központi begyűjtésről és művi komposztálásról kell gondoskodni, hasonlóan a szelektíven gyűjtött hulladékok kezeléséhez. Az így keletkező komposzt mezőgazdasági hasznosítását támogatni célszerű. Amennyiben adott régióban olyan mennyiségű a komposzt keletkezése, hogy a hasznosítás nem megoldható, a térség regionális lerakóinak rekultivációjánál kell felhasználni azt.

A SZELEKTÍV HULLADÉKGYŰJTÉS TAPASZTALATAI

A szakmai tapasztalatok azt mutatják, hogy a gyűjtési módszerek sorrendje a begyűjtés eredményessége szempontjából a következő: 1. zsákos módszer, 2. gyűjtősziget, 3. hulladékudvar. A zsákos módszer előnye, hogy a szelektív gyűjtési lehetőség „helyben” adott, a lakosnak így kerül a legkisebb erőfeszítésébe a külön gyűjtés. A gyűjtőszigetet azért lehet hatékonyabbnak nevezni, mint a hulladékudvart, mert a gyűjtőszigetek jól megközelíthető helyeken találhatóak, a lakosok számára jobban elérhetőek, mint a hulladékudvarok. Ez utóbbiak ritkábban helyezkednek el, a lakosok inkább a nagyobb mennyiségben összegyűjtött hulladék leadására veszik igénybe és hulladékokat általában gépkocsival szállítják ide. (Meg kell jegyezni ugyanakkor, hogy a hulladék további feldolgozhatósága szempontjából a hulladékudvarok használata a legelőnyösebb, ugyanis itt a hulladék – szakértő felügyelet mellett – megfelelően elkülönítve gyűlik be, míg a zsákos és gyűjtőszigetes módszerrel begyűjtött hulladék további válogatást igényel.)

Ahhoz, hogy a szelektív hulladékgyűjtés révén megvalósuljon a hulladékok egy részének hasznosítása, az is szükséges, hogy a lakosság és a termelők által szelektíven gyűjtött hulladék további előkezelés során olyan minőségű (tisztaságú) legyen, hogy a feldolgozó ipar képes legyen magas használati értékű terméket gyártani abból.

Szükséges tehát a szelektíven gyűjtött hulladék művi előkészítése, válogatása, mosása, bálázása stb., e célra kialakított kezelő telepeken. Ezen előkezelő telepek nagyobb területről fogadják a szelektív gyűjtőhelyek hulladékát és az ipar igényeinek megfelelően előkészítik azt a feldolgozásra.

A szelektív hulladékgyűjtés legeredményesebb megoldása a lakosság partnersége esetén a gyűjtési módszerek megfelelő kombinációjával esetén érhető el. Egyetlen lehetséges eszköz használata vagy módszer alkalmazása sem képes önmagában a probléma megoldására.

5.1.6. A hulladékok szállítása, eszközök, berendezések

A szelektív gyűjtés bevezetése a korábban alkalmazott gyűjtőjármű állomány célgépeinek felhasználása mellett, azok részbeni lecserélését, korszerűsítését is megköveteli. A forgódobos járművek kizárólag a maradék hulladék gyűjtéséhez alkalmazhatók. A tömörítőlapos célgépek és a konténerszállító járművek viszont jól illeszthetők a szelektív gyűjtési rendszerhez.

A szelektív gyűjtésre való átállás megköveteli a számítógépes járatszervezés átalakítását is. A szállítások, gyűjtőjáratok egzakt megtervezésével és irányításával rugalmas, a belső tartalékokat kihasználó és gazdaságosan üzemeltethető logisztikai rendszer hozható létre. A szállítási útvonalak optimalizálását, az edényzetek és ürítési gyakoriságuk pontos nyilvántartását stb. nagymértékben segítheti a vonalkódos azonosítási rendszer.

A szállítási igények növekedése, valamint az igények kielégítése olyan szállítóberendezések kifejlesztésére adott ösztönzést, amelyek jobban megfelelnek a hulladék jellegének, halmazállapotának és egyéb tulajdonságainak (pl. térfogati változásának). Ennek eredményeképpen ma a legegyszerűbb tehergépjárműtől a korszerű, bonyolult, nagyértékű célgépekig, berendezésekig sokfajta szállítójármű van forgalomban.

A felhasználás szempontjából megkülönböztetünk:

- elhatárolt területen, üzemen, intézményen belüli hulladékszállító berendezéseket (ezek általában egyszerű, vagy speciális szállítókoszarak, mozgatható állványok, átürítő berendezések),
- távolsági hulladékszállító berendezések (jelentőségük az előzőknél jóval nagyobb ismertetjük).

A szilárd hulladékot szállító célgépek iránti fontosabb követelmények:

- zárt tartálya vagy felépítménye legyen, amelyben hulladéktömörítő és -továbbító szerkezet is van, ezáltal a gyűjtőtér megfelelően kihasználható, így a szállítás gazdaságos;
- a könnyű, gyors, zaj-és pormentes rakodást és ürítést erre alkalmas szerkezetek tegyék lehetővé;
- az igényeknek megfelelő méretű tartálya legyen, amely azonban a közúti forgalmat nem zavarja;
- alépítménye jó manőverező képességű, indító-és fékezőberendezése üzembiztos legyen;
- tartós, üzembiztos kivitel, amely megfelel a terepviszonyoknak, a forgalmi és közlekedésbiztonsági előírásoknak.

A konténeres szállításnál a konténer a tulajdonképpeni gyűjtőedény és a szállítóeszköz rakodótere is egyben. Speciális emelőszerkezettel ellátott jármű végzi a különböző térfogatú konténereknek a jármű alvázára emelését, majd billentéses ürítését, az alapjármű motorjával mellékhajtóművön keresztül hidraulikus rendszer segítségével.

Az emelőberendezések típusa szerinti változatok:

- emelőkaros konténerszállító (a klasszikus cseretartályos megoldás); talajszintről emel a hátsó futómű mögött beépített keresztirányú tengelyen elforduló kettős emelőkarral;
- emelőhorgos konténerszállító: a teleszkópos, horgos emelőkar a konténert a jármű segédalvázának keretére húzza a csúszótalpakokkal vagy a vezetőgörgőkkel (hosszabb konténereknél gyakorta alkalmazott megoldás);
- billenőrámpás-csörlős konténerszállító (az ún. multilift-rendszer célgépe): a konténert ferde, mozgatható rámpán csörlőzéssel emeli a járműre.

A célgépek munkavégzése során felmerülő fontosabb szempontok:

- a konténertároló hely jó megközelíthetősége,
- a tartályok felvételéhez és a cseretartály elhelyezéséhez elegendő tér kialakítása,
- kis emelési magasság.

A hagyományos konténerszállító járművek két alaptípusa ismert, a hátulemelős és az oldalemelős típus. A végzendő feladat jellege határozza meg, hogy melyiket választják.

A konténerszállító célgépek alkalmazhatósága:

- intézményekben, üzemekben és közterületen is jól használható,
- a pormentes gyűjtéssel kombináltan is alkalmazható a településeken,
- építési hulladéokra a nyitott kivitelek előnyösek,
- veszélyes hulladék esetén a speciális változatokat szükséges alkalmazni,
- mindenütt alkalmazható, ahol van idő a gyűjtés során a hulladék készletezésére, ugyanakkor fontos az izoláció és megoldható a ráhordás.

A félpormentes szállítás járművei általában billenőplatós tehergépkocsi alvázára épített 4–5 m³-es térfogatú, zárt tartállyal felszereltek, amelybe a hulladék az oldalnyílásokon át kézi erővel tölthető. Az ürítést billentéssel végzik, a hátsó zárófal megnyitása után. Korszerűbbek a hidraulikus tömörítőlappal felszerelt tartályok, amelyben bizonyos mértékű tömörítés biztosítható és ez egyben segíti az ürítést is. A félpormentes szállítás során olyan aránylag olcsó, egyszerű kivitelű járműveket vezettek be, ahol a be- és kiürítéskor ugyan van porképződés, de a szállítást zárt tartályban végzik. Nem korszerű, azonban szabványos gyűjtőedénnyel (35 és 50 l-es) vagy anélkül is jól használható korlátozott anyagi forrásokkal rendelkező kistelepüléseken. Alkalmazzák még az utcai hulladékgyűjtő kosarak tartalmának begyűjtésére is.

A zártrendszerű pormentes szállítás járművei közé a szervezett hulladékszállítás fejlettebb – a környezetvédelmi követelményeknek jobban megfelelő – célgépei tartoznak. A települési hulladék keletkezési helyein a szabványosított tartályokban gyűjtött hulladékot menetrendszerűen, zárt rendszerben, speciális gyűjtőszerkezettel szedik össze és zártan szállítják el. Munkavégzése teljesen pormentes. Felépítménye alapján két fő típus terjedt el: a forgódobos és a zárt dobozszerű tömörítő célgépek. A forgódobos változat elsősorban a magas portartalmú hulladékok tömörítve szállításának eszköze. A tömörítőlappos rendszer a darabos komponensek magas aránya esetén terjedt el. A célgépek tömörítő hatása 1:3–1:5 arányú. A hátsó ajtóra szerelt beürítőszerkezet sokoldalúan változtatható kiegészítőkkel, szinte minden ismert edénnyetípusra alkalmas.

A zárt, dobozszerű felépítményű tömörítő célgépek hátsó részén egy felfelé nyíló keretszerkezetben van a beürítőrész, a hulladékot fogadó és a gyűjtő, ill. tároló és a hulladékot a tartályba továbbító szerkezeti egység. Ezeket a gépeket gyakran laptömörítésűnek nevezik, mivel a négyzög keresztmetszetű, hasáb alakú térben hidraulikus mozgatású tolólapok között tömörít. A zárt rendszerű, pormentes szállítás célgépeit többfajta működtető mechanizmussal az egész világon viszonylag régóta, igen széles körben gyártják.

A zsákos gyűjtés-szállítás egyszerű elemekből áll, éppen ez a legfőbb előnye. A zsákok anyaga lehet papír vagy műanyag. Közterületeken gyakran egyszerű fém-vagy műanyagállványra szerelve használatosak. A szállításhoz bármely típusú nyitott tehergépjármű, félpormentes, ill. pormentes célgép megfelel.

A laptömörítéses berendezés használata esetén a gyűjtőedény ürítő szerkezeteket gyakran leszerelik a rakodás megkönnyítése érdekében. A tolólapos tömörítésű célgépek használata a zsákos gyűjtéshez előnyösebb, mint a dobtömörítéses.

A pneumatikus gyűjtés-szállítás a települési szilárd hulladék gyűjtése és mozgatása zárt csővezetékben áramló levegővel. A technikának több évtizedes múltja van, a világ számos országában alkalmazzák, főleg ott, ahol kevés a munkaerő és a nagy beruházási költségek finanszírozhatók. A gyűjtést és a szállítást egy egységbe foglaló rendszer gyakorlatilag teljesen zárt és automatikus szállítási módot valósít meg, többnyire földfelszín alá telepített vezetékhalózzal. A berendezés tulajdonképpen ledobóaknákból, aknaszelepekből, levegőszelepekből, hulladékszállító csövekből, hulladék-leválasztóból, gyűjtő-tároló térből,

porszűrőből áll. A tárolóból a hulladék telepített tömörítőbe és/vagy szállítókonténerbe vagy közvetlenül az égetőberendezésbe kerül.

Előnyei:

- a zárt rendszer miatt a környezeti terhelés elmarad,
- a hulladék gyűjtése és eltávolítása teljesen független a közúti forgalomtól, bármely napszakban működtethető, munkaigénye minimális,
- sokoldalúan felhasználható egyéb szállítási feladatok megoldására és (pl. szennyes ruha eltávolítására, takarítási célokra).

Hátrányai:

- létesítése nagy beruházási költséget igényel, ezért alkalmazási területe korlátozott,
- darabos hulladék esetén aprítóberendezést kell alkalmazni.

Előnyei ellenére régi építésű városrészekben, ill. településeken nem használják még a fejlett ipari országokban sem. Új települések kialakításakor azonban gazdaságosan kiépíthető és működtethető.

A vízöblítéses gyűjtés-szállítás szintén egységbe foglalja a gyűjtést és a hulladék mozgatását. Lényegében az előaprított hulladékot közvetlenül a csatornahálózatba vezetik és vízárammal távolítják el hagyományos módon. Alapfeltétele egy hatékony és jól működő csatornahálózat és szennyvíztisztító rendszer. Használata a gyakorlatban nem széleskörű, beruházási költségei jelentősek.

Felhasznált irodalom

Árvai J. szerk. (1993): *Hulladékgazdálkodási kézikönyv*. Műszaki Kiadó

Válatiné B. É., Szekeres J.(2003): *Települési hulladék gyűjtése és szállítása*. Környetgazdálkodási Intézet

Győr Nagytérségi Hulladékgazdálkodási Önkormányzati Társulás működési területén települési szilárdhulladék-gazdálkodási rendszer kialakítása. Részletes Megvalósíthatósági Tanulmány. Készítette: Győr Nagytérségi Hulladékgazdálkodási Önkormányzati Társulás Projekt Megvalósító Szervezete. Győr, 2007. december

Győr, Moson és Sopron hulladékgazdálkodási rendszer projektcsoport. Beruházás előkészítő tanulmány. Technoplus Környezetvédelmi Technológiai Fejlesztő Kft., Budapest, 2004. április

Győr-Mosonmagyaróvár-Sopron hulladékgazdálkodási rendszer. Támogatási kérelem. Környezetvédelem. Megvalósíthatósági tanulmány.

Jogszabályok

A hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény

213/2001. (XI. 14.) Korm. rendelet a települési hulladékokkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről

16/2002. (IV. 10.) EüM rendelet a települési szilárd és folyékony hulladékkal kapcsolatos közegészségügyi követelményekről

5/2002. (X.29.) KvVM rendelet a települési szilárd hulladék kezelésére szolgáló egyes létesítmények kialakításának és üzemeltetésének részletes műszaki szabályairól

Internetes források

<http://www.pevik.hu/docs/hulladekgyujtes.pdf>

<http://www.tankonyvtar.hu/konyvek/kornyezettechnika/kornyezettechnika-5-6>

<http://www.tankonyvtar.hu/konyvek/kornyezettechnika/kornyezettechnika-5-7>

<http://www.tankonyvtar.hu/konyvek/kornyezettechnika/kornyezettechnika-5-8>

6. Üzemi hulladékgazdálkodás (dr. Torma András*, Vagdalt László, Horváth László***)**

*Széchenyi István Egyetem, Győr; **Audi Hungária, Győr; ***Bühl Hungária, Győr

6.1. Szervezeti szintű hulladékfelelősség kérdései

6.1.1. Az üzemi hulladékfelelősség fogalma, jelentősége

Az üzemi (vállalati) hulladékfelelősség jelenti mindazokat a kérdéseket, melyekkel egy szervezetnek szembe kell néznie a működése során keletkező hulladékok kapcsán. Vagyis a vállalati hulladékgazdálkodás nem más, mint a termelés során keletkező hulladékokhoz kapcsolódó olyan komplex problémakör, mely műszaki, gazdasági és környezeti orientáltságú válaszokat igényel. Mint ilyen kérdéskör összetett megoldásokat és szerteágazó módszertani megoldásokat igényel.

Az üzemi, vállalati szinten a hulladékokkal kapcsolatban felmerülő kérdések jelentősek. Jelentőségük alapvetően két tényezőben áll: mennyiségükben és minőségükben. Ezek mellett azonban további jellemző aspektusok is definiálhatók. A következőkben mindezeket röviden áttekintjük.

Alapvetően elmondható, hogy a hulladékok keletkezési mennyisége világszinten nagyon jelentős. Példának hozható ezzel kapcsolatban, hogy 2004-ben a világszinten keletkezett települési szilárd hulladék mennyisége elérte az 1,84 billió tonnát és átlag évi 7%-os növekedést mutatott [Business Wire, 2004]. Csak példaképpen, mindez Magyarországon 2001-es adatokkal, az éves keletkező hulladékmennyiséget figyelembe véve 16 centiméteres réteget jelentene az ország teljes területén [KÖVET, 2001]. Jelentős problémát jelent, hogy a keletkező mennyiség folyamatosan emelkedő tendenciát mutat (abszolút értékben, bizonyos országok vonatkozásában specifikusan csökkenés tapasztalható).

Hasonló emelkedő tendencia figyelhető meg az Európai Unió 27 tagállamának (EU-27) vonatkozásában. Az Eurostat adatai szerint a települési szilárd hulladék vonatkozásában szintén évi 7%-os emelkedési tendencia volt megfigyelhető 1996 és 2006 között. A keletkező települési szilárd hulladék mennyisége az EU-27 vonatkozásában 517.000 ezer tonna (2006) volt [Eurostat, 2010]. Jóval jelentősebb volt azonban a keletkező gazdasági folyamatokból származó mennyiség (2.429.667 ezer tonna, 2006) [Eurostat, 2010]. Ennek az igen jelentős mennyiségnek több mint feléért a gyártási tevékenység, illetve az építőipar felelős. 2006-ban az ipar, illetve az építőipar együttes hulladékainak mennyisége az összes keletkező hulladék 82,7%-át tette ki. Ezt egészítette ki a szolgáltatóipar 11,6%-a, illetve a mezőgazdaság 5,8%-a [Eurostat, 2010]. A települési hulladék és a gazdasági aktivitásból származó hulladék egymáshoz képesti arányáról ad jellemző képet az Európai Unió régi 10 tagállamának erre vonatkozó megoszlása. 2004-ben az EU-10 vonatkozásában a települési szilárd hulladék mennyisége mindössze 9% volt [EEA, 2007].

A fenti értékekből egyértelműen látható, hogy a termelő folyamatokból származó (azaz jelen jegyzet terminológiájában üzemi folyamat) hulladék mennyisége sokszorosan meghaladja a települési szilárd hulladék mennyiségét.

Magyarország vonatkozásában a megoszlás hasonló. 2008 során a Hulladékgazdálkodási Információs Rendszer (HIR) adatai szerint az összes keletkezett hulladék 10.565 ezer tonna

hulladék keletkezett [HIR, 2010]. Ebből a települési hulladék mennyisége 653 ezer tonna, azaz 6,2% volt [HIR, 2010].

Az előbbi adatokból levonható következtetés, hogy a termelő folyamatokból származó hulladékok mennyisége az összes keletkezett hulladék mennyiségének nagyon jelentős százalékát teszi ki, ráadásul tendenciózusan emelkedő mennyiségeket mutat fel. Vagyis a termelési hulladékokkal való foglalkozás (azaz jelen esetben az üzemi hulladékgazdálkodás) egyik fontos indoka a **mennyiségi indok**.

Jellemzően a keletkező termelési hulladékok összetétele nagyon vegyes, egymástól jelentősen eltérő jellemzőjű hulladékfajtákat tartalmaz. Ráadásul – szemben mondjuk a települési hulladékokkal – jelentős a veszélyes hulladékok aránya a keletkező mennyiségen belül. Mivel nagyon eltérő anyagminőségű és nagyban eltérő veszélyességi jellemzőjű hulladékokról beszélünk, így az üzemi szintű hulladékfelelősség jelentőségének másik pillére a **minőségi indok**.

A terület jelentőségét tovább emeli, hogy a jogszabályok révén jól szabályozott terület és egyben meg kell jegyeznünk azt is, hogy jól is szabályozható terület. Vagyis további aspektus a **szabályozhatósági indok**.

Különlegessége a vállalati hulladékgazdálkodásnak, hogy a keletkező hulladék olyan termelési tényező, amely nem (közvetlenül) képez profitot. Vagyis rövidtávon nézve a hulladék keletkezése egy vállalatnál veszteség. Így – a profitmaximalizálás igényét figyelembe véve – a vállalati hulladékgazdálkodás gazdasági indokoltsággal is bír. Azaz a negyedik tényező a **gazdasági indok**.

6.1.2. A szervezeti hulladékfelelősség alapmodellje, jellemző halmazai

Egy termelő üzem kapcsán a hulladék kérdésként jelentkezik. Az ezzel való foglalkozás több szintet jelenthet, függően attól, hogy az adott szervezet milyen hozzáállással viszonyul a hulladékok kérdéséhez. Ezek a szintek egymásra épülnek, halmaz – részhalmaz viszonyban állnak egymással és a köztük lévő választás a felelősség (körének és mélységének) változását is jelenti.

Mielőtt azonban rátérnénk az egyes szintek bemutatására definiálnunk kell azt a három dimenziót, mely segítségével az egyes megoldások elhelyezhetők egymáshoz képest.

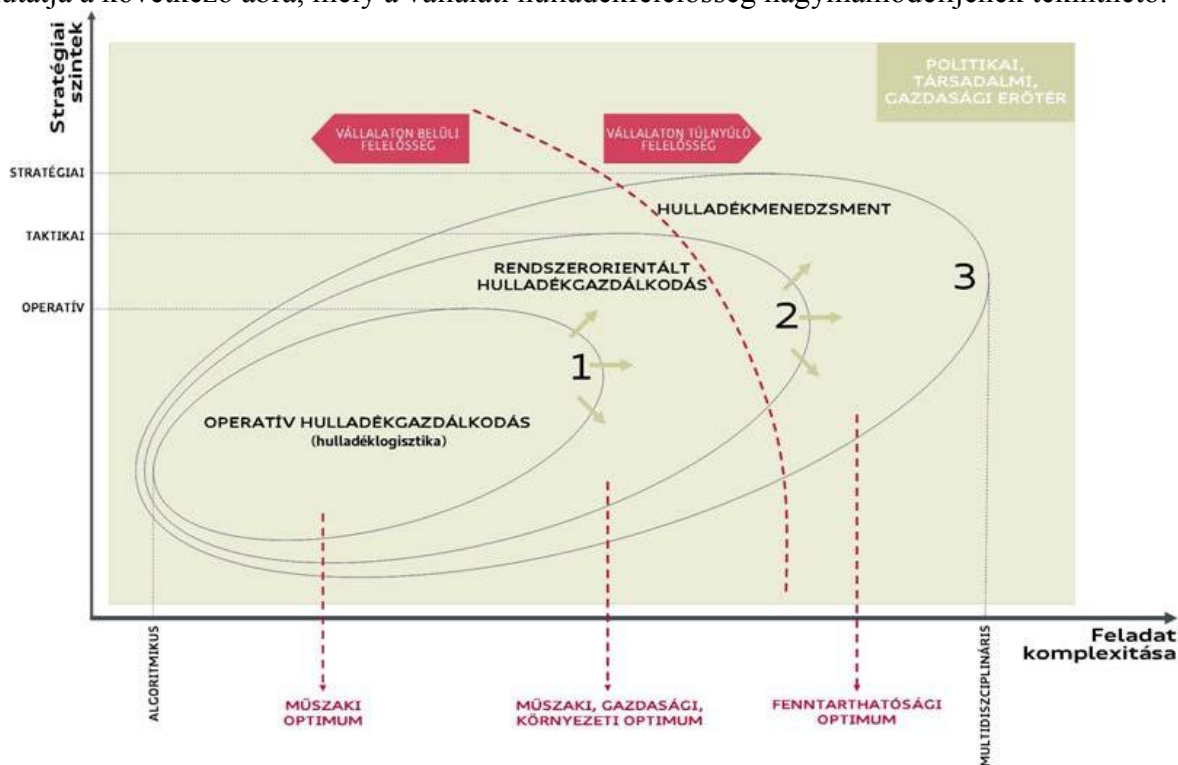
Az első kérdés a megoldás, illetve a hozzá kötődő **feladatok bonyolultsága**. Ennek megfelelően beszélhetünk algoritmikus feladatokról, azaz olyanokról, amelyek rendszerint azonos tartalommal és azonos lefolyással ismételtetők. A skála másik végpontján az abszolút bonyolult és komplex feladatok állnak, melyek megoldása során nem elegendő csupán egyfajta (Pl.: műszaki jellegű) szemléletmód, hanem más területek ismereteit (Pl.: szociológia, gazdaságtudományok, pszichológia, stb.) is igénybe kell venni. Ezt a feladati szintet nevezhetjük multidiszciplináris megközelítésnek.

A másik fontos aspektus, hogy az adott megoldáshoz kapcsolódó döntések, adott esetben tervezési feladatok milyen **stratégiai szinten** helyezkednek el. Ennek megfelelően vannak olyan megoldások, melyek az operatív szintet érintik. Itt olyan konkrét kérdések merülnek fel, amelyek a mindennapi megoldásokat, üzemmenetet támogatják. Egy szinttel feljebb a taktikai kérdések merülnek fel. Itt nem a jövő stratégiája kerül kimunkálásra, hanem a már előre eldöntött jövőbeli irányhoz leginkább közelítő műszaki, szervezési, gazdasági megoldások. Az

időtartam itt nem a napi folyamatok szintje, hanem egy-két éves intervallum. A skála végpontján a stratégiai megközelítés helyezkedik el. Ez az a szint, ahol a hosszú távú irányok, filozófia eldöntésre kerül. Természetesen a stratégiai szint kimenete meghatározza a taktikai és az operatív szint működését.

A harmadik meghatározó jellegű aspektus a felelősség köre. A vállalatnál keletkező hulladék mindenképpen felelősségi kérdéseket vet fel. Egyrészt a környezeti hatások kérdése meghatározó, azaz a keletkező hulladék további kezelésénél célja-e a vállalatnak, hogy a lehető legkisebb mértékben terhelje a környezetet, vagy sem. A másik fontos felelősségi aspektus a gazdasági felelősség kérdése. Mivel a hulladék rendszerből kikerülő termelési tényező, mely értéket hordoz, nem mindegy, hogy a további sorsa gazdaságilag kedvező, vagy nem kedvező állapotot jelent. Harmadrészt pedig felmerül a társadalmi felelősség kérdése is. A hulladékokat megtervezése során vajon a szervezet figyelemmel van-e az egyes megoldások társadalmi (fenntarthatósági) vonzataira is, vagy sem. A felelősség körének megfelelően két lépcsőt különböztethetünk meg: a vállalaton belüli felelősség köre (döntően: gazdasági, környezeti optimalás), illetve a vállalaton túlnyúló felelősség köre (az előbbieken túlmenően: felelősség a körbevevő gazdasági, társadalmi, környezeti környezet irányába).

A három lehetséges megoldási szint előbb említett három kategória szerinti megoszlását mutatja a következő ábra, mely a vállalati hulladékfelelősség hagyománymodelljének tekinthető.



82. ábra: A szervezeti hulladékprobléma lehetséges megoldási szintjei és kapcsolódó feladatai (hagyománymodell)

Fontos megjegyezni, hogy a bemutatandó megközelítések egymásra épülnek, azaz a harmadik szint meglétéhez szükséges az első két szint hatékony működése. Viszont annak eldöntése, hogy egy szervezet az egyes megoldásokat lépésenként vezeti-e be (azaz folyamatosan javítja a teljesítményét), vagy egyszerre alakítja ki és mint halmaz – részhalmaz kérdést kezeli a vállalati döntéshozók kompetenciája.

Az első megoldás döntően az operatív szinten mozog és jellemzően algoritmikus feladatok jellemzik. A megjelenő felelősség ebben az esetben mindenképp vállalaton belüli felelősség. A

vállalati hulladékfelelősség e szintjét tekintjük az üzemi hulladékgazdálkodás operatív szintjének. Legjellemzőbb alrendszere az üzemi hulladéklogisztika. Az üzemi hulladéklogisztika az adott szervezet logisztikai rendszerének az a része, mely a termelés során keletkező hulladékok (melléktermékek) elszállításával foglalkozik. Az újabb terminus technikásokban ezért inverz, vagy reverz logisztikának is nevezzük. Feladata, hogy a lehető leghatékonyabban (pénzügyi, környezeti, gyártástechnológiai, stb. szempontból) gondoskodjon arról, hogy a keletkező hulladékok a termelő sorról eltávolításra kerüljenek. Ebben a kategóriába beletartozik természetesen a hulladékok keletkezési helyen történő gyűjtése is. Emellett az operatív hulladékgazdálkodásba tartozik bele a működést támogató szervezeti rendszer, a gyűjtés, szállítás, előkezelés hármását támogató eszközpark, illetve az operatív szabályozás és ellenőrzés kérdései is. A szállítási feladatok ebben az esetben természetesen nem csak a vállalatban belül, hanem azon túl az átvevőig is értelmezhetőek. A hulladékgazdálkodás operatív szintjén a hulladék, mint műszaki probléma jelenik meg, amelyet a lehető leghatékonyabban (gazdasági és műszaki szempontból) meg kell oldani. Ennek megfelelően a megoldások nem rendszerszintűek, hanem az egyedi problémákra reagáló és a kérdés (döntően) műszaki jellegű kezelését tűzik ki. Mivel nem az egész rendszer kerül vizsgálat alá, így az egyes optimumok szintje elmarad az összoptimum szintjétől. Továbbá a felelősségi kérdések is a vállalatban belül maradnak.

A következő szint a rendszerorientált hulladékgazdálkodás. Ebben az esetben a hulladékkeletkezés egyben kerül vizsgálatra, azaz az egész rendszer optimumát keressük. Az üzemi hulladékgazdálkodás azon folyamatok összessége, amelyek segítségével a keletkező hulladékok gazdaságosan, a környezet érdekeit lehető legnagyobb mértékben figyelembe véve, a jogszabályoknak és az adott termelési egység jellemzőinek leginkább megfelelően kerülnek menedzselésre. A hulladékgazdálkodás keretében gondoskodunk a hulladékok megfelelő gyűjtéséről, előkezeléséről, kezeléséről, megvizsgáljuk a további folyamatlépések gazdasági és környezeti vonatkozásait. Minekutána ezen a szinten nem az a jellemző, hogy az egyes problémák kapcsán keresünk megoldásokat, hanem az egész rendszer teljesítményét kívánjuk növelni, így az intézkedések (feltehetőleg) hatékonyabbak lesznek, mint az operatív megközelítés során. Összefoglalva: ezen a szinten a hulladék már nem műszaki probléma, hanem lehetőség. Új aspektusok (illetve ezek újszerű kombinációi) is megjelennek a döntési folyamatban. Keressük a műszaki, a gazdasági és a környezeti optimumot, ráadásul mindezt integrálva. Azaz a kapott megoldások hármassal optimálást szolgálnak. Ennek megfelelően a feladatok komplexebbek, mint az algoritmikus szint és az interdiszciplinaritás részben jellemző rájuk. A döntési szintek az operatívól a taktikai felé tolódnak el. Természetesen a rendszerorientált hulladékgazdálkodás esetében is van lehetőség stratégiai döntéshozatalra, illetve a jövő missziójának kimunkálására, de ez nem annyira komplex, mint a harmadik szinten. Mivel hármassal optimálást hajtunk végre és ebben a környezeti érdek is helyet kap, így a felelősségi kör részben átlépi a vállalat határait (Pl.: ha egy hulladékhasznosító választásánál szempont a távolság és az ezzel összefüggő logisztikai üvegházgáz-kibocsátás kérdése is). A rendszerorientált hulladékgazdálkodás és a komplexebb hulladékmenedzsment határai elmosódnak és részben átnyúlnak egymásba.

A vállalati hulladékfelelősség harmadik szintje a hulladékmenedzsment. Fogalmilag a legtágabb kérdéskör, mely a stratégiai szinten mozog és a multidiszciplináris feladatok jellemzők rá. A hulladékmenedzsment szintje meglévő rendszerorientált hulladékgazdálkodást feltételez. Amiben több a hulladékmenedzsment az az, hogy itt az optimálás és a megoldások kimunkálása során a felelősségvállalás a vállalatban túli szférába is átnyúlik. Ebben az esetben a legfontosabb optimálási kritérium a fenntarthatóság, vagyis a döntések során a műszaki, gazdasági és környezeti megfelelés mellett azt is vizsgáljuk, hogy az adott megoldás átnézetes fenntarthatósági (döntően társadalmi) vonatkozásai milyenek. Ilyen lehet például, hogy a

hulladékutak megválasztásakor figyelünk az adott régió munkaerő helyzetére (praktikusan a munkanélküliségi kérdésekre), vagy éppen az általános jólétre. Az elért optimum fenntarthatósági.

Az egyes „szintek” eltérő kompetenciákat, eltérő vizsgálati mélységet és ennek megfelelően eltérő alkalmazható módszereket jelentenek. A felelősségi körök és a kapcsolódó feladatok is változnak az egyes szintek vonatkozásában.

Meg kell említeni, hogy a három szint közötti választást és azok működését befolyásolja az a politikai, társadalmi, gazdasági erőter, mely a vállalatot körbeveszi. Innen származnak többek között az érdekelti igények, vagy éppen a piac (gazdasági ág) által elfogadott és alkalmazott jó megoldások, melyek befolyásolják a vállalat a szintek választásával kapcsolatos döntését.

A következőkben részletesen bemutatásra kerül a három megközelítés, kibontva, hogy a gyakorlati megvalósítás során milyen konkrét kérdések merülhetnek fel. Mivel jelenleg a második szintű megközelítés (azaz az üzemi hulladékgazdálkodás) a legjellemzőbb, így a legrészletesebben annak tervezési és megvalósítási folyamata kerül kibontásra.

6.1.3. Az üzemi hulladékfelelősség alapvető célfüggvényei

Mindezt megelőzően azonban rövid kitérőt teszünk az üzemi hulladékfelelősség legfontosabb céljai területére. Ehhez kiindulási alapnak tekintjük, hogy a vállalat minimum rendszerorientált hulladékgazdálkodást folytat, azaz többfajta célfüggvény szerint optimalja tevékenységét. A gyakorlatban persze az egyes célok eltérő súllyal kerülnek figyelembe vételre, függően a vállalat irányultságától, vagy éppen az azt körbevevő komplex erőter változásától.

Gazdasági optimalás: a vállalati hulladékgazdálkodás egyértelműen gazdasági kérdés, hiszen a keletkező hulladékok olyan termelési tényezőknél minősülnek, melyekből közvetlenül nem képződik profit. Ennek ellenére van befektetett értékük, hiszen nyersanyagként, alapanyagként a termelési folyamat kezdetén fizetett érték a vállalat. Ezért abban érdekelt, hogy a hulladékban rejlő értéket a lehető legnagyobb mértékben visszaszerezze. Ez számos hulladékaránál (elsősorban másodnyersanyagok) lehetséges, hiszen a piacon eladhatók és bevétel realizálható belőlük. Más hulladéktípusoknál viszont fizetni kell a kezelésért, ártalmatlanításért. Ezért a vállalat feladata, hogy összes keletkező hulladékát egy rendszerben vizsgálva törekedjen egy olyan optimum kimunkálására, mely kiadás helyett bevételeket jelent számára.

Környezeti optimalás: teljesen nyilvánvaló, hogy a keletkező hulladékok környezeti relevanciával bírnak. A vállalat feladata, hogy környezeti felelőssége tudatában és a környezeti teljesítmény folyamatos javítása érdekében a lehető legkedvezőbb állapotot alakítsa ki. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a hulladékokkal kapcsolatos döntései során a (többek között a 2008/98/EK Irányelvben is rögzített) hulladékhierarchia elvei mentén kell meghoznia döntését. Vagyis törekednie kell a magasabb szintű hulladékkezelési megoldások alkalmazására. Az Európai Unió által is elfogadott hulladékhierarchia sorrendben a következő megoldásokat definiálja [2008/98/EK]:

- megelőzés,
- újrahasználatra való előkészítés,
- újrafeldolgozás,
- egyéb hasznosítás, például energetikai hasznosítás,
- ártalmatlanítás.

Az egyes lehetőségek közötti döntéskor természetesen befolyásoló erővel bír a rendelkezésre álló technológia, illetve annak gazdasági vonatkozásai.

- **Jogsabályi megfelelés:** a vállalati hulladékgazdálkodás során minden esetben cél a maximális jogsabályi megfelelés. Mind a technológiai, mind pedig a nyilvántartási, adatszolgáltatási oldalról. Kifizetődő hozzáállás, ha a szervezet proaktív viselkedést folytat a kérdésben, azaz nem a mindenkori megfelelésre törekszik, hanem teljesítménye javításával elébe megy a jogsabályi szigorításoknak. Így a későbbiekben versenyelőny realizására nyílnak lehetőségei.
- **Társadalmi optimalítás:** melynek során cél, hogy a hulladékgazdálkodással kapcsolatos döntései során a szervezet úgy tervezzen (Pl.: úgy alakítsa ki hulladékutait), hogy azzal támogassa adott egység társadalmi jólétének fejlődését. Ez klasszikusan már a hulladékmenedzsment területe.
- **Folyamatos javítás:** a hulladékgazdálkodás semmi esetben sem tekinthető statikus rendszernek. Számítalan olyan változás lehetséges (Pl.: más hulladékok, más mennyiségben, új technológiák, új, szigorodó jogsabályok, stb.), ami indokolhatja a rendszer átdolgozását. Mind ilyen esetekben, mind a normál működés során törekedni kell arra, hogy a hatékonyság fokozódjon és ezáltal a terület teljesítménye folyamatosan javuljon. Ez csak tudatos tervezéssel és ismétlődő (folyamatos) optimalító intézkedésekkel lehetséges.

A gyakorlatban egy-egy hulladékgazdálkodási döntés meghozatala során a vállalatok az összes felsorolt célfüggvény közös optimumára törekszenek, hiszen csak így érhető el, hogy a lehető legjobb megoldás szülessen. Természetesen nem zárható ki olyan lehetőség (olyan keretfeltétel, vagy olyan üzleti filozófia), mely vagy csak az egyik célfüggvényre, vagy pedig nem azonos arányban fordít figyelmet.

6.2. Az operatív hulladékgazdálkodás (hulladéklogisztika)

A következőkben bemutatásra kerülnek az operatív hulladéklogisztika (hagymamodell első szintje) legfontosabb jellemzői és kérdései.

6.2.1. Az üzemi hulladéklogisztika alaplépései

Az üzemi hulladéklogisztika, mint hulladékgazdálkodási alrendszer minden vállalat esetében mást jelent és máshogy kerül kialakításra. Ennek ellenére a legjellemzőbb lépései definiálhatók. Az egyes lépéseket részletesen a következő fejezetekben mutatjuk be, itt csak logikai áttekintésük a cél.

- **Gyűjtés:** a hulladékok keletkezési helyükön történő gyűjtése. Itt kérdésként merülhet fel az alkalmazható hulladékgyűjtő edények formája, minősége, mennyisége, kialakítása, stb. operatív oldalról. Illetve az egyes hulladékfrakciók szelektív gyűjtésének kialakítása, mint stratégiai kérdés.
- **Begyűjtés:** a keletkezési helyen gyűjtött hulladékok összegyűjtése és elszállítása a vállalat egy olyan helyére, ahol a hulladékok központi gyűjtése történik. Ennek a területnek a neve központi gyűjtőhely. Meg kell különböztetni a veszélyes hulladékok üzemi gyűjtőhelyétől, mely csak a veszélyes hulladékok gyűjtésére szolgál és külön jogsabályi feltételek vonatkoznak rá. A begyűjtésnek két válfaja lehetséges: az ürítéses begyűjtés, mikor a

hulladékot a helyszínen átűrik a begyűjtő szállítóeszközbe, illetve a kombinált, vagy kétütemű módszer, amikor a tele gyűjtőedényt elszállítják és a helyére üreset helyeznek ki.

- **Szállítás:** nagyban összefügg a begyűjtés fogalmával, jelen esetben a vállalaton belüli szállítást jelenti a területi gyűjtés helyétől a központi gyűjtőhelyig. A szállítás során kérdésként merül fel a szállítóeszköz, mely lehet belső égésű, vagy elektromos hajtású vontató. A kisebb környezeti potenciál miatt ez utóbbi ajánlható. Feladat a szállítási útvonalak pontos tervezése a hatékonyság növelése szempontjából. Erre számítógépes modellező algoritmusokat is lehet igénybe venni.
- **Tárolás:** hulladékok tárolása az üzemi gyűjtőhelyen, mely – külön engedély hiányában – nem tarthat egy évnél tovább. A hulladékok tárolásának külön műszaki követelményei vannak, mely döntően a hulladék jellegétől függ. A tároló helyre történő beszállítás lehet szakaszos, vagy folyamatos jellegű. Az üzemi gyűjtőhelyen már megkezdődhet a hulladékok előkezelése is.
- **Előkezelés:** Az előkezelés fázisába tartoznak a hulladék begyűjtését, tárolását, hasznosítását, illetve ártalmatlanítását elősegítő, azok biztonságát növelő, a környezetterhelést csökkentő tevékenységek, amelyek a hulladék fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságainak megváltoztatásával járnak [Nagy – Torma – Vagdalt, 2006]. Ez már – leginkább a további szállítások optimalizálása érdekében – már elkezdődhet közvetlenül a vállalatnál is (Pl.: tömörítés, stb.).
- **Kiszállítás:** a begyűjtött és (esetenként) előkezelt hulladék kiszállítása a vállalattól a további kezelés színhelyére (átvevőhöz). Fontos kérdések ebben a szakaszban: hulladékutak megfelelő megválasztása és a megfelelő (hatékony, kiterhelt) logisztikai kapcsolatok megteremtése, megfelelő kísérődokumentációk megléte (szállítójegyek), veszélyes hulladék esetében veszélyes áru szállítására vonatkozó szabályok betartásának biztosítása. Ebben a szakaszban merülhet fel a hulladék tulajdoni jogának megváltozása is.

Természetesen az üzemi hulladéklogisztika lépései sok esetben (a keretfeltételek függvényében) eltér(het)nek az előbb felvázolt elvi szakaszoktól. A hulladéklogisztika elvi tervezése során viszont az előbb bemutatott logikai sorrend minden esetben alkalmazható marad.

6.2.2. A logisztika és a hulladékgazdálkodás kapcsolatrendszere

6.2.2.1. Üzemi hulladéklogisztika

A logisztika célja az általánosan elfogadott definíció szerint annak biztosítása, hogy a megfelelő termékek és a megfelelő információk a megfelelő mennyiségben és megfelelő minőségben, a megfelelő időben a megfelelő helyen, megfelelő költségszint mellett rendelkezésre álljanak. Ezt az elvet 7M elvnek nevezik.

Más megfogalmazásban a logisztika a vállalati folyamatok zavartalanságát biztosító funkció, mely átfogja a vállalatot kívüli és belüli anyagok, szolgáltatások és információk áramlását.

A logisztikai alapfunkciók

Szállítás

Az áruszállítási rendszerek feladata az alap, -segéd, - és nyersanyagok, félkész -és késztermékek, valamint az alapfolyamatok melléktermékeként keletkező anyagok helyváltoztatásának biztosítása a termelés (források) és a felhasználás (nyelők) illetőleg a hulladékkeletkezés –és feldolgozás (ártalmatlanítás) helye között.

Raktározás

A beszerzés és a termelés, valamint a termelés és a fogyasztás közötti időbeli (ütembeli) eltérés kiegyenlítését szolgáló logisztikai funkció.

Tárolás (beleértve az anyag –és készletgazdálkodást is)

A termelési alapanyagok (alkatrészek) jelentős részének felhasználása készletekből történik, mert az igények és a lehetőségek közötti eltérés kiegyenlítést igényel. Készletek nélküli gyártás (pl. JIT-elvű anyagellátás) viszonylag szűk keretek között, csak bizonyos alkatrészek esetében, körültekintő vizsgálatok után (ABC-, illetve XYZ-analízis) válhat alternatívává, erre ehelyütt részleteiben nem térünk ki. A raktári szükséges és elégséges készletszint meghatározása, a termelési rendszerek folyamatos, zökkenőmentes ellátásának biztosítása a lehető legalacsonyabb költségszint (lekötött tőke) mellett, alapvető készletgazdálkodási feladatok.

Csomagolás

A csomagolás feladata az alapanyagok, félkész -és késztermékek piaci és használati értékének megóvása, esetlegesen növelése (marketing funkció), valamint azok alkalmassá tétele logisztikai folyamatokban (raktározás, szállítás, tárolás) történő részvételre (egységgrakományképzés).

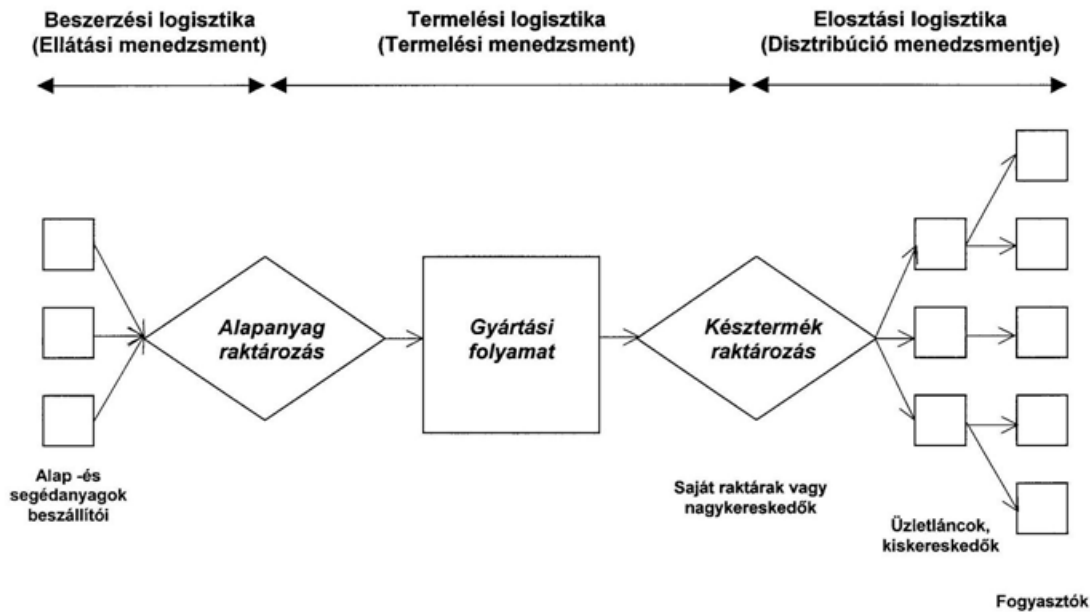
Hulladékgazdálkodás (tágabb értelemben vett logisztikai alapfunkció)

A termelési folyamatok melléktermékeként keletkező, illetve egyéb, az eredeti funkciójukban, a továbbiakban fel nem használható anyagok gazdasági és környezetvédelmi szempontok figyelembe vételével történő gyűjtése és szállítása, illetve esetleges újrahasznosításában, kezelésében történő közreműködés.

6.2.2.2. A logisztikai lánc

A logisztikai alapfunkciók végső soron a logisztikai lánc (ellátási lánc) elemeiként biztosítják az előbbi pont alatt megfogalmazott célkitűzések megvalósulását, valamint összekapcsolják a folyamatrendszer egyéb elemit (a logisztika integráló funkciója).

A logisztikai lánc egyszerűsített modelljét az **83. ábra** szemlélteti. A későbbiekben a folyamatrendszer egyik fő elemét, mint a hulladékgazdálkodási menedzsment szempontjából az egyik legtöbb potenciált kínáló részrendszert, a termelési logisztika területét vizsgáljuk meg részletesebben.



83. ábra: A logisztikai lánc egyszerűsített modellje

6.2.2.3. A környezetvédelem és a logisztika kapcsolata

A fenntarthatóság alapvető kritériuma a természeti környezet megóvása, a káros hatások csökkentése, valamint a szűkösen rendelkezésre álló természetes erőforrásokkal történő hatékony, takarékos gazdálkodás, úgy, hogy mindemellett az emberi társadalom és az élővilág további fejlődése biztosított legyen. A logisztikai folyamatok által kiváltott környezeti hatások az előbbieken felvázolt logisztikai lánc különböző pontjain eltérően jelentkeznek. A potenciális környezeti hatások az egyes láncelemeken a következők:

Szállítás

- füstgáz emissziók a belsőégésű motorokból,
- zajhatás,
- energiafogyasztás.

Raktározás

- füstgáz emissziók a belsőégésű motorral szerelt anyagmozgató eszközökből,
- egyéb emissziók, pl. savkibocsátás elektromos hajtású motorral szerelt anyagmozgató eszközök esetén,
- zajhatás,
- energiafogyasztás.

Csomagolás

- egyutas csomagolóanyagok (fa, karton, papír, műanyagok),
- kiegészítő csomagolások (köztes elválasztók, védőfóliák stb.),
- ragasztóanyagok,
- árukísérő nyomtatványok keletkezése,
- energiafogyasztás.

Termelés

A termék-előállítás során a technológiai folyamattól függő mértékű környezetterheléssel kell számolnunk:

- hulladékok, szennyvizek keletkezése,
- emissziók,
- zajhatás,
- energiafogyasztás.

6.2.2.4. *A termelési (üzemi) logisztika és a hulladékgazdálkodás speciális kérdései*

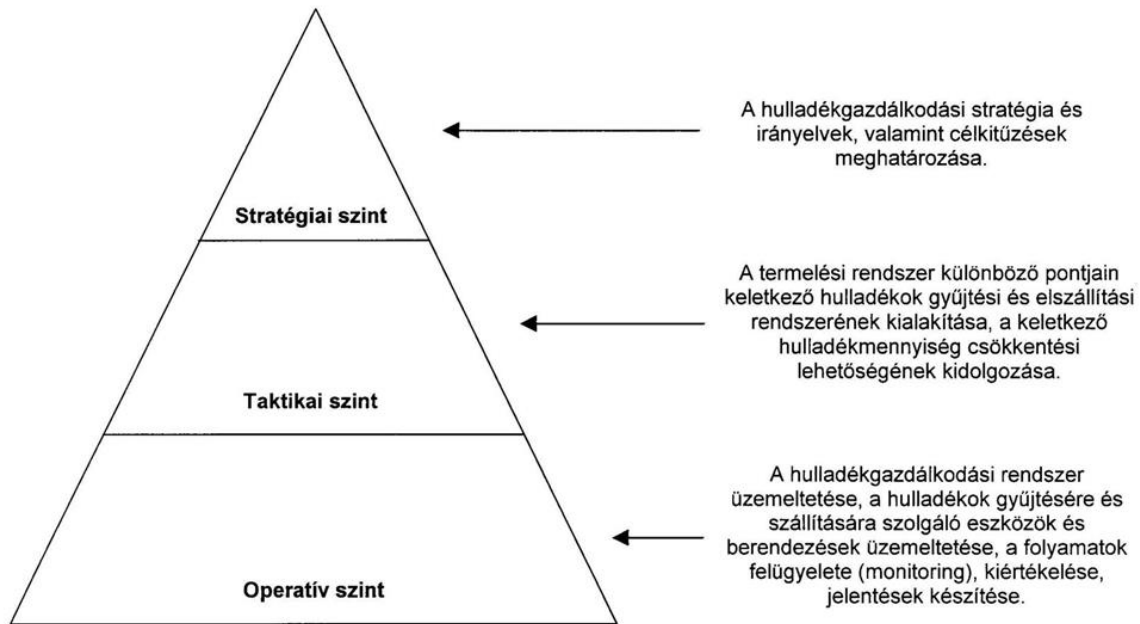
A termelési logisztika a termelő vállalat belső anyaggyártási rendszerének működtetéséért és a külső kapcsolatok biztosításáért felelős mikrologisztikai rendszer. Fő feladatai:

- a beérkező alapanyagok (alkatrészek), nyersanyagok és segédanyagok átvétele, beraktározása,
- anyag- és készletgazdálkodás,
- a termelő rendszer (gyártó területek) igényének 7M-elv szerinti (lásd korábban) kielégítése,
- a technológiai folyamat melléktermékeként keletkező anyagok illetve egyéb hulladékok termelési és logisztikai területeken történő gyűjtése, és elszállítása, valamint a termelő vállalat területéről történő kiszállításának szervezése, lebonyolítása.

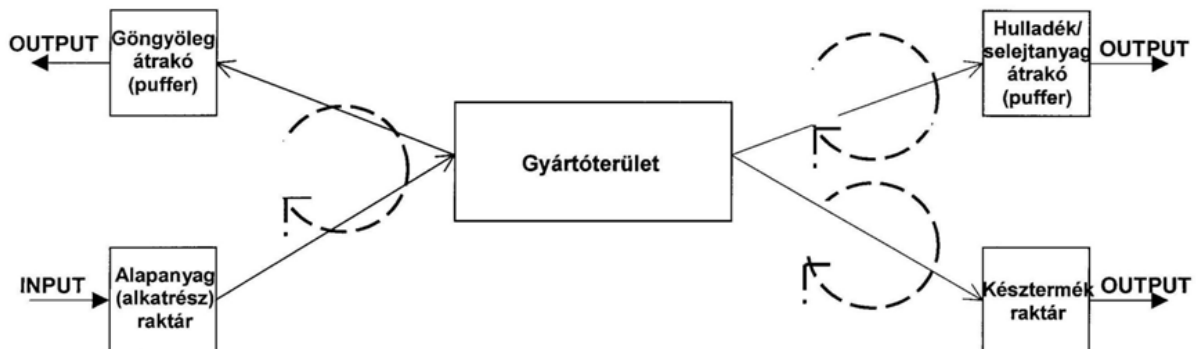
A logisztikai menedzsment funkcióit a különböző irányítási szinteken a hulladékgazdálkodás tekintetében a **84. ábra** szemlélteti.

Termelő vállalat esetében a logisztikai rendszer működtetése szempontjából elsődleges feladat a gyártóterületek igényeinek a korábban említett 7M-elv szerinti zavarmentes kielégítése, hiszen a telepített gyártókapacitások (gépek, berendezések) csak működésük esetén termelik ki beruházásuk értékét, egy idő eltelte után nyereséget. Az álló gép a legdrágább. A vállalati logisztikai rendszer prioritást élvező feladata mellett lebonyolítandó minden egyéb tevékenységet ennek kell alárendelni, azokat úgy kell megtervezni és üzemeltetni, hogy az anyagellátás zavartalan működését ne veszélyeztessék.

Egy termelő vállalat belső anyagáramlási rendszerének egyszerűsített modelljét a **85. ábra** szemlélteti.



84. ábra: A hulladékgazdálkodási menedzsment feladatai a különböző szinteken



85. ábra: Termelő vállalat belső anyagáramlásának egyszerűsített modellje

A körfolyamatot ellátó anyagmozgató eszköz az alapanyagraktárból a termelő terület igényeinek megfelelő ütemben, valamilyen anyagellátó rendszer támogatásával (Kanban, Andon, JIT, stb.) végzi az anyagok gyártó területre történő kiszállítását. Célszerű ehhez a körjárhoz a termelő területen keletkező göngyölegek (üres anyagtartók) gyűjtésének funkcióját is hozzárendelni, amelyet a kijelölt göngyölegátrakó pályaudvaron kell leadni, majd újabb megrendelések kielégítésére vissza kell térni az alapanyagraktárba, így a körfolyamat újraindul.

Az alapanyagraktárakból a termelő területekre kiszállított anyagtartók részben a korábbiakban említett, a továbbiakban fel nem használható csomagolóanyagokat, kiegészítő csomagolásokat is tartalmaznak, illetve adott esetben maga a gyűjtőcsomagolás is egyutas. Ezeknek az anyagoknak a gyűjtése az alapanyagok (alkatrészek) beépítése után elvileg megoldható lenne az eredeti egységcsomagoló-képző eszközben is. Ebben az esetben azonban a fenti folyamatot

végigkövetve az összegyűjtött üres göngyöleget a hulladékokkal együtt kellene a göngyöleggyűjtő területen leadni, vagy a gyártóterület kiszolgálását végző (adott esetben szigorú útvonal –és időköttégek mellett közlekedő) ellátó körnek érintenie kellene a (adott esetben távolabb fekvő) központi hulladékgyűjtő és -átrakó állomást (a **85. ábra** jobb felső sarkában látható).

Mindezek figyelembe vételével, gyakorlati tapasztalatok alapján két megoldás megvalósítása képzelhető el (optimálisan):

1. az üres göngyölegek gyűjtésére és szortírozására kijelölt területen a hulladékok anyagtartókból történő eltávolítását –és szelektív gyűjtését, illetve maguknak az egyutas csomagolóanyagoknak a kezelését is meg kell oldani,
2. a mindenkori keletkezés helyén (tehát ebben az esetben a gyártóterületeken is) meg kell oldani a hulladékok szelektív gyűjtését (az anyagtartókból történő eltávolítását), valamint az önálló elszállítását.

Az ellátó –és a hulladékkezelő folyamatok szétválasztásával a gyártóterület mellett, valamint a termelő vállalat egyéb területein keletkező különböző eredetű és összetételű hulladékok, illetve selejtanyagok típusok szerint szétválasztva gyűjthetők már a keletkezés helyén, speciálisan erre a célra kifejlesztett eszközökben.

A hulladékgyűjtő tartók, a telítődési ciklusidők figyelembe vételével önálló gyűjtő-elszállító körökbe szervezhetők, melyek a korábban említett anyagellátó köröktől szeparáltan, saját útvonalon és menetrend szerint, az ellátó körök elsőbbségét figyelembe véve, azok minimális zavarása mellett biztosíthatják a hulladékok szakszerű, rendezett kezelését.

A gyártóterületeken és a termelő vállalat egyéb területein a keletkező hulladék- és selejtanyagok gyűjtésére rendszeresített speciális tartók átrakó-pályaudvarra kerülnek, ahol nagyobb méretű gyűjtőtartókba üríthetők, melyek a termelő vállalat területéről külső szállítóeszközzel (tehergépkocsi) történő kiszállításra alkalmasak.

A szétválasztás lehetőséget ad a termelő területek anyagellátását végző kihordó körök optimalizálására az útvonal (minimalizálva a bejárando utat) és a szállítandó anyagmennyiségek tekintetében, hiszen az üres göngyölegek (egységgrakomány-képző eszközök) a gyártósorok mellől közvetlenül a szortírozó-átrakó állomásra kerülhetnek, a hulladékok –és egyutas csomagolóanyagok gyűjtése és elszállítása alól pedig a fent ismertetett módon mentesülnek.

A különböző rendeltetésű folyamatok szétválasztása eredményeképpen lehetőség nyílik az eltérő paraméterekkel rendelkező tevékenységek (ciklusidők és frekvenciák, valamint mozgatandó anyagmennyiség, illetve a feladó és leadó helyek elhelyezkedése stb. szempontjából) önálló kezelésére és vizsgálatára, hiszen azok diszkrét mikrorendszerként hatékonyabban működtethetők, a kapacitások jobban kihasználhatók, a folyamatok áttekinthetőbbek.

Természetesen nem szabad megfeledkeznünk a logisztika egy másik fontos alapvetéséről, a rendszerszemléletű gondolkodásmódról sem. Ennek megfelelően mindig meg kell vizsgálni a részrendszerek kapcsolódási pontjait, a felépített rendszer működését, mert végső soron a komplex rendszer hatékony működése a cél és nem a szuboptimumok keresése.

Fentiek figyelembe vételével megvalósulhatnak az alábbi, a gyakorlat szempontjából fontos, a rendszer hatékony működését támogató célkitűzések:

- szétválasztott anyagellátás és hulladékkezelés,
- szelektív hulladékgyűjtés a keletkezés helyén,
- optimalizált körjáratok,
- optimális szállítóeszköz-kapacitás kihasználás,
- rendezett, átlátható folyamatok, felelősségi körök,
- lehetőség részfolyamatok, tevékenységek leválasztására, esetlegesen kiszervezésére (outsourcing), szakértő (speciális know-how-al rendelkező) cég kezébe adására.

6.2.2.5. A logisztikai rendszer környezetvédelmi szempontú fejlesztésének lehetőségei, céljai

A logisztikai rendszer fejlesztése, állandó optimalizálása fontos mérnöki feladat. A környezetvédelmi szempontú optimalizálás lehetőségeit az alábbiakban foglaljuk össze:

A szállítás tekintetében

- korszerű, gazdaságos, környezetkímélő szállítóeszközök alkalmazása,
- vasúti áruszállítás volumenének növelése,
- kombinált áruszállítás volumenének növelése,
- szállítási útvonalak (járatok) optimalizálása,
- szállítási kapacitások minél jobb kihasználása.

A raktározás tekintetében

- elektromos hajtású motorral szerelt anyagmozgató eszközök alkalmazása,
- anyagmozgató eszközök megfelelő karbantartása, ellenőrzése,
- fáradt akkumulátorok elhelyezésének környezetbarát megvalósítása.

A termelési rendszerek tekintetében

- többutas (többször felhasználható) csomagolóanyagok, egységcsomagolóanyagok előnyben részesítése,
- egyutas csomagolóanyagok környezetbarát anyagválasztása, újrahasznosításuk megoldása,
- környezetbarát gyártási technológia kialakítása, a környezetterhelés csökkentése érdekében,
- korszerű minőségbiztosítási rendszer bevezetése a kisebb hulladék –és selejtarány elérése érdekében,
- termékek életciklus végi kezelésének, újrahasznosításának megoldása, lehetőleg a termelő vállalat felelősségi körében.

6.3. A rendszerorientált hulladékgazdálkodás

Az operatív hulladékgazdálkodás szintjéről egyet lépve bemutatjuk a rendszerorientált hulladékgazdálkodás (hagymamodell második szint) legfontosabb jellemzőit a tervezéstől a kivitelezésen keresztül a működtetésig és folyamatos javításig.

6.3.1. Az üzemi hulladékgazdálkodás tervezése

A legkisebb cég számára sem kérdés az, hogy a termelő berendezésekhez az elektromos áram-, a sűrített levegő- és a vízellátást tervezni kell. Könnyen belátható azonban, hogy nagyon sok esetben ezen erőforrásokat sokkal könnyebb kábeleken és csővezetéseken a berendezésekhez eljuttatni, mint a keletkező, akár 40-50 különböző hulladékfajtát begyűjteni és elszállítani a termelő területekről oly módon, hogy azok hasznosítása vagy ártalmatlanítása a jogszabályoknak és a piaci körülményeknek megfelelő legyen. Ennek ellenére a vállalati hulladék-logisztika tervezése még nem foglalkoztatja eléggé a vállalatvezetőket és a környezetvédelmi szakembereket, mert még nem látják a céltudatosan tervezett hulladéklogisztikai folyamatokban rejlő gazdasági és környezetvédelmi lehetőségeket, kiaknázható tartalékokat.

Ha megpróbálunk egy panellakás konyhájában hulladékot szelektíven gyűjteni, akkor jelentős problémahalmazba ütközünk. Először is helyhiány miatt nehéz annyi gyűjtőedényt elhelyezni, ahány a hulladékfrakciók külön gyűjtéséhez szükséges. Rögtön felmerül a kérdés, hogy mekkora az egyes hulladékfajták gyűjtőedényének optimális mérete? Ha ugyanis ez túl kicsi, akkor a gyűjtőszigetre gyakran kell kimenni, ha viszont túl nagy, akkor nem marad hely a többi gyűjtőedény számára. Az is megfontolandó, hogy több frakció akár egy edényben is gyűjthető, ekkor azonban a gyűjtőszigetnél utólagos szortírozásra van szükség. Fontos szempont lehet az is, hogy milyen távol van a gyűjtősziget, esetleg amúgy is útba esik időnként, vagy kizárólag a hulladék elhelyezésekor közelítjük meg. Ha többen élünk a lakásban, azonnal felmerül az a kérdés is, hogy ki viszi el a gyűjtőedényeket a gyűjtőszigetre, azaz ki melyik frakcióért felel. Még ki sem léptünk a konyhából, mindössze néhány csomagolóanyag-féleség és háztartási hulladék szelektív gyűjtését szeretnénk környezetbarát módon megoldani, és máris olyan kérdések merülnek fel, amelyek megválaszolása egy kis céltudatos tervezést, kivitelezése pedig szervezést igényel. Ebben a fejezetben rámutatunk arra, hogy a környezettudatos – vagy „csupán” jogszabálykövető - vállalatok hasonló kérdésekre kell megfelelő válaszokat adjanak, azonban sokkal nagyobb összetettségben és méretekben.

A fejezetben értelmezzük a vállalati hulladékgazdálkodás fogalmát és bemutatjuk annak céljait, majd részletesen kitérünk a tervezés egyes lépéseire. Végül levonjuk azt a következtetést, hogy a vállalati hulladékgazdálkodást tervezni kell, mégpedig szakszerűen és kellő szakértelemmel ugyanúgy, mint a gyártást kiszolgáló összes többi folyamatot.

6.3.1.1. A vállalati hulladékgazdálkodás fogalma

A hulladékgazdálkodás általános fogalmának értelmezése megtalálható a **2000. évi XLIII. hulladékgazdálkodásról szóló kerettörvényben**, amely az uniós jogra épül. Ha az általános meghatározást a gazdálkodó vállalat szempontjából akarjuk értelmezni, akkor a jogszabályban található definíció némi kiegészítésére van szükség. A következő meghatározásban, a jogszabályban is megtalálható rész dőlt betűvel szerepel, a többi a hulladékgazdálkodás vállalati szempontjaira épülő kiegészítés:

A vállalati hulladékgazdálkodás a vállalat tevékenysége során keletkező hulladékkal összefüggő tevékenységek rendszere, beleértve a hulladék keletkezésének megelőzését, mennyiségének és veszélyességének csökkentését, a keletkező hulladék gyűjtését, tárolását, kezelését, valamint e tevékenységek tervezését és ellenőrzését, a hulladék sorsának nyomon követését, dokumentálását és a hatósági kötelezettségek teljesítését.

6.3.1.2. A vállalati hulladékgazdálkodás tervezésének céljai

A vállalat szempontjából fontos kérdés, hogy tevékenysége során mennyi és milyen hulladékok keletkeznek, melyek a hasznosítási és ártalmatlanítási lehetőségek az adott gazdasági környezetben, milyen a jogi környezet és mindezek eredményeként milyen költségekkel kénytelen megszabadulni hulladékaitól, illetve mekkora bevételre számíthat. A lehetőségek legjobb kihasználása érdekében a vállalati hulladékgazdálkodás tervezése során a következő célokat kell kitűznünk magunk elé:

- teljes jogszabályi megfelelés biztosítása,
- optimális logisztikai folyamatok kialakítása,
- szervezeti felépítés kialakítása, felelősségi körök meghatározása,
- költséghatékonyság optimalizálása,
- ökológiai szempontok figyelembe vétele és érvényesítése,
- társadalmi felelősség vállalása, tettek és arculat összehangolása.

Amint a továbbiakban látni fogjuk, a vállalati hulladékgazdálkodás túlnyomóan logisztikai folyamatok láncolata. A vállalati hulladék-logisztikai folyamatok tervezésének alapvető célja azon optimális feltételrendszer megteremtése, amely a hulladékfajták és az ezeket kísérő információk

- megfelelő helyről
- megfelelő időben
- megfelelő mennyiségben
- megfelelő minőségben
- megfelelő költségek mellett
- megfelelő helyre

történő áramlását biztosítja.

6.3.1.3. A vállalati hulladékgazdálkodás tervezésének lépései

I. Helyzetfelmérés

Mint minden tervezési folyamat, a hulladékgazdálkodás tervezése is egy részletes helyzetelemzéssel kezdődik. A felmérés a teljes hulladékgazdálkodási láncra kiterjed, így tárgyát képezik a közvetlen munkahelyi területek, az üzem belüli köztes területek, illetve az üzem kívüli, de ahhoz kapcsolódó területek. Eszerint részletes adatgyűjtést végzünk a termelési, a belső logisztikai és a külső szállítási folyamatokról. Kérdőíves felmérést készítünk a belső termelő munkatársakkal, a belső vagy külső logisztikai szolgáltató személyzettel, valamint – ha erre lehetőségünk van – a külső szolgáltató munkatársaival is. Az adatgyűjtés során részletesen felmérésre kerül a gyűjtés, a szállítás, az átrakás, az üzemi gyűjtőhely, az esetleges előkezelés, kezelés, hasznosítás vagy ártalmatlanítás. A felmérés során fontos lehet, ha az adott vállalatnak van környezetközpontú irányítási rendszere (KIR), főként, ha az egy jól működő rendszer. Amennyiben így van, nagymértékben segíti az elemzést, hiszen írásos anyagot találunk a szervezeti felépítésről, a felelősségi körökről, a jogszabályi háttérrel és a környezetvédelmi folyamatokról, amelyeket egyébként a KIR meglététől függetlenül is vizsgálnunk kell.

A helyzetfelmérés eredménye egy olyan átfogó adatbázis, amely a hulladékgazdálkodási lánc teljes folyamatának releváns adatait részletesen tartalmazza.

II. Helyzetértékelés

A helyzetfelmérés során készült adatbázisból olyan kiértékeléseket készítünk, amelyek alkalmasak a döntéshozók későbbi tájékoztatására. A kiértékelésnek feltétlenül tartalmaznia kell a következő elemeket:

- hulladékkataszter készítése,
- veszélyes hulladékok kiemelt elemzése frakciónként,
- gyűjtőedény-kataszter készítése, a hulladékok hozzárendelésével,
- hulladékok, tárolók, átrakófelületek megjelenítése az üzemi térképeken,
- forrás – cél hulladék-mozgások, áramlások megjelenítése az üzemi térképeken,
- belső ellátó-logisztikai folyamatok erőforrásainak kiértékelése a hulladéklogisztikai folyamatokban való részvétel tekintetében,
- hulladékmenedzsment állapota – szervezet, büdzsé, felelősségi körök kiértékelése,
- zavarok és szinergiák kiértékelése – hulladéklogisztikai folyamatok érintkezési felületei a többi üzemi területtel,
- érintkezési felületek a külső hulladékgazdálkodási szolgáltatóval, szolgáltatókkal,
- erőforrások számbavétele,
- költségelemzés.

Az értékelés során a tervezőnek nehézségei adódhatnak, mert a vállalat egyes területei között gyakran érdekellentétek húzódnak. Ez oda vezet, hogy az egyes területek, termelőegységek a saját szuboptimális érdekeiket a vállalati összérdek elé helyezik. A nagyobb vállalatok költséghely szerinti megosztása során a területi vezetők kiemelt figyelmet fordítanak ugyan a saját területükre, a többi területtel közösen kiaknázható szinergiákat azonban csak ritkán veszik figyelembe. Ha egy gyakorlati példával szeretnénk megvilágítani az imént olvasottakat, akkor gondoljunk egy termelő üzem két területére, amelyek időnként targoncákat használnak. Mindkét terület beszerzi a maga targoncáját, anélkül, hogy megvizsgálnák annak lehetőségét, hogy közösen használjanak egy targoncát. A „kinek a költsége” kérdés gyakran a költség helyek közötti átjárhatóság gátja, amelynek átvágásához felsővezetői döntés szükséges. Az egyik legnagyobb kihívás a tervezés során éppen az, hogy az egyes területek felelőseit megnyerjük az együttműködéshez. Ha ez elmarad, akkor a projekt során már az adatgyűjtés akadozhat, a koncepció kialakításánál pedig érvek sorát fogjuk hallani, hogy mit miért nem lehet jobbra tenni. Különösen érzékeny pontja az értékelésnek a költségelemzés, amelyet csak akkor érdemes elkészíteni, ha a vállalat hajlandó az egyes költségek ismertetésére.

III. Bemutató készítése a döntéshozók számára

A kiértékelés során olyan mennyiségű információ keletkezik, amelynek a részletes ismertetésére a döntéshozók irányába általában nincs lehetőség. A döntéshozók szempontjából a hulladékgazdálkodás kérdésköre nem elsőrendű feladat, hanem a vállalati tevékenységgel együtt járó kellemetlenségek halmaza, amelyre annyi időt szánnak, amennyi feltétlenül szükséges. Éppen ezért, a kiértékelés legfontosabb eredményeit egy olyan bemutatóban kell összefoglalni, amely lehetővé teszi, hogy a döntéshozók egy-két óra alatt teljes képet kapjanak a vállalat hulladékgazdálkodási helyzetéről. A bemutató előkészítése során tudnunk kell, hogy

- mit akarunk elérni, azaz mi a víziónk, a célunk,
- milyen út vezet a célhoz,
- a hallgatóság körében ki miért felel, azaz kitől milyen döntést várunk.

Be kell mutatni a halasztást nem tűrő megoldandó hiányosságokat (pl. jogszabályi hiányosságok, szennyeződések okozása, szolgáltatói visszaélések), valamint az azonnali változtatást nem igénylő, de előrelépést jelentő lehetőségeket (pl. technológiai, piaci, szervezeti változtatások lehetőségei). Az áttekinthetőség érdekében célszerű a bemutatóban tömör, látványos diagramokat, összefoglaló táblázatokat, térképeket, folyamatábrákat és fényképeket használni. Gyakori probléma, hogy a területi vezetők félnek a felsővezetői rálátástól, ezért a bemutatót előzetesen látni akarják. Ha azonban az adatgyűjtés és értékelés során – amint arra korábban már kitértünk – a kulcsszereplők bizalmát és támogatását a tervezéshez már megnyertük és kreatív csapattagként tekintünk rájuk, akkor ők is csapattagként, szerzőtársként tekintenek a bemutatóra, amely a közös munka egyik köztes eredménye. Fontos, hogy a bemutatót követően jegyzőkönyvezzük a megfogalmazott felsővezetői döntéseket, amelyek a további tervezés alapját képezik. Ha ez elmarad, könnyen előfordulhat, hogy egyes területi szereplők utólag másként emlékeznek az elhangzottakra.

IV. A hulladékgyűjtési koncepció kidolgozása

Ha sikeres volt a köztes bemutató és az azt követő egyeztetés a döntéshozókkal, akkor a tervezés további iránya kirajzolódik. A koncepció kialakítása során a következő szempontokat kell figyelembe venni:

1. Belső prognózis

A tervezés során a várható vállalati folyamatok, trendek függvényében kell vizsgálni a hulladékkeletkezés megelőzésének és mennyiségi csökkentésének lehetőségeit.

2. Külső prognózis

Figyelembe kell venni a külső jogi, piaci és szakmai környezet várható változásait. Nyilvánvaló, hogy ehhez olyan szakmai felkészültségre van szükség, amely napirenden van a hasznosítás és ártalmatlanítás lehetőségeivel és a legjobb elérhető technológiák gyakorlatával, valamint a piaci trendekkel.

3. A létesítendő rendszer meghatározása – az 1. és 2. pont figyelembevételével

Meg kell határozni a kialakítandó hulladékgyűjtési rendszer alapvető tulajdonságait, így például azt, hogy centralizált vagy decentralizált hulladékgyűjtést, teljes vagy részleges szortírozást, üzemben belüli vagy kívüli térfogatcsökkentést kívánunk bevezetni. A tervezés további lépéseit ugyanis már ezek ismeretében lehet elvégezni.

4. A belső hulladéklogisztikai folyamatok kialakítása

Részletesen meg kell tervezni a belső és a külső logisztikai folyamatokat. Amit lehet és érdemes, azt vállalati szinten standardizálni kell (pl. hulladékgyűjtő edényzet). Ki kell alakítani a használni kívánt vizuális eszközöket, így a feliratokat, jelöléseket és színvezérlést. Olyan dokumentációs rendszert kell kiépíteni, amely megfelel úgy a belső, mint a külső logisztikai folyamatok történéseinek rögzítésére.

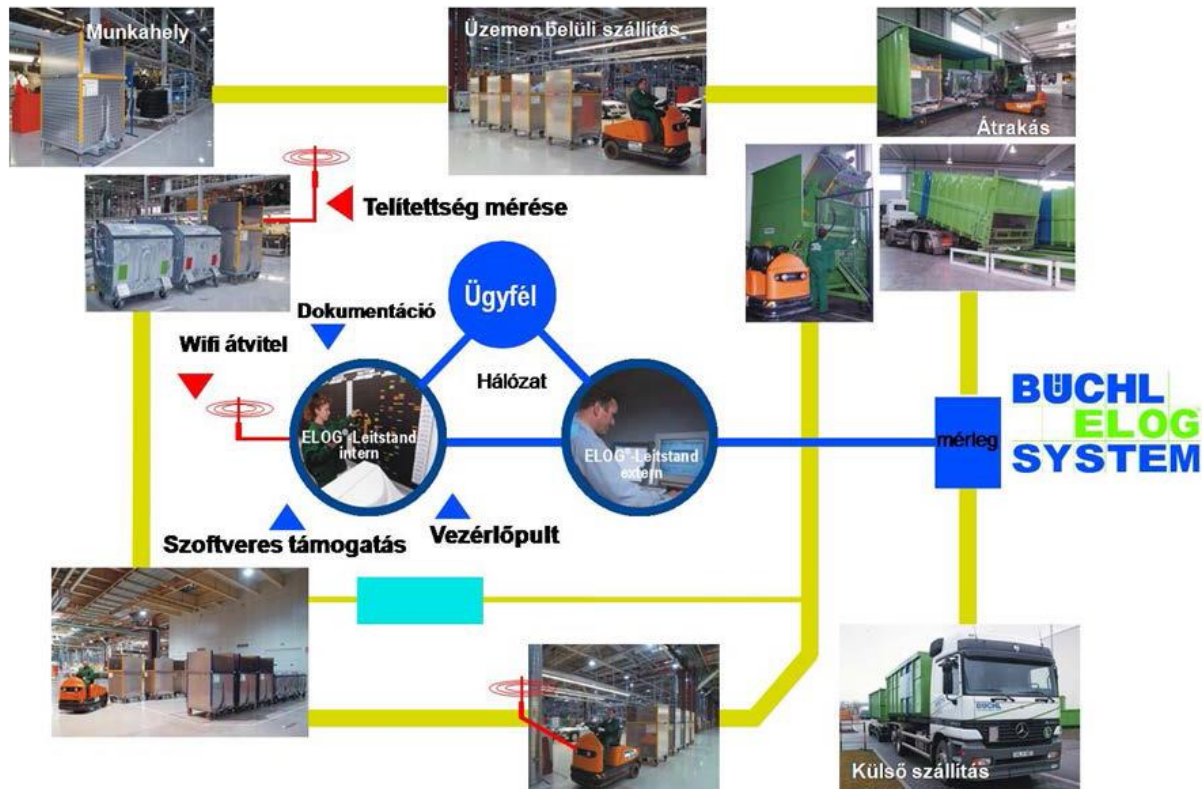
A tervezés során össze kell hasonlítani a különböző lehetséges megoldásokat. Ennek egyik modern eszköze a számítógépes szimuláció használata. A szimuláció során olyan hatáselemzést végzünk, amely a tervezett folyamat hatását vizsgálja, illetve a lehetséges különböző logisztikai modellek hatásainak összehasonlítására is alkalmas. A hatáselemzés során a különböző

hulladékfrakciókhoz tartozó folyamatok termelési rendszerre kifejtett hatását kell vizsgálni. A hulladéklogisztikai folyamatok összehasonlítását a következő kritériumok alapján végezzük:

- a gyűjtőedények által elfoglalt összes termelési felület (m^2),
- az egységnyi gyűjtőfelületre eső hulladékmennyiség (pl. m^3/m^2),
- egy hulladékegység elszállításához megtett üzemi út hossza (pl. m/m^3),
- a tevékenység személyi erőforrásigénye (emberi munkaóra/év),
- a tevékenység gépi erőforrásigénye (gépi munkaóra/év),
- forgalom csökkenése vagy növekedése az üzemi útvonalakon,
- a folyamatok költségvonzata.

A legelterjedtebb és legrégebb hulladéklogisztikai rendszer a **kombinált modell**, amely az ellátó-logisztikai folyamatokba integrálja a hulladéklogisztikai folyamatokat. Ebben az esetben a hulladék elszállítását a termelést alkatrészekkel ellátó logisztikai dolgozók végzik. A rendszer hátránya, hogy zavarja a termelés alkatrészekkel történő ellátását. További hulladéklogisztikai rendszer az **önálló modell**, amelynek lényege, hogy az alkatrész-ellátástól független hulladéklogisztikai rendszer szolgálja a hulladékok elszállítását. Az önálló modell egyik előnye, hogy csökkenti az értékteremtő dolgozók veszteségidejét oly módon, hogy az értékteremtő dolgozónak nem kell elhagynia munkahelyét, azaz a dolgozói háromszöget. Bizonyos üzemméret fölött a folyamatvezérlést szoftveres támogatással kell biztosítani. Az önálló modell optimális gyűjtési és szállítási folyamatokat eredményez, amelyek jelentős költségmegtakarításhoz vezetnek. Lehetővé teszi továbbá a zavartalan, ütemezett ellátó logisztikai körök bevezetését, valamint mentesíti a JIT (just in time) és a JIS (just in sequence) ellátó folyamatokat a hulladékkal összefüggő, hátráltató tevékenységektől.

Példaként a következő ábra a Büchl-ELOG[®] System belső hulladéklogisztikai rendszert mutatja be. A rendszer szoftveres támogatással működik, amely a mindennapi üzemeltetés támogatásán túl a belső anyagmozgást is dokumentálja. Az adatok nyilvántartása olyan részletességgel történik, hogy lehetőség van egy adott időintervallumra, keletkezési helyszínre bontva, hulladékfrakciónként a keletkezett mennyiségek lekérdezésére. A rögzített adatok a vállalat környezetirányítási céljainak megvalósításához mérőszámként szolgálhatnak, illetve fontos részét képezhetik a vállalat monitoring rendszerének.



86. ábra: A BÜCHL ELOG® belső hulladéklogisztikai rendszer működése

5. A külső hulladéklogisztikai folyamatok kialakítása

A belső logisztikai folyamatok vége szervesen kapcsolódik a külső logisztikai folyamat elejéhez. A kellő mélységben megtervezett külső rendszer a következő jellemzőkkel rendelkezik:

- biztosítja a hulladékok megfelelő ellenőrzését,
- biztosítja a kiszállításhoz a szükséges dokumentumok előállítását,
- biztosítja a vállalati vagyontárgyainak védelmét.

Mindezt úgy kell elérni, hogy a hulladék kiszállítása a vállalattól a lehető legrövidebb út megtételével, a lehető legrövidebb idő alatt és a lehető legkevesebb okmánnyal valósuljon meg. Az így megtervezett rendszer „revízió-biztos”, ami főként a nagy vállalatokra jellemző időszakos belső ellenőrzések, auditok során is megfelelőséget garantál.

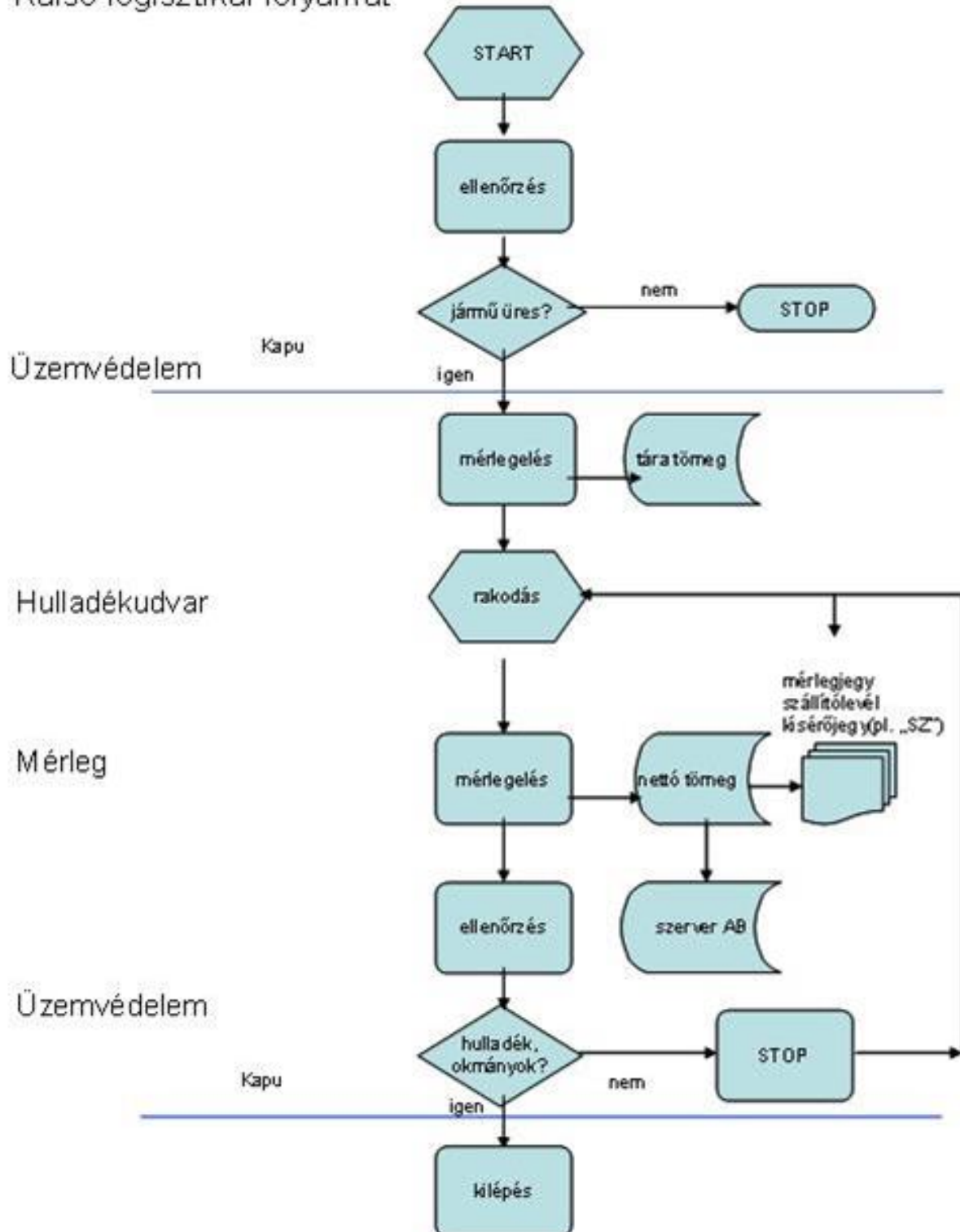
A külső logisztikai folyamatok adatait is dokumentálni kell, amelyhez ugyancsak célszerű informatikai eszközöket alkalmazni. A folyamattal szembeni a legfontosabb elvárások a következők:

- az adatokat a hozzáértő osztályok kezeljék – a hibákat csak ők veszik észre,
- az okmányok előállítását hozzáértő személyek végezzék (pl. „SZ” –jegy, ADR-, RID – okmányok),
- a számlák ellenőrzése a szakmai osztály feladata (nem a pénzügyi osztályé!),
- szoftver alkalmazása.

A következő ábra a külső logisztikai folyamat üzemi területet érintő szakaszát ábrázolja. A folyamat biztosítja a belépés előtti ellenőrzést, a szükséges adatok rögzítését, a belső rakodást,

a befelé és kifelé történő mérlegelést, a mérlegjegy, szállítólevél és egyéb kísérő okmányok kiállítását, valamint a kilépés előtti ellenőrzést.

Külső logisztikai folyamat



87. ábra: A külső hulladéklogisztikai folyamat

V. Javaslattétel a szervezeti felépítésre

Ahhoz, hogy a megtervezett folyamatok a gyakorlatban is működjenek, megfelelő szervezeti felépítésre van szükség. Gyakran tapasztaljuk, hogy a hulladékgazdálkodás több területhez tartozik, anélkül, hogy bárki is igazán felelősnek érezné magát a folyamatokért. A szervezeti felépítésnek biztosítania kell, hogy a hulladékgazdálkodáshoz tartozó folyamatoknak legyen egy rendszerfelelőse, ahol a felelősség koncentrálódik. A felelősség vállalásához pénzeszközökre is szükség van, tehát a rendszerfelelősnek egyben a hulladékgazdálkodási költségvetés felelősének kell lennie. Jó, ha ez a vállalati egység közvetlenül a környezetvédelmi osztály, amelynek azonban nem szabad alárendelt viszonyban lennie a többi vállalati egységgel. A rendszerfelelős tartja a kapcsolatot a termeléssel, a gyártervezéssel, az üzembiztonsággal, a tervező- és operatív-logisztika területeivel és a többi vállalati egységgel, valamint hozzá tartozik az hulladékgazdálkodás operatív irányítása. Ugyancsak ez az egység a kapcsolattartó a külső hulladékgazdálkodó szolgáltatóval.

VI. Az implementálás támogatása

A tervező az elméleti tervezést követően nem vonulhat ki a vállalat életéből. A tervezett hulladékgazdálkodási koncepció gyakorlatba ültetését figyelemmel kell kísérni. Itt is érvényes a PLAN-DO-CHECK-ACT láncfolyamat, azaz a tervezés szakaszát a cselekvés követi, amelynek során az első időszakban fokozott ellenőrzésekre van szükség, amelyek további beavatkozást, kiigazítást tesznek lehetővé. A stabil működés után a tervező kivonulhat ugyan, de a működésért felelősöknek szem előtt kell tartani, hogy a vállalat egy élő, dinamikus változó rendszer. A PDCA-ciklus ismétlődő folyamat, amely a folyamatos fejlődést és a fenntarthatóságot kell, hogy szolgálja.

Következtetések

Végül néhány fontos következtetés, amelyek az eddigiek alapján kirajzolódhattak:

- a vállalati hulladék-logisztikai folyamatok átfogó tervezése egy szükséges, de ma még nem elterjedt gyakorlat,
- a vállalati hulladékgazdálkodás ma még kiaknázatlan gazdasági és környezetvédelmi lehetőségeket rejt magában, amelyek megfelelő tervezéssel felszínre hozhatók,
- a vállalati hulladékgazdálkodás szakszerű tervezése egyaránt vállalati és társadalmi érdek.

6.3.1.4. Az üzemi hulladékfelelősség és a környezeti teljesítmény

A vállalati szinten működtetett hulladékgazdálkodási, vagy hulladékmenedzsment rendszer megfelelő tervezés és működtetés esetén garantálja a mindenkori jogszabályoknak megfelelő működést, továbbá a gazdasági, környezeti és egyéb választott célfüggvényekkel való koherenciát. A mindenkori hatékonyságról és megfelelésről azonban csak akkor lehet megbizonyosodni, ha mérjük a teljesítményt és összevetjük az előre definiált értékelési kritériumokkal.

A hulladékokkal kapcsolatos tevékenység vonatkozásában a környezeti teljesítmény kettős. Van egy tényleges fizikai teljesítménnyel (Pl.: hulladékok mennyisége, újrahasznosítási arány, stb.) és egy a rendszer működésével összefüggő (azaz a folyamatok hatékonysága) összefüggő

része. Jelen jegyzet kereteiben nem cél e két terület részletes, indikátorszintű alábontása, mindössze ajánlásokat adunk a megoldások kialakításához.

A környezeti teljesítmény oldaláról a legfontosabb a hulladékok mennyiségi nyilvántartása. Ez egyébként jogszabály által is szabályozott tématerület (164/2003. (X. 18.) Korm. Rendelet (A hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről). Ez gyakorlatilag előírja, hogy a hulladék termelőjének naprakész nyilvántartást kell vezetnie a keletkezett hulladékokról. Az így gyűjtött adatok az éves adatszolgáltatás révén a mindenkori környezetvédelmi miniszteriális szerv Hulladék Információs Rendszerébe kerülnek, a területileg illetékes környezetvédelmi felügyelőség közbeiktatásával. Ezen adatok mellett külön adatokat kell gyűjteni a veszélyes hulladékok vonatkozásában is (veszélyes hulladék üzemi statisztika). Főképp nagyobb vállalatméret esetében célszerű az aggregáltan gyűjtött mutatószámok alábontása területi, vagy éppen folyamatszintre.

A hatékonyságról akkor tudunk a leginkább meggyőződni, ha az abszolút értékek mellett relatív (azaz fajlagos) értékeket is gyűjtünk. Ebben az esetben a keletkező hulladék mennyiségét valamilyen más jellemző értékhez, például a termelt mennyiséghez viszonyítjuk. Az így kapott adat információt hordoz az adott tevékenység hatékonyságáról (öko hatékonyság). Kiemelten fontos egy vállalat működése szempontjából a hulladékok további sorsa, azaz, hogy hasznosításra (legyen az anyagában, vagy éppen termikusan), esetleg ártalmatlanításra kerülnek-e. Erről mutat pontos képet az újrahasznosítási ráta, mely megmutatja az újrahasznosított és nem újrahasznosított anyagok arányát.

A vállalatnak gondoskodni kell a hulladékok minőségi ismeretéről is, ez a gyakorlatban mérések segítségével történik (Pl.: tömegkoncentráció mérés). A mérésekre minden esetben akkreditált laboratóriumot kell felkérni. A hulladékok minőségi ismerete szükséges többek között a hulladékkategóriákba történő besoroláshoz is.

A hulladékgazdálkodási tevékenységek hatékonyságát mérik az azzal összefüggő szervezeti teljesítmény mérőszámok. Ezek segítségével nem a fizikai mennyiségek kerülnek elemzésre, hanem azok a folyamatok, melyek a hulladékgazdálkodást, -menedzsmentet felépítik. Ilyen lehet többek között a kiépített és működtetett szelektív hulladékgyűjtés hatékonyságának ellenőrzése rendszeres auditokkal, esetenként a hulladékgyűjtő edények tartalmának tömegszázalékos vizsgálatával. Szintén jellemző terület, mely optimálásokra adhat lehetőséget a hulladékutak vizsgálata. Ez az ellenőrzés kettős. Jelentheti egyrészt a már meglévő hulladékátvevők tevékenységének ellenőrzését helyszíni auditokkal (vagy új hulladékátvevő esetén helyszíni előaudittal). Másrészt jelentheti azt is, hogy az átvevők rendszere időről időre átvizsgálásra kerül és megvizsgáljuk, hogy adott hulladékkategória kapcsán elérhető-e már egy környezetileg és / vagy gazdaságilag hatékonyabb megoldás. Szintén az ellenőrzés tárgyát képezheti a veszélyes hulladékok vonatkozásában a kiszállítások veszélyes áru szállítás előírásainak megfelelő (szűrőpróbaszerű) ellenőrzése.

Mivel a vállalati működés minden téren folyamatosan változásban van, ezért a komplett hulladékgazdálkodási, -menedzsment rendszert folyamatosan felül kell vizsgálni, értékelni kell a teljesítményét, minden lehetséges releváns szemszögből (szabályozások, oktatások, technikai megvalósulás, stb.).

Csak a fizikai és a szervezeti teljesítmény együttes elemzése teszi lehetővé, hogy a lehető leghatékonyabban tudjuk javítani a hulladékgazdálkodás, -menedzsment rendszerét. Vagyis a gyakorlatban e rendszernek is a PDCA-ciklus logikája szerint kell felépülnie.

6.4. Hulladékgazdálkodásból hulladékmenedzsment

Ahogy a korábbiakban az üzemi hulladékfelelősség hagymadiagramjában bemutatásra került a vállalati szintű hulladékfelelősség legösszetettebb megközelítése a vállalati hulladékmenedzsment. A hulladékmenedzsment komplexitásában jelentősen meghaladja a stratégiai szintű hulladékgazdálkodást. A stratégiai gondolkodásmód és a komplex, multidiszciplináris feladatok jellemzőek rá. A hulladékmenedzsment jellegű megközelítés szemléletbeli váltást is jelent a szervezetek részéről, mivel a benne foglalt felelősségi kört kiterjeszti a vállalaton túlra is.

A stratégiai szintű hulladékgazdálkodás és a hulladékmenedzsment megközelítése közötti határ elmosódó. A hulladékgazdálkodás stratégiai szintjén is foglalkoznak a vállalatok gazdasági és környezeti kérdésekkel, melyek indirekt módon a fenntarthatóságra is befolyással bírnak. Ennek a kibővítése a hulladékmenedzsment szintjén a teljes körű fenntarthatósági szemléletmóddal jelentős ugrást jelent ugyan, de ennek fundamentumai a stratégiai hulladékgazdálkodás szintjén megteremtődnek.

Ami jellemző különbség a két szint között a felelősség megítélésének kérdése, mely a hulladékmenedzsment esetében jóval tágabb mind terjedelmében, mind pedig értelmezésében. A hulladékmenedzsment esetében a vállalatnál keletkező hulladékokkal kapcsolatos összes kérdést egy rendszerként vizsgáljuk, annak minden vonatkozásában. Ez klasszikusan a környezeti, társadalmi és gazdasági aspektusokat jelenti. Ez a hármas tagozódás azonban alábontható további jellemzőkre. Ami fontos a hulladékmenedzsment esetében, hogy az optimalás integratív, azaz mind a három terület egyszerre veszi figyelembe és annak összoptimumának megtalálására és potenciális javítására törekszik. Vagyis olyan komplex megoldásokat vizsgál, melyek esetében a fenntarthatóság mindhárom dimenziója azonos súllyal érvényesül (azaz elkerülhető az a szituáció, hogy egy bár gazdaságilag kedvezőbb, de környezetileg, vagy társadalmilag kedvezőtlen megoldás támogatást nyerhessen).

Ami egyértelműen többlet ezen a szinten a korábbi rendszermegoldásokhoz képest, hogy a társadalmi felelősség kérdésével is foglalkozik. Ez döntően olyan új aspektusok megvizsgálását (is) jelenti, mely a korábbi optimalások során nem volt szempont. A hulladék sorsa a keletkezéstől a kezelésig (legyen az akár ártalmatlanítás, akár hasznosítás, stb.) számos társadalmi aspektust is felvet. Sok (és szerencsés) esetben ezek összekapcsolódnak a gazdasági és környezeti szempontokkal, de bizonyos esetekben el is válhatnak egymástól. Példának okáért egy hulladéktermelőnek lehetősége van közel azonos gazdasági, környezeti és szállítási feltételek között két különböző átvevőhöz szállítani a hulladékát. Az egyik gazdaságilag elmaradott, jelentős munkanélküliséggel küzdő régióban van, a másik, pedig egy virágzóban. A stratégiai szintű hulladékgazdálkodásnál a döntés a műszaki, gazdasági, környezeti optimum mentén születik meg. A hulladékmenedzsment esetében szempont az is, hogy a hulladék elmaradottabb régióba történő szállításával, növelhető a munkahelyek száma és a régió jóléte. Adott esetben a vállalat ezért kismértékű anyagi áldozatra is hajlandó (Pl.: kismértékben magasabb hasznosítási ár). A környezeti szempont azonban semmi esetre sem sérülhet.

A hulladékmenedzsment keretében a vállalatok a hulladék teljes életciklusa vonatkozásában vizsgálják a fenntarthatósági kérdéseket és annak megfelelően hozzák meg (felelős) döntésüket. Vagyis a felelősség kérdése a bölcsőtől a sír (bölcsőtől a bölcsőig) terjed. A felelősség ilyen kiterjesztése mindezek mellett kérdéseket is felvet, leginkább jogi kérdéseket (mennyire vonódhat bele a vállalat más szervezetek tevékenységébe) és persze etikaiakat (vajon egy

szervezetnek feladata-e és van-e rá képessége, hogy meg tudja ítélni a társadalmilag kedvezőbb és kedvezőtlenebb helyzeteket).

A magyar gazdaságban jellemzően a hagyományok legalsó szintje, azaz az operatív hulladékgazdálkodás van jelen (főképp a mikro- és a kis-közép vállalatok esetében). Számos és jó példát találunk azonban (elsősorban a nagyobb vállalatok körében) a hulladékgazdálkodás stratégiai szintű leképezésére is. A hulladékmenedzsment vállalati jelenléte Magyarországon még – egy-két példától eltekintve – nem jelentős, bár példák találhatók rá. Fejlettebb országokban az arány meggyőzőbb. Az azonban elmondható, hogy a fejlődés útja mindenképp ez lesz a jövőben.

7. Hulladékgazdálkodás (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea)

Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

Magyarországon a Hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény, valamint a Hulladékgazdálkodási tervek (országos, területi, települési, egyedi) adják meg a hulladékkal kapcsolatos tevékenységek kereteit.

A szelektív hulladékgyűjtés, valamint a szelektíven gyűjtött hulladékok hasznosítása több éve folyik Magyarországon. A hulladékártalmatlanítás területén a lerakás dominál.

Az elkövetkező időszakban keletkező hulladék mennyiségében a gazdasági visszaesés következtében 2009-től csökkenés, majd 2011-től kismértékű emelkedés várható.

Az egyes frakciókon belül eltérő növekedési ütemek valószínűsíthetőek: szerves hulladékok mennyisége közel állandó marad, a papír, műanyag, fém összesített aránya nagyjából a teljes mennyiség változását követi. A teljes mennyiség valamivel több, mint 60%-a lakossági forrásból származik.

Cél, a lerakott hulladék biológiailag lebomló szerves anyag tartalmának csökkentése (1016-ra ne haladja meg a 820 ezer tonnát, ennek eléréséhez 2014-re 950 ezer tonna rakható le).

A hulladékok többféle módon csoportosíthatók

Termelési

- Eselékek (forgácsok, darabok)
- Melléktermékek
 - Mezőgazdasági növénytermesztés, állattenyésztés, stb.
 - Ipari melléktermékek
 - Energiatermelés
 - Stb.
- Járulékos hulladékok (eszközök, segédanyagok,..)

Logisztikai (szállítással-tárolással összefüggő)

Felhasználással összefüggő

- Kopási-bomlási termékek (kommunális hulladék, fáradt olaj, ..)
- Emisszió (salak, füstgáz, por,..)
- Maradványok, amortizációs hulladékok (építőanyag, bútor, ...)

Egy másik csoportosítási lehetőségét (korábbi csoportosítási kategóriák) a 29. táblázat mutatja.

Hulladékok jelenlegi csoportosítási módjai:

- Hulladékgazdálkodási törvény szerint
 - Veszélyes
 - Nem veszélyes
 - Inert
- Egy praktikus csoportosítás az Országos Hulladékgazdálkodási Terv alapján
 - Mezőgazdasági és élelmiszeripari nem-veszélyes
 - Ipari és egyéb gazdálkodói nem-veszélyes
 - Települési szilárd
 - Települési folyékony (szennyvíziszap nélkül)
 - Települési szennyvíz-iszap
 - Veszélyes

29. táblázat: A hulladékok egy régebbi csoportosítási lehetősége

Halmazállapot Eredet szerint	Szilárd	Folyékony	Iszapszerű	Gáznemű
Települési	Háztartási és utcai hulladék, szemét	Települési folyékony hulladék, Kommunális szennyvíz	Kommunális szennyvíziszap Szippantott iszap	Lakóházi fűtések füstje
Termelési	Ipari melléktermékek és hulladékok Állati eredetű hulladékok Almos trágya	Ipari szennyvizek, Olajok, Hígtrágya	Ipari szennyvíziszapok	Ipari füstök és gázok
Veszélyes	Különbféle ipari törmelékek, salakok, porok	Savak, lúgok oldatok, festékek, trafóolaj	Galvániszapok	Vegyipari, petrolkémiai gázok és füstök

A mezőgazdasági hulladékokat gyakorlatilag a biomassza kategóriába lehet sorolni (természetes eredetű szerves anyagok)

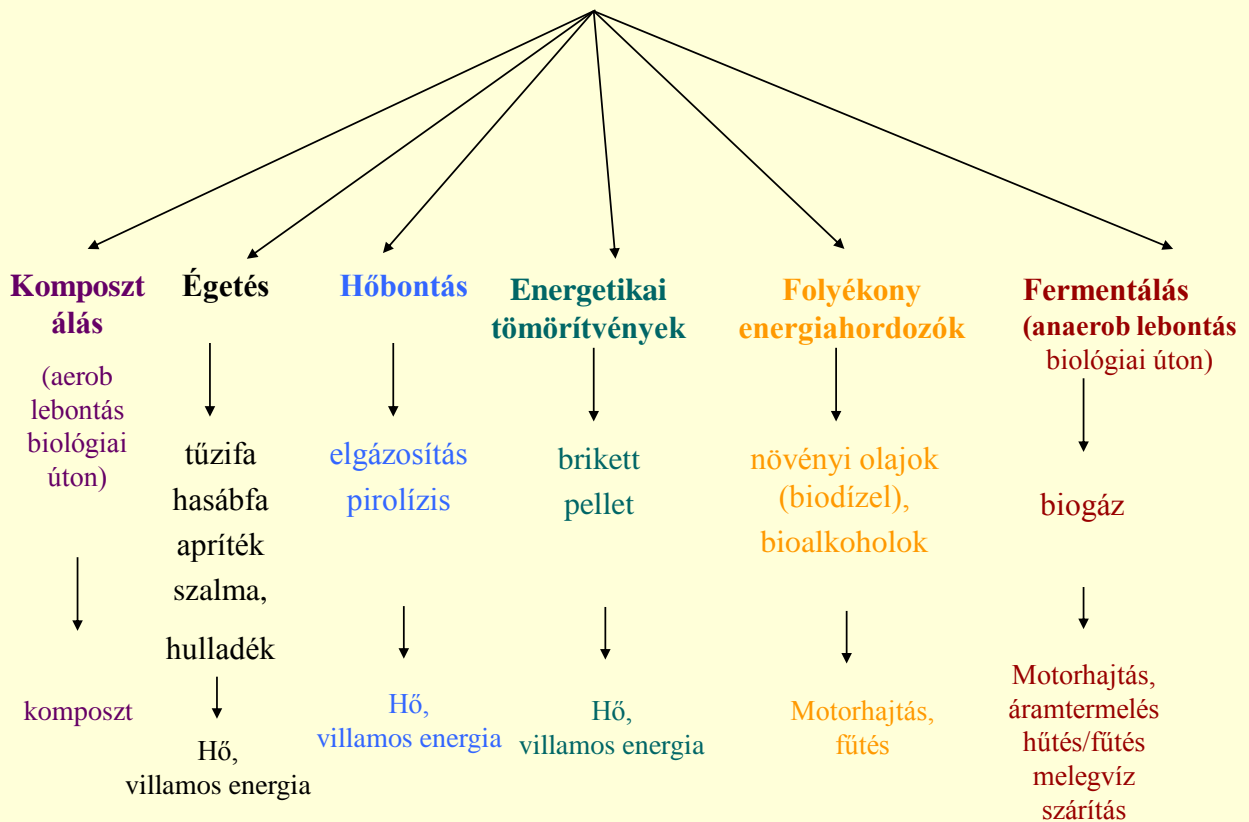
Csoportosításuk a következőképpen történhet:

30. táblázat: A biomasszák csoportosítása

Elsődleges biomassza	Másodlagos biomassza	Harmadlagos biomassza
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mezőgazdasági melléktermékek ➤ Kerti zöldhulladékok ➤ Közterületi zöldhulladékok ➤ Konyhai zöldhulladékok ➤ Erdészeti, faipari melléktermékek és hulladékok 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Állattenyésztés melléktermékei ➤ Állati eredetű hulladékok ➤ Trágya, hígtrágya 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kommunális szennyvizek, szennyvíziszapok ➤ Élelmiszeripari melléktermékek ➤ Ipari szennyvizek, szennyvíziszapok ➤ Szilárd szerves hulladékok ➤ Veszélyes szerves hulladékok ➤ Papírhulladékok

Hasznosításuk a következő módokon lehetséges:

A mezőgazdasági biomassza hasznosítási lehetőségei



88. ábra: A mezőgazdasági biomasszák hasznosításának lehetőségei

8. Komposztálás (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea)

Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

A komposzt stabilizált szerves anyag, ásványi anyagok és mikrobiális termékek összessége. Földszerű anyag, nedvességtartalma nagyjából 40-50%, humuszképző szerves anyag és növényi tápanyag.

8.1. A komposztálás alapanyagai

A komposztálás alapanyagai lehetnek mezőgazdasági növényi hulladékok, állati telepek trágyái, szennyvíziszapok, kommunális hulladékok, élelmiszeripari hulladékok, állati és növényi hulladékokat feldolgozó ipar melléktermékei, fa-, cellulóz-, papíripari hulladékok, textilgyártás hulladékai, bőripar, ragasztó és zselatin gyárak hulladékai.

A komposztálható anyagok halmazállapot szerint lehetnek: szilárd, vagy iszapszerű hulladékok. Veszélyességi fok szerint megkülönböztethetünk toxikus anyagokat tartalmazó és toxikus anyagokat nem tartalmazó hulladékokat.

8.2. A komposztálás története

A komposztálás az ember legősibb hulladék újrahasznosító eljárása (Már I. e. 2350-ban Akkád – Mezopotámiában is alkalmazták).

Már 4000 éve Kínában törvény született, mely előírta a hulladék alkalmazását a talaj termékenység fenntartásában.

2000 éve Columella, római író, politikus mezőgazdasági tankönyvében „receptet” adott meg a jó komposzt elkészítéséhez.

A X-XI. században már részletesen ismereték a komposzt készítés technikáját.

A XIII. században angol apátságok szabályzatban írták elő a kötelező komposztálást.

Hollandiában, az 1500-as években élénk trágyakereskedelem alakult ki.

Az 1850-es években a műtrágyák használata miatt a komposzt visszaszorult.

1856-ban Erelyn vizsgálatokkal alátámasztja, hogy többféle alapanyagból a komposzt jobb minőségű lesz.

A komposztálás módszerét végül több kutató együtt dolgozta ki:

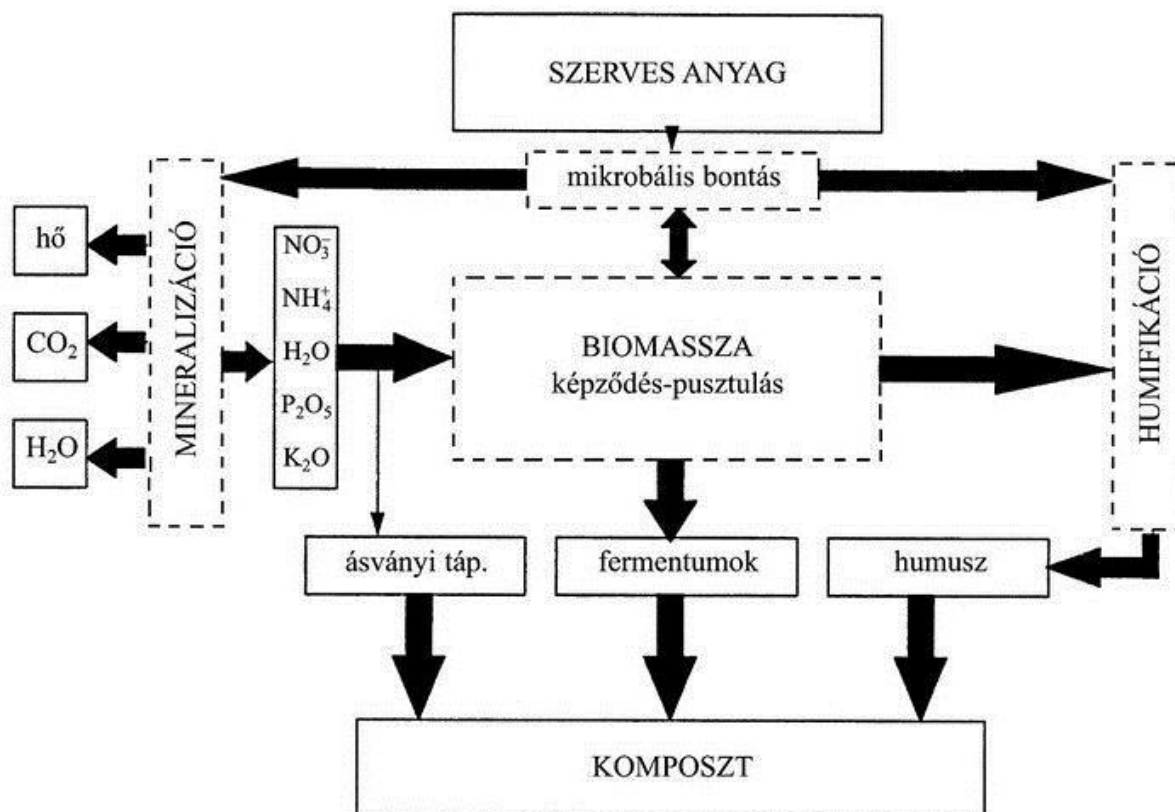
Howard (1931-1940) kidolgozta az Indore módszert, melynek lényege, hogy az állati, növényi anyagokat váltogatva, rétegesen rakják halomba, forgatják, a nedvességét szennyvízzel pótolják.

Roolale (1942) továbbfejleszti a módszert, ő már közetpor adagolását javasolt a keverékhez, valamint a szerves anyagok aprítását.

Magyarországon Herke Sándor és Zucker Ferenc voltak a komposztálás úttörői. (Alexa- Dér, 2001.)

A komposztálás talajbiológiai szempontból a korhadással azonosítható folyamat, mely során a szerves anyagok aerob mikroorganizmusok segítségével mineralizálódnak, illetve bizonyos hányaduk humifikálódik.

Végterméke a komposzt, mely nem más, mint a stabilizált (humifikált) szerves anyag, ásványi tápanyagok és mikrobiális termékek (fermentumok) összessége.



89. ábra: A szerves anyag lebomlásának folyamata

8.3. A komposztálási folyamat szakaszai

8.3.1. Rövid bevezető szakasz

Az optimális körülmények közé kerülő mikroorganizmusok nagy sebességgel szaporodni kezdenek. A hőmérséklet az intenzív anyagcsere hatására gyorsan emelkedik. A bevezető szakasz hossza általában néhány óra, esetleg 1–2 nap. Meg kell jegyezni, hogy a bevezető szakasz jelentősége a gyakorlat és az elmélet szempontjából elhanyagolható, ezért a legtöbb szerző külön nem is említi.

8.3.2. Termofil, vagy lebontási szakasz

A szakasz kezdetén a szerves anyag lebontásáért olyan mezofil mikroorganizmusok felelősek, melyek hőmérsékleti optimuma 25–30 °C, intenzív anyagcseréjüknek köszönhetően a hőmérséklet folyamatosan emelkedik.

A mezofil mikroszervezetek száma 45 °C-ig növekszik, 50 °C felett már nagy számban pusztulnak el, és 55 °C felett csak tartós formáik maradnak fenn.

Mindez 12–24 órát igényel.

A mezofil mikroflóra pusztulásával egy időben gyorsan szaporodnak a termofil (hőkedvelő) mikroorganizmusok, amelyek hőmérsékleti optimuma 50–55 °C között található.

Bizonyos fajok azonban még 75 °C-on is aktívak maradnak. 75 °C felett már nem zajlanak biológiai folyamatok, hanem a tisztán kémiai folyamatok jellemzőek.

A mezofil mikroorganizmusok anyagcseréje által termelt hő biztosítja a termofil flóra igényeinek megfelelő hőmérsékletet.

Ezen kívül a szervesanyag-átalakító tevékenységük során a tápanyagok jobb hozzáférhetőségét biztosítják a termofil mikroorganizmusok számára.

8.3.3. Az átalakulási szakasz

Ez a szakasz több hétig is eltarthat.

Ebben az érési szakaszban a hőmérséklet jelentősen csökken. Ezenkívül, jelentősen nő a sugárgombák száma, ami a komposztérettség indikátora is lehet.

A mikroorganizmusok elkezdik a nehezen bontható lignin bontását, mely során mono-, di- és trifenol vegyületek keletkeznek.

Ezek összekapcsolódásából épülnek fel a humuszanyagok.

8.3.4. A felépülési szakasz

Ezt a szerves anyag humifikálódása jellemzi, amely a komposzt sötét színét eredményezi.

A komposzt hőmérsékletének további csökkenése észlelhető.

Az érésben elsősorban pszikrofil baktériumok és penészgombák működnek közre, melyek hőmérsékleti optimuma 15–20 °C.

31. táblázat: A komposztálási folyamatok összefoglaló táblázata

	Időtartam (hét)	Domináns szerv.	ΔT (°C)	Fő folyamatok	Komposzt- jellemző
Lebontási (termofil)	1-3.	Baktériumok	55 - 70	Higienizálás Cukor, fehérje, keményítő bontása	-
Átalakulási (mezofil)	3-7.	Gombák	70 ↓ 25-30	Lignin, cellulóz bontása Nitrát képződés Komposzt anyaga összeesik	-
Felépítési	8-12.	Férgek	20 - 25	Keveredés, humifikálódás	Friss komposzt Gyökereknek még nem elviselhető
Stabilizáció, utóérlelő	13 – 20.	Földgiliszták	20	Keveredés Humuszképződés, mineralizálódás	Érett komposzt, komposztföld

8.4. A komposztálást befolyásoló paraméterek

Ahhoz, hogy a megfelelő minőségű komposzthoz jussunk a komposztálás folyamatának eredményeképpen, szükség van megfelelő körülmények biztosítására, melyek a következők:

8.4.1. Megfelelő anyagösszetétel

A nyersanyagok összeállításánál az egyik legfontosabb tényező a C/N arány, mert a komposztálás során a mikroorganizmusok helyes tápanyagellátásával a veszteséget (elsősorban a nitrogénvesztéséget) minimalizálni tudjuk.

Abban az esetben, ha a C/N arány túl szűk, tehát a nitrogén relatíve feleslegben van, a fölös nitrogén a 25:1 arányig ammónia formájában eltávozik.

Ez a folyamat, mely például a baromfitrágya komposztálásakor léphet fel, az intenzív ammónia szagról könnyen felismerhető.

Túl tág C/N arány esetén a folyamat csak nagyon lassan indul be, amikor már a felesleges szén CO₂ formájában eltávozott.

Leegyszerűsített alapszabályként elmondható, hogy minél öregebb, barnább és fásabb egy anyag, annál több szenet, minél frissebb, lédúsabb és zöldebb, annál több nitrogént tartalmaz. Az optimális C/N arány 35:1.

8.4.2. Optimális nedvességtartalom (40 – 60 %)

A mikroorganizmusok számára a megfelelő mennyiségű vizet is biztosítanunk kell. 40% alatt a nedvességtartalom hiánya korlátozhatja a mikrobiális aktivitást, szaporodásuk megáll, csak megfelelő nedvességtartalom visszaállítása után folytatódik.

60% nedvességtartalom felett nem megfelelő a légtér az oxigén áramlására és az aerob állapot fenntartására, a magas nedvességtartalom kiszorítja a pórusokból az oxigént és anaerob feltételeket teremt.

A komposztálásnál a megfelelő nedvességtartalmat az ún. marokpróbával ellenőrizzük. Ennek lényege, hogy a kezünkbe vett komposztanyagot összenyomjuk, és megfigyeljük a viselkedését. Ha a nedvességtartalom optimális az ujjaink között nem jön ki víz, de a komposzt összeáll. Ha túl száraz az anyag, szétesik a tenyerünkben, ha túl nedves víz folyik ki az ujjaink között.

8.4.3. Oxigénellátás

A komposztálási folyamatokban résztvevő aerob mikroorganizmusoknak jelentős mennyiségű oxigénre van szükségük.

Az oxigénfogyasztás hányada néhány anyag komposztálásánál 2-13,7 mg/ó/g elpárolgó szilárd halmazállapotú anyag.

Különösképpen igaz ez a kezdeti intenzív lebontási fázisra, amikor számítások szerint egy köbméter komposztban a levegő két órán belül elfogy.

Ez azt jelenti, hogy az anyagnak olyan lazán kell állnia, annyi strukturáló anyagot kell tartalmaznia, illetve olyan gyakran kell átforgatni, hogy a levegőáramlás folyamatos legyen a prizma peremétől a magzónáig.

8.4.4. Anyagok keveredése, szemcsemérete (25 – 40 mm egyenletes eloszlásban)

A jól felaprított anyagok a mikroorganizmusok számára nagyobb támadási felületet eredményeznek, mint a darabos anyagok, ezért a komposztálás kezdetén gyakran aprítási műveletet kell végezni (Sikolya, 2007.)

8.4.5. Optimális belső hőmérséklet biztosítása

A korhadási folyamat beindulásához szükség van egy bizonyos kiindulási hőmérsékletre, melyet az anyag 20–25 °C hőmérséklete esetén ér el leggyorsabban.

Attól kezdve, hogy a komposztálás beindult a külső hőmérséklet szerepe már a kezdeti szakaszban is elhanyagolható, hiszen az intenzív lebomlás során jelentős mennyiségű hő szabadul fel, tehát a komposztálásnak télen sincs semmi akadálya, ha az anyag hőmérséklete eléri a 10 °C-t.

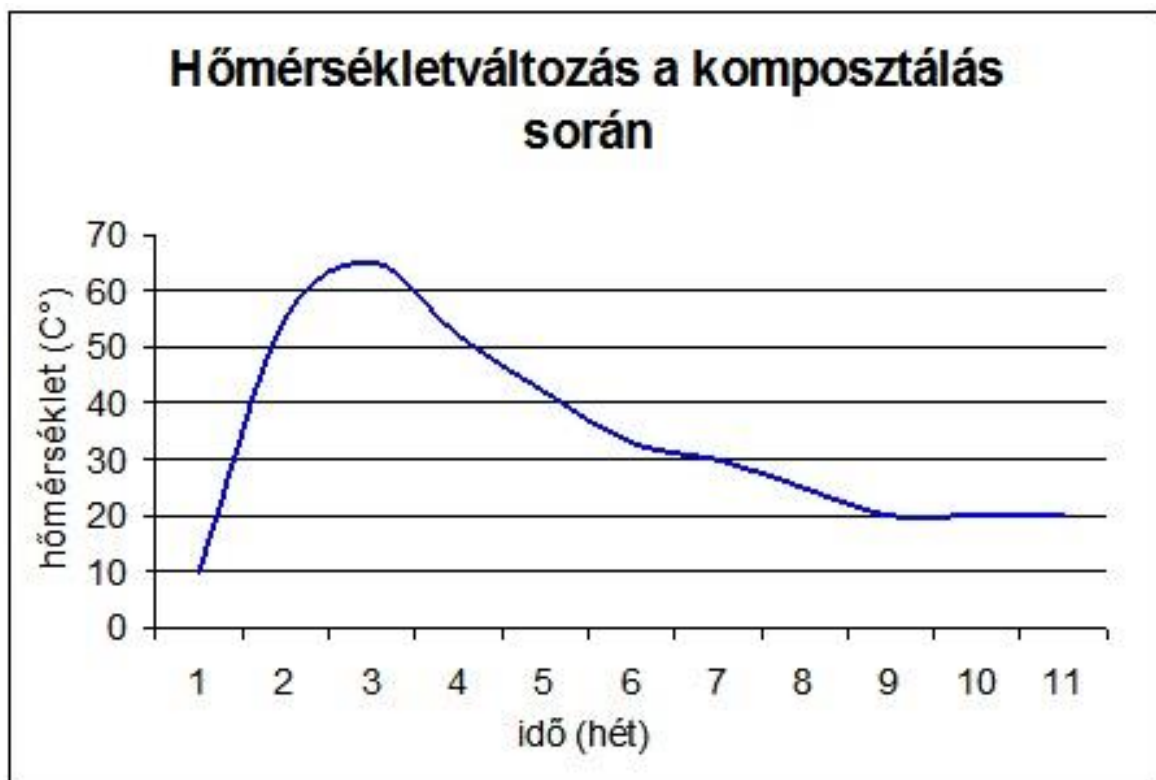
Fontos, hogy a hideg évszakban gyakrabban forgassuk át a komposztot, mert a teljes mennyiségnek át kell esni a három-négy hétig tartó intenzív szakaszon.

E fázis után a prizma többé-kevésbé kihűl, esetleg teljesen át is fagyhat.

A mikrobák betokosodása, tevékenységük szünetelése a tavaszi felengedésig tart, amikor a prizmák átforgatásával a komposztálás folytatódhat.

A komposzt hőmérsékletének legfontosabb hatása a higienizálás.

Ehhez szükséges elérni a minimális hőmérsékleti értékeket (55–65 °C) és időtartalmat (3–6 nap).



90. ábra: A hőmérséklet változása a komposztálás folyamán

A lebomlási vagy termofil szakasz kezdetén a szervesanyag bontásáért a mezofil mikroorganizmusok felelősek, melyek hőmérsékleti optimuma 25-30 °C, anyagcseréjük intenzív, ezért a hőmérséklet gyorsan emelkedik. A mezofil mikroorganizmusok száma 45 °C-ig növekszik, 50 °C felett már nagyszámú pusztulásuk következik be. Ez nagyjából 12-24 órát

igényel. Pusztulásukkal egyidőben szaporodnak a termofil mikroorganizmusok, melyek hőmérsékleti optimuma 50-55 °C. Egyes fajok még 75 °C-on is aktívak lehetnek.

Az átalakulás szakasza több hétig is eltarthat, ebben a fázisban a hőmérséklet jelentősen csökken. A mikroszervezetek elkezdik a lignin bontását, ebből mono-, di-, és trifenol vegyületek keletkeznek. Ezek kondenzációjából épülnek fel a humuszanyagok.

A komposztálódás utolsó szakaszát a szervesanyag humifikálódása jellemzi, melynek eredményeképpen a végtermék sötét színű lesz. A komposzt hőmérséklete tovább csökken. az érésben, vagy felépülésben elsősorban a pszikrofil baktériumok és penészgombák vesznek részt, hőmérsékleti optimumok 15-20 °C körül mozog. Az utolsó szakaszban nő a sugárgombák száma is, mely a komposzt érettségének indikátora is lehet.

Abban az esetben, ha a komposztálás feltételei nem teljesülnek:

- nitrogénveszteség (ammónia) vagy szén-dioxid mennyiség nő, ezek eredményeképpen lassan indul be a folyamat;
- mikroorganizmusok szaporodása leáll, így leáll a komposztálás folyamata is;
- lassú lesz a bomlás, anaerob folyamatok indulnak be, elszaporodhatnak a rágsálók;
- nem történik meg a higienizálás, patogének maradhatnak vissza az anyagban.

A nyersanyagok tulajdonságainak az alábbi feltételeket kell teljesíteniük:

32. táblázat: 3.4. táblázat: A nyersanyagok tulajdonságai

Tulajdonság		Érték	Szükséges művelet
Kémiai összetétel	C/N arány	30-35: 1	Nyersanyagok keverése
	Szerves anyag tart.	min 30 %	
	Tápanyag tart.: N, P, K		
Komposztálhatóság	Lignintartalom, N-tart.		Nyersanyagok keverése
Szerkezeti stabilitás	Porozitás	min 30 térfogat%	Megfelelő mennyiségű szerkezeti elem
Hulladékok nedvességtartalma		40-60 tömeg%	Nyersanyagok keverése
Előkezelési igény			Őrlés, aprítás, prézelés, homogenizálás, idegen anyag eltávolítás

Tulajdonság		Érték	Szükséges művelet
Térfogattömeg		max. átlagosan 700 kg/m ³	
Szennyező anyagok	Toxikus nehézfémek, szerves szennyezők	Határértékek nehézfémekre	Eredet figyelemmel kísérése
Idegenanyagok	Pl. üveg, fém, műanyag		Válogatás (költséges)

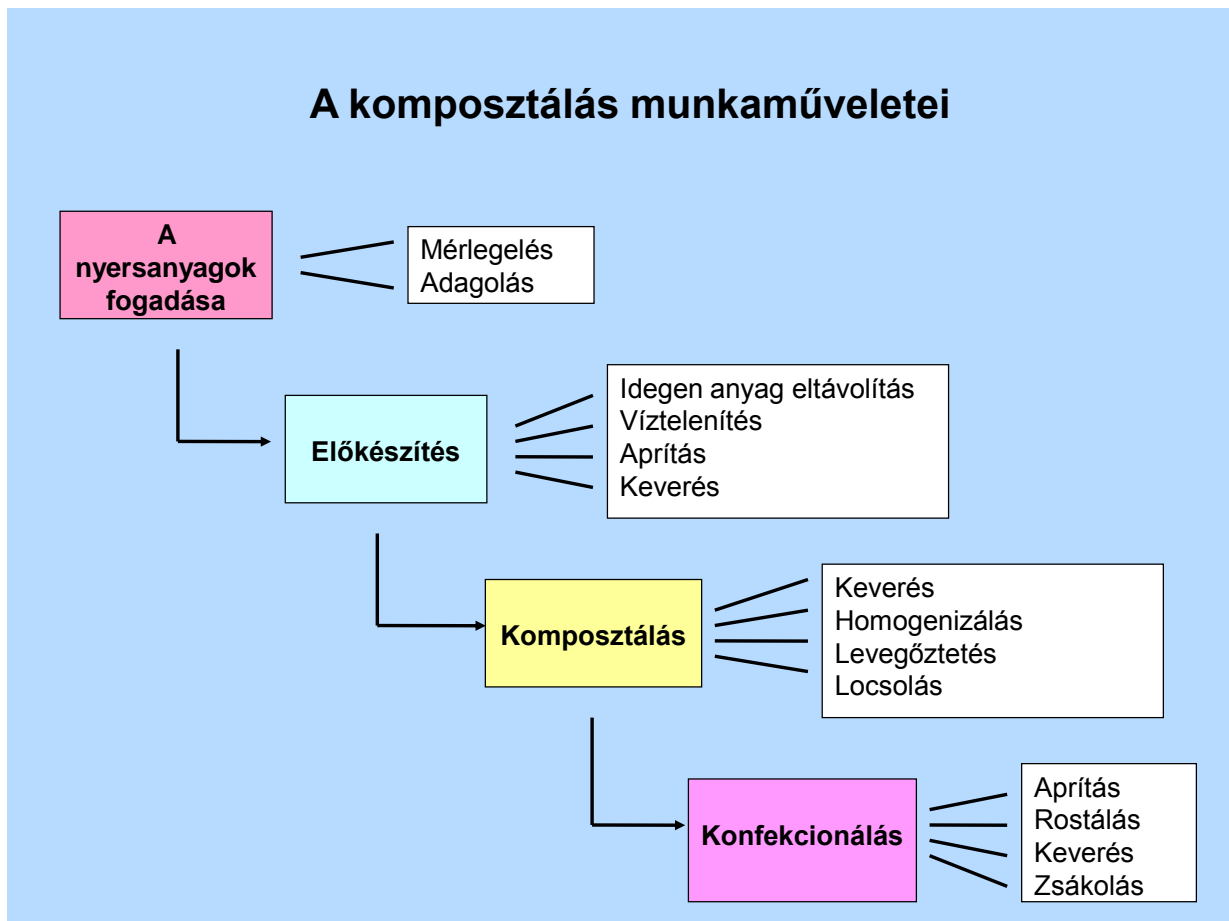
A nyersanyagokhoz összekeverésükkor különböző adalékanyagokat adhatunk, melyekkel befolyásolhatjuk a korhadás mértékét, javíthatjuk a komposzt minőségét.

33. táblázat: A komposztálás során alkalmazható segédanyagok

Segédanyagok		Bekeverési arány	Szerepe
Dúsítóanyagok	Műtrágyák szaruforgács, szaruliszt trágyalé csontliszt		Tápanyagtartalom növelése, gyorsított komposztálás, minőségjavítás
Töltő- vagy kiegyenlítő anyagok	Föld, agyagőrlemények, alginít	max.10-15%	Stabilitás, szerkezetalakítás, tápanyagtartalom
Serkentőanyagok	Talaj, érett komposzt, szerves trágyák, starterkultúrák	max.10%	Beoltás mikroorganizmusokkal
Stabilizáló anyagok	Kőporok (zeolitok, riolittufa)		Anyagvesztés csökken (pl. gázmegkötés)
Takaróanyagok	Szalma, lomb, textil		Kiszáradás, nitrogénvesztés, hővesztés ellen
Mész			Savanyú pH-t emeli, keletkező savakat megköti, Ca-ellátást javítja
Gyógynövény - készítmények			Minőségjavítás, anyagvesztés csökken, folyamat optimalizálása

8.5. A komposztálás munkaműveletei

A komposztálás során különböző munkaműveletek játszanak szerepet.



91. ábra: A komposztálás munkaműveletei

A nyersanyag előkészítés célja, hogy a mikrobáknak optimális feltételeket biztosítsunk a szerves anyagok lebontásához.

A nyersanyagok aprításával a mikrobák számára rendelkezésre álló felületet megnöveljük, illetve a hulladék mennyiségét is csökkentjük, ami egyszerűbb feldolgozást és kevesebb helyszükségletet eredményez.

Az aprítás mértékét a komposztálási technológia és a komposzt felhasználási területe határozza meg, de általában elmondható, hogy a túl finom aprítás kedvezőtlen, mert gyorsan anaerob körülményekhez vezet. Optimális esetben a durva és a finom aprítékok egyenletesen oszlanak el, a durva darabok adják a komposztálandó anyag struktúráját, szerkezetét. Aprításra az alábbi gépek alkalmasak: kalapácsos aprítók, késes aprítók, hengeres törők, rostaköpenyes aprítók. (Nagy, 2005.)

A keverés segítségével beállítjuk az optimális tápanyag-, nedvesség – és struktúra viszonyokat. Ha a hulladék nedvességtartalma magas, vízteleníteni szükséges. Az idegenanyagok eltávolításával pedig a komposzt minőségét javítjuk.

A komposztálás során az aerob körülmények megteremtéséhez levegőztetni szükséges, vagy forgatjuk az anyagot, hogy a teljes anyag átmenjen a termofil fázison, és a heterogenitást

megszüntessük. Ha kell nedvesíteni is szükséges a komposzthalmot, hogy a mikrobák számára biztosítsuk a vizet.

A konfekcionálás során, ha a végtermék nagyobb darabokat tartalmaz, aprítjuk azokat. A rostálás jobb megoldás, ez lehetővé teszi, hogy a rostán fennmaradt selejt komposzt anyag struktúr-, illetve oltóanyagként alkalmazható legyen. A rostaméretet a komposzt felhasználási területe határozza meg.

Keverési művelet akkor szükséges, ha speciális igényeket szeretnénk kielégíteni (pl.: virágföld előállítás). Ha a komposztot nem ömlesztve szeretnénk értékesíteni, akkor a zsákolás műveletét is szükséges közbeiktatni. A zsákolásnál a komposzt nedvességtartalma a kritikus kérdés, mert 35%-nál magasabb nedvességtartalmú anyagot nem szabad zsákolni. (Nagy, 2005.)

8.6. A komposztálás során alkalmazott technológiák

A komposztálás során alkalmazott technológiák igen sokfélék lehetnek, alapvetően viszont három csoportba sorolhatók: a nyitott, a félig zárt és a zárt komposztálási technológiák. A következőben erről nyújtunk rövid összefoglalást.

8.6.1. Nyitott rendszerek

Passzív komposztálás

Ezt az eljárást általában növényi eredetű, tág C/N arányú, nem rothadó nyersanyagok esetében alkalmazzák.

Az érés 5-10 m széles és 2-4 méter magas prizmában történik. A halom összerakásán kívül, a komposztálási folyamatba semmilyen beavatkozás nem történik. A komposzt érési időtartama így a 6 hónaptól egészen a 3 évig eltarthat.

A technológia előnyei:

- egyszerű technológia;
- alacsony munka és gépesítési költség.

A technológia hátrányai:

- nagy helyigény;
- lassú folyamat;
- rossz minőség;
- éghajlati hatások;
- talajszennyezés.

Forgatásos prizmakomposztálás

A komposztálás legősibb módszere. Lényege, hogy a nyersanyagokat háromszög, vagy trapéz keresztmetszetű prizmákba rakják, és meghatározott rendszerességgel forgatják. Az átforgatás keveri, homogenizálja az anyagot, biztosítja az aerob feltételeket. A hőmérséklet és nedvességtartalom ellenőrzése folyamatos. Az érési idő kb. 7-9 hét.

A technológia előnyei:

- egyszerű technológia;
- alacsony munka és gépesítési költség;
- lehet heterogén a nyersanyag;
- szaghatás nem jelentős.

A technológia hátrányai:

- éghajlati hatások;
- esetleges talajszennyezés;
- átforgatásnál zajhatás.

Levegőztetett prizmakomposztálás

Az ASP (ASP-Aerated Static Pile- levegőztetett prizmakomposztálás) alapja, hogy a mikroorganizmusoknak életműködésük fenntartásához a prizmán belül állandó szinten tartott oxigénmennyiségre van szükség.

A levegő bejuttatása történhet merev perforált csövek beágyazásával, vagy levegőztető csatornák komposztprizmába való süllyesztésével. A levegőt ventilátor, vagy pumpa segítségével juttatják be a prizmába. A trapéz alakú prizma 4-12 méter széles és 2-3 méter magas. Az érési idő 6-8 hét.

A technológia előnyei:

- jó oxigénellátás;
- közepes helyigény;
- jó minőség;
- gyenge zajintenzitás;
- szaghatás nem jelentős.

A technológia hátrányai:

- éghajlati hatások;
- esetleges talajszennyezés.

8.6.2. Félig zárt rendszer

A komposztálás vízszintes silófolyosókban történik, melyek perforált csövekből vagy levegőztető csatornákból álló levegőztető rendszerrel és beépített forgatóval vannak ellátva.

A komposztálás időtartama: 4-6 hét.

A technológia előnyei:

- jó oxigénellátás;
- gyors folyamat;
- éghajlati hatásoktól mentes;
- nincs szaghatás, talajszennyezés.

A technológia hátrányai:

- meghibásodás lehetősége;
- magas költségek;
- zajhatás.

Az éghajlati hatások kiküszöbölésére a silófolyosókat általában csarnokokban, fólia-vagy üvegházakban helyezik el.

A keletkező gázokat, szagokat biofilterek segítségével fogják fel.

8.6.3. Zárt rendszerek

Ezeknél az eljárásoknál a komposztálás zárt egységekben történik, a megoldások a következők lehetnek:

- dobkomposztálás;
- kamrás, vagy konténerkomposztálás;
- brikollare komposztálás;
- toronykomposztálás;

Az érés 2-4 hét, utána következik az utóérlelés szakasz.

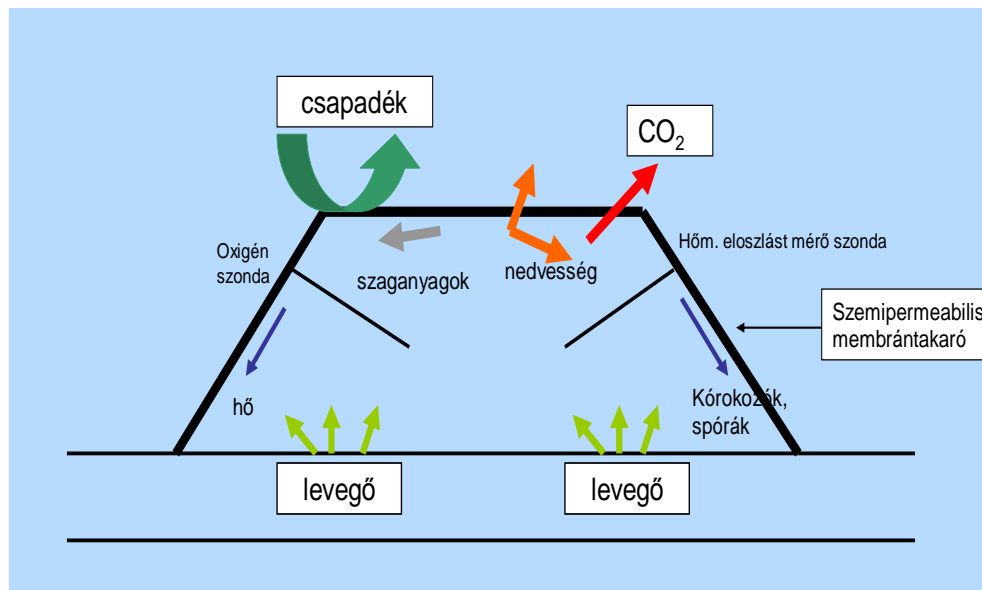
A technológia előnyei:

- feltételek folyamatos biztosítása;
- gyors folyamat;
- éghajlati hatásoktól mentes;
- nincs szaghatás, talajszennyezés;
- tökéletes higiénizáció.

A technológia hátrányai:

- meghibásodás lehetősége;
- magas költségek;
- magas zajintenzitás;
- feltételek folyamatos biztosítása nehéz.

A levegőztetett prizma komposztálásnak létezik egy viszonylag újszerű változata. A szemipermeabilis membrántakaróval zárttá tett komposztálási rendszer. (3.7. ábra)



92. ábra: Szemipermeabilis membrántakaróval zárttá tett komposztálási rendszer

A rendszer három fontos elemből áll. Az aktív levegőztető egység a mikroorganizmusokat látja el oxigénnel. A levegőztetést az érő anyagban mért hőmérséklet és oxigéntartalom alapján, folyamatosan, visszacsatolással szabályozza.

A prizmák 2-3,5 méter magasak, 6-12 méter szélesek, a hosszuk 18-48 méter. Az érési idő 4 hét. A membrán biztosítja a gázcserét, de a szaganyagokat, a nedvességet és a hőt visszatartja. (Nagy, 2005.)

A szerves hulladékok bomlásánál figyelembe vett tényezők szerint az alábbi komposztípusokat különböztethetünk meg:

- friss komposzt (nyers komposzt);
- érett komposzt;
- komposztföld.

Az érett komposzt jellemzője, hogy stabilizált szerves anyag, ellenáll a mikrobiális lebontásnak, tárolása nem jár közegészségügyi kockázattal, talajra kijuttatva kedvező hatást gyakorol (szerkezet, tápanyagtartalom, pH stb.).

Ha a szerves anyag nem ment át a megfelelő érési folyamaton, akkor rossz minőségű komposztról beszélhetünk, ennek jellemzői, hogy nehézfémekkel és szerves anyagokkal mérgezés veszélye áll fenn, a rothadási termékek gátolhatják a növények növekedését, rágszálók elszaporodásához vezethetnek, egészségügyi problémát is okozhatnak.

8.7. A komposzt minőségi vizsgálata

A komposztot felhasználás, értékesítés előtt vizsgálni, minősíteni kell.

Először a komposztból mintát vesznek: 50m³-nél kevesebb komposztból 5 db részmintát kell venni, össze kell keverni, amit átlós felezésekkel 1 kg-nyi mennyiségre kell lecsökkenteni.

Ezt követően a mintát előkészítik: homogenizálják, eltávolítják az idegen anyagokat, rostálják (10, 2, 0,25 mm-es rostán), és bemérik analitikai mérlegen.

A vizsgálat során kitérnek az idegen anyag tartalomra, a nedvességtartalom meghatározásra, hőmérséklet vizsgálatra, valamint a szaghatásra.

A komposztálásnál vannak ún. minőségbiztosítási lépések, melyek összefoglalva a 34. táblázatban láthatóak.

A komposztok felhasználási területei az alábbiak lehetnek:

Jó minőségű komposzt esetén:

Talajjavítási célokra alkalmazható, melynek során a biológiai aktivitás fokozódik, lassabb a tápanyag-feltáródás, a kimosódás veszélye kisebb, magas adszorpciós képesség, nehezen oldható ásványi tápanyagok felvehetővé válnak, hormonok serkentő hatása, ellenállóbbak lesznek a növények, stabil talajszerkezet alakul ki, javul a talajvíz-, hő-, levegőgazdálkodása.

Alkalmazható ültető közegnek – dísznövénytermesztés, palántanevelésnél, kertészeti, szántóföldi termesztésnél, erdő – és gyepgazdálkodásban, tájrendezésnél, rekultivációnál és alkalmas biofilter-szűrőközegnek is

A rossz minőségű komposztot pl. takaróanyag rekultiváció céljára hasznosítható.

34. táblázat: A komposzt minőségbiztosításának lépései

A komposztálás minőségbiztosítási lépései	Egyszerűbb komposztálás, kisebb üzemek	Nagy komposztáló üzemek
Nyersanyagok	A nyersanyagok kémiai analízise, ismert, azonos nyersanyag-forrás	
Az érés folyamatos ellenőrzése		
Hőmérséklet	Napi mérés, érési zónában több helyen	Hasonlóan, de óránként
Nedvességtartalom	napi marokpróba, szárítószekrényes v.	Beépített érzékelőkkel
Oxigénellátás	Szag, anyagállapot magzónában	Speciális műszerek (szondák)
Tápanyagveszteségek	Érő anyag szaga, csurgaléklé menny.	Csurgalékvíz, gáz analízis
Egyéb mérések	Szén-dioxid tartalom, redox-potenciál, pH	

Felhasználás előtti ellenőrzés	
Mintavétel, előkészítés	MSZ
Minőségi jegyek érzékszervi vizsg.	Minősítő sablonok, menny. vizsg. (szín, szag, idegena., nedv.tart.)
Érettségi fok	Önhevülési teszt (Dewar-tartály, T _{max} .)
Beltartalmi mutatók	Értékek meghatározása
Gyommag-tartalom, csírázás gátló hatás	Értékek meghatározása
Szemcseméret	MSZ: min 90% < 25 mm
Idegenanyag-tartalom	MSZ: érett komposzt: < 2 tömeg%, komposztföld < 1 tömeg%
Nehézfém-tartalom	MSZ
Szerves szennyezők, egyéb kémiai jell.	pH, sótartalom, poliklórozott- és aromás,vegyületek
Biotesztek	Zsázsa, árpa, saláta, mustármag, növényekre hatás
Nyilvántartás, prizma- törzskönyv	Minden komposztálással kapcsolatos adat rögzítése

9. Ipari komposztálás és alapanyagai (Fazekas Bence, Pitás Viktória, Thury Péter, Dr. Kárpáti Árpád)

Pannon Egyetem, Veszprém

A komposztálást nehéz általánosan definiálni. Elmondható róla, hogy az a szerves anyagok bizonyos értelmű biológiai lebomlása és stabilizálódása, amely a folyamat során keletkező hő hatásával lehetségessé teszi a termék gyorsabb előállítását, miközben termikus stabilizálás révén a nem kívánatos patogén szervezeteket és csírázásra kész magvakat is elpusztítja. A komposztálás a hulladék-anyagok stabilizálásának egy lehetséges módja, amely azonban az alapanyagok megfelelő összetételét (összetételének, nedvességének beállítását), valamint levegőztetését igényli a szükséges termofil hőmérséklettartomány elérése érdekében. Az utóbbin a 45-50 °C feletti hőmérséklet elérése és tartós fenntartása értendő. Ez a patogén szervezetek és csíráképes magvak elroncsolásának alapvető feltétele.

A komposztálás során szükséges biológiai folyamatok biztosításához a szilárd fázisú rendszerek alkalmasabbnak tűnnek, mint a folyadékfázisúak (termofil aerob stabilizáció). A komposztálást ezért szilárd és fél-szilárd anyagok keverékei esetén kedvező alkalmazni. Aerob biológiai átalakítási folyamatainak eredményeként ekkor a lebomló szerves anyagból széndioxid és a további aerob és anaerob körülmények között egyaránt stabil nagy humusz tartalmú szerves maradék keletkezik. A biológiai oxidációnál keletkező hő hatására az anyag víztartalmának egy része elpárolog. A komposztálás alapvető kérdése a folyamatok végbemenetele alatt a nedvesség, hőmérséklet és oxigéntartalom (ellátottság) optimalizálása. Míg az első kettő meghatározóan az alapanyag minőségével, az utóbbi a levegőztetéssel szabályozható.

A komposztálódásnál az aerob átalakulások mellett részben az anaerob folyamatok is szerepet kapnak az oxigén időszakos, vagy lokális hiánya következtében. Ezek a szerves anyag átalakításában ugyancsak fontos szerepet játszanak. Hozzájárulnak ahhoz, hogy a biológiailag nehezen oxidálható szerves anyagokból kisebb molekulatömegű, jobban oxidálható származékok (szerves savak, alkoholok) keletkezzenek, melyeket azt követően az aerob szervezetek igen gyorsan hasznosítanak. Az oxigénellátás hiányosságai, egyenlenségei eredményeként (nagyobb méretű nedvesebb darabok belső tereiben, illetőleg a komposztálódás előrehaladtával) aerob és anaerob folyamatok együttes eredménye a végső termék.

Az anaerob folyamatok azonban a keletkező kis molekulatömegű illó és illatos származékok miatt gondot is jelentenek a környezetnek, ezért az anaerob és aerob folyamatok egyensúlyát (szag-emisszió) megfelelően biztosítani kell. A nagyüzemi komposztáló rendszerek az utóbbi miatt gyakorlatilag aerobak. Számos gyakorlati szakember azonban célszerűnek véli a komposztálandó alapanyagok előkezelés folyamán történő hosszabb-rövidebb nedves tárolását éppen az előzetes anaerob bomlási folyamatok megfelelő elmélyítése érdekében. A megfelelő nedvességtartalomra és szabad gázfázis-hányadra (szabad levegőtér fogat) történő bekeverést követően azután a komposztálás egyértelműen aerob folyamat lesz.

A komposztálás tradicionális feladata a rothadásra hajlamos szerves anyagok stabilizálása, emberre patogén szervezeteinek minimalizálása. Egyidejűleg természetesen a növényi betegségeket okozó szervezetek, csírák, rovarok és azok tojásainak, lárváinak előlése is célja a stabilizációnak. A termék szaga hasonlóképpen megszűnik a folyamat eredményeként a stabil termékben. A keletkező hőmennyiség révén a kiindulási alapanyagok nedvességtartalma (szennyvíziszapok, élelmiszeripari hulladékok) is kedvező tartományba állítható be. A szerves

anyagok lebomlása, stabilizálódása, az utóbbi szárítással együtt, kedvező feldolgozási költséget jelenthet a különböző hulladékok ártalmatlanítását illetően.

A komposztnak számos előnyös hatása lehet mezőgazdasági felhasználásánál. Először is növeli a talaj humusztartalmát, s ezzel kedvező talajszerkezetet és víztartó kapacitást biztosít. Másodsorban, a komposzt kedvező talajtápanyagokat tartalmaz a humuszon túl is, mint a nitrogén, foszfor és sok mikro-tápanyag. Az utóbbiak mennyisége azonban a komposztban rendszerint kevés ahhoz, hogy kis mennyiségben adagolandó műtrágyaként alkalmazhassák. Más oldalról a komposzt tápanyagainak felszabadulása sokkal lassúbb, mint a műtrágyáké, így nem okoznak tápanyag-veszteséget felhasználásuk során.

A komposztálás összetett folyamatainak megfelelően maga a komposzt anyag, vagy termék behatárolása is meglehetősen tág. Azokkal a funkciókkal szokásos pontosítani, melyeket a komposztálásnak a termék előállításánál során biztosítani kell. Ilyenek a stabil, humusz-szerű anyag és küllem, a kórokozó-, csíra-mentesség, rovar és lárva-mentesség, egyszerű kezelhetőség, szagmentesség és a növények növekedésének kedvezőbbé tétele.

Többféle biológiai átalakítási eljárás is felhasznál szilárd vagy fél-szilárd alapanyagokat, mint például a sajtok érlelése, a siló előállítás, illetőleg az eddig tárgyalt komposztálás. Közülük az utóbbi esetében azonban a folyamat tudományos megtervezése messze elmaradt az előzőektől. Csaknem valamennyi komposztálással foglalkozó könyvben az olvasható, hogy az egy ősi tudomány, melyet az emberiség ősidők óta felhasznál. Ez azt látszana bizonyítani, hogy a technológiája az idők folyamán kellőképpen kialakult. Ezzel szemben egyértelmű, hogy a komposztálás tudományos alapjait csak az elmúlt fél évszázadban kezdték kidolgozni. A technológia szabályozásával kapcsolatosan több tényező optimalizálása vált ezeknek az évtizedeknek a feladatává. Bár ténylegesen sok ismeretanyag gyűlt össze, mégis be kell vallani, hogy a technológia sokkal inkább kézikönyv jellegű, mintsem tudományosan kellően megalapozott, szabályozott műveletek kombinációja a megkívánt végtermék előállítására érdekében.

9.1. Komposztálható anyagok

A komposztálható alapanyagok listája rendkívül széles. Megemlíthetők közöttük a mezőgazdaság termelési hulladékai, az élelmiszeripar feldolgozási hulladékai, a legkülönbözőbb eredetű trágyák, lakossági hulladékok, bútorigipari és fafeldolgozási hulladékok, egyéb szerves hulladékok, mint a lakókörzetről összegyűjthető kerti hulladékok, növényi maradványok, fű- és faapríték, nem káros hatású egyéb ipari hulladékok, valamint a lakossági szennyvíz tisztításánál keletkező szennyvíziszapok is.

A természet megfelelő lebontó-képességgel rendelkezik a felsorolt hulladékok feldolgozására, biológiai stabilizálására. Gondot jelent azonban, hogy ezek lokálisan jelentkező óriási mennyiségei, rendkívül inhomogén tömegei minőségi komposzt előállítására, amely áruvá is válhat a piacon, alkalmatlanok. Erre csak az egyenletesebb minőségben keletkező, tisztább hulladékok, mint a szennyvíziszap, néhány ipari hulladék, valamint megfelelő gyűjtés és előkezelés esetén a kerti, kertészeti hulladékok lehetnek alkalmasak.

9.1.1. Lakossági szennyvíziszap

A különböző szerves/szervetlen szennyezőanyagok a fizikai/kémiai tulajdonságaiktól függően a szennyvíztisztító telep műtárgyaiban eltérő hatásokkal távolíthatók el. A tisztítás alapvetően biotechnológiai kialakítása mellett szükségszerű mechanikus előtisztításnál a rácson, homokfogókon visszatartott szerves anyag mennyiség a települési szennyvizek esetén a biológiai terhelés (KOI, BOI₅, TKN, stb.) szempontjából minimális jelentőségű.

A mechanikai előtisztításnál az adott régió kulturális állapotától függő mennyiségű és összetételű rácsszemét távolítható el. A homokfogóban kiülepíthető szervetlen anyagok mennyisége pedig leginkább a terület geológiai adottságaitól, a csatornahálózat kiépítésétől függ. Az általános tervezési javaslat (*MI-10 127/3 1977*) a rácsszemét fajlagos mennyiségét 12-15 dm³/LE*év (10 mm-es finomrác), a kiülepíthető homok mennyiségét pedig 0,01-0,1 dm³/LE*év értékben adja meg. Mindezek víztelenítésüket (prézelés) esetleg fertőtlenítésüket követően, különböző EWC kódú hulladékként jellemzően hulladéklerakóban kerülnek ártalmatlanításra.

A települési szennyvizek előtisztításának a homokfogást és rendszerint vele együtt történő zsírleválasztást követő lépcsője a könnyen kiülepedő, nagyobb szerves anyag tartalmú részek előülepítése (már ahol erre technológiai megfontolásból sor kerül), ahol az úgynevezett primer iszap keletkezik. Ennek a szerves anyaga kevésbé oxidált, mint a szekunder iszapoké, nagyobb KOI/tömeg fajlagossal rendelkezik. Szerves anyag hányadát a mechanikai előtisztítás (rác, homokfogás) nagyban befolyásolja, de az leggyakrabban 60-80% körüli érték (zsírok és fehérjék). Energiatartalma 25-26000 kJ/kg érték körül mozog. A primer iszapok McCarty és társai szerint a C₂₂H₃₉O₁₀N összetétellel jellemezhetők.

A hazai jellemző technológiai kialakítások mellett, vegyszeres kezelések nélkül általában 50-65 % körüli lebegőanyag, 25-30 % körüli KOI, és 10 % körüli TKN eltávolítási hatásokkal számolhatunk (*ATV-DVWK-A 131E*), az előülepítésnél. Mindezek eredményeként alakul ki a biológiai tisztítási fokozat tápanyagterhelése, melynek nagysága (kg/d, kg/m³*d, kg/kg MLVSS*d) és összetétele (KOI/TKN arány) nagyban meghatározza a tisztítás végén elérhető tisztított víz és iszapminőséget.

A tisztítási technológia biológiai fokozatában az oldott és lebegő állapotban lévő szennyezők oxidációs/redukciós biokémiai folyamatok révén alakulnak át partikuláris biomasszává, vagy az iszappelyhekbe történő beépülésükkel, adszorpcióval kerülnek eltávolításra a folyadékfázisból. A tisztítás során keletkező iszap szeparációja a tisztított víztől általában ülepetéssel történik. Az ülepetés megfelelő méretezése biztosítja a lebegőanyag (> 0,45 mikron) 20-40 mg/l értékig történő eltávolítását. Ennek hatékonyságát persze jóval meghaladja a mára erősen terjedő membrán-szeparáció hatásfoka, ami a települési szennyvíztisztításnál leginkább ultraszűrést jelent. Ilyen megoldásokkal üzemelő telepeken gyakorlatilag biztosítható a lebegőanyag-mentes elfolyó szennyvíz. Ugyanakkor az adott membrán vágási értékének megfelelő méretű baktériumok, nagyobb méretű oldott molekulák is eltávolításra kerülnek, javítva ezzel az elfolyó víz minőségét és szükségtelenné téve a további vegyszeres fertőtlenítést.

A lakossági szennyvizek aerob tisztításánál nagyjából az eltávolított szerves anyag mintegy 50%-ából szekunder iszap termelődik. A bontható szerves anyagok anaerob lebontásánál viszont ez a maradék csak 5%. A szekunder iszap szerves anyag hányada széles tartományban (60-90%) változhat. A tapasztalatok alapján a biotermék szerves frakciója 50-55%-ban szén, 25-

30%-ban oxigén, 10-15%-ban nitrogén, 6-10 %-ban hidrogén, 1-3%-ban foszfor és 0,5-1,5%-ban kén. A különböző ajánlások közül a leginkább használatos összegképlet $C_5H_7O_2N$. Készítettek persze a foszfortartalmat is figyelembe vevő összegképletet is amelyet $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$ formulával adtak meg. A szekunder iszap energiatartalma a szerves anyag arányától függően változó. Átlagos értéként 20-21000 kJ/kg érték adható meg.

Az aerob tisztításnál képződő iszap mennyiségét a tisztítandó szennyvíz számos paramétere befolyásolja, mint például: a hőmérséklet, a technológiai kialakítás, a relatív biológiai terhelés, az oldott oxigén koncentráció, stb.. A fölösiszap-hozam (vegyszeres kezelés nélküli) becslésére ezeket figyelembe véve számos összefüggés látott napvilágot. Ez mindig szárazanyagban megadott érték. Az iszap ugyanakkor mindig nedves. Ülepítés után alig 1-3 %, de hatásos gépi (présszalag-szűrő, centrifuga) víztelenítés után is csak 20-25 % szárazanyag tartalmú, holott az utóbbi koncentrációnál már meglehetősen szilárd állagú.

A települési szennyvizek tisztítása során keletkező ezen „szilárd” melléktermék további kezelése, ártalmatlanítása során meghatározó tényező lehet az utóbbiak költsége. Tapasztalataink szerint nem ritka a levegőztetés költségigényével megegyező iszapmaradék feldolgozási, ártalmatlanítási, újrahasznosítási költség sem.

Az U.S. EPA 1989-es számítása alapján lakosonként évente mintegy 29 kg szárazanyagnak megfelelő szennyvíziszap keletkezik az Egyesült Államokban. Az ilyen iszapoknak nagy része ugyan a mezőgazdaságban került elhelyezésre, de annak csak kevesebb mint a tizede került abban az időszakban komposzt formájában, kereskedelmi láncolaton keresztül a mezőgazdaságba, házi kertészetekbe. Ez a hányad ugyan napjainkra jelentősen növekedett az USA-ban, ugyanakkor jellemző fajlagos érték lehet a hazai iparszerű komposztálásra és komposzt-értékesítésre. Jelenleg Magyarországon a szennyvíziszap nagy részét még nyers formájában, injektálással juttatják a talajokba, vagy egyszerű kiöntözéssel, bekeveréssel (folyékony vagy fél-szilárd állapotban) a szilárdhulladék-lerakó telepekre.

Irodalmi adatok szerint mintegy 20 kg szárazanyagnak megfelelő primer iszap keletkezik lakosonként évente a szennyvíztisztításban. A szennyvizek biológiai tisztítása a keletkező iszapmennyiséget másfélszeresére - 30 kg - szárazanyag / fő év - növeli. Ez jól egyezik az U.S. EPA (1990) által megadott 29 kg /fő év fajlagos értékkel. Ez természetesen csak ott keletkezik, ahol a lakosság szennyvizét közcsatornában gyűjtik, és megfelelő módon tisztítják.

9.1.2. Az ipari szennyvíztisztítás iszapjai

Erre az iszapfajtára amerikai adatok is elég hiányosan állnak rendelkezésre, hazaiak még kevésbé. A hazai ipari szennyvíztisztításnak ebben a tekintetben felelőse ugyan van, gazdája már kevésbé. A technológiai felmérés is hiányos, hasonlóan a keletkező iszapmennyiségekéhez.

Az ilyen iszapfajták esetén fontos kiemelni, hogy az élelmiszeripar szennyvíztisztítói rendszerint komposztálásra kitűnően alkalmas iszapokat termelnek. Esetenként ugyanilyen jellegű a gyógyszeralapanyag vagy gyógyszergyárak szennyvíztisztítóinak iszapja is. Fontos tényező lehet az iszapminőség alakulásában az ilyen hazai telepeken az alkalmazott fizikai kémiai előtisztítás vegszerszennyezése.

A papíripar esetében keletkező szennyvíziszapok mindkét fajtája, az ülepített rostiszap, valamint a biológiai tisztítás eleveniszapja is megfelelő energiatartalmú komposzt alapanyag, vagy segédanyag.

9.1.3. Trágyák

A lakosság ilyen jellegű maradéka (emberi ürülék) napjainkban egyáltalán nem jelentkezik, mivel az a lakossági szennyvizekbe, s azon keresztül a tisztítás iszapmaradékába kerül. Az állattartás esetében ugyanakkor igen nagy fajlagos trágyamennyiségek keletkeznek, részben "száraz" (almos), részben "nedves" (hígtrágya) formában. Az állattenyésztés trágyahulladéka olyan nagy, hogy arra gyakorlatilag külön feldolgozó, elhelyező, hasznosító gyakorlat alakult ki. Ez ott alakulhatott így, ahol az állattartó, hizlaló telepek mezőgazdasági környezetben épültek ki. A feldolgozóipar ilyen hulladéka a városokba koncentrálódott üzemek miatt már egyértelműen ott jelentkezik, vagy az üzemi szennyvíztisztítóknál, vagy a kommunális telepen. Megkérdőjelezhető persze az állattartás trágyája felhasználásának az iparszerűsége is, hiszen az almos trágya stabilizálása, komposztálása sem nevezhető kellően ellenőrzöttnek, a híg trágyák tisztításáról, elhelyezéséről pedig közismert, hogy a hazai talajok vizei minőségének tönkretételéért döntően azok a felelősek.

Érdekességként megemlíthető, hogy egy fejőstehén évente mintegy 2200 kg, egy hízó-marha mintegy 1600 kg szárazanyagnak megfelelő trágya-szennyezést produkál évente. Ez 75, illetőleg 50 lakos évi, szennyvíziszapban jelentkező hulladékmennyiségének felel meg. Meglepő, hogy egy baromfi évi hulladéktermelése is ugyanannyi, mint egy felnőtt lakosé. Ez is jól mutatja, hogy az állattartás, vagy intenzív hústermelés milyen jelentős szennyezőanyag termelést is jelent. Sok ország, de különösen Hollandia szenved intenzív sertés-hizlalásának az ilyen vonatkozású következményeitől. A trágyák komposztálása és mezőgazdasági hasznosítása természetesen egy reális lehetőség, azonban itt is rizikófaktor a tápanyag-felhasználás javítására felhasznált vegyszerek, növekedésfokozó hormonok, gyógyszerek hatása.

Érdekes azt is megjegyezni, hogy a különböző állatok trágyái elég eltérő nedvességtartalommal rendelkeznek. Legszárazabb a lótrágya, ami 60 % körüli nedvességtartalmú. A többi trágyák általában 70 és 80 % közötti, a marhatrágya 85 % körüli nedvességtartalommal rendelkezik.

9.1.4. Zöldhulladékok

A lakás körüli növényzet, fű és fák hulladékai képezik ezt a kategóriát. Mennyiségük a lakókörnyezet, lakás-sűrűség függvénye. Kertvárosi területeken akár az összes hulladékmennyiség 10-20 %-a is lehet. A kerti hulladéknak mintegy 70 %-át a fűapríték teszi ki, a levélzet csak 25 %-ot képvisel, míg a többi 5 % egyéb, fásabb növénymaradék. Mennyiségük szezonálisan is nagyon változó. A hideg telekkel megáldott térségekben a füves részek májustól szeptemberig jellemzőek. A lehullott leveleket ezzel szemben szeptember és december között, valamint kora tavasszal gyűjtik be.

A korábbi évtizedekben a növényzet zöld hulladékát is a szilárd hulladéklerakókba szállították. Ma már legtöbb helyen az ilyen maradványokat külön gyűjtik, és komposztálják. Viszonylag nagy a nedvességtartalmuk, és mint már utalás történt arra, keletkezésük szezonálisan ciklikus. A fűnek viszonylag nagy a nitrogéntartalma. Az ilyen anyagok lebontható része viszont nem fedezi a komposztálás hőigényét. Kedvező, hogy a fűmaradványok és falevelek, vagy bokrok nyesevédei nem tartalmaznak egyéb szennyező anyagokat, ellentétben a városi szilárd hulladékkal. A levelek szagmentesen tárolhatók, ezért energiadúsabb anyagokkal együtt jól komposztálhatók, hosszabb tárolás után is. Az ilyen hulladékok mennyisége azonban térségenként igen változó, akár egy nagyságrenddel is különböző lehet. Fajlagos értékében a

lakossági szennyvíziszap mennyisége körüli, de parkos üdülőkörzetekben, ahol mezőgazdasági hasznosításuk egyébként lehetetlen, akár tízszerese is lehet.

Régebben a faleveleket egyszerű halmokban hagyták komposztálódni, ma sok helyütt keverik a szennyvíziszapokhoz, különösen zárt komposztáló rendszereknél. Különösen akkor van erre lehetőség, ha a lakosság az ilyen hulladékait elkülönített halmokban gyűjti az udvarában, vagy néha be is zsákolja azt elkülönítve a többi szilárd hulladéktól. Térségenként az ilyen szokások nagyon változóak, sőt a környezettudatos nevelés eredményeként ciklikusak is lehetnek.

Esetenként az összegyűjtött falevelek is tartalmazhatnak kedvezőtlen szennyező anyagokat (műanyag, kövek, stb.). A zöld növényzet ugyan nitrogénben gazdag, a száraz falevelek komposztálásához azonban rendszerint tápanyag-adagolás, gondos nedvesség-beállítás és szabályozás szükséges a szag keletkezésének az elkerülésére. Előfordult olyan levélkomposztálás is, melyet a szennyvízderítők iszapjával és aprított fahulladékkal keverve végeztek. Az alapanyaghoz ilyenkor is nitrogénforrást kellett adagolni a növényi részek gyorsabb lebomlása, nagyobb reakciósebesség (melegedés) elérése érdekében.

9.1.5. Élelmiszeripari és mezőgazdasági hulladékok

A komposztáláshoz számos, ebbe a kategóriába tartozó hulladék alkalmas. Általában ami föld feletti növényi rész, vagy állati maradék és nem szennyezett, komposztálható. A közlemények alapján sok ilyen hulladék felhasználására került már sor a korábbiakban. Ilyenek:

- burgonyahulladékok (héj, keményítő, méret alatti termés, beteg gumók, stb.),
- keményítőiszap,
- halfeldolgozási hulladékok (héj, belsőség),
- narancs és citromhéj,
- almafeldolgozás maradáka (iszap, szűrletmaradék és biológiai iszap),
- szőlőfeldolgozás hulladéka (szűrőiszap, héj, törköly, kacs, vessző),
- csokoládégyártás hulladéka,
- vízierőművek szűrőin fennakadó algák, halak és más tengeri élőlények,
- élelmiszer-előkészítés hulladéka,
- mezőgazdasági hulladékok (szalma, kukoricacsutka, rizs-, gyapot-, mandulahéj).

A felsorolt lista messze nem teljes, de jól mutatja a komposztálható állati és növényi hulladékok széles skáláját.

9.1.6. Lakossági szilárd hulladék

Ez az átfogó kategória mindazokat a szilárd hulladékokat tartalmazza, melyek az ember környezetéből rendszerint szervezett hulladékgyűjtéssel kerülnek eltávolításra. Mennyiségét tekintve ez a legjelentősebb mennyiségű hulladék, több száz kilogramm lehet lakosonként évente. Összetételében legnagyobb hányad a papír, de tartalmaz élelmiszermaradványokat és zöldhulladékot is. Komposztálásra történő hasznosításuk vizsgálata ezért hosszú évtizedek óta fontos tevékenység. Gondot jelent az utóbbi időszakban a lakossági szilárd hulladékban jelentkező hatalmas műanyag-hányad. Ennek kiválogatása, a műanyag-részek változatos mérete és alakja miatt egyre nagyobb nehézséget jelent. A szétválasztás hatékonysága soha nem teljes (100%). A komposztálható anyagokhoz mindig jócskán kerülnek műanyag és üveg anyagok is.

A lakossági szilárd hulladék anaerob átalakulása jelentős szaghatással jár. Sajnos napjainkban éppen a szennyvíztisztító telepek ilyen hatásai azok, melyek a lakosságot leginkább zavarják. Az, hogy a fejlődő városok a távolsági előírások ellenére egyre közelebb terjeszkednek a szennyvíztisztítókhöz, komposztáló telepeikhez. Ez már akkor is egy újabb megoldandó problémát jelent, ha a lakossági szilárd hulladék semmilyen frakciója sem kerül be az iszapkomposztálásba. Helyileg is többnyire máshol keletkezik, s a szétválogatás utáni szállítása is esetleg a városokon keresztül kellene, történjen. Ezért az ilyen hulladékok komposztálását gyakran a szilárd hulladék gyűjtésének a helyén, a szeparálás után célszerű végezni, megfelelő segédanyagok felhasználásával.

Az Egyesült Államokban a 60-as évek végén komoly fellendülés volt megfigyelhető a lakossági szilárd hulladékok komposztálását illetően. Később ez a hullám elcsitult, de az európai fejlesztés és eredmények hatására komposztálás a 80-as évek végén ismét divattá vált. Összességében azonban megállapítható, hogy az ilyen hulladékok nagy papír részaránya, illetőleg az utóbbi időben nagy műanyag hányada következtében a komposztálásuk egyre gondosabb előkezelést igényel, ami nehezen kompenzálható költségtöbblet. Az iparilag fejlett országokban egyre jellemzőbb, éppen az összetétel ilyen változása eredményeként, a lakossági szilárd hulladékok égetése, vagy olyan tömörítése, amely a deponálást olcsóbbá teszi, s egy későbbi feldolgozás lehetőségét is megtartja.

9.1.7. Különleges hulladékok

Ebbe a kategóriába azokat a veszélyes ipari hulladékokat sorolhatjuk, melyek a komposztálás anaerob körülményei között éppen a jelenlévő egyéb segédanyagok segítségével bomlásnak indulnak, majd ez a bomlás az aerob fázisban igen jó hatásfokkal fejeződik be. Közöttük elsősorban az olajos iszapok, és különböző növényvédő-szer hulladékok említhetők meg.

Egy 1992-es tanulmány szerint, diesel üzemanyaggal szennyezett talajok remediációjára is javasolható a komposztálás. A kedvező hőmérséklet és tápanyag ellátás az aromás komponensek jó lebomlását eredményezte 35-50 nap alatt. Az összes szénhidrogén tartalom több mint 90 %-a elbomlott vizsgálataik során 70 nap alatt. Az így bontható vegyületek sorába tartoznak a benzol, pentaklór-fenol, ftalátok, könnyű és nehéz üzemanyagok, kőszénkátrány, fenolok, policiklikus aromás szénhidrogének, klór tartalmú szerves oldószerek, valamint a poliklórozott-bifenilek is.

9.2. Energia visszanyerése hulladékokból

A szerves anyag energiatartalma hasznosításának három alapvető útja lehetséges:

- a szerves anyag és tápanyagtartalma közvetlen, vagy komposztálást követő talajba-vitele,
- a szerves anyag átalakítása energiává közvetlen égetéssel, metanizációval vagy pirolízissel,
- a szerves anyag, mint pl. a papír és műanyagok közvetlen visszaforgatása a termelésbe.

Mindegyik újrahasznosítási lehetőség igen értékes. Az elsőt részletesebben említették az eddigiek. A biomassza közvetlenebb energetikai felhasználása ugyan folyamatos cél, de a kutatás mindenkori eredményei függvényében több-kevesebb sikerrel kerül csak megvalósításra. A realizálást egyidejűleg a világ mindenkori olajellátottsága is befolyásolja. A közvetlen újrafelhasználás, termelésbe történő visszaforgatás látszik azonban a legkedvezőbb megoldásnak az anyag és energiatakarékosságot is figyelembe véve. Hogy azonban a három

lehetőség közül adott esetben melyik az igazán kedvező, azt mindig a hulladék összetétele és egyéb jellemzői, s maga a technikai, gazdasági környezet határozza meg.

A viszonylag száraz hulladékoknak, mint a lakossági szemét és fa-hulladékok, legkedvezőbb az égetéssel történő hasznosításuk. A pirolízis és elgázosítás ezen belül ígéretes megoldás. Esetenként az ilyen alapanyagok előzetes válogatása, szeparálása még kedvezőbbé teheti a termikus újrahasznosítást. Ahogy a hulladék nedvességtartalma nő, a termikus hasznosítás hatásfoka egyre csökken. Az égés önfenntartásához a nedvességtartalomnak 60-70 % alatt kell lennie. Pontos értéke azonban a szerves anyag típusától (égéshő, fűtőérték), és a fűtőberendezések típusától is függ. Ha a hulladék iszap-szuszpenzió, az energia visszanyerés egyetlen lehetséges módja az anaerob rothasztás. Mit célszerű azonban tenni az utóbbi maradékával, vagy más túl nedves szerves hulladékokkal, melyek égetése nem lehet gazdaságos. Korábban természetes tüzelőanyagok hozzáadásával próbálták azokat elégetni. A fűtőanyag igény, valamint a bonyolult égető berendezés igénye azonban az ilyen megoldást kedvezőtlené teszi.

A nagy nedvességtartalmú anyagok újrafelhasználása, elhelyezése mindig gondot jelent. Közvetlen talajba történő injektálásuk ugyan kedvezőnek tűnik, de az rendszerint csak a kevésbé lakott, megfelelő talaj-adottságokkal rendelkező területeken lehetséges. A komposztálás kedvező sajátossága, hogy a nedves alapanyagból kényelmesebben kezelhető, hasznosítható maradékot termel. A komposztálás egyidejűleg stabilizálja a rothadó-képes szerves anyagokat, nagymértékben csökkenti azok patogén szervezet tartalmát, továbbá szárítja, kezelhető formájúvá alakítja az anyagot. Mindezek a nyereségek minimális külső energia felhasználásával biztosíthatók. Leegyszerűsítve akár újrafelhasználásra vagy elhelyezésre alkalmas szárított termék előállításának is tekinthető igen változatos alapanyag felhasználás mellett is. A komposztálás egyidejűleg meglehetősen rugalmas technológia.

A komposztálás a fentiekől függetlenül a jövőben is az integrált hulladék-gazdálkodásnak csak egy része lehet. A jó minőségű szerves anyagok, mint a kartonpapír, újságpapír visszaforgatása a gyártásba hosszú távon elsődleges lesz. A műanyag-hulladékok kérdésében azok sokrétűsége miatt már nem ilyen egyértelmű a helyzet. Azoknak az elégetése jelentős energianyereséget jelenthet, de a klórozott polimer származékok az égetésnél komoly hátrányt okoznak.

A faanyagok, száraz mezőgazdasági hulladékok, mint a szár-anyagok és a lakossági szemét ilyen, szárazabb részei, nagyon alkalmasak közvetlen eltüzelésre. A nagyobb nedvességtartalmú anyagok ezzel szemben a komposztálás vonalán hasznosíthatók kedvezőbben. Ez persze nem jelenti azt, hogy éles határ lenne a nedves és száraz állapot között. Ugyancsak nem minden szárazanyag javasolható tüzelésre a jelentkező berendezésigény és környezetszennyezés, netán a lakossági tiltakozás miatt. Mindegyik megoldás adott esetben optimális lehet, de úgy tűnik, a komposztálás nagyon sokféle hulladék, különösen a nedves, de esetenként a por formában jelentkező száraz anyagoknál is, szerencsésen alkalmazható újrafeldolgozás. Erre vonatkozóan a rendelkezésre álló hulladékmennyiségek sem jelentenek korlátozást. Valószínűsíthető, hogy a kis és nagyobb méretű komposztáló egységek, telepek is hosszú időre elláthatók kellő alapanyaggal a jelenleg még problémát jelentő hulladékcsökkentés érdekében.

9.2.1. A nedves alapanyagok problémája

A lakossági és ipari szennyvizek iszapmaradékainak közvetlen komposztálása azért jelent problémát, mert azok nedvességtartalma 70-80 % közötti. Ez olyan nagy víztartalom, ami a

komposztálás hőmérsékletének emelkedését vagy szabályozását többnyire ellenőrizhetetlené teszi. A komposztálás termodinamikájának ismerete és számbavétele ezért a nagyüzemi komposztálás esetében mindenképpen elengedhetetlen.

Alapszabály, hogy minél nagyobb az alapanyag (szerves anyag) nedvességtartalma, a komposztalomban, komposztprizmában annál nagyobb szabad levegőtérfogatnak kell lennie a megfelelő levegőztetés biztosítására. A víztelenített iszap ehhez közvetlenül nem megfelelő termék, mert vagy pasztaszerű, szabad levegőtérfogat nélkül, vagy saját súlya alatt ilyen anyaggá tömörödik. A nagy nedvességtartalom és a porozitás hiánya, a sűrűsödésre való hajlam miatt az ilyen szennyvíziszapot a komposztálás előtt, vagy annak folyamatában vízteleníteni, a kívánt nedvességtartalomig elő kell szárítani, hogy abból megfelelő minőségű, állagú, értékesíthető termék legyen előállítható. Napjainkra a probléma áthidalására sokféle megoldást, technológiát, technikát fejlesztettek ki a szennyvíziszapok komposztálására.

Nedves alapanyagok esetén a tervezőnek/üzemeltetőnek megfelelően be kell állítania az alapanyag fizikai állapotát (nedvességtartalom, fajtérfogat, szabad gáztérfogat-hányad), valamint annak biológiailag hasznosítható energiatartalmát. Hasonlóképpen biztosítania kell a folyamatban a megfelelő levegőellátást az oxidációhoz, valamint a komposztálódó anyag szükséges nedvességtartalmának csökkentésére. A komposzt környezeti hatásoktól történő védelme szintén meghatározó lehet, különösen a csapadékosabb térségekben, időszakokban. Bár a víztartalom és energiaellátottság a nedves alapanyag komposztálásának meghatározó kérdése, a szennyvíziszapok számos előnyt is jelentenek a komposztálásnál. Rendszerint kellően homogének és nem kívánatos darabos szennyező anyagoktól mentesek. Rendszerint az összes, komposztáláshoz szükséges tápanyagot (N, P, mikroelemek) is kellő mennyiségben tartalmazzák, és a víztartalom beállításán túl minimális előkezelést, vagy utókezelést igényelnek a kereskedelmi termék előállításához.

9.2.2. A száraz alapanyagok problémája

Az előzőek után úgy tűnhet, hogy az ott felsorolt legtöbb probléma elkerülhető. Sajnos egyáltalán nem így van. A száraz anyagoknak is megvannak a maguk felhasználhatósági határai. A száraz hulladékok, mint a mezőgazdasági maradékok, lakossági és kerti hulladékok, nagyon heterogének és többnyire szükségessé teszik az alapanyag válogatását, kezelését, mind a komposztálás előtt, mind azt követően az értékesíthető termék biztosítása érdekében. Az ilyen hulladékok tápanyagtartalmának, különösen a hasznosítható nitrogéntartalmának a hiánya, ami a lebomlásnál azután a biológiai folyamatok lelassulását is eredményezheti, általános. Esetenként azok aprítása is szükséges lehet a komposztálandó anyag homogenitása érdekében, hogy lebomlási sebessége gyorsabb, egyenletesebb legyen. Végül esetenként nedvesítésükre is szükség lehet az átalakítás során, mert a nedvességtartalom ugyancsak limitáló tényező a mikroorganizmusok aktivitásában.

Gyakran alapvető eltérések adódhatnak a látszólag hasonló alapanyagoknál is. A kerti hulladékok esetében a fűvet és a faleveleket gyakran együtt gyűjtik és komposztálják. Ugyanakkor arányaik meghatározóak a folyamat sebességére, egyensúlyára. A levelek megfelelően jó mechanikai stabilitással rendelkeznek, jó szerkezetű keveréket képeznek. Ugyanakkor nagyon lassan bomlanak, és friss állapotban maradnak még hosszabb tárolási időszakot követően is. Tápanyagtartalmuk (N) többnyire kedvezőtlen. Esetenként a jobb lebomlás érdekében még aprítani is célszerű a leveleket. A fű ugyanakkor nyersen túlzottan tömörödik. Nedvesen a lebomlása ugyanakkor rendkívül gyors, gyakran jobb, mint a nyers szennyvíziszapé. Ennek következtében a fű, fűcsomók gyakran berothadnak, és szaghatást

eredményeznek, még akár mielőtt elérnék a komposztáló telepet. Nedvesen nem tárolhatók anélkül, hogy ne bűdösödjének, ezért nagyon gyorsan be kell dolgozni a nyersanyagba. A fűnek nagyon nagy a nitrogéntartalma is, ami a lebomlásakor nitrogénvesztést és célszerűtlen gázszennyezést (NO_x) is eredményezhet. A két kerti hulladék ezért igen eltérő a feldolgozhatóságát illetően.

Valamennyi potenciális komposzt-alapanyagnak megvannak a saját különlegességei, amit a tervezőnek, üzemeltetőnek pontosan kell ismernie. Alapszabály ezért, hogy a tervezésnek és az üzemeltetésnek is egyaránt meghatározója az alapanyagok és azok tulajdonságainak, lebonthatóságának az ismerete.

9.2.3. Termékminőségi előírások

Az alapanyag jellemzőinek ilyen fontossága esetén egyértelmű, hogy az előállítandó termék minőségét is hasonlóan behatárolják. Ez elsődlegesen a lakosság egészségvédelmét és a környezet minőségbiztosítását kell, hogy szolgálja a kereskedelmi termékek minőségi követelményein keresztül. A közegészségi kockázat a komposztálási technológiából a humán patogén szervezetek, levegőbe kerülő spórák és vírusok jelenlétéből adódik. A patogén kórokozók az alapanyaggal érkeznek a feldolgozásra, ahol a táptalajon szükségszerűen szaporodni tudnak. A komposztálás során azonban elszaporodhatnak a környezetre kedvezőtlen spóráképző gombák is. Ezek a kórokozók természetesen a hő hatására nagyrészt elpusztulnak. Jelenlétük, gyakoriságuk azonban a kész komposzt minősítésének egyik paramétere.

A nehézfémek és kis mennyiségben jelenlévő nem bontható veszélyes szerves anyagok a komposzt-termékkel a növényen keresztül a táplálékláncba kerülhetnek. Ezeknek az emberekre, állatokra és növényekre gyakorolt toxicitása ugyancsak pontosítandó. Legtöbb állami szabályozás az ilyen szennyezők mennyiségét határértékekhez köti. Ilyen szennyezők többnyire az alapanyagokkal, elsődlegesen a szennyvíziszappal kerülnek a technológiába. Ettől függetlenül a komposztálás a velük túlzott mértékben szennyezett iszapok feldolgozására is javasolható. Az ilyen anyagok biológiai stabilizálását azonban célszerű a jó minőségű, kereskedelmi termék előállításra alkalmas alapanyagokétól elkülönítve végezni.

Talán éppen a nehézfém és mérgező anyagok kizárása érdekében az állati eredetű trágyák komposztálását a gyakorlat a szennyvíziszapokétól szeparáltan végzi. Erre persze az is célszerű lehetőséget biztosít, hogy mindegyik keletkezési helye egyértelműen behatárolt és egymástól távoli.

Annak ellenére, hogy az áttekintő kimondottan a szennyvíziszapok komposztálási lehetőségére koncentrál, azok határértékeit nem kívánja részletes bemutatni, hiszen erre csaknem valamennyi, a tárgykörrrel foglalkozó kiadvány részletesen sort kerít. Ugyanígy nem tér ki a különböző szerves szennyező-anyagok részletezésére, korlátozására sem, mivel azok viszont kommunális szennyvíztisztítók iszapjaiban a határértékek közeli koncentrációkban egyáltalán nem fordulnak elő. Ugyanez igaz a szennyvíziszap komposztálás segédanyagaként szóba-jöhető erdészeti, mezőgazdasági, esetenként élelmiszeripari hulladékokra is.

A kereskedelmi komposzt terméknek ugyanakkor sok olyan minősítő jellemzője van, melyek a közegészségi, vagy környezeti hatásukkal egyáltalán nem állnak összefüggésben. Ilyenek a szín, szemcseméret, gyommagvak jelenléte, egyéb inert anyagok vagy darabos ásványi részek, üvegtörmelék, műanyagok jelenléte, a szervesanyag-tartalom, a C:N arány, sótartalom, pH, nedvességtartalom és a nedvességtartó kapacitás. A gyommagvak ugyan zavaróak, de a

komposztálás hőmérsékletének megfelelő értéken történő tartásával kipusztíthatók. A komposztálás végtermékének azokat a tulajdonságait, melyek a közegészség tekintetében nem jelentenek kockázatot, nem is építik be az államilag készített termék szabványba. Ilyen például a termék színe is. Ezzel szemben az idegen anyagok mennyiségét szigorúan előírják.

Úgy tűnik, Európában az iparszerű komposztálás a jól szeparált homogén, állandó minőségű hulladékok feldolgozása felé tolódik el. Sok lakossági szilárd hulladékkomposztáló telepet éppen ezért vagy leállítottak, vagy megfelelően előszelektált hulladékok egyedi feldolgozására állítottak át, éppen a kereskedelmi komposzt kisebb idegen anyag szennyezése miatt.

9.2.4. Elmélet és gyakorlat

A komposztálás egy meglehetősen összetett, ellentétes irányú hatásokat magába foglaló folyamat. Legjobb a gyors lefolyása, a szerves anyag ilyen stabilizálása lenne. Ez azonban gyors és intenzív hőfejlődéssel jár, ami olyan hőmérsékletre melegítheti az anyagot, ami a biológiai folyamatok lelassulását, gyakorlatilag leállítását is eredményezheti. A túlzottan energiadús tápanyagok ilyen értelemben nem is annyira kedvezőek. Azokkal nehezen biztosítható az egyidejűleg meghatározó több feltétel optimális értékének a beállítása. Az igazán rugalmas üzemeltetés tartós hőmérséklet mellett a szerves anyagok nagyfokú lebomlását biztosítja. Egyidejűleg ez megfelelő fertőtlenítést is eredményez. Hasonló alapanyag összetételnél hideg környezetben ugyanakkor mégsem tud a komposztalóm a megfelelő hőmérsékletre felmelegedni. A komposztálás valamelyest hasonlít a tüzeléshez, amikor egy nagy farönköt tesznek a kályhába. Lassan gyullad be, de ha egyszer elkezdett égni, elkezd lángolni, nehéz az égését szabályozni.

A komposztálás azonban csak látszólag van tele kérdőjelekkel. A folyamatot igen régóta biztonsággal alkalmazzák. Meghatározó kérdése a végtermék minősége és stabilitása, melyet az üzemeltető ma is elsősorban az anyag külleme, szaga és tapintása alapján minősít. Nem sikerült eddig olyan analitikai vizsgálatokat kifejleszteni, melyek az üzemeltető személyt helyettesíteni tudták volna. Bár az analitika folyamatosan fejlődik, javul, egyre hasznosabb információkat szolgáltat, az soha nem tudja helyettesíteni a megfelelően képzett üzemeltető gyakorlati tapasztalatait.

Egy 1989-es tanulmány azt írta a komposztálásról, hogy az a nem is olyan távoli jövőben majd a bor készítéséhez hasonló művészet lesz. A borásznak a vásárló igényeit kielégítő terméket kell előállítani. Hasonló igény jelentkezik a komposztot illetően is. Minimális követelményként biztonságosnak kell lennie, jó hatásúnak a növényzetre, és vonzóznak a vásárló számára. Klasszikusan igaz, hogy nemcsak ismeretek, tudás, mérnöki, üzemeltetői szakértelem, de megfelelő művészi képesség is kell a jó bor előállításához. A borászat azonban sokkal közvetlenebb formában szolgálja az emberiség élvezeti igényét, ezért szinte bizonyosnak vehető, hogy történetileg a komposztálást megelőzően kifejlődött gyakorlat és tudomány.

9.3. A szennyvíziszap komposztálás segédanyagai

A szennyvíziszap komposztálásához alkalmas segédanyagok lehetnek lakásaink, környezetünk növényi hulladékai és egyéb növényi maradványok is. Az utóbbiak közül a fák lombzat és faanyaga, valamint feldolgozási hulladékai, mint a héjazat, és a fűrészpor jöhetnek kiemelten számításba. A faanyag inkább egyéb ipari hasznosításra kerül, s ennek megfelelően az ára is lényegesen nagyobb. Alkalmazható segédanyag még a szalma, valamint a napraforgó és a kukorica szára is. Közülük az elsőt használják általánosabban, mert az összegyűjtése kellően

gépésítve van, így nagy tömege is megfelelően szállítható a termőföldekről a komposztálás helyére. A kukorica és napraforgó szára rendszerint visszakerül a talajra, s abban stabilizálódik, komposztálódik a talaj mikroorganizmusai segítségével. Speciális mikrobiális oltással ma már ezt a lebomlást is segíthetik, gyorsíthatják, célirányosabbá tehetik. Miközben a cellulózbontó mikroorganizmusok a helyi humifikáció alapanyagát állítják elő azokból, az egyidejűleg adagolt azotobakter fajok a talajban jelentős nitrogénfixálást is végezhetnek, ami a műtrágyával történő nitrogénpotlást jelentősen csökkentheti. Ugyanez ma már a célja az egyre terjedő zöldtrágyázás technikájának is. Mindkét megoldás hiánya azonban, hogy a termékekkel a termőterületekről elszállított foszfor nem kerül vissza ugyanoda. Ezt a komposzt visszaforgatása biztosíthatja, amely mind a szennyvíziszap, mind a strukturanyagok foszfortartalmát visszajuttatja a termőhelyre, miközben a szennyvíziszap nitrogéntartalmának jelentős része is visszakerül oda.

Más szóba jöhető segédanyagok a **mezőgazdasági, erdészeti hulladékok** (szalma, fűrészpor, napraforgó és kukoricaszár, kukoricacsutka). A felsorolt lista messze nem teljes, de jól mutatja a szennyvíziszap komposztálásához hasznosítható növényi hulladékok széles skáláját. A gyakorlatban a **faapríték, szalma és a fűrészpor** a

A valamiképpen elővíztelenített szennyvíziszapnak a segédanyagokkal történő vegyes komposztálásánál a tervezőnek/üzemeltetőnek megfelelően be kell állítania a keverék (komposzt alapanyag) fizikai állapotát (nedvességtartalom, fajtérfogot, szabad gáztérfogathányad), valamint annak a biológiailag hasznosítható energiatartalmát. Hasonlóképpen biztosítania kell a folyamatban a megfelelő levegőellátást az ilyen oxidációhoz, valamint a komposztálódó anyag szükséges nedvességtartalmának csökkentésére. A komposzt környezeti hatásoktól történő védelme szintén meghatározó lehet, különösen a csapadékosabb térségekben, időszakokban. Bár a víztartalom és energiaellátottság a nedves alapanyag komposztálásának meghatározó kérdése, a szennyvíziszapok számos előnyt is jelentenek a komposztálásnál. Rendszerint kellően homogének és nem kívánatos darabos szennyező anyagoktól mentesek. Rendszerint az összes, komposztáláshoz szükséges tápanyagot (N, P, mikroelemek) is kellő mennyiségben tartalmazzák, és a víztartalom beállításán túl minimális előkezelést, vagy utókezelést igényelnek a kereskedelmi termék előállításához.

9.3.1. Az alapanyag összeállítása

A nedves szennyvíziszap soha nem bizonyult önmagában megfelelő komposzt alapanyagának, kivéve az olyan kísérleti üzemeket, ahol folyamatos keverést lehetett biztosítani. A szennyvíziszapok nagy nedvességtartalma azok olyan tömörödését eredményezi, ami teljesen kiszorítja a levegőt a szilárd fázisból. Ezért is csak intenzív keverés biztosíthatja ilyenkor a megfelelő oxigénbevittelt. Ezzel szemben a túlzottan száraz anyagoknál víz hozzáadására lehet szükség a mikroorganizmusok tevékenységéhez szükséges nedvességtartalom beállítására. Sokszor a tápanyagtartalom megfelelő beállítására is szükség van a nitrogén, foszfor vagy más mikroelemek hiányának biológiai folyamatokat lassító hatásának elkerülésére. Ezt az előkészítő műveletet az általános gyakorlat nyersanyag vagy alapanyag kondicionálásnak nevezi.

A komposztálást tervező és üzemeltető szakembereknek elég kevés lehetőségük van a beinduló biológiai folyamatok további szabályozására. Éppen ezért az alapanyag megfelelő összetételének beállítása rendkívül jelentős. Az iszap és segédanyag keveréke nedvességtartalmán túl a komposztálandó keverék biológiailag bontható szerves anyag tartalmát (energiatartalék), porozitását is be kell állítani. Az alapanyag keveréséhez, összeállításához a gyakorlatban három lehetőség áll rendelkezésre:

- a késztermék visszaforgatása, alapanyaghoz történő keverése,
- energianövelő, lebontást, komposztálódást gyorsító segédanyagok adagolása,
- gáztérfogató növelő, úgynevezett „formázó anyag” keverése az alapanyaghoz, majd eltávolítása a késztermékből és visszaforgatása az alapanyaghoz.

Szóba jöhet természetesen a fentiek kombinációja is.

9.3.2. Segédanyag és töltőanyag funkció a szennyvíziszapok komposztálásánál

A segédanyagokat az alapanyag összetételének helyes beállítása érdekében használják. Két típusuk különböztethető meg:

Szerkezetjavító, vagy szárító segédanyagok. Ezek rendszerint szerves anyagok a fajtérfogató növelése, a keverékben kialakuló szabad légtér-hányad növelésére, s ezzel a levegőellátás lehetőségének a javítására.

Kalóriaérték növelő segédanyagok. Ezek olyan szerves anyagok, amely növelik az alapanyag biológiailag bontható szerves anyag hányadát, növelve azzal annak az egységnyi tömegéből felszabaduló hő mennyiségét.

A szennyvíziszap nedvességtartalmának beállítására a faaprítékon túl a már említett fűrészport, szalmát, tőzeget, kerti hulladékot, és más, cellulóz tartalmú hulladék anyagokat is sikeresen alkalmaztak. Az ideális segédanyag száraz, kis térfogatsúlyú és viszonylagosan jól bontható.

A kész komposzt visszaforgatása ugyancsak gyakorlat a térfogatsúly csökkentésére. Ezt azonban a külső segédanyagok alkalmazásától meg kell megkülönböztetni, mert nem jelenti új anyag hozzáadását az alapanyaghoz, különösen nem biológiailag bontható, hőt termelő anyag hozzáadását. Éppen ezért **nedves alapanyagok esetében a kész komposzt, vagy a stukturanyag visszaforgatását gyakran egy energianövelő segédanyag adagolásával együtt alkalmazzák. Ilyen megoldással csökkenthető a szükséges segédanyag mennyisége.**

Töltő vagy strukturáló anyagok az olyan szerves anyagok lehetnek, amelyek szemcse (részecske) mérete megfelelő szerkezeti vázat (porozitást) biztosít az iszapkeverék szükséges mértékű átlevégőztetéséhez. Ha a strukturáló szerves anyag a komposztálás folyamán lebontható, további előnyt is biztosíthat. A mintegy egy-két inch méretű faapríték a leggyakrabban felhasznált strukturáló anyag (formázóanyag), de más formált anyagok, rönkhéj vagy durva méretre aprított keményfa, vagy akár fűrészpor, szecskázott szalma is alkalmas a lakossági szennyvíziszap komposztálásához.

A segédanyag vagy töltőanyag ilyen elkülönített megnevezése a szennyvíziszap komposztálásának a gyakorlatában alakult ki, ahol az elsődleges alapanyag a víztelenített nyers, vagy rothasztott szennyvíziszapot tekintik. Sajnos ez néha eltereli a figyelmet a segédanyagok és töltőanyagok jellemzőinek, lebomlásának fontosságáról. Kiemelendő, hogy a

technológia szempontjából mindegyik bedolgozott segédanyag alapanyagnak tekintendő, megnevezésétől függetlenül.

9.4. A szennyvíziszap komposztálási technológia fő lépései

A komposztálást több fázisra, egy fölépcsőként alkalmazott intenzív bontásra, majd azt követő érlelésre szokás felosztani. A két lépcső között nem húzható éles határ. A nagy sebességű első lépcső forgatott prizma, levegőztetett sztatikus halom, vagy zárt reaktoros megoldás is lehet. Jellemzője a nagy sebességű oxigén-felhasználás, termofil hőmérséklet-tartomány, s a bontható anyagok gyors elbomlása, az egyidejű jelentős szagvesztéssel. Az utóbbit a statikus rendszerek zárttá alakításával s gázainak valamilyen tisztításával csökkentik.

A második lépcsőben, ami a komposzt érlelése, mind levegőztetett, mind levegőztetés nélküli halmos, prizmás, sőt zárt reaktoros rendszerek is alkalmazhatók. Ebben a szakaszban már alacsonyabb a hőmérséklet, kisebb az oxigénfelvétel sebessége, és nem jelentkezik szagprobléma. Az érlelés során bomlanak le a különösen nehezen bontható szerves anyagok, valamint amelyek valamilyen ok miatt (tápanyaghiány, kisebb hőmérséklet, szárazabb környezet) nem tudtak az első szakaszban lebomlani. Ekkor kiegyenlítődik a rendszer mikroorganizmus állománya, amely a komposzt érlelésében, humifikációjában, a fitotoxikus vegyületek lebontásában, és a növénykártevők visszaszorításában játszik fontos szerepet.

A komposztálás első lépcsője hagyományosan jobban tervezett és szabályozott az ott jelentkező nagyobb sebességű folyamatok, oxigénigény, nedvességvesztés miatt. Az érlelés ezzel szemben általában alig ellenőrzött folyamat. Természetesen ettől függetlenül a komposzt érlelése ugyanolyan fontos a tervezés és üzemeltetés tekintetében, hiszen a termék végső formáját, küllemét éppen az utóbbi határozza meg. Az érési időszakban a humifikáció kellően előrehaladottá válik, ami a szerves anyag stabilizálását, további igen lassú lebomlását, lassú tápanyag leadását eredményezi. Ezért is jelentenek a megfelelő komposztok minimális talajvíz-szennyezést okozó, hosszú hatásidejű talajtápanyag utánpótlást a termőtalajoknak.

9.4.1. Előkészítő és utókezelő műveletek

Az alapanyagok előkezelése a tulajdonképpeni kondicionálást megelőzően is fontos lehet a komposztálás érdekében. Az anyag érlelés előtti, vagy azt követő fizikai kezelése ugyanakkor az utókezelés. Ezek a műveletek éppen az alapanyag jellemzői, valamint termék megkívánt minősége érdekében lehetnek különösen szükségesek.

9.4.1.1. Szennyvíziszapok

A kommunális szennyvíziszapok viszonylag homogén és darabos anyagoktól mentes termékek. **Rendszerint fűrészpor, szalmaszecska és a faapríték hozzáadásával kondicionálják azokat.** Ilyenkor az előkezelés az alapanyagok tárolását, összemérését, valamint az egyes komponensek és a visszaforgatott kész komposzt összekeverését jelentik. Az utóbbit mindig mechanikus berendezésekkel végzik, melyek esetleg a komposzthalom kialakítására, vagy a komposztprizmák, blokkok betöltésére is alkalmasak. A fűrészpor minőségétől függően annak

a rostálására is szükség lehet. Erre is különböző berendezések jöhetnek szóba. Ilyen kizárólagosan fűrészporos komposztálást követően azonban utókezelésre általában nincs szükség. Gondos utókezelést főleg akkor kell végezni, ha finom állagú termék előállítása a cél, illetőleg a töltőanyagot, vagy formázó anyagot el kell különíteni a terméktől annak a visszaforgatása érdekében. A szennyvíziszapokat ilyen segédanyagokkal komposztáló rendszerek általában kitűnő minőségű, szennyező anyagoktól mentes komposztot termelnek.

Az iszapkomposztáló rendszerek többsége **fűrészport**, vagy más finoman aprított segédanyagot ad a víztelenített nyers iszaphoz. **Széleskörű gyakorlat a mintegy 6-8 tömegszázalék szalmával történő keverés is.** Szálas szalma esetén a viszonylag nedves víztelenített iszapok gyors víz-eleresztése jelentkezik, ami rövid idő után egy lényegesen szárazabb alapanyag prizma összerakását teszi lehetővé. Ez akkor lehet hatásos, ha a csurgalékvíz megfelelő elvezetése, tehát az alapanyag ilyen megoldású további víztelenítése, szárítása biztosítható. **Szárazabb nyers szennyvíziszap centrifugátum, vagy préselt iszap esetében a 10 tömeg % körüli szalma, fűrészpor már önmagában is elég a szükséges nedvességtartalom beállításához.** Ez mintegy 1:1 – 1:2 térfogatarányú iszap : segédanyag keverést jelent a szalma és fűrészpor, valamint az iszap nedvességtartalma függvényében.

Fűrészpor és finomra aprított szalma esetében a keverék még így is kedvezőtlen, tömörödéssé hajlamos, ami a levegőztethetőségét rontja. Éppen ezért ezeknél a komposzthalmok időszakos, viszonylag gyakori átkeverése, levegőztetése, tehát a dinamikus komposztálás a gyakorlat. A keverék anaerob előtározása, majd durvább strukturanyaggal történő további keverése a szabad gáztérfogat növelése érdekében ugyanakkor előnyös lehet, s akár a statikus komposztálást is lehetővé teszi.

9.4.1.2. Komposztálást befolyásoló tényezők

A komposztálás a kommunális, illetve élelmiszeripari, mezőgazdasági termelési hulladékok feldolgozására alkalmas, irányított, aerob biokémiai eljárás. Meghatározott feltételek biztosításával olajok és zsírok feldolgozására is használható. A folyamatban résztvevő heterotróf mezofil és termofil mikroorganizmusok (köztük nagy mennyiségű gomba) enzimek a szerves anyagokat előbb hidrolízis és biológiai oxidáció útján részlegesen lebontják, majd a bomlástermékek polimerizációval, polikondenzációval egy még stabilabb, bonthatatlanabb humusszerű anyaggá alakulnak. Ennek a folyamatnak a végterméke a stabil szerves anyagok és szervetlen ásványi anyagok keveréke lesz, amit komposzt néven ismerünk. Ez földszerű, kb. 40-50% nedvességtartalmú anyag (komposzt), amely szerves anyag és növényi tápanyag-tartalma miatt (pl. foszfor, nitrogén, kálium, nyomelem) a talaj termőképességének növelésére hasznosítható.

A mezofil - termofil - mezofil tartományú mikrobiológiai lebontási, átalakulási folyamatok eredményeképpen a hulladékban lévő patogén mikroorganizmusok nagy része elpusztul. A jól szabályozott folyamat eredményeképpen a hulladék esetleges fertőzőképessége megszűnik.

A komposztálással csak a mikroorganizmusok számára hozzáférhető és toxikus anyagot nem tartalmazó szerves hulladékok bonthatók, ezért különösen fontos, hogy a kiindulási anyagban toxikus nehézfém vagy toxikus szerves anyag ne vagy csak minimális mennyiségben legyen (feldolgozás előtti hulladék minőségének ellenőrzése).

A komposztálás folyamatát döntően befolyásoló tényezők technológiailag jól szabályozhatók (komposztálandó anyag minősége, C és N tartalma, aprózottsága és homogenitása, a nedvességtartalom, a levegőellátottság, a hőmérséklet, a pH-érték)

9.4.1.2.1. A levegőellátás

A komposztálandó anyagkeverék darabos, fellazított szerkezete biztosítja az aerob viszonyok fenntarthatóságát, a folyamat megfelelő levegőellátását. Ha a kerti hulladékok döntően fű és levélrészekből állnak, alig igényelnek előkezelést, különösen, ha a forgatott prizmás komposztálás segédanyagát képezik. A laza szerkezet megőrzése érdekében pl. zöld hulladék, nyesedék komposztálásánál az ún. előaprítással kb. 15-30 cm hosszú aprítékot kell előállítani. Sajnos a kavics és egyéb hulladéktartalma miatt felhasználásakor a komposzt utókezelése, rostálása szükséges lehet. Fanyesedékek, fahulladékok felhasználásakor ezzel szemben azok előzetes aprítása az, ami elengedhetetlen. Az elő és utótisztítás soha nem helyettesítheti a kellően tiszta alapanyagot. Ez nem jelenti azt, hogy vegyes alapanyagból, a szilárd lakossági hulladék bontható részéből nem lehet piacképes terméket előállítani. Az azonban mindenképpen biztos, hogy annak a minősége a tiszta anyagokból előállított komposztokéhoz képest gyengébb, komposztálásuk munkaigénye, komplikáltsága nagyobb lesz.

A megelőző aprítás és homogenizálás (keverés) részben a mikroorganizmusok szerves anyagokhoz való hozzáférési esélyeit javítja, részben a különböző hulladék összetevők keveredett, egyenletes elhelyezkedését biztosítja a komposztálandó anyagtömegben belül. A túlzott mértékű aprítás - szecskázás - azonban kerülendő, mert az anyag összetömörödését előidézve, kedvezőtlen mikroökoszisztéma kialakulását eredményezheti. Az aprításnál alkalmazott tépési technika a mikroorganizmusok nagyobb felületen történő megtapadását segítik elő.

9.4.1.2.2. C/N arány

A megfelelő komposztáláshoz biztosítani kell a mikrobiológiai folyamat beindulásához szükséges tápanyag-összetételt, amelyet leginkább a C/N-arány beállításában nyilvánul meg. Az optimális C/N-arány 30:1-hez (a kiindulási anyagra vonatkozóan ezt az arányt 25:1 -35:1 közötti tartományban állítják be). A túl magas C/N-arány arra utal, hogy a nehezen lebomló anyagok részaránya magas, az alacsony arány pedig a könnyen lebomló alkotók túlsúlyát jelzi.

35. táblázat: Néhány fontosabb nyersanyag C:N aránya

fakéreg	120:1
fűrészpor	500:1
papír, karton	350:1
konyhai hulladék	15:1
kerti hulladék	40:1
lomb	50:1
fű	20:1
szalma (rozs, árpa)	60:1
szalma (búza, zab)	100:1
vágóhídi hulladék	16:1
marhatrágya	25:1
kommunális kevert biohulladék	35:1
lakossági szennyvíziszap	10-15:1

Nagyon lényeges tehát, hogy a komposztálandó anyagok keverékének összeállításával a szubsztrát megfelelő C/N-arányát hozzák létre. Indokolt esetben nitrogén, foszfor és nyomelemek adagolására is sor kerülhet (pl. mezőgazdasági kultúráknál történő komposzt hasznosításkor).

A jobb komposztminőség, a biztonságosabb érés miatt sokszor adalékanyagok felhasználására van szükség. Ezek felhasználásával javulhat a komposzt ásványi anyag tartalma, csökken a tápanyagveszteség, szabályozható a pH, stb. Jellemző adalékanyagok: mész, kóporliszt, agyag, bentonit, tőzeg, műtrágya, vér- és csontliszt, stb.

9.4.1.2.3. *Víztartalom*

Az egyik legfontosabb tényező a komposztálandó anyagtömeg víz tartalma, ugyanis a komposztálást megelőzően az apríték felületén kialakuló vízfilmben elhelyezkedő mikroorganizmusok aerob körülmények között extracelluláris enzimekkel bontják le, illetőleg alakítják át a szerves anyagokat. Az ideális nedvességtartalom alsó határa 30-40 m/m-%, felső határa 60-65 m/m-%.

Ezen határok között tartásához a komposzt rendszeres nedvességtartalom-ellenőrzését biztosítani kell. A nedvességtartalom csökkenése a baktériumok tevékenységét befolyásolja, csökkenti, ezáltal az érési folyamat lelassul, a komposztálási idő megnövekszik; növekedése pedig anaerob irányba tolhatja el a rendszert.

9.4.1.2.4. *pH-tartomány és hőmérséklet*

A komposztálásban résztvevő mikroorganizmusok pH-tartománya 4-9 érték közé esik, savas viszonyok esetén inkább a gombák, lúgos körülmények között pedig a baktériumok tevékenykednek. A kedvezőtlen pH-viszonyok elkerülését esetlegesen mész adagolásával valósíthatják meg. A mikroorganizmusok életfeltételei a mezofil, illetőleg termofil tartományokban megfelelő mikrokörnyezeti hőmérséklet fenntartását igénylik, ami a folyamat rendszeres hőmérsékletellenőrzését teszi szükségessé.

A hőmérsékletmérés a komposztálási folyamat szabályozásának egyik fontos feltétele. Ezáltal betekintést nyerhetünk a bomlási folyamatokba, mert a hőmérsékletalakulás jó kifejezője a technológiában résztvevő tényezők összhatásának (anyagminőség, levegőellátás, nedvességtartalom, pH-érték). A bomló anyag és a külső környezet közötti állandó hőcserre annál intenzívebb, minél nagyobb a két közeg közötti hőmérséklet-különbség és tömegéhez képest minél nagyobb a bomló anyag környezettel érintkező felülete. Nagy a hőveszteség, ha az anyagtömeg kevés vagy ha a nagy anyagtömegeket nagy felületű formákba (pl. keskeny, hosszú prizmákba) rakják.

Figyelembe kell venni viszont azt is, hogy a tömeghez képest viszonylag kis felületek (pl. kazlakba való összerakás) esetén az anyag gázcseréje csökken, a folyamat anaerobbá válhat. Ilyenkor mesterséges levegőztetés válhat, szükségessé vagy a szokásosnál többször kell átforgatni az komposzthalmot.

Különösen hangsúlyozni kell, hogy a komposztálás egyik legfőbb feladata a hulladékokban esetlegesen előforduló emberi, állati, növényi kórokozók elpusztítása. Ez a tartósan magas hőmérsékleten végbemenő komposztálással érhető el. Ezért arra kell törekedni, hogy a komposztálandó anyag egész tömege hosszabb időn (min. 14 napon keresztül 55°C-nál, illetőleg min. 7 napon keresztül 65°C-nál) magasabb hőhatáson menjen át (ebben a termofil tartományban a hőmérséklet a 70-75 °C-ot is elérheti). A magasabb hőmérsékleti átlagszint esetén a lebomlás időtartama is csökkenhet.

9.4.1.3. *Végtermék-kihozatal*

A komposztálási végtermék-kihozatal függvénye a feldolgozandó hulladék összetételének és az alkalmazott technológiának. A gyakorlatban az anyagveszteségek a száradásból, a szerves anyag lebomlásából, oxidációjából, továbbá az idegen anyagok (fémek, kő, műanyagok stb.) elkülönítéséből adódnak. Ennek megfelelően a veszteségek mértéke függ a kiindulási nyersanyagok nedvességtartalmától, összetételétől és idegenanyag tartalmától, továbbá attól, hogy a folyamatot milyen fázisában (előrehaladottságában) szakítják meg. Ezért a komposztkihozatal mértékét csak hozzávetőlegesen, tág határok között lehet megadni. A teljes mértékben végrehajtott komposztálási folyamat bomlási, párolgási és idegenanyag veszteségei együttesen elérhetik az 50-60 m/m-% értéket, így rendszerint maximum 40-50 m/m-%-os komposztkihozattal lehet számolni. A nem komposztálható szilárd maradékok (idegenanyagok) hulladéklerakón ártalmatlanítandók.

9.4.2. Sztatikus prizmás, vagy reaktoros komposztálás

A sztatikus prizmák, vagy statikus reaktorok megnevezése arra utal, hogy a komposztálás során nem történik ciklikus átforgatás, keverés. Ez az egyes paraméterek jellemző gradienseinek kialakulását, a folyamatok időbeni elnyúlását, valamint az anyagminőség inhomogenitását eredményezheti a halmokban.

A hazai gyakorlatban Magyarországon igen sok helyen megvalósult napjainkra már a betonmedencés, elvileg statikusan levegőztetett „csaknem prizmás”, GORE-tex fedéssel zárttá tett megoldás. Emellett számos ide sorolható technológia ismeretes, melynél a megfelelően bekevert alapanyagot teljesen zárt, statikus körülmények között tartják, levegőztetik, vagy akár melegítik is, a lebomlási folyamatok sebességének meggyorsítására. Ezeknél a megoldásoknál lényegesen rövidebb intenzív lebontási szakasz (akár egy hét) után is helyezhető a félig kész komposzt az érlelő prizmákba, halmokba. Ilyen előkomposztálásnál az érlelés is rövidebb időtartamot vehet igénybe, mint a nem reaktoros, gyengébben hőszigetelt rendszereknél.

Ezek a statikus, víztelenített iszapot segédanyaggal komposztáló rendszerek a múlt század 70-es éveitől terjedtek el az USA-ban. Oxigén ellátásukat levegő befúvatásával biztosítják. A strukturáló (formázó) segédanyag, rendszerint faapríték, a komposztálást követően eltávolításra kerül a késztermékből, és újra visszakeverik azt az alapanyaghoz. A faapríték jó nedvességmegkötő anyag, és egyidejűleg szerkezetjavító, porozitás növelő komponens. Ezt a funkcióját azonban csak már kellően száraz iszapok esetében tudja betölteni.

Túlzottan nyers, nedves szennyvíziszappal kevés faapríték darabos részeket tartalmazó kenőccsé válik. A faapríték arány növelésével ez a rendszer faaprítékot tartalmazó iszapcsomóra esik szét, melyek még mindig túl nedvesek a megfelelő kiszáritáshoz. Nyers iszap (nem rothasztott) felhasználásakor az említett kenőccszerű, levegőztethetetlen állapotnál, vagy nagyobb anaerob iszapcsomók kialakulásakor igen gyakran zavaró az anaerob folyamatok okozta szag keletkezése. A faapríték hányad további növelésével a megfelelő nedvességtartalom elérhető, miközben a nyers iszap energiatartalma a komposztkeverék kiszáradását is biztosíthatja. Gondot jelenthet azonban a keverék túlzott tömörödése a komposztálás során, amely a további kezelésnél megfelelő előaprítást igényel a rostálás előtt. Az ilyen vizes iszapok komposztálására mindenképpen a dinamikus megoldás javasolható, amely levegőztet is és a keverék folyamatos aprítását is biztosítja.

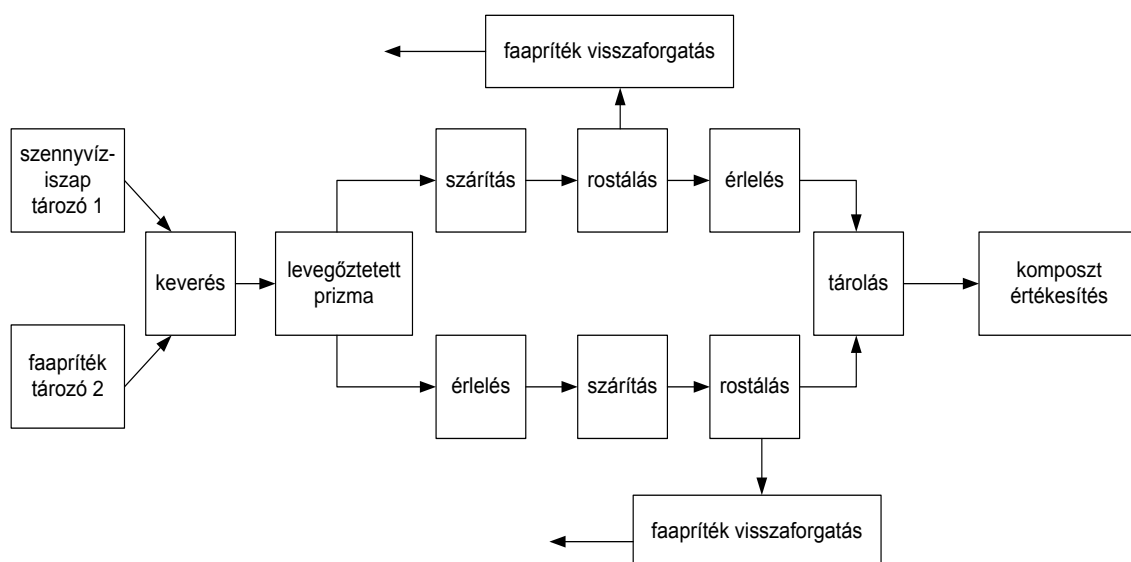
A fenti munkai igény csökkentése vezetett érdekében inkább az alapanyagok bekeverését igyekeztek javítani. Jó állagú alapanyag keverékkel, megfelelő levegőztetéssel a statikus

komposztálás jó minőségű alapanyagot biztosít a további, levegőztetés nélküli statikus érleléshez, humifikációhoz. Az utóbbival mind a rothasztott, mind a nyers lakossági szennyvíziszapok szerencsésen feldolgozhatók. Különösen javasolják a megoldást nedvesebb iszapok komposztálására nagy strukturanyag hányaddal, mivel ekkor a formázó, vagy töltőanyag megfelelő porozitást, szabad gáztérfigotat, a fűvadás pedig jó levegőztetést biztosít a komposzthalomban.

Esetenként a két lépcső között megfelelő lignocellulóz bekeverésre is sor kerülhet, melynek a lebomlását a második fázisban speciális lignin és cellulózbontó kultúrák adagolásával is javítani lehet. Így lényegesen nagyobb humusz tartalmú termék állítható elő a technológiával.

9.4.2.1. Üzemeltetési paraméterek

A levegőztetett sztatikus prizma vagy halom abban különbözik a forgatott prizmától, hogy nincs ciklikusan átkeverve. Az aerob körülményeket a halomban a mesterséges levegőztetés biztosítja. Más jellemző különbségek, hogy ennél a korábban már komposztált anyagot rendszerint nem keverik vissza a nyersanyaghoz annak merevítése, nedvességtartalmának beállítása érdekében, csupán a rostálásnál fennmaradó, döntően el nem bomlott strukturanyagot, amelyből az ilyen komposztáláshoz többet kell használni, mint a ciklikus keveréssel történő komposztáláshoz. A strukturanyag rendszerint durvább faforgács, amely a nedvesség megkötésére és a porozitás javítására egyaránt alkalmas. A faapríték térfogat-aránya a szennyvíziszaphoz általában 2/1 és 3/1 között javasolt. Legtöbb tapasztalat a faforgács felhasználására van, de más formázó anyagok is felhasználásra kerültek. Nyilvánvalóan mind a töltőanyag mérete, mind mennyisége ellenőrizendő a kedvező porozitás beállításához, és a szükséges levegőztetés (megfelelően kis fűvóteljesítmény) eléréséhez. A folyamat általánosítható sémája az **93. ábra** látható.



93. ábra: A szennyvíziszap és faforgács együttes sztatikus komposztálására alkalmas levegőztetés és anyagfeldolgozás különböző lépései.

A komposzt-halmos kialakításának lépései a következők:

- az iszap alapanyag és a strukturáló komponens megfelelő keverése,

- 0,3 m vastag töltő- vagy formázóanyag-réteg kialakítása levegőztetett prizma-alapként az alapzatba fektetett levegőztető csövek felett,
- az iszap / faapríték elhelyezése vastag halomban az előkészített levegőztető-ágyon,
- komposzthalom külső felületének betakarása rostált, vagy rostálatlan kész komposzttal (hőszigetelés), esetleg GORE-takarás,
- fűvó és a levegőztető csövek összekötése, beüzemelése (ez utóbbit esetenként a feltöltés alatt is javasolják).

A levegőztetés fűvatással történik. A fűvót az aerob környezet fenntartásának megfelelően kell szabályozni. Általában ki/be kapcsolósos üzemmódban működik a komposzthalom túlzott lehűlésének elkerülésére. A ki/be kapcsolás ugyanakkor a komposzthalom hőmérsékletének a visszacsatolásával, mint beállítandó alapjellel is szabályozható.

A felső légtér szívása esetén a gáz szagtalanítása könnyebben megoldható. Korábban általános gyakorlat volt az ilyen gáz finom komposzt szűrőrétegen történő átvezetése. Napjainkban a GORE takarón kialakuló biofilmmel és az alatta kialakuló nedvesebb komposztkeverék biológiai gáztisztító hatásával is megfelelő szagtalanítást érnek el.

A komposzthalmoknál általában a minimálisan 3-4 hetes intenzív lebontást alkalmazzák, melyet követően a halmot szétbontják. Ez az időtartam esetleges, de a gyakorlatban megfelelőnek bizonyult a legtöbb szennyvíziszapnál. Mint említve volt, a gyorskomposztálás nagyobb hőmérsékleten már egy hét alatt is elegendő lebomlást biztosíthat az utóérlelés előtt. Valószínű, hogy a tervezőknek, üzemeltetőknek nem kellene félni a hosszabb kezelési idők alkalmazásától sem, mint azt a GORE technológia is ajánlja, de rendszerint nem tervezi.

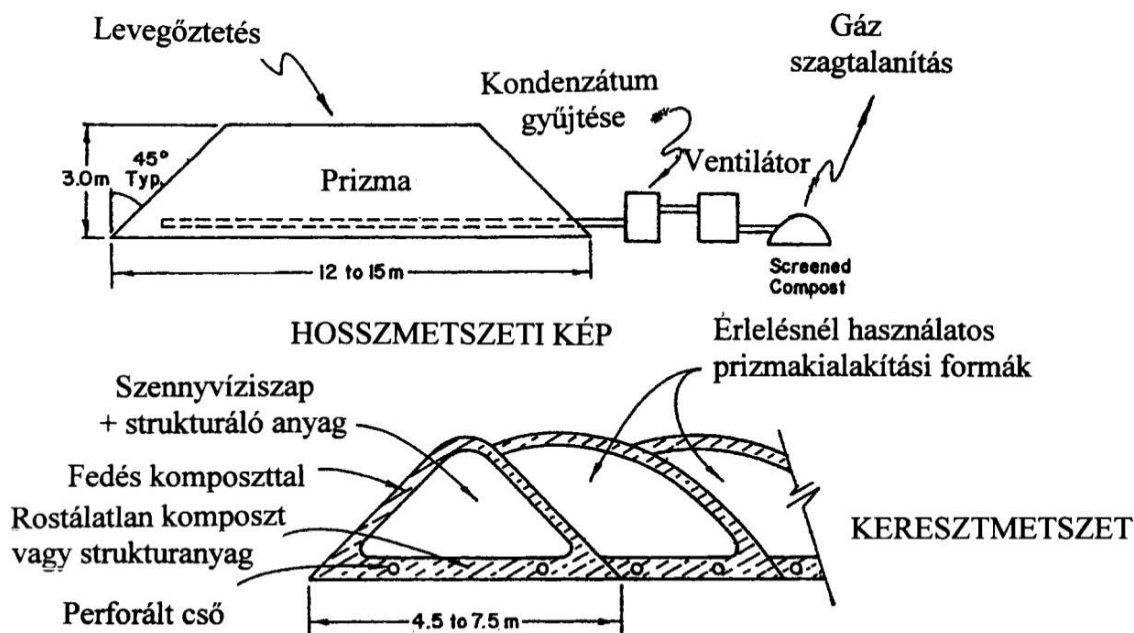
A komposztkeverék előzőekben felsorolt alapanyagait rendszerint külön-külön halmokban tárolják. A kiérlelt komposzt anyagot a töltőanyag kirostálása előtt célszerű kitermelni a halomból, s azzal kicsit még szárítani is lehet. Az alapanyag-keverék nedvességtartalma igen fontos paraméter, amely meghatározza a termék és a faforgács szeparálhatóságát. A minimális szárazanyag-tartalom 50 %, de kedvezőbb az 55 % körüli érték a vibrációs- és dobostákkal történő szétválasztásnál. Több esetben is hasznosnak találták a gyorskomposztált termék további egy-két hónapra történő felhalmozását, és levegőztetését is. A keverés eredményeként a hőmérséklet további stabilizálása, esetenként növekedése és az anyag száradása volt megfigyelhető. Számos telepen a rostálást megelőzően külön utószárítást biztosítottak fedett térben, ahol levegőztetést is végeztek.

A töltő, formázó anyag elválasztása a készterméktől, majd újra felhasználása mindenképpen szükséges, hiszen általában nagy mennyiségben használatos és jelentős költség-hányadot képvisel. Ez a kész, kereskedelmi termék minősége miatt is elengedhetetlen. A 3-4 hetes komposztálás alatti kiszáradás fokozható a szennyvíziszap (meghatározó alapanyag) előzetes hatékonyabb víztelenítésével, valamint intenzívebb levegőztetéssel. A folyamat „hőmérsékleten tartása” azonban alapvető követelmény a sterilizálás érdekében. Ugyanígy a száradás is a levegőztetési programmal szabályozható. A faforgácsnak csak az apróbb darabjai bomlanak le részlegesen a komposztálásnál. A fizikai aprózódás azonban egyértelműen megfigyelhető. Ez anyagvesztéget jelent a rostálásnál. A strukturáló, formázó anyag részarányának folyamatos fenntartását ezért annak a megfelelő nyers faapríték utánpótlásával lehet biztosítani.

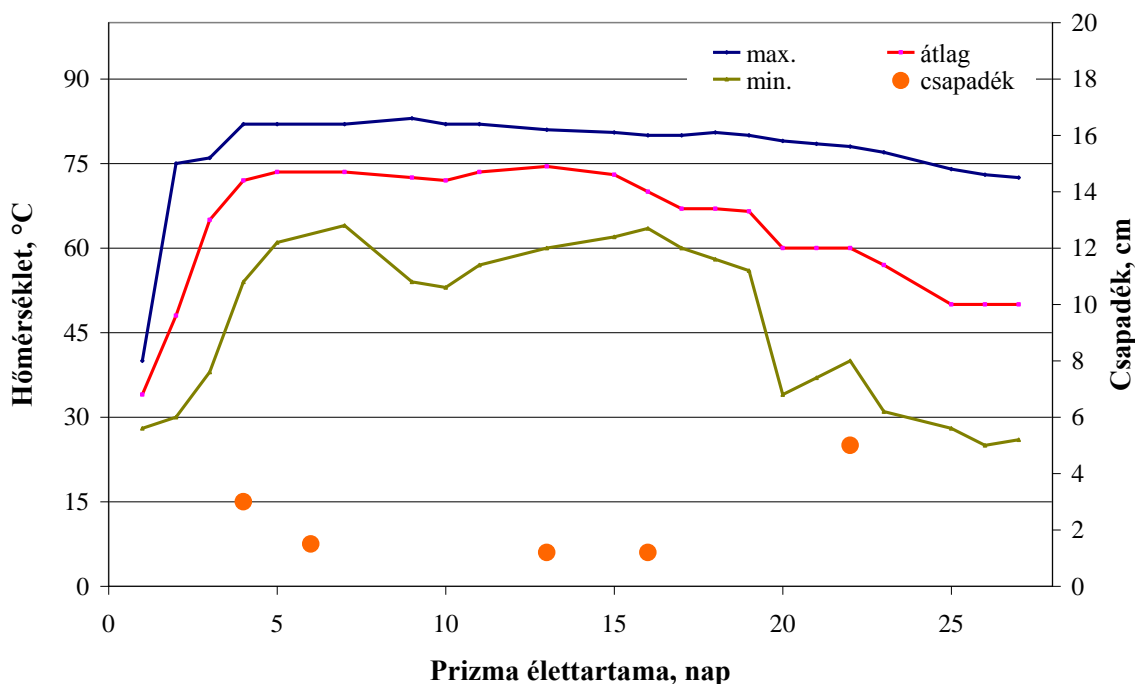
Általános, hogy az ilyen komposzthalmok alól a szivárgó vizet is, különösen az első néhány napban, valamiképpen összegyűjtsék és elvezessék, ha túlzottan nagy víztartalmú iszap alapanyagot dolgoznak fel. Jól rothasztott és víztelenített lakossági szennyvíziszap, és kellően kiszáradt strukturanyag esetén erre nincs szükség. A keverék alá terített 20-30 cm vastagságú strukturanyag réteg is csökkenti a vízeleresztés gyakoriságát.

A sztatikus komposzt-halmok jellemző kialakítása látható a **94. ábra**. Az eddigi gyakorlat során számos alapanyag előkészítési módosítási javaslat történt a területigény csökkentésére. Egyik lehetőség az, hogy az új halmokat a régi halmok alapjára rakják. Más javaslat szerint a halmok méretének, magasságának növelésével ugyanígy jelentős megtakarítás jelentkezik az új halmok kialakításánál. Egyik javaslat sem jelent azonban alapvető technológiai változtatást. Az előző változatot sokhelyütt bevezették, de a halmok magasságát nem igen változtatták. A maximum a nyersanyag felrakásakor valahol 3-4 méter között van.

Az ilyen **komposztálás során az anyag hőmérséklete** a **95. ábra** megfelelően alakul. Kedvező hőmérséklet-emelkedést lehet biztosítani nyersiszap felhasználásakor hideg és nedves évszakban is a módszerrel. Mint a **95. ábra** látható, az első 3-5 nap során gyorsan emelkedik a hőmérséklet, majd viszonylag állandó marad. Három hét után kezd csak csökkenni.

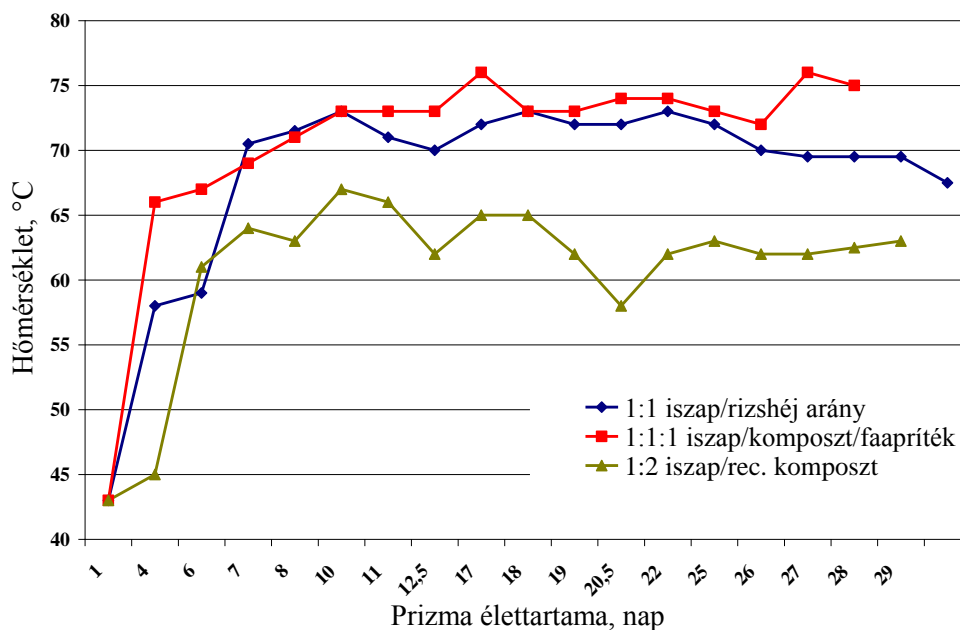


94. ábra: Statikus komposzthalom méretezése 40 m³ víztelenített szennyvíziszap feldolgozásához.



95. ábra: A hőmérséklet alakulása nyers iszap - faforgács keverék levegőztetett statikus prizmás komposztálása során.

A 96. ábra különböző szennyvíziszapok és különböző segédanyagok keveréke esetén végzett sztatikus komposztálás hőmérséklet-profiljait mutatja be. Általában jó a hőmérséklet-emelkedés az indulásnál, de az apróbb segédanyagok keverékeknél sokkal több csatornásodási probléma jelentkezhet, mint a faforgács strukturáló anyag felhasználásakor.



96. ábra: A hőmérséklet alakulása rothasztott szennyvíziszap és különböző segédanyagok levegőztetett sztatikus halmokban történő komposztálásakor. Mindegyik mérési pont a halom keresztmetszetében 10 helyen történt hőmérséklet-mérés átlaga.

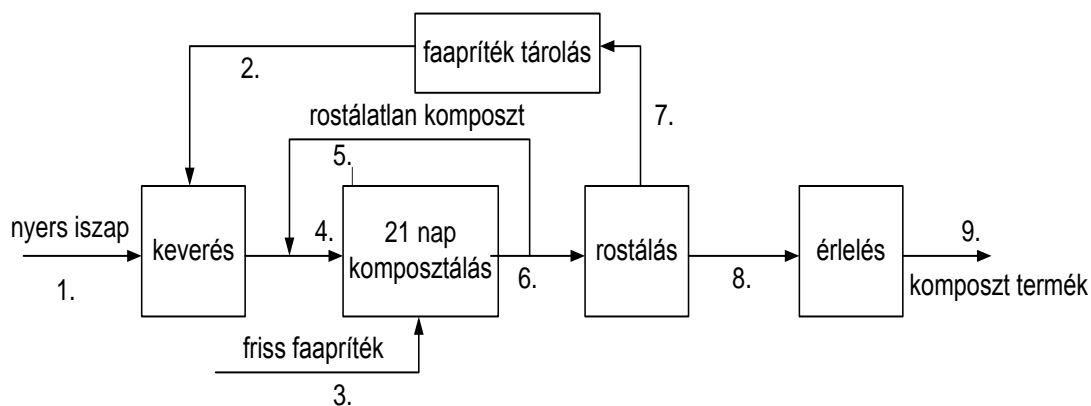
Mind a 95. ábra, mind a 96. ábra a hőmérséklet a klasszikus 3-4 hetes napos ciklus során megfelelően magas. Ezt követően a megfelelő éréshez további kezelés szükséges. A rostált, előkezelt komposzt érlelése általában 30-60 napot igényel. A rostálást gyakran az érlelés előtt végzik az utóbbi területigényének csökkentésére. Az érlelést is rendszerint levegőztetett halmokban végzik, időszakosan aláfúvatva a halmokat. A levegőztetésre az érlelés során is mindig szükség van.

Egy **strukturanyaggal történő komposztálás példáját** mutatja az 97. ábra. Ennél a faapríték döntően szerkezetlaxáló szerepet töltött be, bár a kis mértékű cellulóz lebomlásnak mindig van kevés energiatermelése is. A kis részarányú friss faapríték adagolás mellett a kellő nedvességtartalom és porozitás beállításához viszonylag nagy részarányban keverték vissza abban az időben a rostált faaprítéket, ami viszont jelentősen növelte a komposztáláshoz szükséges térfogatigényt, ugyanolyan gyorskomposztálási idő tartása mellett.

Az 97. ábra látható példánál a feldolgozandó szennyvíziszap napi 200 tonna, 20 % szárazanyag-tartalommal. A felhasznált faapríték térfogata a víztelenített szennyvíziszapénak a 3/5-öd része a sikeresnek bizonyult 3 hetes gyorskomposztálás mellett. Nagy érdeme az ábrának, hogy a faapríték forgatása abban egyértelmű anyagáramokkal jellemzett érték. Ebből jól látható, hogy a kis friss faapríték adagolás mellett csaknem nyolcszorosa annak a rostált, visszaforgatott faapríték mennyisége. Az utóbbi térfogatában a feldolgozott víztelenített iszap mennyiségének a négyszerese (két alsó sorban számolt közelítő érték az 97. ábra táblázat részében).

A nyers apríték és a rostált apríték mellett van egy további belső recirkuláció is, ami a nyers iszap térfogata másfélszeresének megfelelő mennyiségű rostálatlan komposzt (strukturanyag és komposzt) visszakeverését jelenti. Ez utóbbi további térfogatlaxáló hatású a nyers komposztkeverékben, miközben megfelelő biológiai visszaoltást is jelent a komposztálás gyorsítására.

Igen jó adatokat ad meg ez a folyamatábra a gyorskomposztálás termékkihozataláról is. Jól látható belőle, hogy az érlelés milyen további stabilizálódást, anyagmennyiség csökkenést jelent az átalakításnál. Ennek a sztatikus komposztálásnak a jellemző anyagmérlege látható a **36. táblázat**.



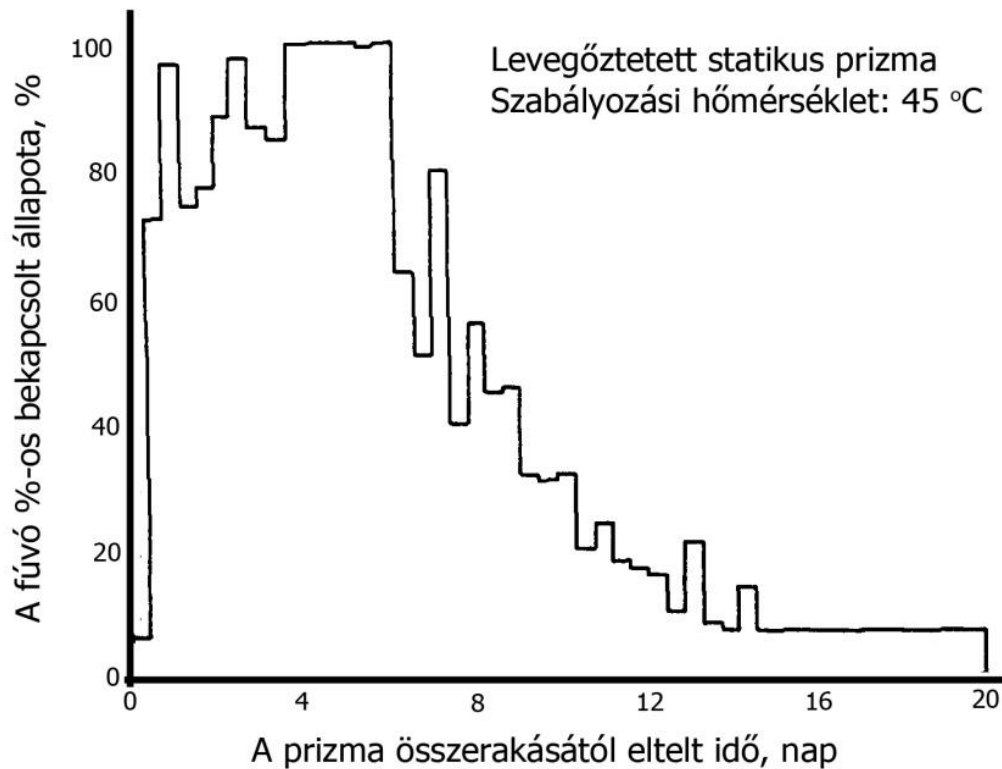
97. ábra: Zárt, levegőztetett sztatikus komposztálás sémája (anyagáramok a 36 táblázatban.)

36. táblázat: Zárt, levegőztetett sztatikus komposztálás anyagmérlege.

Pont (Anyagáram)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t szá/d	40	205	20	245	78	245	194	50	45
szá, %	20	58	53,4	44,2	52,6	52,6	55	55	58
t nedves/d	200	410	37	554	148	466	352	91	77,5
t/m ³	1,18	0,61	0,39	0,82	0,60	0,60	0,52	0,79	0,86
m ³ /d	169	675	95,5	675	245	771	675	115	90
V/Vfaapríték	2	8	1	8	3	10	8	1,5	1
V/Vnyersiszap	1	4	0,5	4	1,5	5	4	0,75	0,5

A 80-as évek további fejlődést hoztak a sztatikus komposztálásban. Legfontosabb a **levegőztetés oxigénigény szerinti pontos szabályozása** szükségességének a felismerése. Ez a fűvők teljesítményének a növelésével volt elérhető. Ez a túlzottan magas hőmérséklet kialakulását megszüntette. A hőmérséklet optimális értékre történő csökkentésével javult a lebomlás sebessége és hőtermelése, amely a másik oldalon ugyanakkor nagyobb vízmennyiség elpárologtatásához vezetett. Ezzel a rostálás kedvezőbb hatásfokát is biztosította.

A levegőbefúvatás gondos szabályozása az ilyen komposztálásnál azonban továbbra is alapkövetelmény. A levegőbevitel mennyisége a hőmérséklet alapján történő szabályozással jelentősen változott, mint azt a **98. ábra** mutatja.



98. ábra: Fűvőteltjesítmény igény a 25 % szárazanyag tartalmú, döntően nyers szennyvíziszap mint alapanyag, segédanyagokkal történő statikus komposztálásakor. (Levegőztetés szabályozása a hőmérsékletről (45oC) visszacsatolással történt.).

A levegőigény a komposztálás első hetében különösen nagy, majd ezt követően fokozatosan csökken a ciklus további idejében. Ez időben igencsak változó levegőigényt jelent. Egyértelművé vált, hogy ilyen oxigén-igény kielégítése csak nagyobb teljesítményű fűvőkkel lehetséges. A maximális levegőztetési igény biztosítása ezért a tervezés fontos követelménye lett. A kiépítendő fűvőkapacitás mintegy $15 \text{ m}^3 \text{ h} / \text{tonna}$ szárazanyag fajlagos értéknek bizonyult, amivel azután a szabályozás segítségével a komposzthalom levegőterének oxigéntartalma 5-15 % között tartható. Az újabb tervezések ennek a négyszeresét ($60 \text{ m}^3 \text{ h} / \text{tonna}$ szárazanyag) is alkalmazzák átlagértékként, a csúcsigény kielégítésére pedig ennek a két és félszerese ($150 \text{ m}^3 \text{ h} / \text{tonna}$ szárazanyag) fűvőkapacitás is kiépítésre kerülhet. Erre azonban csak a rendkívül intenzív, pár napos gyorskomposztálásnál van szükség.

A gyakorlatban vita alakult ki az ilyen komposztálásnál tartandó hőmérsékletet illetően. Az egyik csoport a 45°C körüli értéket favorizálta a mikrobiális tenyészet kedvezőbb környezeti feltételei érdekében. Mások ezt alacsonynak tartják a kellő hőstabilizáláshoz. Valamennyien felismerték azonban, hogy a különösen magas hőmérséklet már káros a mikroorganizmusokra, de a biztonság érdekében inkább a magasabb érték felé mennek el. Ha a tervező egy adott rendszerben megfelelő levegőellátást biztosít, és a szabályozás is hatékony, az üzemeltető lehetősége a hőmérséklet-szabályozás kellő megválasztása a szükséges eredmény eléréséhez. **Lakossági szennyvíziszapoknál általában az $55\text{-}65^\circ\text{C}$ közötti tartományt választják a biztonságos pasztörizálás, fertőtlenítés érdekében.** Az üzemeltető ezt a szabályozó értéket (hőmérsékletet) a ciklus vége felé már csökkentheti, ha megfelelő ideig tudta a sterilizálást biztosítani, illetőleg ha a termék kellően patogénmentes.

A komposztálás során történő hő-sterilizáláshoz a megfelelő hőmennyiséget döntően a szennyvíziszap oxidációjánál keletkező hő biztosítja. Szükség esetén ez a segédanyagokkal tovább növelhető, de tervezni elsősorban a szennyvíziszap hasznosítható energiatartalma alapján kell. Az erre megadott fajlagos értékeket a **37. táblázat** tartalmazza.

37. táblázat: **Segédanyagok energiatartalma**

Energiahordozó	Égéshő (kcal/g)
Légszáraz fa	3,1
Nyers szennyvíziszap (víz-, és hamumentes)	5,5
Rothasztott szennyvíziszap (víz-, és hamumentes)	2,9

A fenti adatok alapján, figyelembe véve, hogy a rothasztott szennyvíziszapok a hamutartalma mintegy a szerves anyag tartalom fele, a vízmentes iszapra, tehát az iszap szárazanyagára számítható hasznosítható energiatartalma csupán 2 kcal/g iszap szárazanyag körüli érték. Ez az érték figyelembe veszi, hogy a szerves anyag egy része nem oxidálódik, tehát nem termel hőt a komposztálódásnál.

A különböző anyagok biológiai lebomlásánál keletkező hő egy része az anyag felmelegítésére, más része a víztartalmának elpárologtatására fordítódik. A fűtőérték ezért az égéshőnél kisebb, mert a reakció során víz keletkezik, ami gyakorlatilag minden esetben gőz halmazállapota miatt csökkenti a jelentkező, vagy hasznosítható hőmennyiséget (fűtőérték).

Ökölszabályként javasolják, hogy a különböző anyagok égéshőjét a 3,4 (+/- 0,2) kcal/g KOI értékkel számolják. Mivel szennyvíziszap 1 g szerves anyagának a KOI-je 1,5 g körül van, a szerves anyagra számolható az égéshő 5 kcal/g szerves anyag körüli érték. Ha azonban itt is figyelembe vesszük a hamutartalmat, a rothasztott iszap égéshője csak a korábbiakban megadott érték kétharmadára, azaz 3 kcal/g iszap szárazanyag értékre adódik.

Az előző táblázatból látható, hogy a rothasztott szennyvíziszap égéshője a nyers iszapénak alig valamivel több, mint fele. Ez egyrészt a metántermelés szerves anyag tartalom csökkentő hatásából adódik (hamutartalom nő), másrészt abból, hogy a biológiailag könnyebben bontható szerves anyag alakult metánná, s a maradék további biológiai lebonthatósága erősen korlátozott. A különböző szennyvíziszapok égéshője az iszap összetételétől (fehérje, szénhidrát, zsír) nagymértékben függ. A szerves anyag komposztálása során a bonthatatlan szerves anyag hányad tovább csökkenti a szerves anyagból ott biológiai oxidációval kinyerhető energiamennyiséget.

Az ilyen biológiai bontás (komposztálás) során tehát energia csak a KOI biológiailag lebontható, vagy lebontásra kerülő hányadából keletkezik. A különböző alapanyagok égéshőjének a kalorimetriás meghatározása tehát támpontot ugyan nyújthat a komposztálásuknál keletkező hőmennyiség becslésére, de minden esetben figyelembe kell venni mellette az illető anyag a komposztálással történő lebonthatóságát is. Az alapanyagok víz és szilárd anyag tartalma, mint külön komponens veendő figyelembe a részletes termodinamikai számításoknál.

9.4.3. Nyersanyagok kondicionálása

A komposztáló rendszerek tervezőinek és üzemeltetőinek kevés lehetőség áll rendelkezésre, mellyel jelentősen szabályozhatják a komposztálás folyamatát. Egyik meghatározó lehetőségük az alapanyag megfelelő energetikai előkészítése, kondicionálása. A nyersanyagok mennyiségét úgy kell megválasztani, hogy a biológiai átalakítás során a nyersanyagokból keletkezzen annyi hő, amennyi a komposztálás, a termék fertőtlenítése és megkívánt szárítása érdekében elengedhetetlen. A komposztálás hőmérsékletét, sebességét is ez a hőmennyiség biztosítja. Mint a korábbiak részletezték a kellő nedvességtartalom, valamint a szabad levegőtér-fogat-hányad (mechanikai kondicionálás, valamint a bontható szerves C és redukált-N tartalom aránya (kémiai kondicionálás) is alapfeltétel mindezekhez. A komposztáláshoz szükséges mikroorganizmusok a szennyvíziszapban rendelkezésre állnak, de a komposzt, vagy strukturanyag-visszaforgatás tovább javítja az ilyen ellátottságot.

Az alapanyag összekeverése a fentieknek megfelelően fizikai, vagy szerkezeti, kémiai, illetőleg termodinamikai, vagy energetikai kondicionálást jelent.

A fizikai vagy szerkezeti a nedvességtartalom, valamint a szabad levegőtér-fogat beállítása.

Kémiai a szén/nitrogén hányad optimális beállítása és a pH esetleges stabilizálása.

A termodinamikai, vagy energetikai az alapanyagok szerves anyag, illetőleg biológiailag bontható részének a helyes beállítása.

9.4.3.1. Fizikai kondicionálás, vagy szerkezet kialakítás

A széles körben komposztálásként ismeretes eljárás fél-szilárd, jelentős szabad gáztér-fogatot tartalmazó anyagokkal dolgozik. Az alapanyagokat akár prizmába, halmokba, vagy reaktorokba rakják, alapvető kérdés a keverékük kiindulási nedvességtartalma. A különböző alapanyagok esetén kimért, alkalmazható tartományok az **38. táblázat** láthatók.

38. táblázat: Különböző komposztálható anyagok javasolható maximális kiindulási nedvességtartalma.

Anyagtípus	Nedvességtartalom %
Szalma ^a	75-85
Fa (fűrészpor, apríték)	75-90
Kerti hulladék (fű, falevél)	50-55
Rothasztott, vagy nyers szennyvíziszap	55-60

a- nedvességekötő és energiahordozó segédanyag.

Felhasználásakor nitrogén tápanyag szükséges a megkívánt C/N arány beállítására

Az egyes tartományok, a különböző anyagok nedvességtartalmai, láthatóan azok mechanikus tulajdonságaiktól is függenek. A szalmas, vagy darabos anyagok, mint a szalma, vagy faapríték, nagy mennyiségű víz felvételére képes, miközben megtartja a szerkezeti állagát és porozitását. A szalma és zöldhulladék keverékénél 85 % nedvességtartalmú alapanyagot is tudtak komposztálni. 76 % nedvességtartalom azonban már soknak bizonyult, ha a szalmát papírral helyettesítették.

A kellő porozitás, szabad levegőtérfogat a komposzt-keverékben a jó levegőztetés érdekében alapvető. Feltételezhető, hogy az optimális nedvességtartalom mindenféle alapanyagra annak a szabad levegő-térfogata függvényében változik. Általában igaz, hogy a szálasabb, merevebb, strukturáltabb anyagok nagyobb nedvességtartalom mellett is megfelelő szabad gáztérrel rendelkeznek. Az optimális nedvességtartalom ennek megfelelően egy kompromisszum, amely megfelel a mikrobiális tevékenységnek, és a szükséges oxigénellátás igényének is.

A megfelelő nedvességtartalom és szabad gáztérfogat fenntartása a komposztálás során több tényező kiegyensúlyozása érdekében is elengedhetetlen. A biológiai átalakításon túl ugyanis a komposztálás befejezésére kellően száraz termék előállítása a feladat. Ez a tulajdonképpeni komposztálást követően még további utókezelést, tárolást, csomagolást igényel. A termék szállíthatósága és kihelyezhetősége (kiszórhatósága) is meghatározó szempont. Nem biztos, hogy minden igényt egyszerre sikerül biztosítani. A kiindulási nedvességtartalom és szabad gáztérfogat igénye azonban a komposztálás gyors beindulásához és a szükséges üzemi hőmérséklet eléréséhez mindenképpen elengedhetetlen. Ez a követelmény egyébként a komposzt alapanyagok összekeverésekor manuálisan is jól ellenőrizhető.

Gyakorlatilag 35 % szárazanyag-tartalomtól kezd az elméletileg számított érték jól egyezni a mért értékekkel. Legtöbb komposztálásra kerülő szennyvíziszap keverék 40 % körüli szárazanyag, vagy 60 % nedvességtartalommal kell, rendelkezzen. Ha az iszaphoz fűrészport vagy más strukturáló anyagokat kevernek, a szabad gáztér már ennél nagyobb nedvességtartalomnál is elegendő lehet a folyamat beindításához.

A fűrészpor, faforgács és a kerti hulladék térfogatsúlya jelentősen eltérő és változó is lehet. Néhány fűrészpor esetén alig 0,15 kg/l ez az érték. A keverékek kialakuló térfogatsúlya sem egyezik meg az alapanyagok térfogatsúlyának az átlagával. Ha kevés fűrészport adnak nagyon nedves szennyvíziszaphoz, az utóbbi a teljes fűrészpor mennyiséget fölveszi, mintegy elnyeli, és a keverék térfogatsúlya alig csökken az iszapéhoz képest. A kialakuló térfogatsúlyt a bekeverés módja is jelentősen befolyásolja. A száraz levélzetnek általában nagyon kicsi a térfogatsúlya, ami azok aprításával ugyanakkor jelentősen nőhet.

Többféle megoldás is lehetséges a túlzottan nedves alapanyagok nedvességtartalmának csökkentésére. Legegyszerűbb a kész, kellően kiszáradt komposzttermék részleges visszakeverése a nyersanyagba. Más lehetőség segédanyagok, mint fűrészpor, kerti hulladék adagolása az előzővel kombináltan vagy nélküle. További lehetőség a strukturáló anyagok, mint a faapríték adagolása. Ugyancsak lehetséges a nedves alapanyag előszárítása.

Mindig a keverék megkívánt szárazanyag tartalma határozza meg a szükséges fizikai kondicionálás, a termék egy része recirkulációjának a mértékét. Ha a termék szárazabb, kevesebb anyag visszaforgatása szükséges. A gyakorlatban a visszaforgatott mennyiség minimalizálására törekszenek, hogy a napi feldolgozó kapacitás maximális legyen. Vigyázni kell azonban, hogy a nedvességtartalom ne növekedjen, illetőleg a szabad gáztérfogat ne csökkenjen túlzottan az optimális tartomány alá. **A tervező szempontjából biztonságosabb a nagyobb szárazanyag tartalom beállítása, és rábízni az üzemeltetőre, hogy a gyakorlat során csökkenthesse, optimalizálhassa a szükséges visszaforgatást.**

9.4.3.2. Fizikai kondicionálás késztermék részleges visszaforgatásával és segédanyagokkal

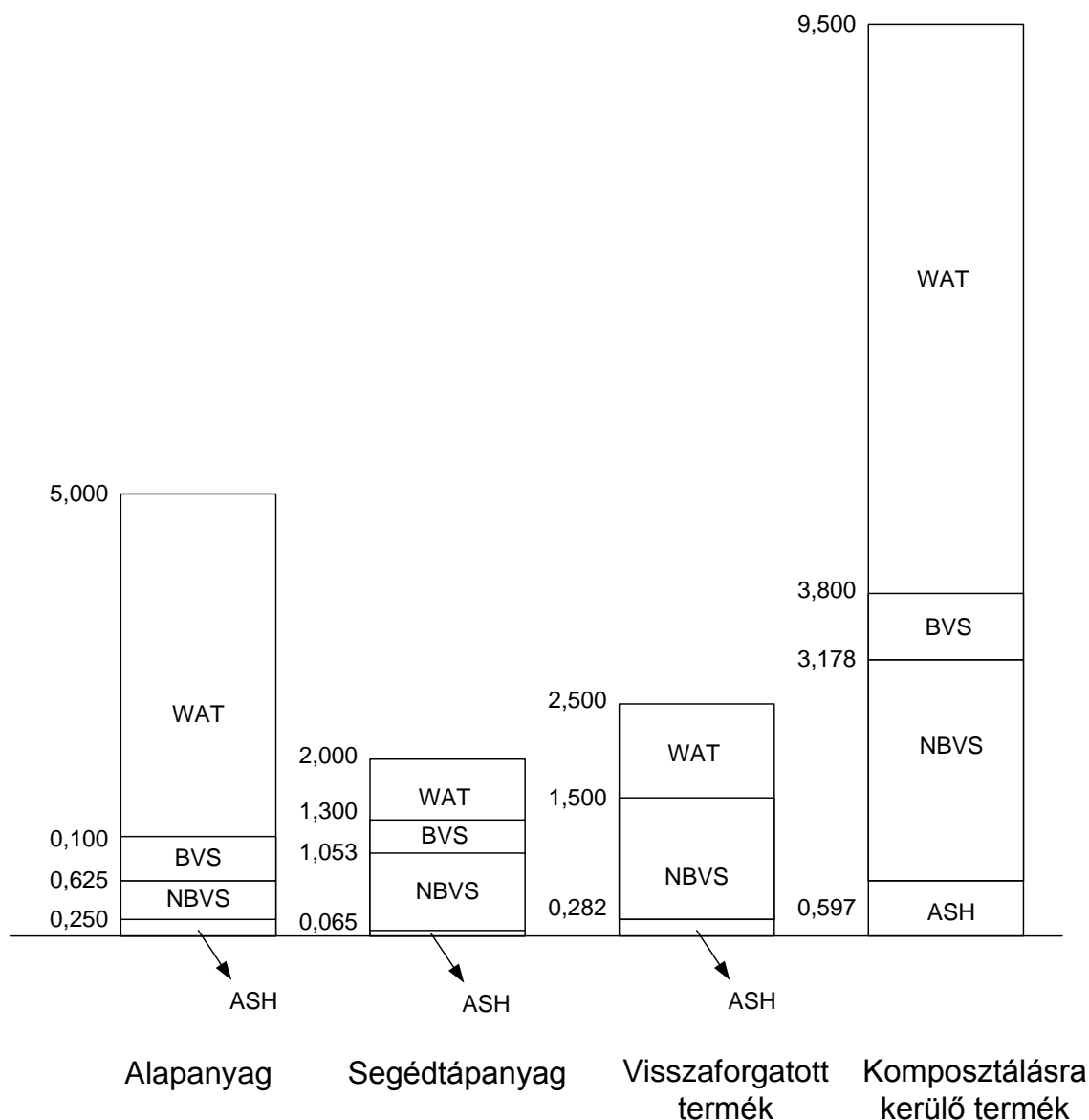
Ha a késztermék részleges visszaforgatása nélkül kívánják strukturáló anyagokkal beállítani a komposzt alapanyagot (szerkezeti kondicionálás), túlzott mennyiségű töltőanyag, vagy strukturáló anyag szükséges. Ez általában nagyon drága. Gondot jelent ugyanakkor az utókezelésnél a nagymennyiségű töltőanyag elválasztása és visszaforgatása is. Éppen ezért általában a vegyes megoldás a gyakorlat. Ilyenkor kevesebb töltőanyagra van szükség a nedvességtartalom és szabad gáztérfogot megkívánt értékének a beállításához. Egy ilyen lehetőség anyagmérlegét mutatja be a **99. ábra**.

A szerkezetjavító segédanyag méreteloszlása fontos paraméter. Csak akkor igazán hatásos, ha a mérete durvább, egyébként szabad gáztérfogot növelő hatása kevésbé érvényesül. Fűrészporral, vagy liszt-szerű anyaggal a kívánt hatás elérése teljesen reménytelen. Talán ezért, a faforgács szárazanyag tartalmát, részecskeméretét is előírásban rögzítették helyenként. Az ilyen anyagok szárazanyag tartalmát 50-75 % között, szemcseméretét 5-12,5 mm (1 inch) között ajánlották. A nagyobb méretű részeket azért nem célszerű strukturáló anyagként felhasználni, mert azok a rostálást nehezítik, illetőleg ronthatják a késztermék küllemét. A komposztot illetően az abban előfordulható részek maximális méretét 10 mm alatt javasolják, ha növénytermesztési, talajréteg fedési célra kívánják hasznosítani.

A 3.7. ábra példájánál 20 % szárazanyag tartalmú iszap komposztálása látható, mely iszapban a szárazanyag 25 %-a (izzítási maradék) hamu. A szerves anyagnak pedig a 0,375/0,75-öd része, azaz átlagosan 50 %-a biológiailag bontható. Ez egy gyengén rothasztott iszapot mutat, mert a nyers és a jól kirothasztott iszapok fajlagos értéke közötti értékkel rendelkezik. A segédanyag 30 % nedvességtartalom körüli faapríték a nyers iszap 40 %-os tömegarányában adagolva, míg a nyers iszap fele tömegének megfelelő mennyiségű kész komposzt (60 % szárazanyag tartalommal) kerül recirkuláltatásra az alapanyag bekeveréshez (fizikai kondicionálás).

WAT - vízmennyiség,
BVS - biológiailag bontható szerves anyag,
NBVS - biológiailag bonthatatlan szilárd anyag,
ASH - hamu és inert anyag mennyiség.

A **99. ábra** példájánál az anyagáramok, vagy keverési arányok térfogatban is kifejezhetők az ábrán megadott tömegeken túl. Látható, hogy az 1,15 t/m³ sűrűséggel számolva az 5 t víztelenített iszap 4,356 köbméter, míg vele szemben a 2 tonna faapríték 8 m³ körüli térfogatú. A faapríték / nyers iszap térfogatarány alig valamivel kevesebb, mint 2. A faaprítékkal szemben (65 % szárazanyag tartalmú) a visszaforgatott kész komposzt és rostamaradék keveréke, amely biológiailag bontható szerves anyagot a feltételezések szerint már nem tartalmaz, csak 60 % szárazanyag tartalommal rendelkezik. Ez a különbség a faapríték nedvességtartalmától persze gyakorlatilag szinte elhanyagolható. Fontos viszont kiemelni, hogy a visszaforgatott anyag fajsúlya inkább a faaprítékéhoz esik közelebb, különösen, ha az gyakorlatilag csak a rostamaradék (döntően maradék faapríték). Ha azt a faaprítékével azonosnak vesszük, a recirkuláltatott rostamaradék térfogata a nyersiszapénak éppen a kétszerese.

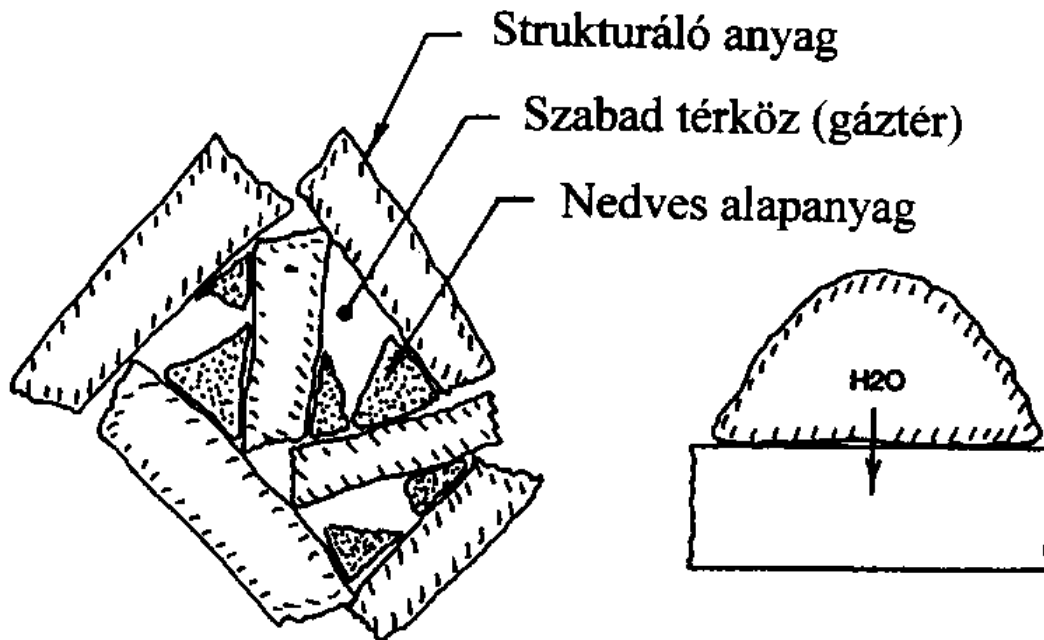


99. ábra: Komposzt alapanyag kondicionálás a késztermék részleges visszaforgatásával és strukturáló anyag felhasználásával.

A teljes anyagmérleget illetően tehát egy térfogategységnyi nyersiszaphoz 2 térfogategységnyi nyers faapríték és két térfogategységnyi rostamaradék kerül bekeverésre. A nyers strukturanyag / nyers iszap térfogati keverési-arány tehát 4 ennél a példánál. Nyilvánvalóan ez biztosítja ilyen alapanyagoknál a komposztkeverék megfelelő nedvességtartalmát és szabad gáztérfogatát (porozitás).

A részecskeméret a bontható szerves anyag mennyiség növelése tekintetében is fontos. Az energetikai céllal adagolt segédanyag esetében a finomabb aprózottság, mint a fűrészporé, kedvezőbb. Túl sok ilyen finom anyag hányad ugyanakkor kedvezőtlen a szabad gáztérfogat növelése, strukturáltság érdekében, de nagyon kedvező az energia hasznosítás oldaláról. Mindkét igény gondosan mérlegelendő ezért az ilyen komposzt alapanyag keverés esetén.

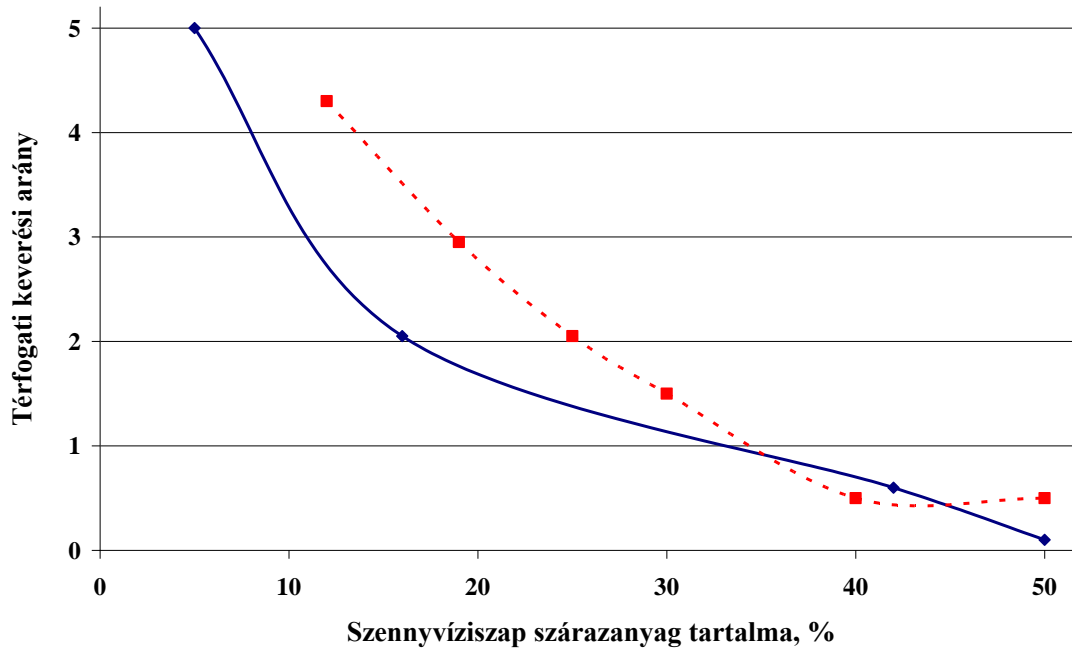
A nedves iszapokban szabad gáztér fogat gyakorlatilag nincs. A strukturáló anyagok feladata éppen az anyag vázszerkezetének olyan erősítése, amely szabad gázterek kialakulását eredményezi, biztosítva a jobb levegő, oxigén ellátást. A töltőanyag egy szerkezet-kialakító szilárd vázként hat a rendszerben. A szabad gáztér fogatot, vagy pórusterfogatot a strukturáló anyag alakja és mérete befolyásolja leginkább. Elvileg a nedves komposzt alapanyag keverék úgy tekinthető, mint a szilárd és gázterek valamilyen statisztikus keveréke (**100. ábra**).



100. ábra: A strukturáló / töltőanyagok szerepe a víz nedves anyagból történő adszorpciójának érzékeltetésével.

Számos töltőanyag alkalmazására sor került az eddigi gyakorlatban, közöttük a faapríték, aprított városi zöldhulladék, szalma, fűreszpor a legjellemzőbbek. Ezek többsége cellulóz alapú, és a komposztálás kisebb-nagyobb mértékben elbomlik. A töltőanyag mennyisége így csökken, ami a visszaforgatásakor pótolandó. Természetesen rostálás utáni visszaforgatásról csak a darabosabb strukturanyagoknál beszélhetünk. A töltőanyagok víz-adszorpciója jelentős lehet, faapríték esetén a 250 kg/m^3 térfogatsúllyal rendelkező 1 m^3 -nyi 40 % nedvességtartalmú faapríték 60 % nedvességtartalomig képes telítődni. Ehhez csaknem 125 kg vizet képes felvenni. Az ilyen faapríték porozitása egyébként 40 % körüli, amiből jól látható a vízmegkötő képesség jelentősége. Az iszap szárazanyag-tartalmának növeléséhez szükséges faapríték aránya a **101. ábra** látható. A görbe adatai alapján becsült értékek azonban az előző példánál lényegesen kisebb értékeket adnak.

A cellulóz anyagok jó nedvességmegkötő képességgel rendelkeznek. A nem porózus segédanyagok ilyen funkciót nem teljesítenek. A porózus, de vízzel tele töltőanyagot a visszaforgatás előtt célszerű kiszárítani. A vízmegkötés mértéke rendkívül fontos, mert növekedésével csökken a töltőanyagigény, nő a szabad gáztér fogat.



101. ábra: A kondicionáláshoz szükséges faapríték hányad függése a szennyvíziszap nedvesség-tartalmától. (1. adatsor: folytonos vonal, 2. adatsor: szaggatott vonal)

9.4.3.3. Kémiai kondicionálás

A C/N arány meghatározása a vízműveknél, vagy a szennyvíztisztítók laboratóriumaiban nem gyakorlat. Ennek oka a széntartalom mérésének hiánya. Új-zélandi kutatók a széntartalom számítására a következő összefüggést javasolták:

$$C \% = 100 (100 - \text{hamu } \%) / 1,8$$

A hamutartalmat legtöbb laboratóriumban mérni tudják. A számított érték 2-10 %-os hibán belüli az új-zélandi vizsgálatok alapján, ami legtöbb gyakorlati esetben elégséges.

A különböző anyagok biológiailag bontható hányada azok lignintartalma alapján a következő egyenlettel számítható:

$$B = 0,830 - (0,028)X$$

ahol B = a szerves hányad (illó rész) biológiailag bontható része,
X = lignintartalom, az illó rész %-ában (lásd később).

A széntartalommal szemben az alapanyagok nitrogéntartalmát viszonylagosan pontosan megadják a kézikönyvek, illetőleg a szennyvíziszapét a komposztáláshoz rendszerint mérik is. A C:N arány beállítás a komposztálás alapvető kérdése, hogy ne lépjen fel jelentősebb nitrogénvesztés a művelet során. Rendszerint 30-35 körüli érték a kedvező, de lassúbb komposztálódásnál a kisebb érték fele toródhat el az optimum, vagy akár 30 alatti is lehet. A többi talajtápanyagok, elsősorban a kálium adagolása rendszerint a fás anyagok bevitelével történik, de történhet fahamu adagolás is. A pontos káliumigény beállítása rendszerint a kész

komposztban történik meg, hiszen a káliumsóval nitrát bevitel is történik, ami a komposztálásnál elveszhet.

Egyéb komposzt segédanyagok adagolása nagyon sok komposztálással foglalkozó kézikönyvszerű összeállításban megtalálható.

9.4.3.4. Energetikai kondicionálás

A komposztálás "hajtóereje" az az energia-felszabadulás, amely a szerves anyagok oxidációjakor keletkezik. Ez emeli meg a rendszer hőmérsékletét, szárítja a komposztálandó anyagot, valamint biztosítja a mikroorganizmusok számára szükséges magasabb hőmérsékletet. A lebontásnál keletkező energia hasznosítása révén tudják a mikroorganizmusok a szükséges anyag-átalakítási folyamatokat véghezvinni. Ezzel a folyamattal párhuzamosan azonban a komposztalomban a szerves anyag polimerizációs, polikondenzációs átalakulásai is folynak, éppen a lebonthatatlan frakciónak minősített szerves rész, a lignin származékai segítségével. Az utóbbi átalakulások energiaigényét ma még nem tudják számolni, ezért elhanyagolják. Nyilvánvaló, hogy ez valamekkora hibát is jelent a gyakorlati számításoknál.

Az alapanyag lebontásához, majd a komposzt felépítéséhez, s a kellő fertőtlenítéshez és termékszárításhoz szükséges energia az úgynevezett energetikai kondicionálás feladata.

Két meghatározó eset különböztethető meg a komposztálás energiaigénye tekintetében. Az egyik, amikor az energiaellátás bőséges mind a komposztáláshoz, mind a termék megkívánt szárításához. A másik, amikor az alapanyag energiatartalma csak a komposztálás hőmérsékletének, illetőleg a fertőtlenítésnek a biztosításához elegendő. Ilyenkor a termék szárítása csak korlátozottan lehetséges. Alapvető, hogy az alapanyagban legyen elegendő energia legalább a komposztálás és fertőtlenítés, de inkább mindkét cél teljesítéséhez. A szükséges energetikai számítások a továbbiakban csak érintőlegesen kerülnek bemutatásra, inkább csak a végeredmények ismertetésére kerül sor. A számításnak mindig azt kell bizonyítani, hogy elegendő-e az alapanyag energiatartalma a kívánt cél elérésére.

A komposztálásnál általában késztermék visszaforgatás és töltő, strukturáló anyag adagolása is történik. Ezek nincsenek külön számításba véve a közelítő számításoknál, mert ezek az anyagáramok döntően belső recirkulációt jelentenek a rendszerben, így nem befolyásolják annak az energiamérlegét. Ezek az egyes lépcsők belső anyagmérlege vonatkozásában fontosak lehetnek, de a teljes rendszerre ezektől rendszerint el lehet tekinteni. Kivétel, amikor ezeket az anyagokat a visszaforgatás előtt jelentősebben szárítják. Ez viszont alig gyakorlat a szennyvíziszap komposztálásánál.

9.4.3.5. Relatív víztartalom, W

A korábban bemutatott víztelenített szennyvíziszapok példái kellőképpen jellemzőek a gyakorlatban a nedves alapanyagok komposztálására. A helyzet megítélésére alkalmas ökölszabály esetükben a W érték meghatározása, ami a korábbi példa alapján a nyersanyag, vagy alapanyag nedvességtartalmának az alapanyag biológiailag bontható szerves anyag tartalmára vonatkoztatott hányada. A W meghatározása fontos gyakorlati jelentőséggel bír, hiszen a párolgatás az összes energiaigény döntő része.

$$W = \frac{\text{g alapanyag nedvességtartalom}}{\text{1 g lebontott szerves alapanyag}}$$

A korábban vizsgált példák anyagmérlegének ellenőrzésénél bebizonyosodott, hogy a komposztálás során keletkező víz mennyisége közelítőleg megegyezik a végtermékbe kerülő víz mennyiségével. Ezért az alapanyaggal bevitt teljes vízmennyiség gyakorlatilag elpárologtatandó. Az adott példában (**99. ábra**) ez 4 kg volt, ami csaknem megegyezett az elpárologtatott víz mennyiségével. Az alapanyag biológiailag bontható szerves anyag mennyisége ugyanakkor 0,48 kg volt. A kettő hányadosa, a $W = 4,0/0,48 = 8,3$.

A gyakorlatban mintegy 8-10 g víz / g biológiailag bontható szerves anyag az a fajlagos vízmennyiség (W), ami a komposztálás folyamatában elpárologtatható. Mivel a víztartalom elpárologtatása a legnagyobb energiaigény, ez a mutató jól alkalmazható a prizmás komposztálás energiaellátottságának megítélésére.

Ha a $W < 8$, az alapanyag energiatartalma elegendő a víztartalmának az elpárologtatására. Ha ez az érték tíznél nagyobb ($W > 10$), az alapanyag energiatartalma önmagában nem elegendő a víztartalmának az elpárologtatására. Ilyenkor a korábbiaknak megfelelően a komposztalom hőmérséklete csökken, vagy kisebb kiszáradás érhető el a terméknél.

Hangsúlyozni kell, hogy a W , csak mint tájékoztató paraméter javasolható a komposztálás energiaellátottságának a megítélésére. Pontos tervezésnél nem helyettesítheti a komplett anyag és energiamérleget.

9.4.3.6. *Relatív energiatartalom, E*

A W számításának egyik hiányossága, hogy feltételezi, hogy mindenféle szerves anyag ugyanolyan égéshővel rendelkezik. Természetesen az anyagok égéshője, fűtőértéke jelentősen függ az összetételüktől. Az előbbi hiba tehát éppen ennek a figyelembe vételével küszöbölhető ki. Ismételten a **99. ábra** esetére hivatkozva kiszámítható, hogy a 0,48 kg biológiailag bontható szerves anyag 5550 kcal/kg fajlagos égéshő esetén 2664 kcal energiatartalmat jelent. Elosztva ezt a 4 kg elpárologtatandó vízmennyiséggel, a kapott fajlagos érték 666 cal/g H_2O . Ezt a fajlagost a párologtatáshoz rendelkezésre álló fajlagos kalóriatartalomnak (E) nevezték el.

Energetikai megfontolások alapján a 700 cal/g fajlagos érték elégséges a komposztálás hőmérsékletének, és a szárítás mértékének az egyidejű biztosításához. Ha az $E < 600$ cal/g, a kiszáradás mértéke csökkenhet, miközben a kívánt hőmérséklet még fenntartható. Az E a W -hez hasonlóan csak közelítő információt biztosít.

80 % nedvességtartalmú nyers szennyvíziszapnál, melynek a szerves anyag hányada 65 %-ban bomlik le a komposztálás során, 5550 cal/g szerves anyag fajlagos égéshőt feltételezve a szerves anyagra, a W 7,69 értéknek, az E pedig 720 cal/g értéknek adódik. Megállapítható tehát, hogy a nyers szennyvíziszap rendelkezik olyan energiatartalommal, amely a komposztálását energetikai kondicionálás nélkül is lehetővé teszi.

Ezzel szemben egy 55 % szerves anyag tartalmú, és hasonló nedvességű (20 % szárazanyag) rothasztott szennyvíziszap, amelynek a szerves anyag tartalma csak 45 %-ában bomlik csak le a komposztálás során, de a szerves rész **fajlagos égéshője a nyers iszapéval megegyező**, a számítások alapján $W=16,2$, és $E=343$ cal/g mutatóval rendelkezik.

Láthatóan a rothasztott szennyvíziszap segédanyag nélkül nem tudja biztosítani a komposztáláshoz szükséges energiaigényt. Ha a komposzt alapanyag nem rendelkezik kellő energiatartalommal, a termék minőség-rontásával (nedvesebb komposzt) még mindig

biztosítható a komposztálás hőmérséklete. További, ténylegesen eredményes lehetőség az energiakondicionálás, segédenergia forrás adagolása (bontható szerves anyag tartalmú segédanyag), vagy az iszap előzetes szárítása.

Nedvesebb komposzt-termék előállítása.

A kisebb elpárologtatott vízmennyiség miatt ilyenkor a kisebb fajlagos energiatartalmú anyagok is komposztálhatók. A légszűrő csökkentése csökkenti ilyenkor az elpárologtatott vízmennyiséget. Ez kisebb hővesztést jelent a komposzt-anyagban. A fertőtlenítéshez szükséges hőkezelést azonban a komposztálásnak ilyenkor is biztosítani kell. Gondot jelenthet ezért a hőmérséklet túlzott csökkenésekor, hogy a termék minősége romlik, esetlegesen utólagos szárítására lehet szükség. A túlzottan nedves késztermék nem piacképes.

Más lehetőség ilyenkor mechanikailag stabil szárazabb segéd- vagy töltőanyag (száraz tőzeg) adagolása a komposztáláshoz, vagy akár a végtermékhez. A száraz fűrészpor előzetes adagolása is kedvező lehet, ez szárít is és az energiaellátottságot is javítja, megkönnyítve a szükséges végső nedvességtartalom elérését.

Fokozott mértékű elővíztelenítés

Ez a kommunális szennyvíziszapok esetében a nagyobb szárazanyag tartalmú iszaplepeny előállítását jelenti a víztelenítésnél. Az előző rothasztott szennyvíziszapos példa esetében, ha az iszap víztelenítését 35 % szárazanyag tartalomig tudják fokozni, a W értéke 7,5, az E pedig 745 cal/g lesz. Az ilyen alapanyag már megfelelőnek látszik az energetikai kondicionálás komposztálásra. Természetesen a technológia leginkább a késztermék részleges visszaforgatásával történő üzemmódban valósítható meg. Nedves lakossági szennyvíziszapok, hulladékok esetében az alapanyag víztelenítése / szárítása az egyik legjobb lehetőség az energiakondicionálásra.

Késztermék részleges visszaforgatása

Ezt a megoldást egy korábbi fejezet már részletezte. Sikeresen alkalmazzák nedves alapanyagok szerkezeti kondicionálására. Az ilyen recirkuláció azonban nem növeli az alapanyag keverék bontható szerves anyag tartalmát. A recirkuláció egy zárt kör, amely nem befolyásolja az energiamérleget. A fajlagos energiatartalom növelése csakis az alapanyag minőségének változtatásával, vagy segédanyag hozzáadásával lehetséges.

Részlegesen lebomló segédanyag adagolása

A segédanyag egyedüli, vagy a késztermék részleges visszaforgatásával együtt történő adagolását az **97. ábra** és **99. ábra** a szerkezeti kondicionálás tárgyalásánál már részletesen bemutatták. A segédanyag önmagában is jó szerkezeti kondicionálást biztosíthat, de jelentős költségtöbbletet is okoz. Ezt valamelyest csökkenti, hogy azzal kis mennyiségű energiatöbblet is bevihető a komposztálásba a segédanyag biológiai lebonthatósága és kedvező nedvességtartalma esetén. A késztermék egy részének visszaforgatása ezzel szemben a szerkezeti kondicionálást ugyan biztosítja, de nem jelent további energia-bevitelt a rendszerbe.

Kombinációjuk választása csökkentheti a segédanyag igényt, és az azzal jelentkező költségtöbbletet. A segédanyag szükséges mennyiségének közelítő meghatározása azon a tényen alapul, hogy a párologtatás energiaigénye általában az összes energiaigény 70-80 %-a.

A párolgás hőigénye igen egyszerűen számítható. Ezt a rendszerben keletkező hőmennyiségnek biztosítani kell. Fajlagosan 700-850 cal rendelkezésre álló égéshő /g elpárolgatatandó vízmennyiség biztosíthatja a komposztálás energiaigényét.

Amerikai kutatók vizsgálatai alapján egy fás anyagra jellemző összetétel a 30-60 % cellulóz, 10-30 % hemicellulóz és 10-20 % lignin tartalom. Ezt víztelenített rothasztott iszappal keverve, s laboratóriumi komposztáló berendezésben optimális környezetben és feltételek mellett komposztálva a beindítást követően 10-30 nap után kezdtek lassulni, leállni a lebomlási folyamatok. Ez alatt az idő alatt a keverék szerves anyag tartalma mintegy 45 %-kal csökkent. Azon belül az egyes komponensek lebomlása a következőnek adódott: zsírok 86 %, szénhidrátok 65 %, cellulóz-szálak 30 %, fehérje 22 %. A tipikus hulladék-keverékre így mintegy 45 %-os lebomlást mértek.

Ha cellulóz alapanyagot szennyvíziszappal, vagy szervesetlen tápanyagokkal (N és P) feljavították, 40 % fölötti cellulóz lebomlást tapasztaltak. Úgy találták, hogy a komposztálás során a cellulóz lebomlása a sebesség meghatározó tényezője. Megállapították, hogy a cukor és keményítő és a zsírok a mikroorganizmusoknak a legjobban hasznosítható tápanyag. A cellulóz és hemicellulóz a bomlásnak közepesen ellenálló, míg a lignin a legellenállóbb. A fa, mechanikus faőrlemények esetében éppen azok nagy cellulóz és lignin tartalma okozza a lassú lebomlásukat.

A kemény fák és azok kéreganyagai sokkal jobban és gyorsabban elbomlottak a komposztálási vizsgálatok során. Ezek átlagosan 45,1 és 25,4 % lebomlást szenvedtek. A puhafák anyagának a lebomlása ennek fele értékűnek sem adódott. Nyilvánvaló ezért, hogy jelentős különbség van a puha és kemény fák, sőt még azokon belül a különböző fajok lebonthatósága között is. A vizsgálatok során a különböző puhafák lebonthatóságában is mintegy ötszörös különbség volt mérhető.

A komposztálásnál sokhelyütt fűrészport vagy fakéreg kevernek a komposzt alapanyagába. A segédanyag megválasztása gyakran annak a fizikai jellegétől, mint a nedvességtartalom, és a részecskeméret függ. A gyakorlatban azonban éppen a fentiek miatt a tervezésnél nagy figyelmet kell fordítani a faanyag gondos megválasztására is, hiszen láthatóan a különböző faanyagok és fakéreg anyagok lebonthatósága között, s így a lebontásuknál keletkező hőmennyiségben is mintegy tízszeres különbség is jelentkezhetnek.

A biológiailag jól bontható szerves anyagok maximális lebonthatóságát egyébként a keletkező melléktermékek mennyisége és lebonthatósága limitálja. A maximális lebonthatóság valahol 80-90 % között várható, ha nincs lignin a rendszerben. Ha van, a %-os lignin tartalom 1,8-szerese lesz a csökkenés a biológiai lebonthatóságban. Ez is mutatja, hogy a lignin átalakulása humuszvegyületekké olyan szerves anyag átalakulás, amelynek a kihozatala tömegében a ligninre nézve csaknem kétszeres.

A magyarországi tapasztalatok alapján lakossági szennyvizek iszapja esetén a szerves rész (izzítási veszteség) csökkenése 50-55 %-ról 35-40 %-ra adódott a rothasztott iszap egyéb segédanyagok nélküli, nyitott térben, prizmákban történő komposztálása során. Másként kifejezve ez azt jelenti, hogy a rothasztott primer iszap lebomlása az azt követő komposztálásnál mintegy 33-56 %-ra várható, 45 %-os átlagértékkel. Természetesen ez a hányad mind a rothasztás, mind az azt követő komposztálás körülményeitől is számottevően függ.

A nyers lakossági szennyvíziszapnak rendszerint 70-80 % a szerves anyag hányada (izzítási veszteség). A rothasztott lakossági szennyvíziszapoké 60 % körüli. Biztonsággal feltételezhetjük, hogy a komposztálás után ez a szerves anyag tartalom mintegy 35-40 % körüli értékre várható. Egy jól stabilizált, rothasztott, majd komposztált mintát 60 % nedvességtartalomra újjólal beállítva, és ellenőrzött aerob körülmények között 49 °C-on inkubálva azonban további lebomlás volt mérhető. 18 nap után a komposzt szerves anyag hányada (izzítási veszteség) 32,5 %-ról 29 %-ra csökkent, ami az előzőre vonatkoztatva mintegy további 15 %-os lebomlásnak felel meg. A 30 % körüli szerves anyag tartalom (izzítási veszteség) valószínűleg az elérhető legkisebb érték a lakossági szennyvíziszap megfelelő komposztálása esetén.

A komposzt alapanyag mintának egyidejűleg meghatározták a KOI értékét is, ami 1,65 g O₂/gVS értéknek adódott. A VS jelölés a száraz minta izzítási veszteségét jelöli, amit a szennyvíztisztítás és komposztálás gyakorlatában a szerves anyag tartalom jó közelítésének tekintenek. Részletes vizsgálatok során 20-30 nap alatt ennél a mintánál csak 0,5-0,6 gO₂/g VS érték oxigénfelvétel volt mérhető, tehát a lebomlás csak 30 %-os lehetett. A faforgács bomlása tehát még lassúbb volt, mint az iszapé, hogy annak a 45-50 % körüli lebomlását a keveréknél ilyen mértékben csökkentette.

9.4.4. A szerves anyag oxidációjának oxigén/levegő-igénye

A sztöchiometrikus oxigénigényt az alapanyag szerves komponenseinek összetétele, és biológiai lebonthatósága alapján kell számítani. A különböző szerves anyagok tipikus vegyi összetétele elemösszetételükkel határozható meg. Erre vonatkozóan részletes adatok állnak rendelkezésre korábbi vizsgálatokból. A szénhidrátok összetétele (C₆H₁₀O₅)_n széles körben ismert. A szennyvíziszapok hasonló összetétele a következő formulával jellemezhető:

primer iszap - C₂₂H₃₉O₁₀N ,

vegyes iszap - C₁₀H₁₀O₃N

Általában szokásos a sztöchiometrikus levegőigényt a komposztálandó szennyvíziszap száraz tömegére vonatkozó fajlagosként megadni. Ez a szennyvíziszap-szalma keverék esetében 1,95 kg levegő / kg száraz alapanyag körüli fajlagos érték. Ennél alig lehet kevesebb a faaprítékkal végzett komposztálás fajlagos levegőigénye is, bár a szalma valamivel nagyobb mértékben oxidálódik, mint a faapríték, a komposztálás biológiai oxidációjánál.

Az eddig bemutatott adatok is bizonyítják a levegőellátás fontosságát a komposztálásnál. Láthatóan az elméletileg szükséges levegőmennyiség mintegy kétszerese az alapanyag száraz tömegének. Ennek megfelelően a levegő a komposztálásnál felhasznált legnagyobb anyagmennyiség. Az is emeli jelentőségét, hogy a gyakorlatban mindig légfesleggel kell dolgozni a megfelelően aerob környezet biztosítására. A légfesleg értelemszerűen a gyakorlatilag beviendő és sztöchiometrikusan számítható levegőmennyiség hányadosa.

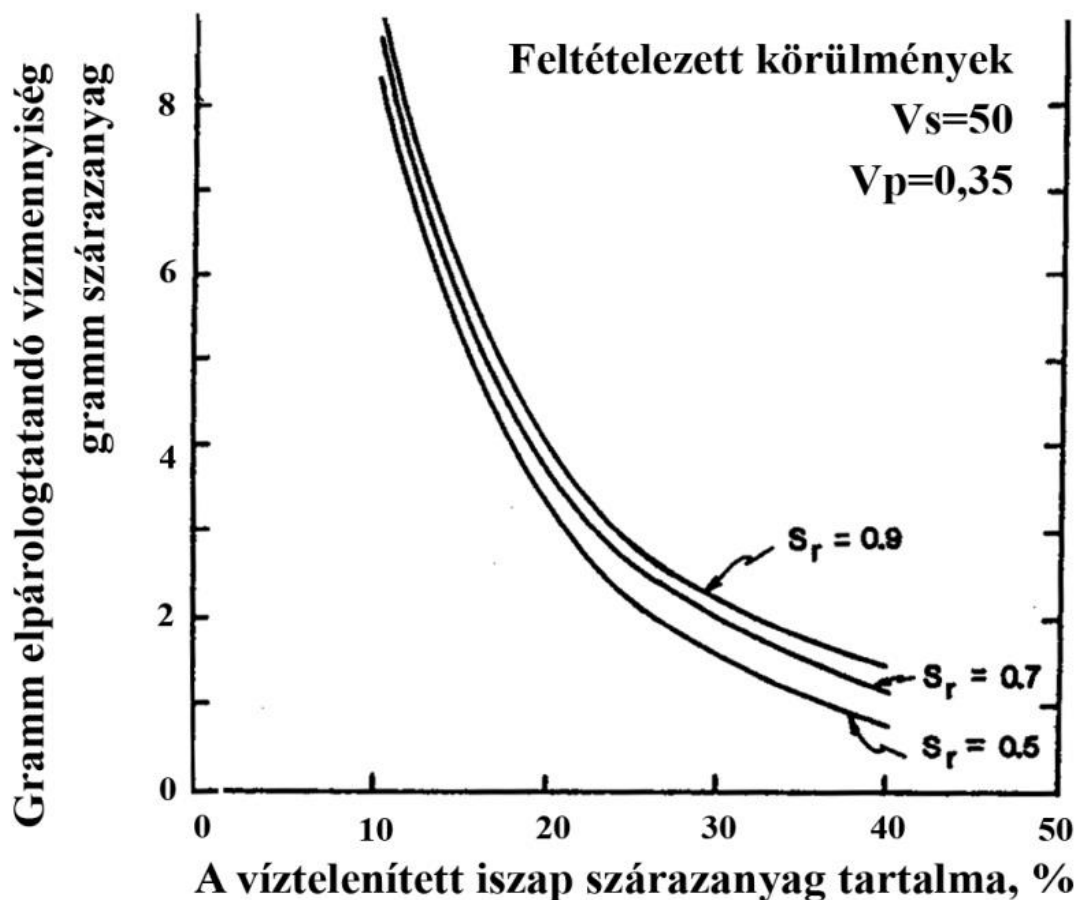
A komposztálás elméleti oxigénigénye úgy is számítható, hogy figyelembe veszik az alapanyag átlagos kémiai összetételét, valamint a keletkező komposzt (végtermék) átlagos összetételét is. Ilyenkor a megfelelő átlagos összetétel a következő átlagolt összképlettel vehető figyelembe:

C₃₁H₅₀O₂₆N, illetőleg C₁₁H₁₄O₄N

Ennek alapján a levegőigény 3,375 kg levegő / kg száraz szerves alapanyag értékre adódott. Értelemszerűen a számításnál a biológiai lebontás mértéke is figyelembe van véve. A hamutartalmat is számításba véve ez a számítás is az előzőekben számolt 2 kg levegő / kg száraz alapanyag fajlagost adja. Az utóbbi módszerrel közvetlenül számolható a komposztálás során keletkező hőmennyiség fajlagos értéke is.

9.4.5. A nedvességtartalom csökkentéséhez szükséges levegőigény

Az elpárolgatatandó víz mennyisége a komposztálás anyagmérlegéből számítható. A **102. ábra** rothasztott szennyvíziszap komposztálására vonatkozó eredmények láthatók, de hasonló elemzés más alapanyagokra is igen közeli eredményeket szolgáltat.



102. ábra: A szennyvíziszap nedvességtartalmának hatása a komposztálás során elpárolgatatandó vízmennyiségre.

A komposztálásnál elpárolgatatandó nedvesség mennyiségét alapvetően a szennyvíziszap nedvességtartalma határozza meg, ha a szennyvíziszap szárazanyag tartalma kevesebb, mint 30 %. Ennél szárazabb szennyvíziszap esetén a segédanyagok és a komposzttermék nedvességtartalma is meghatározó az elpárolgatatandó vízmennyiség tekintetében.

A biológiai lebontás sebessége 40-50 % nedvességtartalom alatt kezd csökkenni. Ennek következményeként 30 %, vagy annál kisebb nedvességtartalomra igen nehéz a komposzt szárítása a biológiai átalakulások lelassulása, s így a keletkező szükséges hőmennyiség hiányában. A komposzt általában 40 % körüli nedvességtartalomig szárítható a komposztkeverék szerves anyaga biológiailag bontható részének a kellő energiatartalma esetén. Ellenkező esetben a komposzt várható nedvességtartalma nagyobb lesz mint 40 %.

Egy 25 % szárazanyag-tartalmú rothasztott iszap faaprítékkal történő komposztálásakor, valamint a faapríték igény szerinti visszaforgatásakor, amikor 65 %-os szárazanyag-tartalmú késztermék előállítására a cél, a nedvességtartalom megkívánt eltávolításához a sztöchiometrikus oxigénigény (2 g levegő/g szárazanyag) több mint tízszerese, 25 g levegő / g szárazanyag szükséges a szárítás érdekében. Ez azt jelenti, hogy a jelentős légfelesleg nemcsak a kellően oxikus környezet biztosítása, de a termék kellő szárítása érdekében is elengedhetetlen.

Mivel a biológiai lebontás sztöchiometrikus oxigénigénye a komposztálásnál rendszerint kisebb, mint a szárításé, a levegőztetés szabályozása alapvető fontosságú. A szárítás ennek megfelelően a levegőellátással szabályozott. Az alapanyag keverék összetétele függvényében (energiatartalma) két eset állhat elő. A keletkező hőmennyiség esetlegesen elég lehet mind a komposztálás, mind a szárítás biztosítására, de előfordulhat, hogy az csak a komposztálásra elegendő, és ezért csak korlátozott szárítás lehetséges.

Az optimális hőmérsékletet a levegőztetéssel szabályozzák, de ez az optimális hőmérséklet a komposztálás folyamatában is változik. A korábbiakban bemutatott komposztálási példákra ennek megfelelően levezetett energiamérleg alapján a keletkező hőmennyiség eltávolításához szükséges légfelesleg mintegy 25-szörös. Ez azt jelenti, hogy nagyon energia-gazdag, vagy szárazabb alapanyag esetén ez az érték meghaladhatja a nedvesség csökkentéséhez szükséges légfelesleget is. ***A nedvesebb alapanyagok esetén azonban többnyire a párologtatás levegőigénye a meghatározó.*** Egyértelmű, hogy mindegyik nagyobb, mint a szerves anyag átalakításának a biológiai oxigénigénye (sztöchiometrikus oxigén mennyiség). Ennek megfelelően a komposztálás levegőztetése minden esetben a folyamat, és szabályozásának a kritikus tényezője.

Ez a megoldás intenzívebb előkomposztálásból és lassúbb utóérlelésből áll. Az elsőben az oxigénigényt megfelelő fajlagos szabad gáztérfogatot biztosító strukturanyag, vagy kész komposzt visszakeveréssel, bekeveréssel biztosíthatjuk többnyire ciklikus, szabályozott levegő aláfúvatás mellett. Erre a szakaszra (sztatikus komposzthalmok) a levegőigényt az intenzív szakaszra kell értelmezni. Így általában a 3-4 hetes intenzív komposztálás időszakában kell a komposzthalomba bevinni. Ennek megfelelően egy átlagos levegőztetési sebesség közvetlenül számítható. A számszerű érték $\text{m}^3 \text{ levegő/óra} \times \text{tonna szárazanyag fajlagos értékben}$ adható meg az alapanyagra (szennyvíziszap) vonatkoztatva.

Az oxigén-igény azonban az intenzív komposztálás ideje alatt is változó. Mindenképpen jelentkezik egy csúcsigény. A csúcsigény korábbi tapasztalatok alapján számolható. Megfigyelték, hogy az oxigénfelvétel sebessége leginkább a hőmérséklettől függ. 40-65 °C között a maximális értékek 10-14 mg O₂ / g szerves anyag x óra körül alakult. Ilyen nagy oxigénigény azonban csak viszonylag rövid időtartamban jelentkezik. Általában 2 napon át tapasztalható a maximális oxigénigény, majd azt követően 4 napon át már csak annak 3/4-e, az azt követő 8 napon csak a fele jelentkezik. Ha egy komposztáló rendszerben a levegőellátás nem tudja biztosítani a maximális igényt (kapacitáshiány), a hőmérséklettről történő visszacsatoló szabályozás nem tud megfelelően működni, s a komposzt-halom hőmérséklete túlzott mértékben megemelkedik (kellő hűtés hiánya). Költség megtakarítást jelenthet mégis az alátervezés kisebb-rövidebb időtartamra.

Az utóérlelés első szakasza a rostálást követően történhet levegő aláfúvatással is, de rendszerint már ez sem ilyen. A végső érlelés nagyobb halmokban általában levegőztetés nélkül történik. A halomnak a benne kialakuló hőmérsékletgradiens következtében elegendő lehet a spontán levegőzése is.

Irodalomjegyzék

- Németh, Patrícia (2008) A vállalati környezetvédelmi tevékenység szerepe a versenyképességben, a piaci sikerességben. Doktori (PhD) értekezés
US National Council, Policy Division: Linking Science and Technology to Society's Environmental Goals. National Academic Press, Washington, D.C. 1996.
- Horváth István Tamás: Zöldkémia. *Természet Világa*, 2005/I. különszám (Kémia), **136**, 90–93
- Weissermel, K.; Arpe, H.-J. *Ipari szerves kémia*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (1993) 141-147
- Mizsey P. Magyar Kémikusok Lapja 1993. XLVIII. ÉVFOLYAM. 10-11. SZÁM 411-420. oldal
- Smith R, Linnhoff B: The design of separators in the context of overall processes. *Chem. Eng. Res Des.* 66, 195 (1988)
- Mizsey P.: A global approach to the synthesis of entire chemical processes, Ph. D. Dissertation No. 9563, ETH-Zürich (1991)
- Fonyó Zs, Mizsey P: Hulladékcsökkentési stratégiák a vegyiparban. *MKL* 52, 457 (1997).
- Czermann J.: Technológiai megoldások káros hulladékok keletkezésének megakadályozására, *Magyar Kémikusok Lapja*, 47(2). 60. (1992)
- Smith, R. - Petela, E.: Waste minimisation in the process industries, Part 2: reactors, *The Chemical Engineer*, December, 12. (1991)
- Smith, R. - Petela, E.: Waste minimisation in the process industries, Part 2: reactors, *The Chemical Engineer*, December, 12. (1991).
- Katin, R.A.: Minimize Waste at Operating Plants, *Chemical Engineering Progress*, July, 39. (1991).
- Jacobs, R.A.: Design your process for waste minimization, *Chemical Engineering Progress*, June, 55. (1991).
- Douglas, JM: Process synthesis for waste minimization, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 81. 238.
- Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie, Dechema, Frankfurt am Main, Ed. Richarz, W., Behrens, D. and Cremer, H. 1990
- Cohen, Y. - Allen, D.: An integrated approach to process waste minimization research, *J. of Hazardous Materials*, 89. 237. (1992)
- Mizsey P: Waste reduction in the chemical industry: a two level problem, *Jl of Hazard. Mater.* 37, 1 (1994)
- Anastas PT, Warner JC: *Green Chemistry: Theory and Praxis*, Oxford University Press, Oxford, 1998.
- Barta K et al: A zöld kémia tizenkét alapelve, *MKL* 55, 173 (2000)
- IPPC Guidance Document on Best Available Techniques for the Basic Hydrocarbon Sector, Final Draft, November 2003
- Szabó L: Nehézfém tartalmú melléktermék kinyerése újrahasznosítható formában. *MKL* 55, 423
- Fonyó Zs., Szépvölgyi J., Harangozó G. A megelőző környezetvédelmi szemlélet térnyerése a hazai vegyiparban, ISBN 963 503 292 7, 2002
- Kiwitt, E.: Verwertung des bei der Herstellung von Isocyanaten anfallenden Chlorwasserstoffs zur Rückgewinnung von Chlor, *Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie*, Dechema, Frankfurt am Main, 81. (1990)
- Molnár K. Hulladékok és másodnyersanyagok hasznosítása, 2004/12, *Műszaki Információ*, 2004

102/1996. (VII. 12.) Korm. rendelet a veszélyes hulladékokról
Bányászati és kohászati Lapok. **Bányászat** 2006/6. Szám
Klug Ottó– A magyar ezüst története, Az állami alumíniumipar 50 éve (1948-1997) Hungalu
Magyar Alumínium RT., Budapest (1999)
Alumíniumipar, Magyar Alumíniumipari Tröszt, Budapest (1980)
Várhegyi Gy., Scholtz J., Szűcs F. - Szervetlen kémiai technológiák II. egyetemi jegyzet,
Veszprém (1985)
Ipari technológiák című egyetemi jegyzet, Pannon Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai
Technológiai Tanszék, 2006
Szabó Zsuzsanna - A vörösiszap termikus kezelése újrahasznosíthatósága céljából, Diploma
dolgozat Veszprém (2006)
Tatai Környezetvédelmi ZRT. Vörösiszap lerakására vonatkozó szakmai leirata, belső anyag
(2008. január)

10. A biogáz technológia (Dr. Czupy Imre, Vágvolgyi Andrea)

Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

A biogáz szerves anyagok mikroorganizmusok által anaerob körülmények között történő lebontása során képződő termék.

A szerves anyagok lebontásának eredményeként keletkező biogáz 50-70%-ban metánt, 28-48%-ban szén-dioxidot, és 1-2%-ban egyéb (oxigén, nitrogén, kén-hidrogén, hidrogén, szén-monoxid) gázokat tartalmaz. Természetesen a gáz összetétele alapanyagonként, és technológiánként eltérő lehet. (Bai et.al., 2002.; Gyulai, 2006.; Schulz és Eder, 2005., Sinoros-Szabó és Maniak, 2005.; Körösi, 2007.; [1.])

A legmagasabb metántartalma szennyvíziszapoknak van (70%), ezt követik a mezőgazdasági melléktermékek (60-65%), majd a szilárd települési hulladék (50%). (Bai et. al., 2002.)

39. táblázat: Metángáz-tartalom néhány szervesanyag anaerob fermentációjánál (Forrás: Kaltwasser, 1983.)

Fermentációs nyersanyag	A teljes gázhozam metántartalma (%)
Tehéntrágya	65
Baromfitrágya	60
Disznótrágya	65-70
Istállótrágya	50-60
Szalma	59
Friss fű	70
Elefántfű	60
Mezőgazdasági hulladék	60-70
Lomb	58
Napraforgólevél és –szár	58
Algák	63
Kender	59
Len szár	59

A biogáz fűtőértéke, metántartalom függvényében: 21,0-25,0 MJ/m³ (Bai et. al., 2002., Vermes, 1998., Bai, 2007., Barótfi, 2000., Hódi, 2005.) lehet a különböző irodalmak szerint. Pl.: 65%-os metántartalommal a biogáz fűtőértéke 23,2 MJ/m³. (Kacz és Neményi, 1998.)

Egy köbméter kb. 60% metántartalmú biogáz energiatartalma 0,6 l fűtőolajéval, 0,6 m³ földgázéval (Fuchsz, 2006.), vagy 1 kg feketeszénével (Bai et. al., 2002.), 1,37 m³ városi gázzal, 0,48 m³ propángázzal, 0,66 m³ földgázzal, 0,72 l benzinnel, 6,1 kWh villamos energiával egyenértékű. (Lakatos)

Egy kilogramm szárazanyagból keletkező biogáz mennyisége Vermes (1998.) szerint 250-900 liter, míg Kaltwasser (1983.) és Bai et. al. (2002.) 230-400 litert ír a gyakorlatban keletkező mennyiségre és 587-1535 l/kg-ot említ elméleti lehetőségként.

10.1. A biogáz termelés alapanyagai

A biogáz előállítására sokféle alapanyag alkalmas: legyen az mezőgazdasági, feldolgozóipari vagy háztartási eredetű (**40. táblázat**).

40. táblázat: A biogáz termelésben felhasználható alapanyagok (Forrás: Fuchsz, 2006.; Körösi, 2007.; Gyulai, 2006.)

Mezőgazdasági eredetű alapanyagok		Feldolgozó ipar eredetűek alapanyagok	Lakóközösségekből származó alapanyagok
Állattenyésztés	Növénytermelés		
Almostrágy Vágóhídi hulladék Állat tetemek	Kukorica Fű szilázs Zöld növényi hulladék Gabonafélék Ocsú Szalma Széna Cukorcirok Lucerna Energianövények Repce Csicsóka CCM (Corn Colb Mix) Szudáni fű Kínai nád Káposztalevél	Napraforgó pogácsa Törköly Konzervipari hulladékok Répaszelet Szeszipari hulladék Tejsavó Burgonya héj Bendőtartalom Száras kenyér Glicerin	Ételmaradék Kommunális zöldhulladék Szennyvíziszap Sütési zsiradék Piaci szerves hulladékok Lejárt szavatosságú élelmiszerek

Alapanyag és technológia függvényében a szervesanyagokból kinyerhető biogáz mennyiség eltérő lehet, az egyes szervesanyagok biogáz kihozatalát a **41. táblázat** szemlélteti.

A biogáz kifejezés gyűjtőfogalom, mert a termelési-kinyerési hely szerint az alábbi elnevezéseket használják (Hódi, 2009.):

Szennyvíziszapból termelt gáz: szennyvízgáz. Ennél a technológiánál a rothasztó tornyokban történik a szennyvíztisztítási technológia során keletkezett szennyvíziszap fermentációja.

A hazai szennyvíztisztító telepek közül 17 helyen termelnek biogázt, ezek száma fokozatosan nő. 2003-ban évi 60-70 m³ alapanyagból 6-7 m³ biogáz keletkezett, melynek energiatartalma elérte a 0,15 PJ-t. A gázt hő- és elektromos energiaként túlnyomórészt felhasználják, 1 MW beépített összkapacitás 7 GWh elektromos áramot és 120 TJ hőenergiát állít elő. Magyarországon 2003. január 1-jén 555 db különböző kapacitású szennyvíztisztító telep üzemelt. Az iszap szervesanyag tartalma 65-75% között változik, mely függ a folyadékfázis tisztításának minőségétől. A számításba vehető tisztító telepek kinyerhető gáz mennyisége 202*10³ Nm³/nap, a hálózaton hasznosítható villamos energia 381 MWh/nap, ami mintegy 128 GWh/év villamos energia többletet jelent. (Hájos, 2008.)

41. táblázat: Különböző szervesanyagok biogáz kihozatala (Forrás: Fuchsz, 2006.; Sinoros-Szabó et.al., 2005.; Sági, 2003.; Hájos, 2008.; Potyondi, 2008.)

Szervesanyag	Biogáz mennyisége (m ³ /tonna)
Marhatrágya	90-310

Sertéstrágya	340-550
Baromfitrágya	310-620
Istállótrágya	175-280
Kukoricaszár	380-460
Szennyvíziszap (5% sza.)	20
Répaszelet	35, 75
Biohulladék	100
Sörtörköly	120
Vágóhídi hulladék	150
Fű szilázs	175-217
Kukorica szilázs	190
Zsírleválasztó maradék	400
Burgonya hulladék	39
Étel hulladék	265
Pékészeti hulladék	714
Rozs	577
Triktikálé	587
Búza	600

Mezőgazdasági, élelmiszeripari, háztartási hulladékból termelt: biogáz

Az anaerob fermentáció a szerves trágya, a hígtrágya és más biológiai eredetű nehezen hasznosítható hulladékok értékes bio-trágyává való alakításának egyik alternatív lehetősége. A hulladék kezelése közben keletkező biogáz fűtésre, illetve villamos áram termelésre hasznosítható, ezzel csökkentve az üzem működési költségeit.

Kovács Kornél a Magyar Biogáz Egyesület elnökének véleménye szerint: 1000 hektáron termelt és feldolgozott energianövényekkel átlagosan 2,0-2,5 MW villamos energia termelésére képes biogáz erőmű –kapacitás látható el alapanyaggal. Et azt jelenti, hogy 1000 hektár szántóföld évi 14,0-17,5 GWh villamos energia és ezzel párhuzamosan 14,0-18,0 GWh hőenergia termeléshez ad megújuló energiaforrást. 100 ezer hektár szántóföld biogáz-termelési hasznosítása tehát 200-250 MW bioerőmű-kapacitás létrehozását jelentené, amelyben évente 1400-1750 GWh villamos áramot lehet termelni, 1400-1800 GWh hőenergia mellett. (Hargitai, 2006.)

Lápos, mocsaras területeken fenékiszapból keletkező: mocsárgáz

Hulladéklerakón képződő gáz: a depóniagáz. Itt a hulladéklerakóban elhelyezett gázkutakon keresztül történik a biológiailag lebontható szerves anyagok bomlásának eredményeképpen képződő biogáz kinyerése aktív, vagy passzív rendszereken keresztül

Magyarországon 14 helyen összesen 13-15 millió m³ hulladékból folyik depóniagáz kinyerés, ennek mennyisége évente elérheti a 100-120 millió m³-t. Energiatartalma 1,8-2 PJ. Ennek az értéknek csak töredékét hasznosítják, 0,3 MW beépített kapacitással mintegy 2 GWh elektromos és 12 TWh hőenergiát állítanak elő. (Hájos, 2009.)

A termelési-kinyerési hely szerint a biogázok összetétele különböző lehet. A gázok főbb összetevőit és azok százalékos értékét a **42. táblázat** tartalmazza.

42. táblázat: Anaerob forrásból származó kezeletlen biogázok összetétele (Forrás: Szugony, 2009.)

Összetevő	Mértékegység	Mezőgazdasági biogáz telep	Szennyvíztisztító telep	Szeméttelp
Metán	mol%	60...70	55...65	45...55
Széndioxid	mol%	30...40	35...45	30...40

Nitrogén	mol%	< 1	< 1	5...15
Hidrogén-szulfid	ppm	10...2000	10...40	50...300

10.2. A biogáz története

A biogáz története több évszázados, sőt azt is mondhatjuk, hogy több évezredes. Írásos emlékek találhatók arról, hogy Asszíriában ie. a 10. században és Perzsiában a 16. században biogázt használtak a fürdővíz melegítésére.

Van Helmont a 17. században felfedezte, hogy gyúlékony gáz nyerhető bomló szerves anyagból. [1.]. Shirley fedezte fel 1677-ben a mocsárgázt (Bai, 2007.; Maramba, 1978.), Faraday is kísérletezett a mocsárgázzal, ő szénhidrogénként azonosította. (Schulz és Eder, 2005.)

Volta 1776-ban megállapította a gázzal, hogy ez éghető anyag. Dalton 1804-ban kimutatta belőle a metánt. (Bai et. al., 2002.) Képletét Avogadro határozta meg 1821-ben. (Schulz és Eder, 2005.) Pasteur fedezte fel, hogy a gázt mikróbák állítják elő.

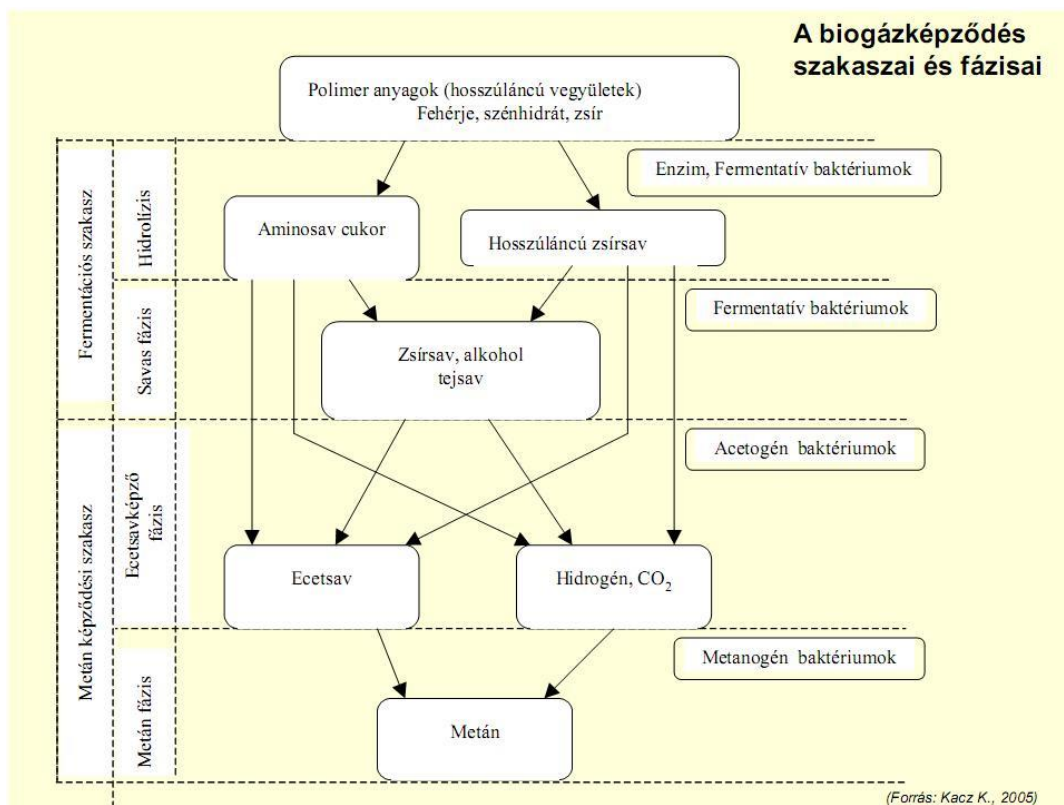
Mesterségesen a 19. század eleje óta állítják elő. (Láng, 2002.) A világ első biogáztelepe az indiai Mantungában épült 1856-ban. (Bai et. al., 2002., Bai, 2007.) 1857-ban Bombayban valósult meg az első biogáz-berendezés, egy lepratelepen. 1896-ban Exeterben már közvilágítás céljára használták a biogázt, 1920-30 között a szennyvíziszapok anaerob erjesztését kezdték el. 1937-ban már 7 német nagyvárosban működött biogázüzemű szemétszállító jármű. 1942-ban Ducellier és Ismann Algériában mezőgazdasági hulladékot erjesztett kétütemű fermentációs módszerrel. (Bai, 2007.)

USA-ban az első ipari biogáz-előállító üzem 1959-ben létesítették. (Láng, 2002.) Németországban és Dániában a II. világháborút követően kezdődtek a biogáz előállítását célzó kísérletek.

Hazánkban a biogázzal kapcsolatos kutatások a 20. században (Bai et. al., 2002.), pontosabban 1950-es években kezdődtek el (Fővárosi Csatornázási Művek Soroksári úti szennyvíztisztító telephelyén). Mezőgazdasági jellegű szerves trágya alapú biogáz telep először a Pécsi Állami Gazdaságban létesült. (Kissné, 1983.)

10.3. A fermentációs folyamat szakaszai

A fermentációs folyamat több lépcsőben játszódik le. Az első két fázisban (hidrolízis és savas fázis) a nagy molekulájú szerves anyagok lebontása történik enzimek és fermentációs baktériumok közreműködésével. A harmadik és negyedik fázisban (ecetsavképző és metánképző fázis) az acetogén baktériumok az előző fázis hidrogénben gazdag vegyületeit ecetsavvá és hidrogénné alakítják, illetve a metanogén baktériumok az ecetsav és hidrogén reakcióba hozásával metánt és szén-dioxidot állítanak elő.



103. ábra: A fermentációs folyamat sémája szerint (Forrás: Kacz, 2005.)

10.4. A fermentációs folyamatot befolyásoló tényezők

A fermentációs folyamatot számos tényező befolyásolja. A kritikus környezeti tényezők a hőmérséklet, pH, tápanyag-ellátottság, toxikus anyagok jelenléte. A **43. táblázat** a maximális metántermeléshez szükséges optimális feltételeket, valamint a rendszer által még tolerálható tartományt mutatja be. (Malina és Pohland, 1992.; Kárpáti, 2002.)

43. táblázat: Az anaerob iszaprothasztás optimális körülményei és tolerálható tartományai (Forrás: Malina és Pohland, 1992.; Kárpáti, 2002.)

Paraméterek	Optimum	Tartomány
pH	6,8 - 7,4	6,3 - 7,9
Oxidációs redukciós potenciál (ORP), mV	(-520) - (530)	(-490) - (-550)
Illósavak, mmól/l	0,8 - 8,0	< 35,0
Alkalinitás, mg CaCO ₃ /l	1300 - 3000	1000 - 5000
Szerves anyag terhelés		
Mezofil tartományban, kg/m ³ d	0,8 - 2,0	0,4 - 6,4
Termofil tartományban, kg/m ³ d	1,5 - 5,0	1,0 - 7,5
Hőmérséklet		
Mezofil tartományban, °C	32 - 37	20 - 42
Termofil tartományban °C	50 - 56	45 - 65
Hidraulikus tartózkodási idő, d	12 - 18	7 - 30
Biogáz összetétel		
Metán, v %	65 - 70	60 - 75
Széndioxid, v %	30 - 35	25 - 40

10.4.1. Hőmérséklet

A kémiai és biokémiai átalakítások és a mikroorganizmusok növekedési sebessége a mikroorganizmusok által tolerált tartományban a hőmérséklettel nő. Mindenféle mikroorganizmus optimális növekedést és lebontási sebességet mutat egy szűk hőmérséklet-tartományban, amely minden mikroorganizmus fajra jellemző, különösen annak felső határán károsodhatnak. Ennek megfelelően az egyenletes hőmérséklet fenntartása az anaerob rothasztásnál sokkal fontosabb, mint a maximális bontási sebességre történő törekvés.

Az anaerob rothasztás megvalósítására két vagy három hőmérséklet-tartomány jöhet szóba pszikrofil, és/vagy a mezofil, és a termofil. A pszikrofil mikroorganizmus törzsek 20 °C-os, vagy az alatti optimumon dolgoznak leghatásosabban, a mezofil optimum 30-40 °C, a termofil pedig 50-65 °C körül van. (Olessák és Szabó; 1984.; Kissné, 1983.; Schulz és Eder 2005.; Bai 2007.)

A hőmérséklet kismértékű változása (pl.: 35°C-ról 30°C-ra, illetve 30°C-ról 32°C-re) a biogáz termelődés csökkenését eredményezi. (Chae et al, 2008.)

A termofil anaerob iszaprothasztás számos előnyt biztosít a mezofil folyamattal szemben. Nagyobb a metántermelés sebessége, 10-20%-kal több biogáz nyerhető ki (Olessák és Szabó, 1984.), kisebb a folyadék viszkozitása, jobb a szerves anyag átalakítási hatékonyság, rövidebb a lefutási idő (Schulz és Eder, 2005.) és lényegesen jobb a patogének termikus inaktíválása. (Rimkus et. al., 1982.)

A mezofil hőmérsékletű rendszert a kóros véglényekben szegény, viszonylag egyöntetű alapanyagból, nagyobb hely-és gázfelhasználási lehetőség estén célszerű alkalmazni. A termofil fermentációt ott érdemes használni, ahol az alapanyagban a későbbi trágyafelhasználásnál káros kórokozók fordulhatnak elő, az erjesztést nagyobb energiavesztések árán is gyorsan kell megvalósítani. (Kacz és Neményi, 1998.) A hőmérséklet függvényében változik a szerves anyagok lebontásának időtartalma, átlagosan 5-180 napot vehet igénybe a folyamat.

10.4.2. pH

A metanogenezis optimális pH tartomány 7,0 a hidrolízis, illetve acetogenezisé pedig pH 5,5-6,5. (Kim et al, 2003.; Yu and Fang, 2002.) Ez a két különböző pH optimum az oka annak, hogy sokszor két lépcsős fermentációt alkalmaznak (hidrolízis/savtermelődés, acetogenezis/metanogenezis). 6-os pH alatt a metanogenezis folyamatának aktivitása jelentősen csökken (Mosey és Fernandes, 1989.), a túlzottan lúgos pH pedig a mikrobiológiai szemcsék széteséséhez és a folyamat leállításához vezet. (Sandberg és Ahring, 1992.) Az alapanyag betáplálás arányának módosításával egy állandó pH biztosítható. (Gunaseelan, 1995.)

10.4.3. Tápanyagok

Az alapanyag jellemzőiként az összetétel függvényében a C/N arányt is figyelembe kell venni. A mikroszervezetek sejtfehérjéinek felépítéséhez nitrogénre van szükség. A kis nitrogén tartalom akadályozza a nagy szénmennyiség feldolgozását, a nagy nitrogéntartalom viszont ammónia felhalmozódáshoz vezet. Ideális arányuk: 30:1. Hasonló szerepe van a foszfortartalomnak is. Az optimális C/P arány 150:1. (Olessák és Szabó, 1984.)

10.4.4. Nedvesség (Víz)

A víz szükséges a mikroszervezetek anyagcseréjéhez és a biokémiai folyamatok közege is. A tápanyag nedvességtartalma is fontos tényező. A mikroorganizmusok tevékenységéhez szükséges nedvességtartalom tág határok között mozoghat, különböző kísérletek azt mutatják, hogy 0,1-60% lehet a szárazanyag tartalom. (Barótfi, 2000.) Olessák és Szabó (1984.) szerint az optimális szárazanyag-tartalom 5-20%.

10.4.5. Nehézfémek

A nehézfémek legtöbb anaerob mikroorganizmus fajtára már kis koncentrációjuknál is toxikusak.

10.4.6. Illó savak

A kis molekulatömegű illó szerves savak hatása az anaerob rothasztó rendszer mikroorganizmusaira összetett, mivel azok savassága egyidejűleg a közeg kémhatását is változtatja. Amikor a pH-t a semleges tartományban tartják, az illó savaknak nincs számottevő toxikus hatása a metanogén baktériumokra 10000 mg/l koncentráció alatt. Az illó savak összes koncentrációja a rothadó iszapban rendszerint 8-300 mmól/l között alakul.

10.4.7. Ammónia

Az ammónia a rothasztóban a fehérjék deaminálása révén gyorsan keletkezik. Az ammónia toxicitása is a rendszer kémhatásának függvénye. 7 fölötti pH-nál jelentkezhet ez a gyakorlatban. A szabad ammónia koncentrációját 100-700 mg/l-ig változhat (Hansen et. al., 1998), ugyanakkor az ammónium ionok jelenlétét 1500 mg/l értékig is tolerálni tudja a mikroorganizmus együttes.

10.4.8. Szulfid

A szulfidok az anaerob rothasztóban részben az oda bekerülő szulfátok redukciójából, részben a fehérjék bomlásának eredményeként keletkeznek. Ha az oldott szulfidok koncentrációja meghaladja a 200 mg/l értéket, a metanogén baktériumok tevékenysége jelentősen lelassul, és a folyamat gyakorlatilag leállhat (Lawrence és McCarty, 1964.).

10.5. A biogáz előállítás technológiai lehetőségei

Aszerint, hogy a fermentatív és metános erjesztés külön vagy együtt valósítják meg megkülönböztethetünk: *egylépcsős* és *kétlépcsős* eljárásokat. Az egylépcsős eljárásnál tehát az erjesztési folyamat korábban ismertetett négy fázisa egyetlen rothasztó tartályban megy végbe. A töblépcsős eljárásnál az erjesztés különböző fázisai térben elkülönülnek.

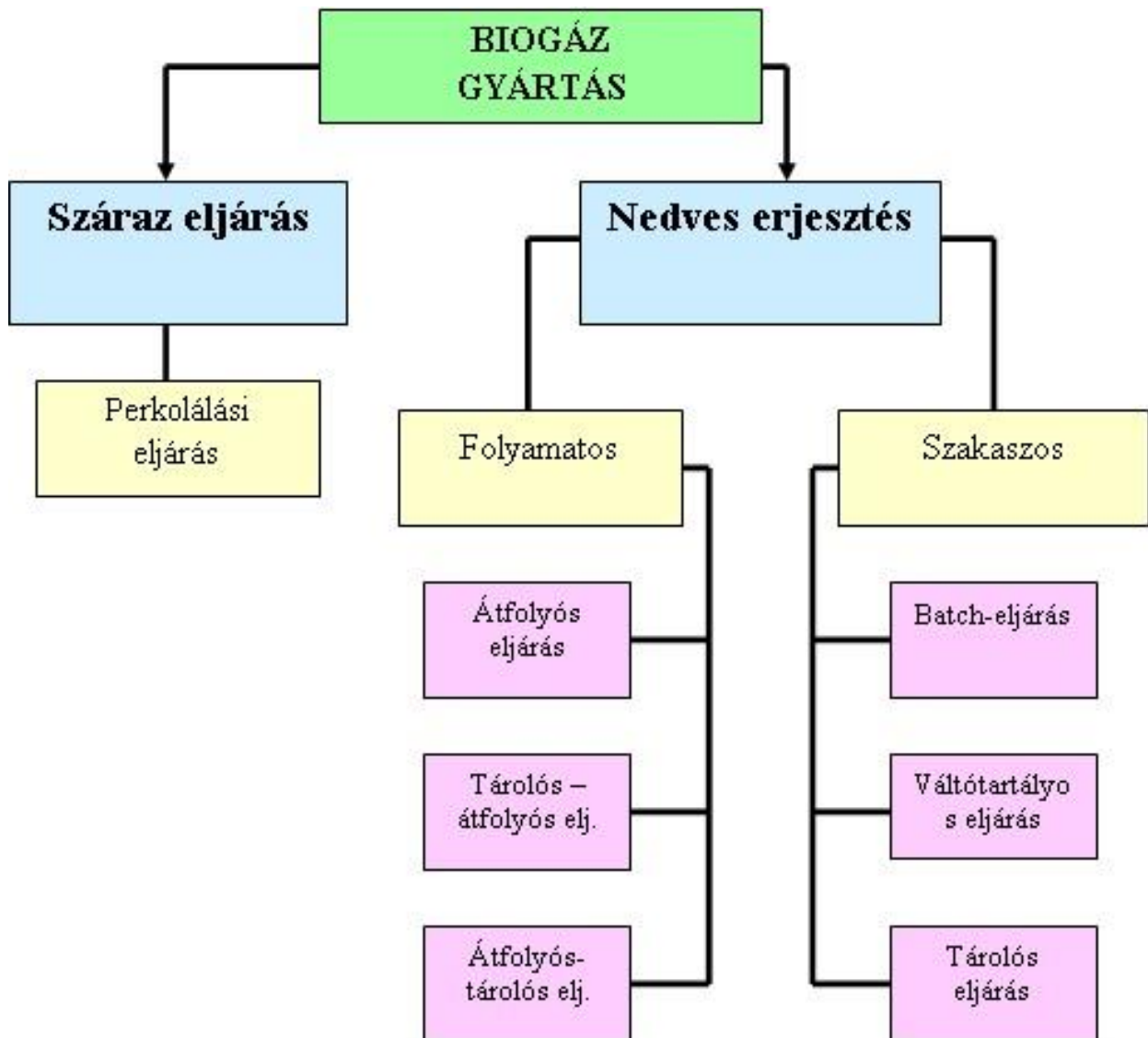
A technológia lehet *folyamatos* vagy *szakaszos* üzemmódú, melyet a feldolgozandó hulladék szárazanyag-tartalmának függvényében lehet megválasztani (nedves: 0,5–1% szárazanyag-tartalmú, szuszpenziós: 5–15% szárazanyag-tartalmú és félszáraz: 15–24% szárazanyag-tartalmú, valamint száraz: 25%-nál nagyobb szárazanyag-tartalmú töltetekkel dolgozó reaktorok). (Bai, 2007.)

Folyamatos technológiánál állandó a biogázt emelés és a folyamatot befolyásoló egyéb tényezők is jobban figyelembe vehetők, szabályozhatók. (Kacz és Neményi, 1998.)

A fermentálandó hulladékok szárazanyag-tartalmának tekintetében is osztályozhatjuk a biogáz előállítás technológiáját, lehet: *nedves*, *félszáraz* és *száraz* technológia.

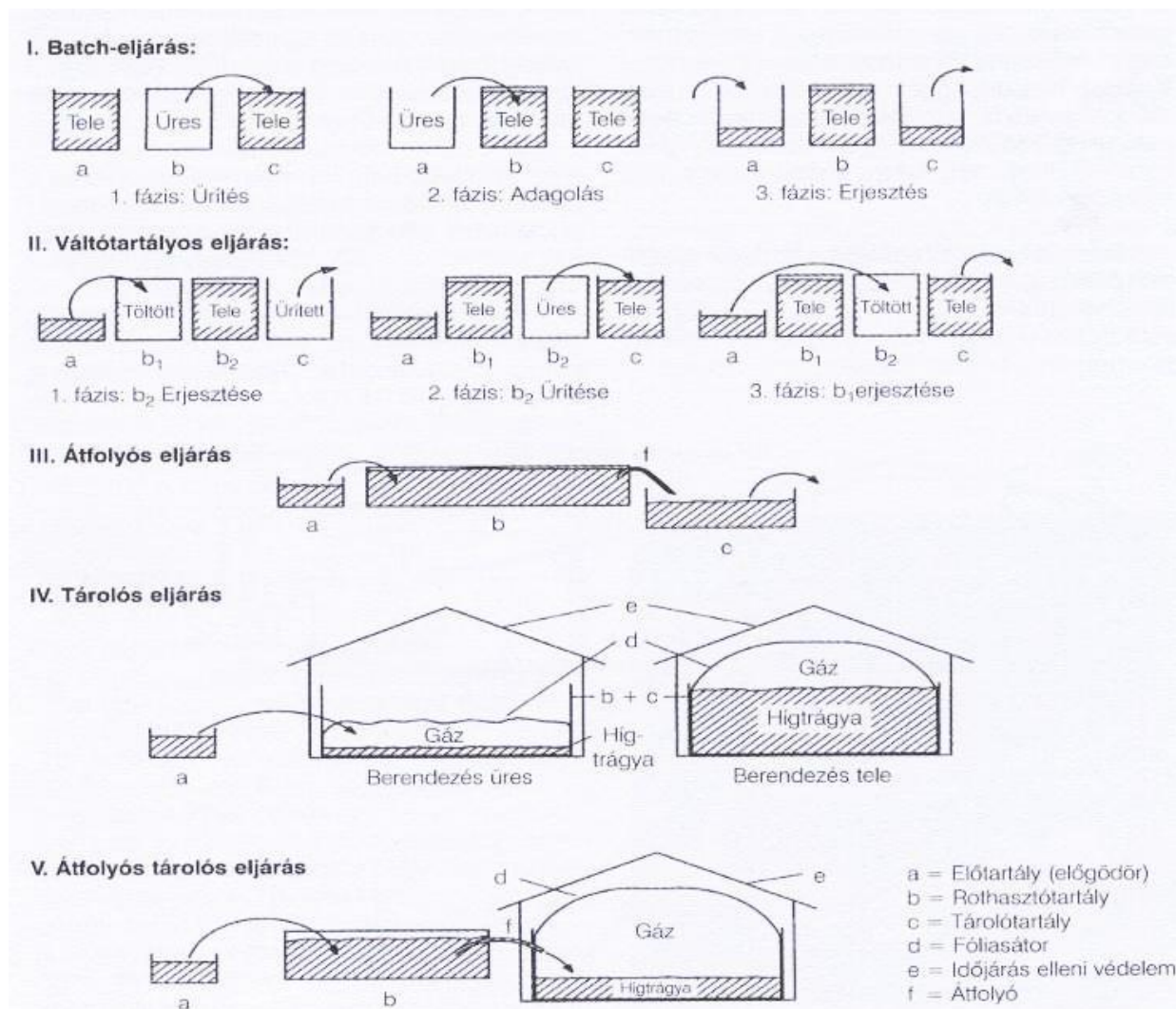
Bai (2007.) mindhárom eljárással foglalkozik szakirodalmában, míg Schulz és Eder (2005.) csak a száraz és nedves technológiát említi.

A szerzőpáros a nedves eljárás technológiáját két részre bontja: folyamatos és szakaszos. Ezeken belül három-három technológiát különít el.



104. ábra: A biogáz gyártás sematikus áttekintése (Schulz és Eder,2005.)

Most következzen a technológiák jellemzése, az előző osztályozása alapján.



105. ábra: A biogáz gyártás lehetséges eljárásai (Schulz és Eder, 2005.)

A *batch-eljárás*nál (adagolást, etetést jelent) a rothasztó tartályt egyszer kell megtölteni. Az anyag ezt követően a választott időtartam végéi erjed további alapanyag hozzáadása és a meglévő eltávolítása nélkül. A gáztermelés a betöltés után lassan indul meg, elér egy maximális értéket, majd lecseng. A folyamatidő leteltével a rothasztó tartályt ki kell üríteni, a tartály alján hagyni kell egy kevés kirothasztott iszapot, hogy az új adagot beoltsuk a „bedolgozott” baktériumokkal. Higiéniai szempontból optimális, mert a friss és erjedő anyag nem keveredik. Viszont nagyon költséges eljárás. (Schulz és Eder, 2005.) Főleg a rostos és szálas anyagok erjesztésénél használják. (Kacz és Neményi, 1998.) A rothasztás időtartama a folyamat hőmérsékletétől függően 30-100 nap között van.

A batch készülékek üzemeltetésre két módszer lehetséges a félszáraz és folyékony eljárás. Félszáraz eljárásnál a kirothasztandó anyag szilárdanyag-tartalma 15% feletti, emiatt a megfelelő keverés és oltás nem lehetséges, ezért a rothasztási folyamat nagyon lassan megy végbe. A folyékony eljárású batch-készülékek főképp kísérleti készülékként használatosak. (Kaltwasser, 1983.)

A *váltótartályos eljárás* két rothasztó tartállyal dolgozik. Van egy előgödör, ahol 1-2 napig áll az alapanyag, majd onnan a rothasztó tartályba töltik, ezalatt a másik tartály tartalma erjed. Amikor az első megtelt, a másik, már kiejert tartály tartalmát egy tárolótartályba kell vezetni és az előgödörből újra megtölteni. Majd a tartály a kirothasztott iszap eltávolításával teljesen, vagy részben kiürül. Előnye, hogy a gáztermelés egyenletes. Hátránya a nagy építési költség és hő veszteség.

Átfolyó eljárásnál a rothasztó tank mindig tele van, a friss alapanyag egy kis előtartályból kerül a tartályba. Ezzel párhuzamosan a kierjesztett anyag pedig automatikusan átáramlik a tárolótartályba. A gáztermelés egyenletes, költségtakarékos eljárás, kevés hő veszteség jellemzi. Az adagolást pedig automatizálni lehet. Higiéniai szempontból kedvezőtlenebb, mert a kierjesztett anyag keveredni tud a friss alapanyaggal.

Tárolós eljárásnál az erjesztő egyben tárolótartály is. A tárolóberendezés a kierjesztett trágya elhordásakor teljesen kiürül. Ezután a kombinált tartály az elő gödörből, vagy folyamatos trágyaellátással újra megtelik. Előnye, hogy csak egy nagy tartályra van szükség. Három típusát különböztethetjük meg: fedett fóliasátras erjesztő, dupla fóliasátras tartály, szilárd földmű tárolók.

Kombinált átfolyó-tárolós eljárás a biogáz gyártás legfejlettebb módszere. Az átfolyó tartály kiegészítésül lefedtek (fóliasátorral, vagy szilárd földemmel) a korábban nyitott trágyát tároló tartályt, hogy az aerob bomlási folyamatok során ne lépjen fel nitrogénvesztés és még több gáz keletkezzen. (Schulz és Eder, 2005.)

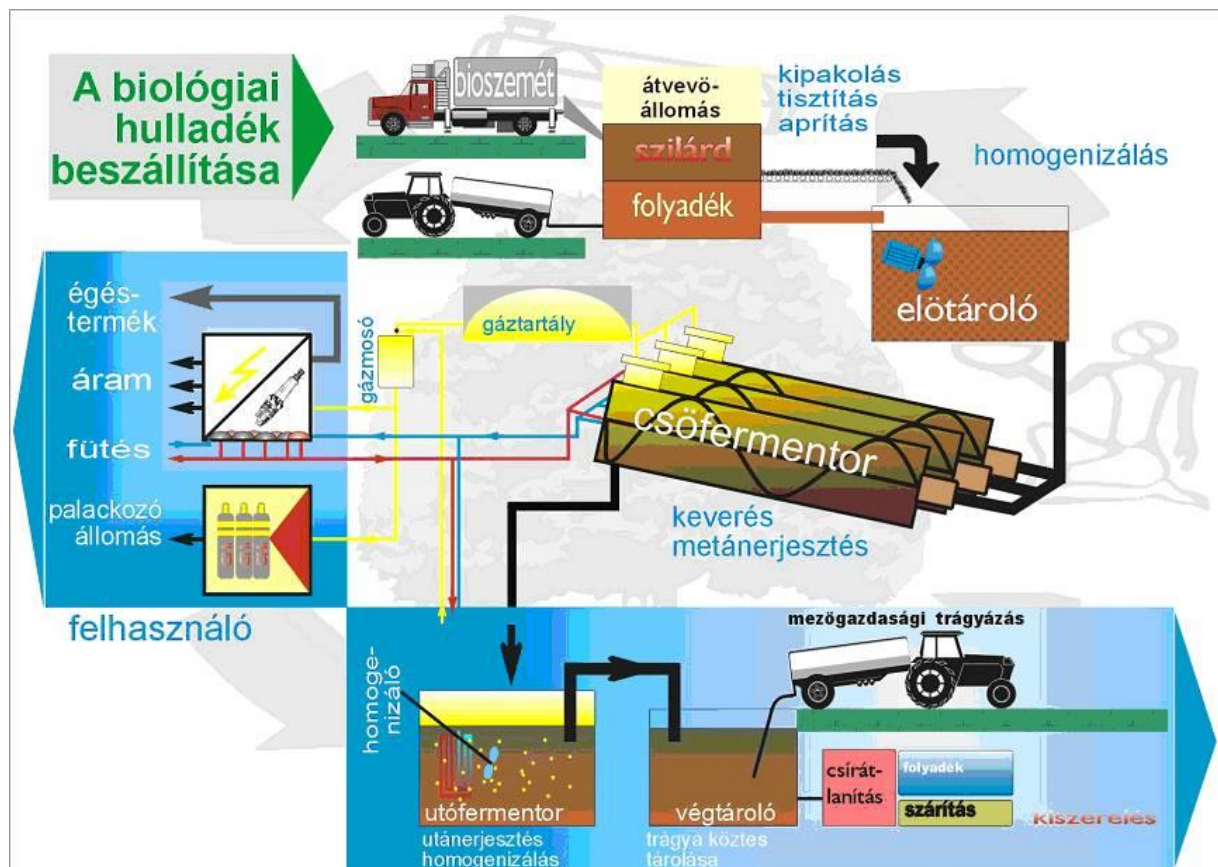
Az erjesztő szerkezetek kivitelezési formáját tekintve is többféle típus lehetséges, ezeket mutatja be a **44. táblázat**.

44. táblázat: A biogáz reaktorok kivitelezési formái (Forrás: Barótfi, 2000.; Olessák és Szabó, 1984.)

A felosztás elve	változatok		
	I.	II.	III.
Telepítés	Felszín feletti fekvő tankos	Földbe süllyesztett állótankos	
Reaktor anyaga	betonkádás	acéltartályos	műanyag tankos
Keverési mód	mechanikus	szivattyús	csigás
Fűtési mód	35°C csőkiyós	55°C közvetlen gőzfűtés	köpenyűtés
Technológia elve	Egylépcsős nedves (0,5-1% sz.a.tart.)	Kétlépcsős szuszpenziós (5-15% sz.a.tart.)	félszáraz (15-24% sz.a.tart.)
Üzem mód	szakaszos	félfolyamatos	folyamatos

A biogáz technológiákat csoportosíthatjuk az alapján is hogy a fermentor berendezés *álló* vagy *fekvő helyzetű*.

Ausztriában egyre több helyen alkalmazzák (pl.: Schönkirchen, Hartberg) Friedrich Bauer találmányát, mely több 3-3,5 m átmérőjű, 7-10 cm vastag hőszigetelő anyaggal bevont, 26 m hosszú csőfermentort.



106. ábra: Csőfermentoros biogáz technológia (Donauer, 2005.)

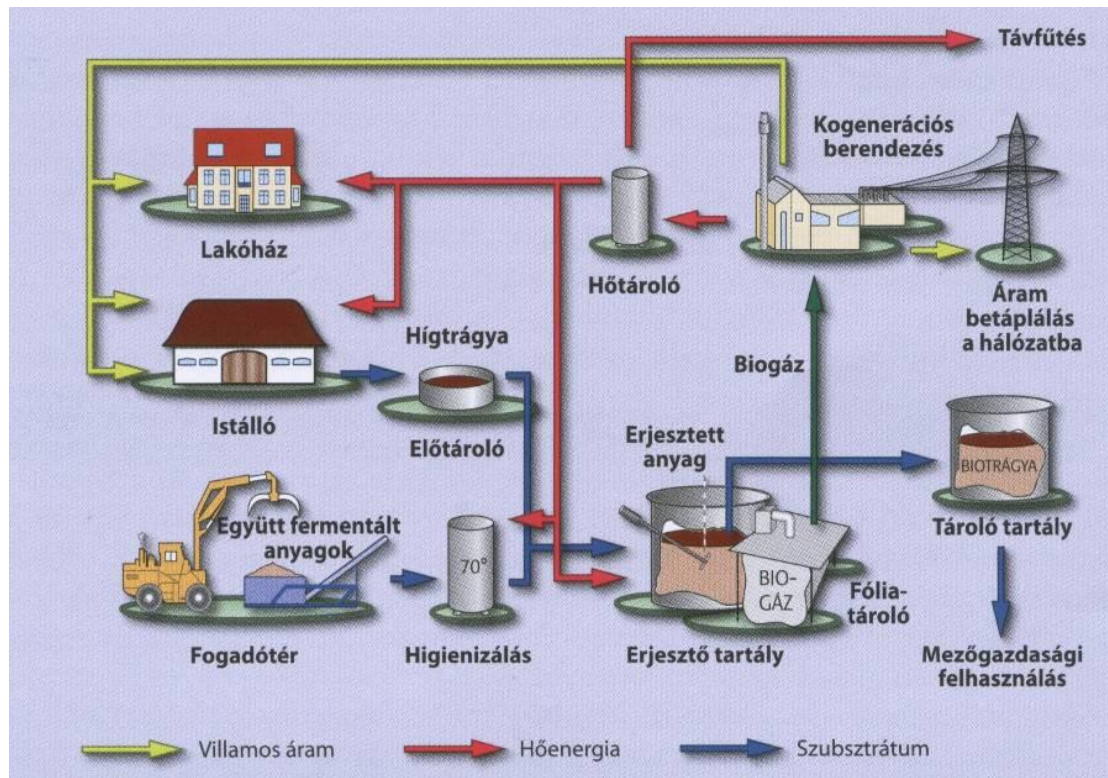
A tartályok 2-3 %-os emelkedéssel kerülnek beépítésre, annak érdekében, hogy a folyamatos keverés hatására előre meghatározott sebességgel haladjon bennük a kieresztendő nyersanyag és a keletkező gáz könnyebben elvezethető legyen. A keverést elektromotorral ellátott, fésűhöz hasonló kialakítású korongok végzik, melyek a tartály keresztmetszetében vertikálisan mozgathatók, így a tartály teljes térfogatában képesek a nyersanyag keverésére. A fermentorban a gázképződés ezáltal hatékonyabb és nyersanyag zsírtartalmú összetevőiből nem alakul ki felületi kéreg. A szerves hulladék mezofil körülmények között kb. 30 napig tartózkodik a tartályban. A tartályon töltő, lefejtő és mintavételi csomák is található. A biogáz mennyiségét indukciós gázmérővel mérik. (Donauer, 2005.)

A bemutatott eljárások tipikusak. Számos változatuk létezik azonban világszerte, melyek lényege, hogy a biomasszában rejlő energiát és tápanyagot minél hatékonyabban hasznosítsák. (Barta, 2002.)

Egy mezőgazdasági melléktermékekre épülő biogázüzemet mutat be a **107. ábra**.

A mezőgazdasági üzemekben folyékony és szilárd halmazállapotú anyag is felhasználásra kerül.

Az anyagok aprítása, hígítása, homogenizálása, ha szükséges higiénizálása a fermentorba juttatás előtt történik meg. Az üzem egy előtároló tartályból, egy vagy több fermentorból és egy utótárolóból áll. A fermentorban történik meg a szerves anyagok lebontása anaerob környezetben. A biogázt a felhasználás előtt tisztítják, tárolják, majd blokkfűtőműben elégetik így villamos energiát és hőt állítanak vele elő. A visszamaradó biotrágya mezőgazdasági felhasználásra kerül.



107. ábra: Egy biogáz üzem felépítése és a termelés folyamatábrája (Forrás: Fuchsz, 2006.)

10.6. A biogáz felhasználása

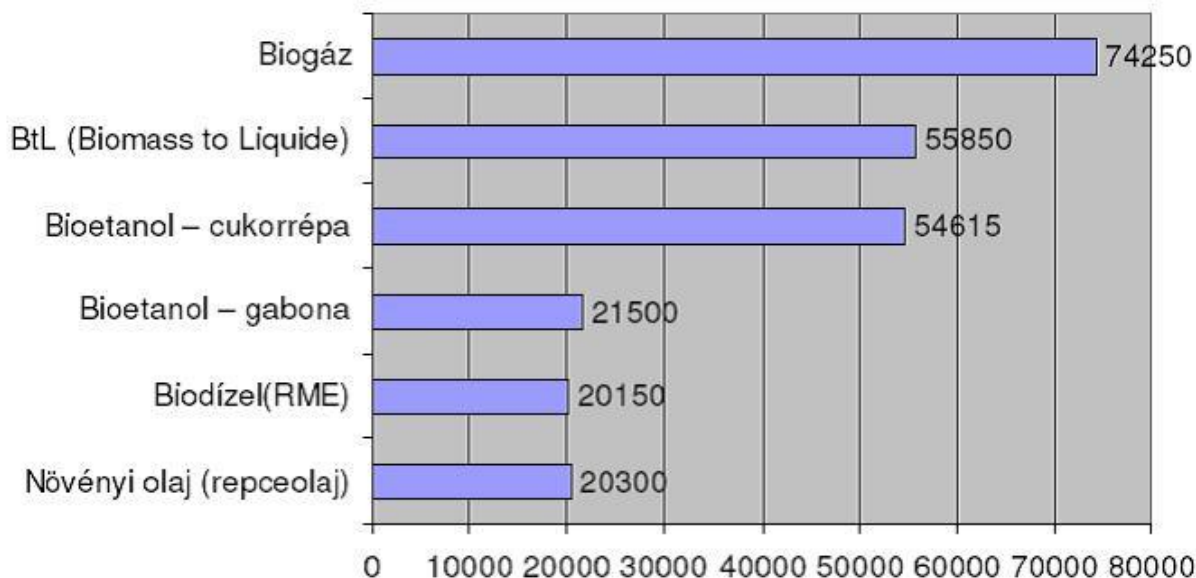
A biogáz hasznosításának számos lehetősége van. Magas energiatartalma miatt *elfáklázása* helyett indokoltabb felhasználása, értékesítése. A biogáz felhasználása történhet közvetlenül helyben *hő-előállításra*. A hő egy része a fermentorok fűtéséhez szükséges, ez éves szinten a megtermelt hőmennyiség 20-30 %-a. Az erőművek felesleges hőjét hasznosíthatja a mezőgazdasági üzemek, istállók, lakóépületek, kertészetek, szárítók fűtésére, nyáron az állattartó telepek hűtésére. Élelmiszeripari üzemek melegvíz igényét is kielégítheti egy biogáz üzem. Távhőfűtő-hálózatán keresztül az üzemtől távolabb fekvő épületek fűtése is megoldható. Szóba jöhet a *kapcsolt villamos áram-és hőenergia* tevékenység a hőigénynek biztosítására (pl. bioetanol gyártás), illetve helyben kombinált villamos- és hőenergia előállítására. Nem helyben történő felhasználás során a minőségi követelményeknek megfelelő biogáz *közvetlenül bevezethető az országos gázhálózatba*, vagy más csatornákon továbbértékesíthető pl. *motorok meghajtására* (traktor, tömegközlekedés stb.). (Fuchsz, 2006.) A biogáz felhasználható mikro-gázturbinákban és üzemanyagcellákban is. (Kazai, 2008.)

10.6.1. A biogáz mint motorhajtóanyag

A biogázt az Európai Parlament és a Tanács 2003/30/EK irányelve a bioüzemanyagok közé sorolja (Gögös és Bíró, 2009.). A bio-CNG (Compressed Natural Gas) 80% földgázt és 20% biogázt tartalmaz. Az Európai Unió 20%-ra való emelését tervezi az alternatív energiaforrások használatának 2020-ra, melynek 2/3 része fedezhető lenne CNG-vel. Egy hektáron előállított CNG 70000 km futásteljesítményt tesz lehetővé. (Kovács és Fuchsz, 2009.)

A benzinhoz képest a bio-CNG felhasználásával a klímareleváns CO₂ kibocsátás 45%-kal, NO_x kibocsátás 95%-kal, a finompor emisszió akár 100%-kal, a mikroszemcsék kibocsátását 80%-kal csökkenthető. A gépkocsi zajcsökkenés mértéke is figyelemre méltó bio-CNG használata esetén.

A biogáz az 1 ha-ra vetített, megtermelt üzemanyag mennyisége és a megtett km-ek tekintetében a legjobb mutatókkal rendelkezik, összehasonlítva a többi biomotorhajtóanyaggal. (Fuchsz, 2006.)



108. ábra: 1 ha alapanyagból nyert üzemanyagokkal megtehető kilométerek száma (Forrás: Fuchsz, 2006.)

Osztrák felmérések szerint a sűrített biogáz (CBG) termelés növelése esetén 780000-re lehetne növelni a bio-CNG-vel közlekedő gépkocsik számát Ausztriában. Így évente 1,5 millió tonnával kevesebb CO₂ kerülne a levegőbe. Ausztriában jelenleg 51 biogáz töltő állomás üzemel, 2010-re 200 db-ra szeretnék emelni ezt a mennyiséget. A nemrég megalakult „Bio-CNG platform” a bio -CNG üzemű gépjárművek számát 2013-ra 100000-re akarja emelni. (Bagi, 2009.; Pongrácz, 2007.)

A biogáz üzemanyagként történő alkalmazásában *Svédország* jár az élen. Svédországban 779 busz és 4500 személygépkocsi működik gázolaj/biogáz keverékkel.

Linköping – Västerвик között (80 km) évek óta közlekedik egy biogázzal működő motorvonat melyet két darab Volvo – gázmotorral üzemeltetnek. A működéséhez szükséges biogázt a helyi szennyvíztisztító telepen állítják elő. A vonat 54 személy szállítására alkalmas, 600 kilométert képes megtenni egy tankolással, és maximális sebessége: 130 km/h. [2.]

Svédországban a bioetanol és biogáz üzemű autók a nagyobb városokban ingyen parkolhatnak. Az újonnan vásárolt autók legalább 75%-ának környezetbarátnak kell lennie (2007). Svédországban 82 benzinkútnál tisztított biogáz tankolható, ez a szám várhatóan két éven belül megkétszereződik (Papp, 2008.), valamint 26 helyen található buszok feltöltésére alkalmas töltőállomás is. Az éves biogáz forgalom Nyugat-Svédországban 10 millió m³ felett van. Egyes svéd városok ösztönzésére indult meg a „Biogáz-városok” kezdeményezés, mely a nagyobb városok tiszta belvárosi levegőjének biztosítását próbálja elősegíteni.

Franciaországban Lille városában nemrég 28 új busz került forgalomba a már működő 52 gázbusz mellé. Valamint nagy sebességű gáztöltő állomás kerül megépítésre, ahol a buszok éjjel-nappal tankolhatnak gázt. A biogázt egy üzemben állítják elő, ahol szerves hulladék deponálása történik. [3.]

Magyarországon, Debrecenben a Mobilis program (2007-2008) keretein belül foglalkoznak a biogáz, mint üzemanyag hasznosításának lehetőségeivel. (Bai, 2008; Kormányos és Bai, 2008.) A biogáz üzemanyagként való alkalmazásának előnyit és elterjedésének gátló tényezőit a **45. táblázat** foglalja össze.

45. táblázat: A biogáz üzemanyagként való alkalmazásának előnyei és gátló tényezői

A biogáz üzemanyagként való alkalmazásának előnyei	A biogáz üzemanyag elterjedését gátló tényezők
<ul style="list-style-type: none"> ➤ A hagyományos üzemanyag tartalékok megőrzése ➤ Felhasználható alapanyagok széles köre ➤ Üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának csökkentése ➤ Folyamatos megújuló energiaforrás a szállítmányozási szektornak ➤ Helybeli energiagyártás, a helybeli gazdaság fellendülése ➤ Csökkentett import energiavásárlás, megnövelt energia biztonság 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ A magas beruházási költségek ➤ A tisztító berendezések drágák ➤ Az üzemanyag kutak kialakítása költséges ➤ Motorszerkezetek átalakítása szükséges ➤ Az állami szabályozás csak ezt az üzemanyagféleséget nem mentesítette a jövedéki adó fizetése alól ➤ Ezen a téren a vonatkozó törvények módosítását kellene elérni

10.6.2. A biogáz felhasználása tüzelőanyagként áram- és hőtermelésre

A vidék számára a biogáz e szegmense nyújthat lehetőséget. A kertészeti hasznosításban, a melegházak, üvegházak rendszereiben, az állattenyésztés területén az istálló fűtésében és más mezőgazdasági területeken is egyaránt jól hasznosítható a biogáz. (Gógös és Bíró, 2009.)

A nyers biogáz égetésével kapcsolatos műszaki szempontok értékelésénél a földgázüzemű berendezések és rendszerek adottságait kell figyelembe venni. A tüzelőberendezéseket szállító cégek is biogázégőként általában földgázüzemre kialakított berendezéseiknek a gáz összetételétől függően specializált változatát ajánlják. A fejlesztési feladatok, illetve a földgázüzemhez képest elérő megoldások az égők és a tüztér szerkezeti kialakításában a korróziós és eróziós hatásokat figyelembevételével jelentkezik. (Kapro, 2009. a) A gáz leggazdaságosabb felhasználását kazában történő elégetés biztosítja, mert így az elérhető hatásfok 80% körüli. (Kacz és Neményi, 1998.)

A biogáz-hasznosítás egyik kiforrott technológiája a gázmotorban való hasznosítás villamosenergia-előállítás céljából. Ha a gázmotor elsősorban villamos energiát, másodsorban fűtési energiát állít elő, akkor kogenerációs berendezésről beszélhetünk.

A gázmotor hasonló elven működik, mint bármelyik négyütemű gépjármű motor, csak az üzemanyaga földgáz, vagy biogáz. (Kalmár, 2009)

Két igen elterjedt típus van forgalomban: dieselmotor olaj-befecskendezéssel és Otto gázmotor. Az Otto gázmotorok drágák, de magasabb elektromos hatásfokkal rendelkeznek, mint a dieselmotorok olaj-befecskendezéssel, s működésükhöz fűtőolaj nem szükséges. A blokkfűtőerőművek vásárlásakor a lehető legnagyobb elektromos hatásfokra (jelenleg 30-40% motortípustól függően) kell törekedni.

Azokban az erőművekben, ahol a gáz minősége folyamatosan változik, a hosszabb motorélettartam érdekében érdemes elektronikus motorirányító és ellenőrző rendszereket alkalmazni. (Kovács, 2006.)

Egyes speciális eset, amikor a hőenergiát hűtési célra is használják, úgy hogy a rendszer kiegészítik egy abszorpciós hűtéssel, ekkor a rendszert trigenerációs berendezésnek nevezik. Ilyen rendszer található a Fővárosi Gázművek telephelyén. A gázmotorba bevezetett energia mennyiségéből gyártmánytól függően a megtermelt villamos energia 33-40%, a hőenergia 45-55%. A gázmotorok által termelt hő általában 90°C-os. Ez a hőmérséklet alkalmas használati melegvíz előállítására egész évben, télen fűtésre, de ipari és mezőgazdasági hőigényt is lehet vele fedezni. (Kalmár, 2009.)

10.6.3. A tisztítása és a földgázhálózatba való betáplálás lehetősége

A biogázt a földgázhálózatba táplálás előtt tisztítani kell. Három meghatározó komponens van, melyet a biogáz tisztításnál figyelembe kell venni.

A szén-dioxid a biogáz összetevői közül a második legnagyobb térfogat százalékban előforduló gáz (alapanyagtól függően 25-45%-ban is megjelenhet). A szén-dioxid csökkenti a fűtőértéket, növeli az energiafogyasztást, ezért ez az elsődleges tisztítási feladat.

A kénhidrogén csak kb. 1%-ban fordul elő a biogázban, de zavaró, mert csővezetékek, gépek korrózióját okozza.

A vízgőz pedig szintén korróziós problémákat vet fel és szintén csökkenti a fűtőértéket.

A biometán-előállítás legfontosabb része tehát a CO₂ tartalmának lehető legnagyobb mértékű leválasztása. Erre többféle technológia terjedt el világszerte.

A legszélesebb körben elterjedt gáztisztítási eljárás a *vizes mosás*. A módszer előnye, hogy nem csak kéntelenít, hanem az esetleges ammóniatartalmat is eltávolítja. A metándúsítása azon alapszik, hogy a CO₂ szénsavkeletkezés közben oldódik a vízben. Az eltávolítandó komponenseket nagy nyomás mellett fizikai abszorpcióval, hűtött vízzel egy mosótoronyban elnyeletik. Ezt követően egy külön toronyban regenerálják a mosófolyadékot. A mosóvízből levegővel hajtják ki a szennyező komponenseket, melyet a kénhidrogén miatt szagtalanítani kell. A gázt mosás után szárítják. A metánvesztesség kevesebb, mint 2%.

A *PSA-rendszerek* alapja egy aktív szén molekulaszűrő, mely az adszorpció során a szén-dioxidot előnyben részesíti a metánhoz képest. Az első lépésben a gáz átáramlik a molekulaszűrőn és magas parciális nyomáson a szén-dioxid a molekulaszűrő belső felületén adszorbeálódik. A metán átáramlik a molekulaszűrőn. A második lépcső a deszorpció, ahol alacsony nyomáson a molekulaszűrő regenerálódik. Ennek során a tartály nyomását egészen a vákuum határáig csökkentik így az adszorbeált molekula leválik a szűrőről. A rendszer előnye, hogy kicsi a metánvesztesség, hátránya, hogy magas nyomáson dolgozik, ezért villamosenergia-fogyasztása magas. A biometán ebből a rendszerből is viszonylag magas nyomáson lép ki.

Az *aminos mosás*, egy egyszerű kémiai mosási folyamat. A mosótorony tetején vezetik be az aminoldatot, ami ellenáramban találkozik a biogázzal. A mosási folyamat alacsony nyomáson valósul meg. A mosótorony tetején kiáramló biogáz földgáz minőségű. A torony alján összegyűlt folyadékot a regenerálás fázisába vezetik, mely magas hőmérsékleten, 140 °C-on valósul meg. A metánvesztesség minimális, a villamosenergia-felhasználás alacsony. A megfelelő nyomásra a biometánt csak fel kell komprimálni.

A *Siloxa* (polietilén-glikol-dimetiléter) *oldószer kompozíció*t alkalmazó gáztisztítás két lépcsőben valósul meg. Az első lépésben a biogázt kompresszorral 6 bar nyomáson szárítják, majd egy aktív szénszűrő tartályon vezetik át, ahol a kénhidrogént, ammóniát, halogéneket, sziloxán származékokat, valamint mechanikus szennyeződésekét leválasztják. Ezt követi a szén-dioxid eltávolítás, mely egy ellenáramú mosótoronyban történik. A toronyba az előtisztított biogázt alulról, a polietilén-glikol-dimetilétert felülről vezetik be. A mosótorony aljában összegyűlt széndioxidot egy másik toronyba vezetik, ahol megtörténik a deszorpció.

A *membránleválasztásos eljárások*nál a membrán a biogáz egyes alkotóelemeit teljes egészében átereszt, a metánt, nitrogént és oxigént viszont a tisztított gázban tartja. A rendszer magas nyomáson, kétlépcsős membrán szeparációval működik. A gázban kis mennyiségben jelenlévő komponensek eltávolítására külön technológiát kell alkalmazni.

A *kriogén technológia* lényege, hogy alacsony hőmérsékleten és magas nyomáson a biogázban lévő CO₂ folyékony halmazállapotba megy át, így le lehet választani a biogázból. A rendszer előtt egy kén-hidrogén leválasztó egység működik. A biogázt víztelenítik, majd optimális nyomásra komprimálják. Ezután következik a hőmérséklet csökkenés több lépésben -25, -50 és

-59 °C-ra. A szén-dioxid így folyékony halmazállapotba kerül kivezethető a rendszerből és hasznosítható. (Kovács et. al., 2009.)

A leválasztott szén-dioxid hasznosítására több lehetőség van. Ilyen a fóliák, növényházak kultúráinak szén-dioxid trágyázása, ezzel 15-40%-os terméstöbblet elérése lehetséges.

Üvegházakba óránként és alap m²-enként 6 g, fóliasátrakba 1,822 g CO₂ bejuttatásáról kell gondoskodni az optimális eredmény eléréséhez

Szén-dioxidból lehetőség van szárazjég előállítására is, melyet élelmiszer-ipari, ill. gyümölcs- és zöldségtároló hűtőházak stb. használhatnak fel.

A kén-hidrogén leválasztására alkalmasak még az aktív szén-szűrő, a fermentlébe adagolt vas-oxid-tartalmú porok és folyadékok és a fermentoron kívül használt szelektív adszorberek is alkalmazhatók. (Fuchsz, 2008.)

A legtöbb európai országban állítanak elő biogázt. A betáplálás feltételét jelentő gáztisztító és gázdúsító technológiák működnek Ausztriában, Dániában, Franciaországban, Németországban, Hollandiában, Svédországban és Svájcban.

EU szinten a 2003/55EC számú irányelv keretét a földgáztól eltérő eredetű és összetételű gázoknak földgáz vezetékbe történő betáplálását illetően. Általánosságban támogatja a biogáz-injektálási folyamatot, de a zöldgáz nem élvez prioritást. Nem tekinti ellátás biztonsági szempontból releváns tényezőnek. (Kapros, 2009.b)

A biogáz betáplálás magyar viszonyai

A Parlament 2008. június 9-én jóváhagyta a XL. számú földgázellátásról szóló törvényt. Az új szabályozás 2009. július 1-jén lépett érvénybe és teljes mértékben eleget tesz az EU földgáz direktívájának. A törvény értelmében már lehetővé válik a biogáz és biomasszából termelt gázok szolgáltatása is. A törvény úgy rendelkezett, hogy a mesterségesen előállított gázok, külön jogszabályban meghatározott feltételek mellett, valamint környezetvédelmi és műszaki-biztonsági szempontból megfelelő módon az együttműködő földgázrendszerbe juttathatók. A biometán a földgázhálózatba juttatható, ha megfelel az MSZ 1648, és ennek EU-s megfeleltetésével az MSZ ISO 13686 számú szabványban előírt követelményeknek. A földgáz minőségről szóló szabvány +/- 5%-os eltérést enged fűtőérték tekintetében, a gázelegy szennyezőanyag tartalma szilárd anyagra vonatkozólag 5 mg/m³, illó kéntartalomra vonatkozóan 100 mg/m³, H₂S-re 20 mg/m³, oxigéntartalomra max. 2 térfogatszázalék. A vízgőztartalom legfeljebb 0,17 g/m³ lehet. A minőségi követelmények elmulasztásáért a betápláló anyagi és kártérítési felelősséggel tartozik. Műszaki-technikai követelményként megemlíthető, hogy a betáplálónak olyan kompresszort kell alkalmazni, mely hálózatban lévő üzemnyomáshoz alkalmazkodik. Fontos kereskedelmi szempont, hogy a betáplálónak a földgázellátó-rendszer átadás-átvételi pontján mennyiségmérést kell biztosítani, a mennyiségeket jegyzőkönyvezni kell. (Molnár, 2009.)

10.7. A biotrágya

A fermentációs folyamat végterméke a biogáz mellett az úgynevezett biotrágya, vagy biohumusz. A maradékanyag minősége függ a betáplált alapanyag jellegétől, fajtájától, a biogáz termelő technológiától, a nedvességtartalomtól és a hőmérséklettől. (Olessák és Szabó, 1984.)

Az iszap szerves alkotórészeket és ásványi anyagokat tartalmaz, emellett találhatóak benne növekedést serkentő anyagok, nevezetesen szkatol- és indolszármazékok, C-vitamin, karotin, triptofán, tyrodin és fenol vegyületek is. (Kaltwasser, 1983.)

A fermentációs maradék kiválóan alkalmas műtrágya kiváltására, talajerőpótló készítményként, ami a folyamat gazdaságosságát jelentősen növeli. (Kovács, 2008.)

A biotrágya alkalmazása (a kedvező biológiai hatások eredményeképpen) a komposzthoz képest 50%-os, a műtrágyához képest 30%-os terméstopplettel járhat a szántóföldi növénytermesztésben. (Elek, 2008.)

10.8. Biogázüzemek helyzete hazánkban

A megújuló energiák hasznosítását célzó fejlesztéseket az EU támogatja, ezáltal itthon is hozzáférhetőek különböző pályázati források (EMVA- Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alapból, KEOP- Környezet és Energia Operatív Program).

Magyarországon két éven belül kb. 30 új biogáz üzem létesülhet a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium (FVM) által a nagy állattartó telepek korszerűsítésére kiírt pályázat eredményeképpen. A pályázók 40-70%-os támogatásban részesülhetnek a biogáz üzemek építéséhez. (Hulladéksors, 2008. 6. szám) Az EMVA forrásaiból 2008-ban megítélt támogatás felhasználásával az első biogáz üzemek lassan elkészülnek, ezek együttes villamosenergia-termelő kapacitása mintegy 15 MW. Tavaly már 5 biogáz üzem működött, ezek 36 ezer GWh villamos energiát állítottak elő

A nagy állattartó telepek korszerűsítésére kiírt pályázatok kétség kívül lendítettek a biogáz üzem építés nehézségein, problémák azonban még mindig jelentkeznek. A nehézséget a gyakorlatban az okozza, hogy a jól előkészített projekteknek van nagyobb esélyük a források elnyerésére, tehát a tervekkel, engedélyekkel rendelkező projektek nagyobb eséllyel kapnak támogatást. Ezek megszerzése viszont idő és költségigényes.

Rendelkezni kell:

- környezetvédelmi engedéllyel,
- építési engedéllyel,
- amennyiben villamos energia termelése a cél, úgy a kiserőmű hálózatra csatlakoztatásához szükséges engedélyekkel.

Az első fokon eljáró hatóságok további szakhatóságokat vonnak be eljárásukba, amelyek újabb és újabb feltételekhez kötik a hozzájárulásukat.

Mindezek megszerzése több mint egy évig is eltartó folyamat, és tízmilliós nagyságrendű kiadással jár. A magyarországi projektek nagyrészt azért akadoznak, mert ez az önerő a mezőgazdaságban csak ritkán áll rendelkezésre (tejtermelő ágazat visszaesése tapasztalható).

Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy Magyarországon még ma is újszerű technológiáról lévén szó, nincsen egységes és mindenhol egyformán alkalmazott menete az engedélyezési eljárásoknak.

46. táblázat: Hulladékalapú biogáz üzemek (Forrás: Hulladéksors 2008. IX. évfolyam 3. szám)

Cég	Beruházás (milliárd Ft)	Üzem teljesítménye (MW)
Nyírbátor (Bátortrade Kft.9)	2	2,5
Pálhalma (Agrospeciál kft.)	2,5	1,7
Kenderes-Bábolna (Agrener Kft)	1	1
Kaposvár (Magyar Cukor Zrt.)	1,7	-
Klárafalva	0,5	0,526
Talfája (Pilze-Nagy Kft)	-	0,33

Kevés olyan üzem van, mely a termelésben már bizonyított (**46. táblázat**). Ezek között van Nyírbátor, Pálhalma, Kenderes, Klárafalva, Kaposvár (Magyar Cukor Zrt.) Ezen üzemek mindegyike mezőgazdasági vagy feldolgozó hulladéokra épül, és jelentős hasznot hoz az adott társaságoknak. (Németh I. G., 2009.; Farkas K., 2008.)

Említést kell tenni azonban arról is, hogy amíg hulladéokra alapozott technológiák kisebb számban fordulnak elő, addig a szennyvíziszapra alapozott biogáz termelés szépen fejlődik hazánkban. (**47. táblázat**)

47. táblázat: Szennyvíziszapra épülő biogáz termelés (Forrás: Hulladéksors 2008. IX. évfolyam 3. szám)

Működő:

- Budaörs,
- Budapest (Dél-pesti Szennyvíztisztító, Dreher Sörgyár, Csepel- Központi szennyvíztisztító),
- Debrecen,
- Dunakeszi,
- Kazincbarcika,
- Kecskemét,
- Komló,
- Siófok,
- Székesfehérvár,
- Vác,
- Veszprém,
- Győr,
- Sopron,
- Szeged,
- Szombathely

Épülő:

- Budapest (Észak-pesti Szennyvíztisztító)



109. ábra: A nyírbátori biogáz üzem [4.]



110. ábra: A pálhalmi biogáz üzem [5.]



111. ábra: A kenderesi biogáz üzem [6.]



112. ábra: A kaposvári biogáz üzem [7.]



113. ábra: A klárafalvi biogáz üzem [8.]



114. ábra: A talfajai biogáz üzem [9.]

10.9. A biogáz hasznosítás helyzete külföldön

Az Európai Unió területén a biogáz üzemek igen elterjedtek. Jelenleg mintegy 6000 biogáz telep üzemel a néhány ezer tonna éves kapacitástól a több százezer tonna szerves hulladék ártalmatlanítására alkalmas telepekig. A biogáz termelésben vezető országok: Németország, Dánia. [10.]

Fontos megemlíteni azt a tényt, hogy a biogáz ipar azokban az országokban a legfejlettebb, ahol a gazdasági kormányzat támogatja a megújuló energiahordozók felhasználását és a környezetvédelmet.

Németországban több mint 4000 biogáz üzemben működnek, és átlagosan 7500 üzemórával rendelkeznek, 11 millió kilowatt-órányi energiát termelt, és ezzel több, mint 3 millió háztartás energiaszükségletét fedezték. Németországban 2000-ben beindított biogáz üzemek átlagos mérete 70 kW volt, a 2002-ben átadott üzemeké már 330 kW. (Fuchsz, 2006.) Ezek a számok mutatják, hogy a német biogáz termelés fontos szerepet töltenek be az ország áramtermelésében. Ennek két oka is van. Egyrészt a biogáz termelés majdnem teljesen folyamatos eljárás. Másrészt Németországban a megújuló energiaforrások támogatása az áramtermelésre koncentrál. Ennek megfelelően a biogáz üzemek bevételük túlnyomó részét az államilag garantált betáplálási tarifákból szerzik. [11., 12.]

Lengyelországban ezzel szemben mindeddig csupán igen csekély számú biogáz üzem működik. Ezen a helyzeten kívánnak egy új, a Gazdasági Minisztérium által kidolgozott program segítségével változtatni. Ez a program azt célozza meg, hogy 2020-ig minden településen épüljön biogáz üzem.

Ezek a beruházások javítani fogják az energiaellátás biztonságát, a lakosság előtt megnyitják az olcsóbb energiához való hozzáférést, illetve a biogáz üzemekből származó megerjesztett és higienizált szubsztrátumok jobb és veszélytelenebb vetőföldi trágyaként való értékesítésének lehetőségét. [11.]



115. ábra: Biogáz üzem Németországban(Forrás: Kovács és Fuchsz, 2007.)

Hasonló fejlődés látható Ausztriában is, ahol 2004 év végén 175, 2007-ben már 350 mezőgazdasági üzem működött. [13].



116. ábra: Biogáz üzem Ausztriában(Forrás: Kovács és Fuchsz, 2007.)

Dániában 2000-re a 90-es évektől kezdve megduplázták az ország biogáz termelését, annak köszönhetően, hogy bevezették a „zöld” áram rendszert, ami azt jelenti, hogy a megújuló energiaforrásból előállított áramot az áramszolgáltató a szokásos árnál magasabb összegért veszi meg.



117. ábra: Biogáz üzem Dániában (Forrás: Kovács és Fuchsz, 2007.)

Olaszországban elsősorban a szarvasmarhákban különösen gazdag területeken, Milánó környékén találhatóak biogázérintők, ám sokkal inkább a szennyvíz tisztítását szolgálják, mintsem a trágyakezelést.

Az egyes európai országok aktuális helyzetét egy összefoglaló elemzés „Anaerobic digestion: Making energy and solving modern waste problems” részletesen kifejti. (Ortenbland, 2000.) Angliában és Franciaországban alig találni mezőgazdasági biogáz üzemeket, viszont fejlett a depóniagáz és szennyvíziszap hasznosítás. (Fuchsz, 2006.)

Az USA-ban, 2009. januárban szenátorok egy csoportja olyan törvényjavaslatot nyújtott be, amely adókedvezményt helyez kilátásba biogáz-termelők számára. Az adókedvezmény mértéke 4,27 USD/millió BTU lenne. A javaslat indoklása szerint az elsődleges cél a munkahelyteremtés, a környezetvédelem (CO₂ és metánkibocsátás csökkentése), és a vidék számára alternatív jövedelemszerzési lehetőségek teremtése. A Mezőgazdasági Minisztérium (USDA) szerint az USA-ban évente 1,37 Mrd tonna állati hulladék keletkezik. Az Energiaügyi Minisztérium szerint, amennyiben ennek a felét biogáz-célra felhasználnák, a teljes amerikai földgázfelhasználás 5 %-át kiváltaná, és a CO₂ kibocsátást 45-50 millió tonnával csökkentené. [14.]

11. A fahulladék, a fahulladékok égetése (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea)

Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

Magyarországon az összes élőfa-készlet mintegy 330 millió m³, az erdőkből évente az erdőtörvény alapján maximálisan 9 millió m³ lenne kitermelhető, melyből mintegy 7 millió m³ ténylegesen kitermelésre kerül. Ebből a faipari és az exportmennyiség levonása után elvileg a következő mennyiségek maradnak évente energetikai célokra (Barkóczy - Marosvölgyi, 2007 adatai alapján):

- vágástéri apadék: 1,4 millió m³ (kérdéses, ki fogja ténylegesen betakarítani);
- faipari melléktermékek: 0,5 millió m³ (kérdéses, hogy tűzifa vagy rostfa lesz-e belőle);
- kitermelési tartalék: 2 millió m³;
- tűzifa: 1,8 millió m³.

Biztosan tehát 3,8 millió m³ energiafát tud adni az erdő évente a fogyasztóknak.

A vágástéri apadék egy részét esetleg összegyűjti a lakosság, a faipari melléktermékek egy részét valószínűleg kisebb-nagyobb, főleg mezőgazdaságban tevékenykedő vállalkozások használják majd fel.

Az energiafa iránti keresletet (az előzőekben már említett faiparon és az exportkereskedőkön kívül) a következő fogyasztók határozzák meg:

- lakosság;
- mezőgazdasági vállalkozások;
- kommunális fogyasztók;
- bio-hőerőművek. (Bai et. Sipos, 2007).

Az 1000-1100 PJ/év éves országos primer energiahordozó igényen belül jelenleg a megújuló részaránya mintegy 5-6 %, ami túlnyomó többségében biomassza. Felmérve a hazai lehetőségeket a **potenciális** éves energiahozam az alábbiak szerint becsülhető:

- dendromassza: 56- 63 PJ/év;
- növényi fő- és melléktermékek: 74-108 PJ/év;
- másodlagos biomasszák: 19- 23 PJ/év;
- harmadlagos biomasszák: 54-134 PJ/év;
- összes biomassza: 203-328 PJ/év.

Figyelembe véve a különféle technikai és gazdasági korlátokat, tíz éven belül a tényleges hasznosítás elérheti a 180-190 PJ/év szintet, ami az összes energiaigény 17-18 %-ának felel meg (Marosvölgyi, 2002).

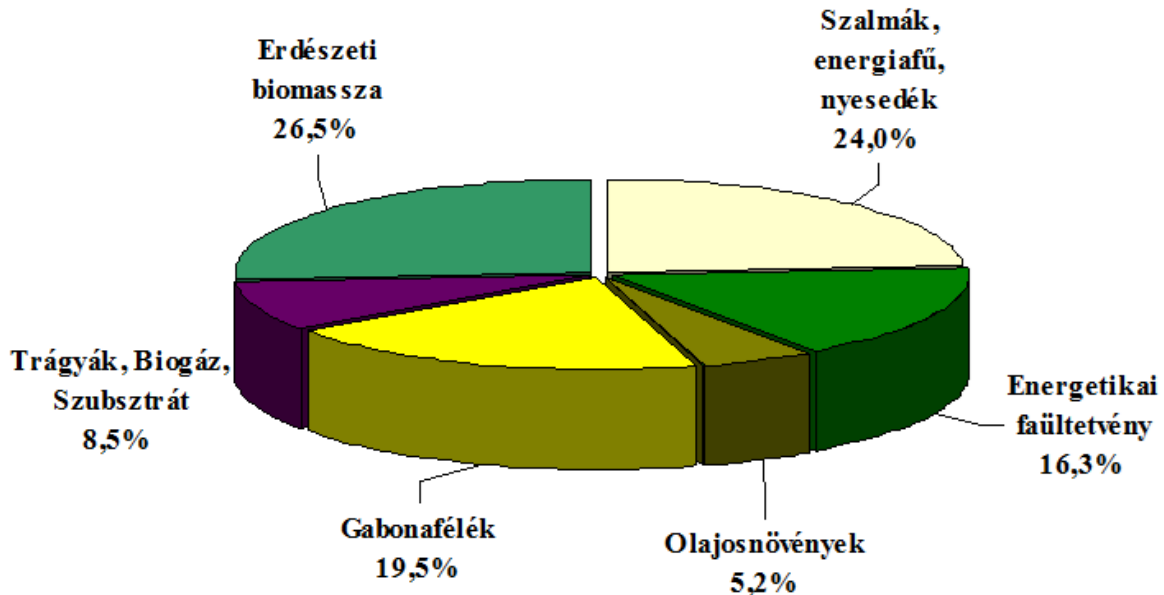
Magyarország teljes biomassza készletét 350-360 millió tonnára becsülik, ebből 105 110 millió tonna elsődleges biomassza, mely évente újratermelődik, ennek nagy része felhasználásra is kerül. Az évente képződő növényi biomassza bruttó energiatartalma 1185 PJ, amely meghaladja az ország teljes éves energiafelhasználását. A hazai növénytermelés és erdőgazdálkodás a befektetett összenergia 4-5-szörösét termeli meg biomasszaként, azaz ennyi az energiahatékonysági mutatója.

A magyarországi energiafelhasználásnak jelenleg mindössze 3,2-3,6 %-át (34-38 PJ/év) adják a megújuló energiák, ebből a növényi eredetű biomassza mintegy 2,8 %-ot tesz ki, amelynek a túlnyomó részét az erdeinkből kitermelt tűzifa adja. Az egyik legjelentősebb bioenergia forrás az energetikai faültetvény (melyet a mezőgazdasági ültetvénygazdálkodási művelési ágba sorolnak). Ültetvényekkel viszonylag gyorsan és nagy mennyiségben állítható elő energetikai célra dendromassza.

Az egyes fafajokkal végzett tartamkísérletek alapján 11-20 t/ha/év hozamok érhetők el, amelyből 185-330 GJ/ha energia állítható elő. A közeljövőben az energetikai faültetvények

területének gyors növekedésével számolunk, amely elérheti, sőt meghaladhatja a 100 ezer hektárt is, amelyből 25-30 PJ energia is előállítható.

A magyarországi mezőgazdasági eredetű energetikai célú biomassza potenciálról és hasznosítási lehetőségeiről a **118. ábra** ad tájékoztatást.



118. ábra: A mezőgazdasági eredetű energetikai célú biomassza potenciál és hasznosítási lehetőségei Magyarországon (Hajdú)

11.1. Energetikai célra termesztendő növények

Az energiatermelésre számításba vehető növények száma szinte korlátlan, hiszen lignincellulózként mindegyik alkalmas a környezetbarát energiatermelésre, a napenergia megkötése révén a zárt CO₂-körforgalom előnyeinek megjelenése mellett. A választás legfontosabb szempontjai a következők:

- többféle termesztési technológia megvalósítása váljon lehetővé;
- egy-egy, már jól kialakult nemzetgazdasági ágazat technológiai és műszaki megoldásai legyenek hasznosíthatók;
- legyen megoldás az intenzív és az extenzív termesztési és hasznosítási technológiák alkalmazására;
- a lehető legkülönbözőbb termőhelyi viszonyokra lehessen választani közülük.

11.1.1. Lágyszárú növények

Jellemzőjük a hektáronkénti igen nagy növény (hajtás)-szám, a viszonylag kis növénymagasság, a mezőgazdaságban kialakult technológiák-, és a kialakult műszaki megoldások alkalmazhatósága. Ezen növények és technológiák alkalmazásának nagy előnye az, hogy a mezőgazdaságban alapvető műszaki-technológiai változtatásokra nincs, vagy alig van szükség, viszont a megtermelt biomassza évenkénti betakarítása, illetve a növények életciklusa miatt a betakarítások száma nagy és nem halasztható. A jövőbeni biomassza-energiahordozók között a legfontosabbak:

Egynyári növények:

- repce (*Raphanus sativus*);
- rostkender (*Cannabis sativa* L.);
- triticales.

Évelő növények:

- magyar árva rozsnok (*Bromus inermis* Leyss);
- pántlikafű (*Baldingerea arundinacea* L.);
- miscanthus (Bai et. al., 2002).

11.1.2. Fás energetikai ültetvények

A faültetvények jó termőképességű területeken létesülnek, melyen mezőgazdasági tevékenység folyhat, de a mezőgazdasági termény iránt a kereslet hiányzik, vagy a termelés biztonsága kicsi, ezért a terület szántóföldi hasznosításból kikerült, és rajta gazdaságos dendromassza-termelés folyhat. Az energetikai faültetvényeken célültetvények, rajtuk viszonylag gyorsan és nagy mennyiségű dendromasszát kívánunk természetesen energiatermelés céljából. A fás növények a lágyszárúakhoz hasonlóan lignocellulózok, de évelők, és a föld feletti részek nőnek tovább minden évben.

Az energetikai célú fatermesztésnél cél az, hogy bármilyen termőhelyen lehessen dendromasszát termelni, ezért a nagyhozamu fafajok között keressük az adott termőhelyen legnagyobb hozamot elérőket. Ezek közül a legfontosabbak:

- akác (*Robina* sp.);
- fűz (*Salix* sp.);
- nemesnyárok (*Populus* sp.).

Technológiai osztályozás szerint *újraterelítési és sarjzattatási* üzemmódú energetikai faültetvényt létesíthetünk.

Az *újraterelítési* technológiához minden gyorsan növekvő és nagy hozamú fafaj megfelel, amely fiatal korban intenzív növekedést mutat. Csak az a fontos, hogy a fák viszonylag kis terjedelmű gyökérzetet hozzanak létre (melyek később könnyen kiszánthatók), és a kis növekvő tér mellett fiatal korban nagy hozamot produkáljanak. Az ültetvényt a talaj-előkészítést követően az adott termőhelyi viszonyok között legnagyobb tömeget adó fafajjal, a hagyományosnál nagyobb tőszámmal (5-8 ezer tő/ha) telepítjük.

Az *újraterelítési* technológiában egy telepítésre egy betakarítás jut. Az ültetvény élettartama kb. 8-15 év. Ekkor az ültetvényt tarvágással kitermeljük, és egységes választékká készítjük el. A végvágást követően talaj-előkészítést végzünk, majd ismét telepítésre kerül sor. A technológia előnye, hogy bármely fafaj alkalmazható. Hátránya az, hogy drága a szaporítóanyag és minden betakarítás után teljes talaj-előkészítést kell végezni.

A *sarjzattatási* üzemmód esetében a jó sarjadó képesség, az intenzív növekedés, a fiatal korban nagy hozam, a viszonylag homogén állománynövekedés (közel azonos faátmérők és famagasságok) és a gyökérből sarjadás a fafajokkal szemben támasztott igény. Ebben a technológiában egy telepítésre 5-6 betakarítás jut. Az ültetvényt nagy tőszámmal (13000-15000 tő/ha) telepítjük. A levágott állomány a visszamaradó tövekről ismételtén kisarjad. A legnagyobb összprodukciót ezzel az eljárással érhetjük el.

A vágásforduló hossza, illetve a termesztési időtartam alapján az energetikai faültetvény lehet: mini (1-4 év), rövid (11-15 év), közepes (16-19 év), hosszú (20-25 év). Gazdasági és gépesítési szempontokból a 4 (5) éves vágásforduló tűnik a leghatékosabbnak. Általános szabály: minél nagyobb a hektáronkénti törzsszám, illetve minél kisebb a növekvő tér, annál rövidebb ideig

tartható fenn az energetikai faültetvény, illetve annál rövidebb a vágásforduló, vagyis a vágásérettség. Az ültetvény élettartamát a következő tényezők befolyásolják:

- a talaj adottságai (minél termékenyebb, annál hosszabb az élettartam; a gyengébb termőhelyeken azonban a fatermés kulminációja később következik be);
- a talajművelés és az ápolás (minél gondosabb, annál hosszabb az élettartam);
- az ültetvény sűrűsége (minél kisebb a sűrűség, az élettartam annál hosszabb).

A vágásforduló megválasztása az alkalmazott üzemmódtól is függ. Sarjáztatásos (aprításos betakarítás) üzemmódban kezelt ültetvélynél általában rövidebb a rotáció, és „hosszúfás” (energiaerdő) esetén – közepes, vagy hosszú a vágásforduló. Az igen rövid vágásforduló (2-3 év) alkalmazása fatermési szempontból nem kedvező, mert a folyónövedék még nem éri el a maximumát (Veperdi et. al., 2005).

Magyarországon száraz és félszáraz területeken az akác, üde és félnedves területeken a nemes nyár klónok, vizes termőhelyen (árvíz, belvív) a fűzfélék vehetők számításba. Ezek a fafajok egymással nem versenyztetethetők, mindegyik a számára legmegfelelőbb termőhelyen mutatnak legnagyobb hozamot.

Az ültetvényekkel elérhető előnyök:

- környezetbarát energiahordozók és új ipari nyersanyagok termelése és hasznosítása;
- a napenergia megkötése, és költségmentes tárolása;
- a légkör CO₂ tartalmának stabilizálása, illetve csökkentése, az üvegházhatás mérséklése;
- a levegő minőségének javulása a fosszilis energiahordozók felhasználásakor jellemző kéndioxid, elégetlen szén-hidrogén, szénmonoxid, salak stb. kibocsátás csökkentése;
- talaj és vízvédelem;
- az élőhely minőségének javulása;
- a hagyományos mezőgazdasági hasznosításból kivont területek, racionális hasznosítása;
- a decentralizált energiatermelés alapjainak megteremtése;
- a helyi nyersanyagbázis hasznosítása;
- a helyi munkaerő foglalkoztatásának növelése;
- a hazai munkaerő és a honi előállítású termékek felhasználásával az energiatermelésben a hozzáadott-érték arányának növelése;
- az import energiahordozók felhasználásának csökkentése, az energiahordozó-import arányának csökkentésével az importfüggőség csökkentése;
- az energiaellátás biztonságának növelése;
- költségmegtakarítás stb. (Marosvölgyi, 2002).

11.2. Az energetikai ültetvényeken alkalmazott technológiák

Az energetikai ültetvények technológiái nagyon sokfélék lehetnek. Alapvetően minden energetikai ültetvény-gazdálkodásnál az alkalmazandó technológiát egyedileg kell megválasztani, hogy a helyi adottságokat is figyelembe véve a leggazdaságosabb technológiát tudjuk megválasztani.

Az alkalmazandó technológiákat:

- az ültetvény mérete;
- a területi adottságok;
- a rendelkezésre álló erő- és munkagépek;

- és a logisztikai befolyásoló tényezők határozzák meg (Barkóczy, 2009).

Az energetikai ültetvényeknek munkaműveletei:

- Ültetés;
- Művelési és ápolási munkák;
- Betakarítás.

11.3. Az apríték

Az apríték, mint szilárd energiahordozó szinte valamennyi lignocellulózból előállítható. Magyarországon jelenleg a fából előállított aprítéknak van nagyobb jelentősége, de hosszabb távon bővítendő az alapanyagbázis elsősorban a fás kertészeti- és szőlészeti nyesedékekből előállított aprítékkal.

Az aprítékot azért állítjuk elő, hogy a faanyag az energiatermelő berendezésbe könnyen betáplálható-, illetve a tüztérben jó hatásfokkal elégethető legyen.

Az aprítékot: részecskék legnagyobb mérete, a részecskeméreték halmazon belüli eloszlása, az aprítás fajlagos energiaigénye, a halmazsűrűség, a tároláshoz létrehozott prizma rézsűszöge jellemzik.

A részecskék legnagyobb mérete a betápláláshoz használt berendezések fajtáját, illetve a betáplálás energiaigényét befolyásolja (Marosvölgyi, 2002).

A méret alapján: finom, normál, durva, osztályozatlan aprítékot különböztetünk meg.

A finom apríték 0-10 mm hosszú, névleges méret 5 mm. Kis teljesítmény; tüzelőberendezésekhez, illetve csigás betápláló berendezésekhez, valamint brikettáláshoz állítják elő. A normál apríték 10 – 50 mm hosszúságú részecskékből áll. A névleges méret 25 mm. Nagyobb teljesítmény; tüzelőberendezésekhez, és megerősített csigás, valamint tolófejes betápláló berendezésekhez állítják elő. A durva apríték 25 – 100 mm hosszúságú részecskékből áll. A névleges méret 50 mm. Nagy tüzelőberendezésekhez, tolófejes betápláló szerkezetekhez állítják elő. Az osztályozatlan apríték 0-150 mm közötti részecskékből áll.

Az apríték tárolása közbenső tárolóhelyen fedetlenül, a felhasználó területén fedett, de oldalról szabadon szellőző területen történik.

Szabad téren (többnyire az aprítás helyén vagy annak közelében) a tárolás halomban történik. Célszerű minél nagyobb halmokat kialakítani, mert az apríték tárolás közben melegszik, maghőmérséklete eléri a 60-70°C-ot. A keletkező hő az apríték nedvességtartalmát jelentősen csökkenti. A természetes úton leszáradt apríték ($u = 20-25\%$) nem nedvesedik vissza, eső-hó is csak 40-50 cm rétegben nedvesít, a belső rész száraz marad. Kisebb halom (100 m³ alatt) száradási folyamatai kedvezőtlenebbek. Az apríték halomban kedvezőtlen folyamatok is végbe mehetnek. Ez elsősorban nagy betárolási nedvesség ($u = 55-50\%$) kis apríték méret és kis halomméret, valamint az alapanyag jelentős cukor-hemicellulóz tartalma esetén fordul elő. Ilyenkor jelentős lehet a penészesedés.

Az apríték tárolása aprítást követően apríték halomban történik, amely vagy az aprítás közbeni dobószállítás révén, vagy rakodógépek munkájának eredményeként jön létre. A halom biztonságos rézsűszöge 40-45°. Hosszabb tárolás esetén a részecskék filcelődése, illetve egyéb okok miatt a 90°-osrézsű is előfordul, de ennek állékonysága bizonytalan, és rakodás közben leomolhat, tehát balesetveszélyes.

Az előállított apríték kis berendezésekben 25-25 %, nagyobb berendezésekben 20-30%, ipari méret; berendezések esetében 25-40 % nedvességtartalom mellett ég jól. Ebből következik, hogy kis (háztartási) tüzelőberendezésekhez hosszabb tárolással vagy szárítással (ez utóbbi nem jellemző) készítjük elő az alapanyagot. Ipari méret; szárításra akkor kerül sor, ha brikettáláshoz,

vagy más speciális technológiához szükséges a kis- és állandó nedvességtartalmú apríték. Egy szárítóberendezés elvi elrendezését ábrán mutatjuk be (Marosvölgyi, 2002).

11.4. A faanyag energetikai hasznosítása előtt vizsgálandó paraméterek

A biomassza energetikai hasznosításának három szakaszát különböztetjük meg.

1. Az első szakasz a termesztés, amely során a biomassza létrejön.
2. A második szakasz tartalmazza a betakarítást, és azokat az előkészítő tevékenységeket, amelyek eredményeként a biomassza energetikai hasznosításra alkalmas állapotba jut
3. A harmadik szakasz a hasznosítás, amelyben az energiahordozó és a hasznosító illesztése történik meg, és amelyben a hasznosítás hatékonyságát, valamint a környezetre gyakorolt hatásokat (emissziók) vizsgáljuk. (Marosvölgyi, 2002.)

A faanyag vizsgálatokor különböző paraméterek vizsgálatát kell elvégezni melyek a következők.

11.4.1. Elemi összetétel

A kémiai összetételt a fában jelenlevő elemek minősége és mennyisége jellemzik.

48. táblázat: A fa elemi összetevői (Nussbauer, 1994)

<i>Elem</i>	<i>Mérték (m/m)</i>	<i>Érték</i>
<i>Carbon</i>	G/kg	450
<i>Hidrogén</i>	G/kg	60
<i>Oxigén</i>	G/kg	440
<i>Nitrogén</i>	mg/kg	900
<i>Kén</i>	mg/kg	120
<i>Klór</i>	mg/kg	< 0,01
<i>Kadmium</i>	mg/kg	0,11
<i>Cink</i>	mg/kg	14,57
<i>Réz</i>	mg/kg	1,3
<i>Fluór</i>	mg/kg	< 0,01
<i>Ólom</i>	mg/kg	0,98
<i>Króm</i>	mg/kg	0,94

49. táblázat: Fontosabb növényi anyagok kémiai összetétele CHN analízissel mérve

<i>Anyag</i>	<i>Nyárfa</i>	<i>Akác</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Kendertörök</i>
C, %(m/m)	48,9	48,0	46,6	47,1
H, %(m/m)	6,4	6,8	6,8	6,0
N, %(m/m)	1,6	1,0	0,2	1,2
O, %(m/m)	43,2	47,2	46,5	45,7
Égőhő (kJ/kg)	17650	19830	17810	19340

Az 48. táblázat a faanyagok átlagos elemi összetételét tartalmazza, az 49. táblázat néhány fontosabb anyag elemi összetétele és égőhője szerepel.

11.4.2. Vegyi összetétel (cellulóz, lignin stb.)

A fában különböző funkciót ellátó morfológiai részek különíthetők el. A sejtfal anyaga három vegyületből áll: a vázanyagot képező makromolekuláris cellulózból, a kötőanyag szerepét betöltő aromás szerkezetű ligninből, valamint az ezekkel szoros összeköttetésben lévő hemicellulózból, vagy poliózokból. Ezen makromolekuláris komponensek mellett extraktanyagokat is találunk a faanyagban, mint kismolekulás vegyületeket. Osztályozásuk kémiai felépítésük alapján történhet: alkoholok, mono-, di és oligoszacharidok, alifás savak, fenolok (pl.: tanninok), terpének és származékaik (Németh, 1997.).

50. táblázat: A fontosabb fafajok vegyi összetétele (%) (Marosvölgyi, 2002; Németh,1998)

Sorszám	Fafaj	Pentozán	Cellulóz	Lignin	Egyéb	Égéshő (KJ/kg)
1.	Lucfenyő	11,30	57,84	28,29	2,57	19950-21100
2.	Erdeifenyő	11,02	54,25	26,35	8,38	-
3.	Bükk	24,86	53,46	22,46	0,78	19720-19910
4.	Nyír	27,07	45,30	19,56	8,07	-
5.	Nyár	23,75	47,16	18,24	10,85	18815-18855
6.	Cser	22,00	45,00	22,00	10,00	-

Az 50. táblázat bemutatott jellemzők ismerete azért szükséges, mert a fontos alkotók tulajdonságai nagymértékben eltérőek, és így jelentősen befolyásolják a gázosodási, égési, és tömörítés során a kötési folyamatokat. A vegyületek hő hatásra átalakulnak, és kigázosodási- valamint elgázosodási folyamatok mennek végbe, ezért a fát illó-, szilárd éghető és hamu százalékokkal is jellemezzük

11.4.3. Nedvességtartalom

A nedvességtartalom függ a fafajtól, a farész korától, a vegetációs időszaktól, a kitermelést követő tárolástól stb.

Nedvességtartalom (u %)

- élőnedves 40-47 %;
- természetes száradt 25-30%;
- légszáraz 15-20 %;
- szárított 9-12 %;
- abszolút száraz (ASZ) 0%. (Marosvölgyi, 2002.)

11.4.4. Fűtőérték, égéshő

Az égéshő az a hőmennyiség, amely a tüzelőanyag tömeg-, illetve térfogategységének tökéletes elégésekor szabadul fel.

A gyakorlatban inkább a fűtőérték fogalmát használják, amely az égéshőtől abban különbözik, hogy az égéstermékek víztartalma az égés után nem cseppfolyós, hanem gőz halmazállapotban van jelen, azaz az égéstermék hülésekor nem adja le a párolgáshőt. A fűtőérték tehát kisebb, vagy egyenlő az égéshővel. [16.]

A fa fűtőértéke:

Élőnedves állapotban: 7-10 MJ/kg

Abszolút száraz állapotban: 18-20 MJ/kg

Néhány melléktermék fűtőértékét tartalmazza az **51. táblázat**.

Az égetés során káros hatást kiváltó anyagok:

- Kén mennyisége minimális, elhanyagolható: kb. 0,02 %
- Klór, elhanyagolható: 0,01%
- Egyéb nehézfémek csak nyomokban találhatóak (Ivelics, 2006.)

51. táblázat: Néhány melléktermék fűtőértéke

<i>Megnevezés</i>	<i>A légszáraz melléktermék fűtőértéke GJ/t)</i>
Szalma	13,0-14,2
Kukoricaszár	10,5-12,5
Napraforgószár	8,0-10,0
Erdei apríték	12,0-14,5
Faipari hulladék	13,0-16,0
Szőlőnyesedék	10,5-12,5
Gyömolcsfanyesedék	10,0-11,0

11.4.5. Hamutartalom

A hamutartalom a biomassza elégetését követően visszamaradó ásványi eredetű anyagok összessége. A hamu mennyisége nagymértékben változik a kéreghányad, a termőhely és a fakitermelési technológiák okozta szennyeződés függvényében (Marosvölgyi, 2002.):

- Tiszta fa 0,2 – 0,5 %;
- Tiszta fakéreg 3,5 – 5 %;
- Vonszolva közelített fa kérge 6,0 –14 %;
- Keménylombos fa gallyanyaga 2,5 – 3,5 %;
- Nemesnyár ültetvény faanyaga 0,9 - 3,2%;
- Nemesnyár levél 9,8 –11,5% (Marosvölgyi, 2002.; Ivelics, 2006.).

A lombos fák hamutartalma magasabb, mint a fenyőké. A szijács több hamut tartalmaz, mint a geszt.

A faanyag hamujában kalcium (800-1000 ppm), kálium (200-1000 ppm), és magnézium (100-200 ppm) vegyületei találhatóak. A többi elem koncentrációja 50 ppm alatt van. A legfontosabb nyomelemek: Ba, Al, Fe, Zn, Cu, Ti, Pb, Ni, V, Co, Ag, Mo. (Németh, 1997.)

A fa hamujában található K, Si, tartalom alacsonyabb, Ca, Mg tartalom magasabb, mint a lágyszárú lignocellulózoké. Az utóbbiak a hamu olvadáspontját megemelik, ez előbbieket lecsökkenti. (Ivelics, 2006.)

Különösen fontosak a vizsgálatok azért, mert a biomasszák direkt tüzeléses energetikai hasznosításánál újabban:

- A káros füstgázelemek képződésének lehetőségeit (SO_x, HCl, PCDD, NO_x);
- A korróziót okozó emissziót (Al, Si, K, Na, Ca, Mg, Fe, P);
- Az aerosol emissziót (Ti, As, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, V, Zn) is vizsgálni kell.

A hamu Mg, Ca tartalma a hamu olvadáspontját is megemeli, a Si, K, Na tartalom pedig csökkenti. A lágyszárúak hamu olvadáspontja (600-800 °C) alacsonyabb, a fa hamu olvadáspontja magasabb (900-1100 °C) (Hein et Kaltschmidt, 2004)

52. táblázat: Nemesnyár klónok és a fűz néhány jelentősebb adata (Ivelics, 2006)

	Fafajta	N	C	S	H	O	Nedvesség-tartalom (%)	Hamu-tartalom (%)	HHV (MJ/kg)	HHV (MJ/asz kg)
Nemesnyár klónok- Királyegyháza	<i>Monviso</i>	1,43	48,79	0,16	5,26	38,70	2,66	3,00	19,537	19,604
	<i>Beaupre</i>	1,65	49,27	0,12	5,28	38,04	2,73	2,90	19,804	19,872
	<i>Raspalje</i>	1,59	49,36	0,12	5,35	38,33	2,75	2,50	19,671	19,740
	<i>BL</i>	1,56	48,67	0,32	5,22	38,57	2,55	3,10	19,810	19,877
	<i>AF2</i>	1,30	48,27	0,11	5,24	40,18	2,30	2,60	19,837	19,895
	<i>AF1</i>	1,58	48,04	0,17	5,14	39,03	3,04	3,00	19,537	19,613
Mátészalka	<i>Fűz</i>	1,02	47,51	0,08	5,30	42,61	1,68	1,80	19,910	20,408

Az 52. táblázat megállapítható, hogy a fűz fafaj fűtőértéke magasabb, hamutartalma viszont alacsonyabb, mint a nemesnyár fajtáké. Az „AF2” klón fűtőértéke a legnagyobb az egyes nemesnyár klónok között.

Mivel a fa elemi összetétele csak kis intervallumban változik, egyes fafajok égéshője nem különbözik nagymértékben egymástól. Magasabb a nagyobb lignintartalmú fák esetén pl.: fenyőfélések, és nagyobb szén és hidrogén arányú, nagy gyantatartalmú fák égéshője. Viszont a poliózokat nagyobb mennyiségben tartalmazó fák égéshője kisebb. (Németh, 1998) A fa energetikai sajátosságait tehát elsősorban kémiai összetétele, az égéshője, valamint nedvességtartalma határozza meg.

11.5. A faanyag energetikai átalakulása

A faanyag termikus átalakulását befolyásoló tényezők:

Belső tényezők:

- kémiai felépítés, főkomponensek jellege, egymással való kapcsolata;
- járulékos anyagok;
- víztartalom, nedvességtartalom;
- kezelés során bevitt szerves anyagok;
- faanyag anatómiai felépítése;
- fajlagos felülete;
- szemcsemérete.

Külső tényezők:

- Inert gázatmoszféra, vákuum a termikus bomlásfolyamatoknak kedvez;
- Oxigén jelenlétében az oxidációs reakciók a mérvadóak;
- Vízgőz, oxidatív és inert gázatmoszférában a hidrolitikus folyamatokat segíti elő (Németh, 1998).

A hő okozta változásokra az alkalmazott hőmérséklet, a hőhatás ideje, valamint a hőmérséklet-emelkedés sebessége van hatással.

A hőmérséklet-emelés sebessége, a hőmérséklet-időprofil is megváltoztathatja néhány jellemző átalakulás hőmérsékletküszöbét.

- **100 °C-ig** a fában lévő vízzel kapcsolatos folyamatok játszódnak le: fagyás, olvadás, szorpció, párolgás. Itt játszódnak le a hidrogénhidas kötésben bekövetkező változások. A fában lévő hemicellulóz üvegesedési hőmérséklete -10 °C körül, a

lignintől származó 60 °C körül van, igen erősen a nedvességtartalomtól és a meghatározási feltételektől. A vízvesztés nem azonos a korai és a késői pásztaban, de a sejtfal egyes rétegeiben is eltérő lehet. Jelentős az eltérés a géles szerkezetű részek, így a húzott és nyomott fa és a kristályos frakciót nagyobb mennyiségben tartalmazó anatómiai részek között. A víztartalom csökkenése pedig zsugorodással jár.

- **100-300 °C között** hasadnak fel a gyengébb kémiai kötések. Ennek hatására megnő az ecetsav mennyisége, mely a hemicellulóz frakcióból származik, nő az extraktanyagok és néhány szénhidrát mennyisége is. A járulékos alkotó részek ebben a tartományban oxidálódnak, megváltoztatva a fa színét. E hőmérsékleten már előtérbe kerülnek az egyes komponensek eltérő kémiai összetételéből adódó átalakulások.
- **230-400 °C** –on minden fakomponensben kémiai változások zajlanak le, gáz és gőz alakú termékek keletkeznek.
- **400 °C** felett szenesedési folyamatok játszódnak le, a teljes struktúra elbomlásával. A folyamat eredménye a faszén. A faszén szerkezetét az eredeti fa anatómiai felépítése határozza meg. A teljes oxidáció végén a hamualkotók maradnak vissza, oxidált, ill. szén-dioxiddal reagált formában.

A faanyag termikus degradációjában, illetve termikus oxidációjában a főszerepet a cellulóz tölti be mennyiségéből és kémiai változásokhoz kapcsolódó, jól definiált hőeffektusából adódóan. A polióz frakció hőre érzékenyebb, de szerepe a fa termikus hatásokra bekövetkező változásokra igen kicsi.

A lignin jelentősen befolyásolja a faanyag hő hatására bekövetkező változásait. A lignintartalom növekedésével a fa hővel szembeni ellenálló képessége nő. A nagy szénhozammal szenesülő lignin a faanyag hővezető képességét is csökkenti, ezzel is növeli a faanyag hőstabilitását.

A járulékos anyagok közül az aromás szerkezetűek, főleg a tanninok mérsékelt hőmérsékleten stabilizálják a fát hőhatás ellen. A terpének, a gyanták és olajok az ellentétesen viselkednek, a fa gyulladáspontját 30-40 %-kal lecsökkenthetik.

11.6. A biomassza égetése

A szilárd biomasszát közvetlen elégetéssel

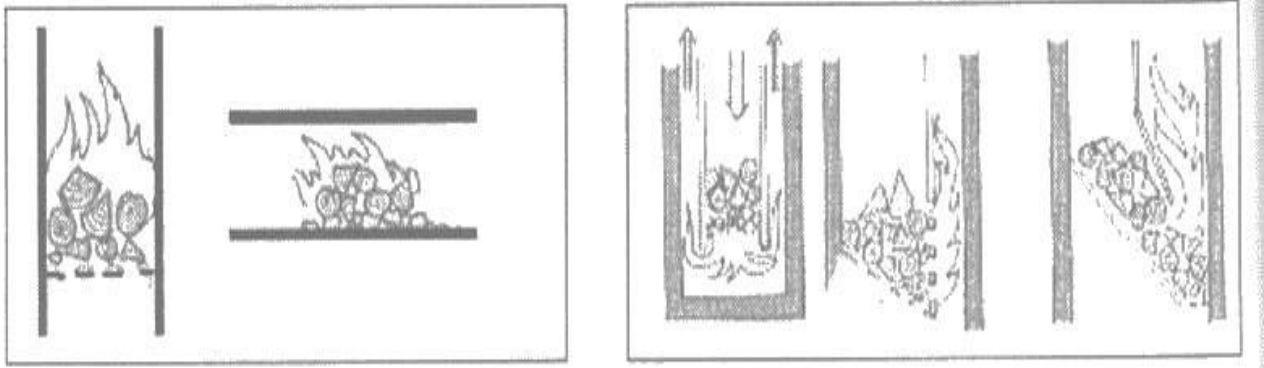
- A biomassza közvetlen tüztérbe juttatásával;
- Előkészítést követő elégetéssel (bála-, apríték-, biobrikett-, pellettüzelés);
- Termikus gázosítás lehet energiatermelésre használni.

A tüzelőberendezések lehetnek:

- A működési elv szerint: direkttüzelők, előtéttüzelők;
- A felhasználási terület szerint: egyedi hőtermelők, fűtőberendezések;
- A direkttüzelők főleg háztartási kistüzelők, úgymint
 - Kályhák: vaskályhák, cserépkályhák;
 - Kandallók: nyitott kandallók, kazettás kandallók, hőcserélős kandallók;
 - Kiskazánok: egyaknás, kétaknás, kombinált.

11.6.1. Kályhák

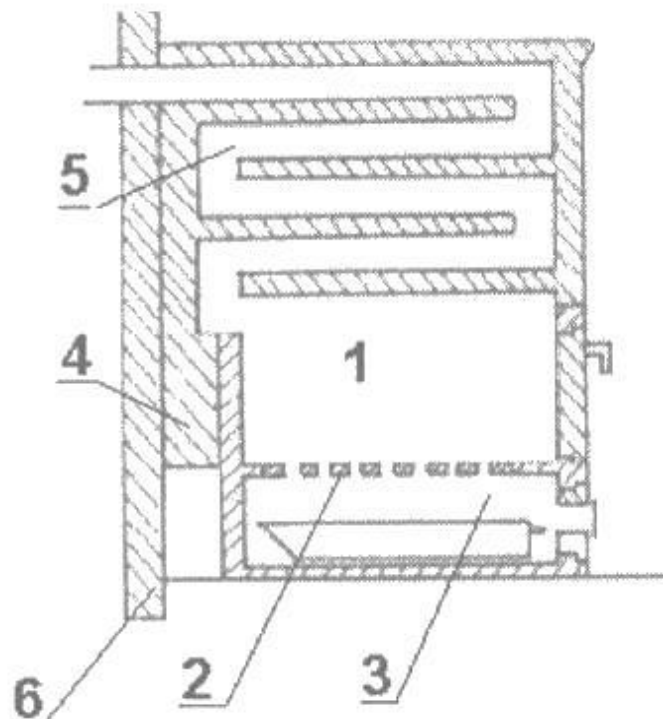
A kályhák egyszerű berendezések, ún. átégő tüztérűek (**119. ábra**). A parázság a tüzelőanyag levegővel érintkező részén jön létre, a felhevült füstgázok átáramlanak a tüzelőanyagon, azt hevítik és a tüzelőanyag átellenes oldalán égnek. A probléma, hogy sok elégetlen gáz távozik a füstgázzal. (Bai, 2002)



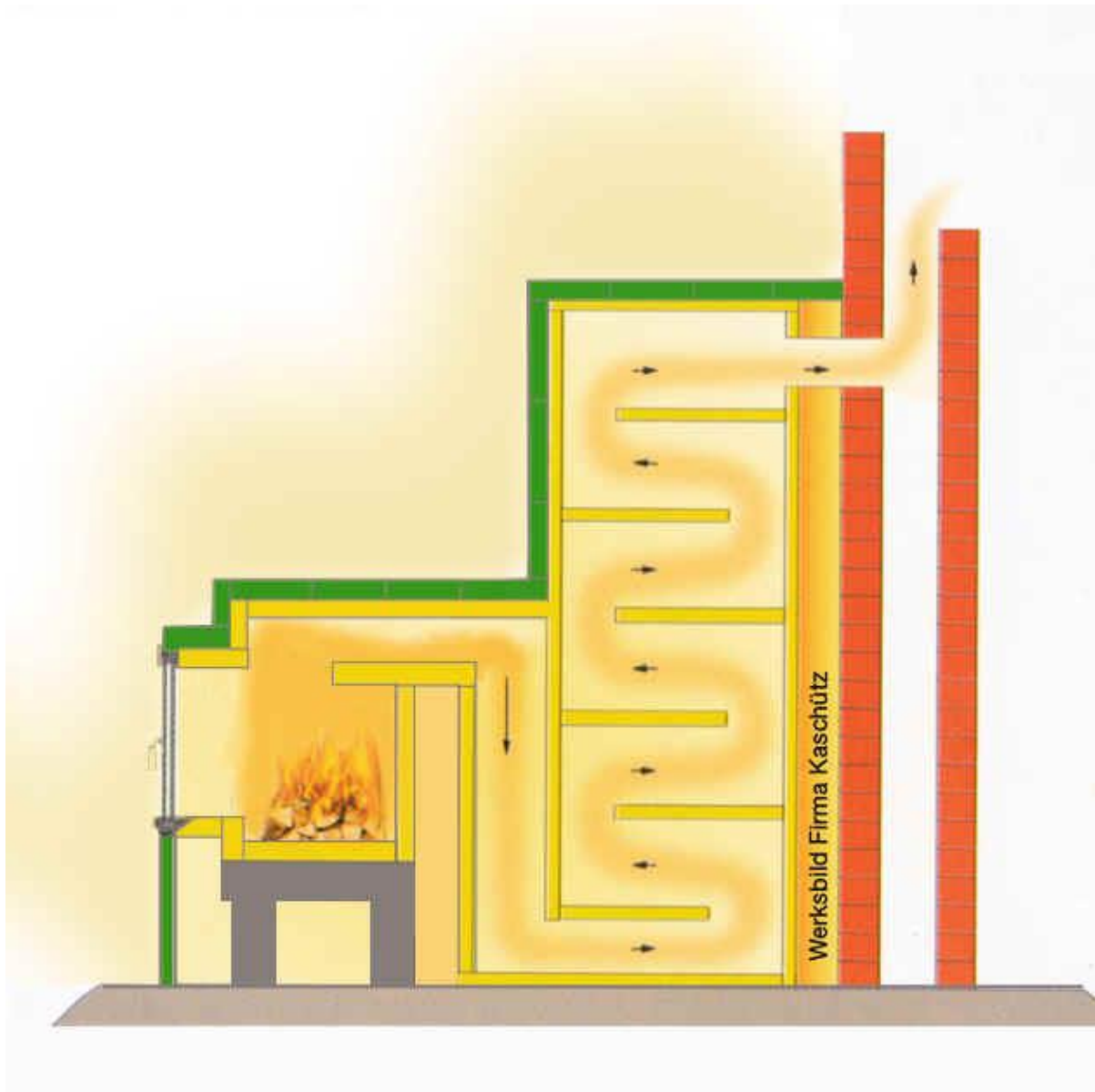
119. ábra: Átégő és oldalégő tüztér (Bai et al., 2002)

11.6.2. Cserépkályhák

A cserépkályhák nagy múltra tekintenek vissza, viszonylag jó hatásfokúak, nagyfokú hőtároló képességűek. Nagy tüztérű, elnyújtott, több fordítókamrás füstcsatornával épülő kerámiaszerkezet (**120. ábra**, **121. ábra**). A temperált hőmérséklet, hosszú idejű égést tesz lehetővé így a füstgázok összetétele kedvező. Legújabb változat: központi fűtésre alkalmas, a tüztérben öntöttvas hőcserélő került kialakításra. (Bai, 2002)



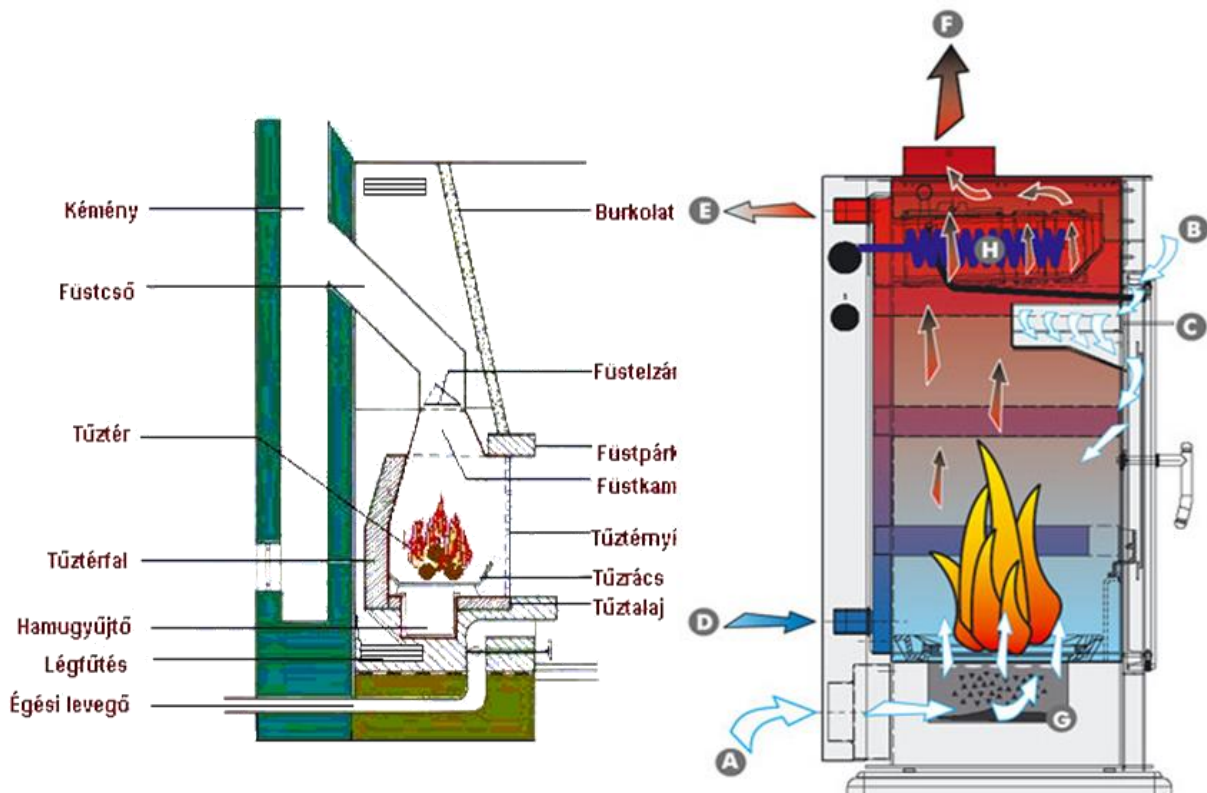
120. ábra: A cserépkályha felépítése (Bai et al., 2002) 1. tüztér, 2. rostély, 3. hamutér, 4. kerámia test, 5. hőcserélő labirint, 6. épületfalazat



121. ábra: A cserépkályha felépítése [16.]

11.6.3. Kandallók

A kandallók hasonlóak a cserépkályhához (122. ábra). Alapvető különbség: nagy tüztérnyílás miatt intenzíven sugárzó a fűtés. Komfortosság fokozása miatt kazettás kandallók kerültek kialakításra, ahol az égés egy hőálló üvegajtóval zárható, több nyíláson levegőztethető. (Bai, 2002)



122. ábra: Központi fűtéshez kazánként is használható kandalló metszete [17.] 1 tüztér, 2. primér levegő bevezetés, 3. füstcső, 4. kémény, 5. vizes hőcserélő

11.6.4. Darabosfa tüzelők (123. ábra)

Alkalmasak: tűzifa, kandallófa, darabos hulladék, fabrikett tüzelésére.

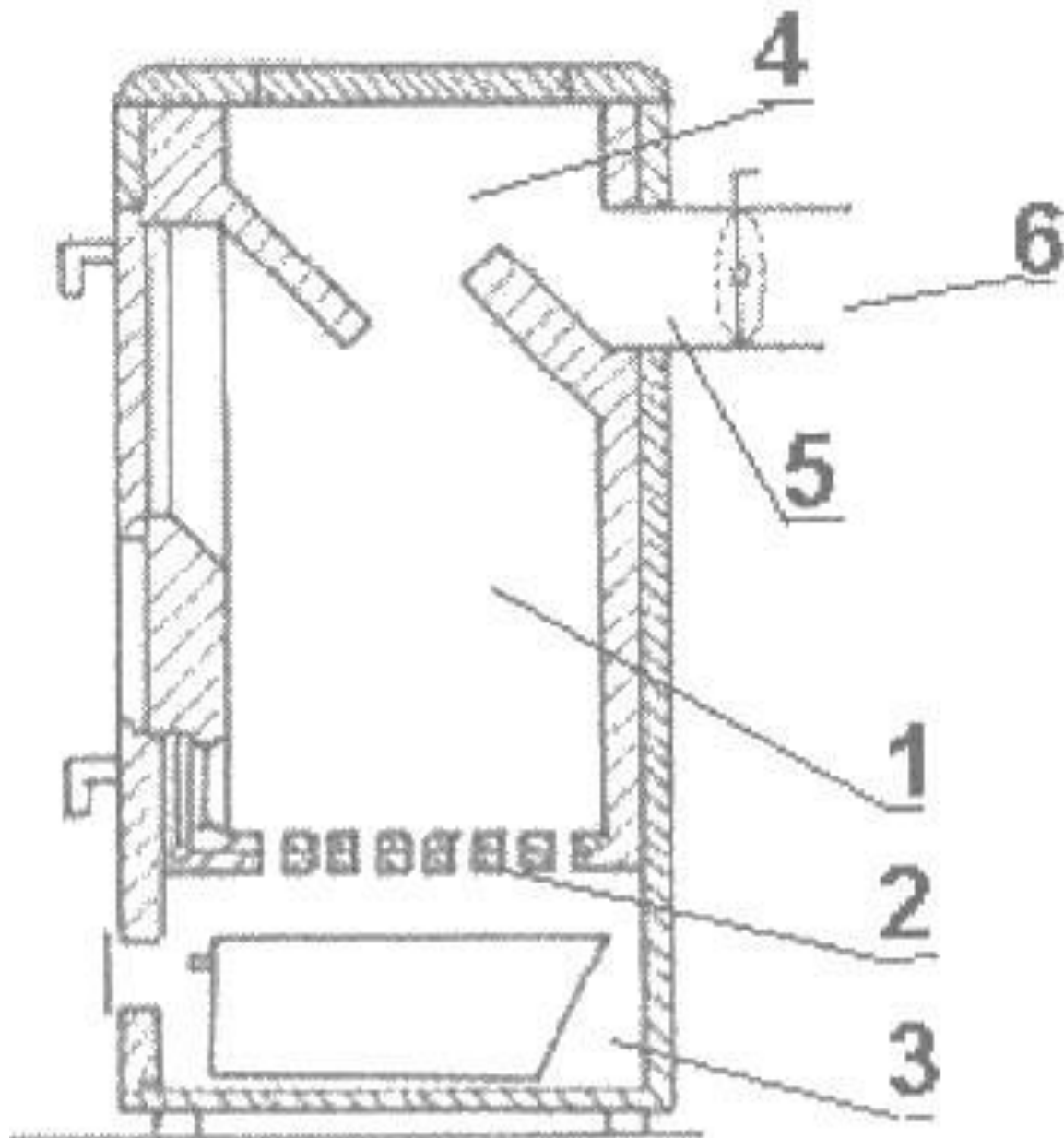
A tüzelőanyagot közvetlen a kétaknás tüztérbe, korszerűbb megoldásoknál az előégető térbe juttatják.

Kis teljesítmény ($P < 150$ kW) esetében a kézi, szakaszos töltésű berendezéseket, nagyobb teljesítmény ($P > 200$ kW) esetén álló- vagy mozgó-rostélyos, automatikus töltésű, folyamatos üzemű tüzelő berendezéseket használnak. Termikus hatásfok: 90%. Egy-vagy két aknás változatban találhatók.

Ma már hőcserélővel összeépített berendezésekben használják. Kis teljesítményű berendezésekben a hőhordozó közeg a víz, a hőcserélő pedig köpenyként veszi körül a tüztérrel. Újabb tüzelőberendezéseknél samott-vagy tűzálló betontéglákkal veszik körbe a tüztérrel ennek eredményeképpen jobb az emisszió, és jobb a hőcserélő, hőátadási viszonyok.

Nagyobb teljesítményű darabosfa tüzelőkben 0,5-1,2 m hosszú tűzifa is elégethető. A hasábfatüzelők utóégetővel épülnek.

A ki- és elgázosítás a rostély mentén megy végbe, a gázok teljes elégetése az utóégetőben történik ez lehetővé teszi nagy mennyiségű tüzelőanyag elégetését a tüztérben. (Bai, 2002)



123. ábra: Egy aknás darabosfa-tüzelő kályha metszete (Bai et al., 2002) 1. tűztér, 2. rostély, 3. hamuszekrény, 4. utóégető, 5. pillangószelep, 6. füstcsatorna csonk

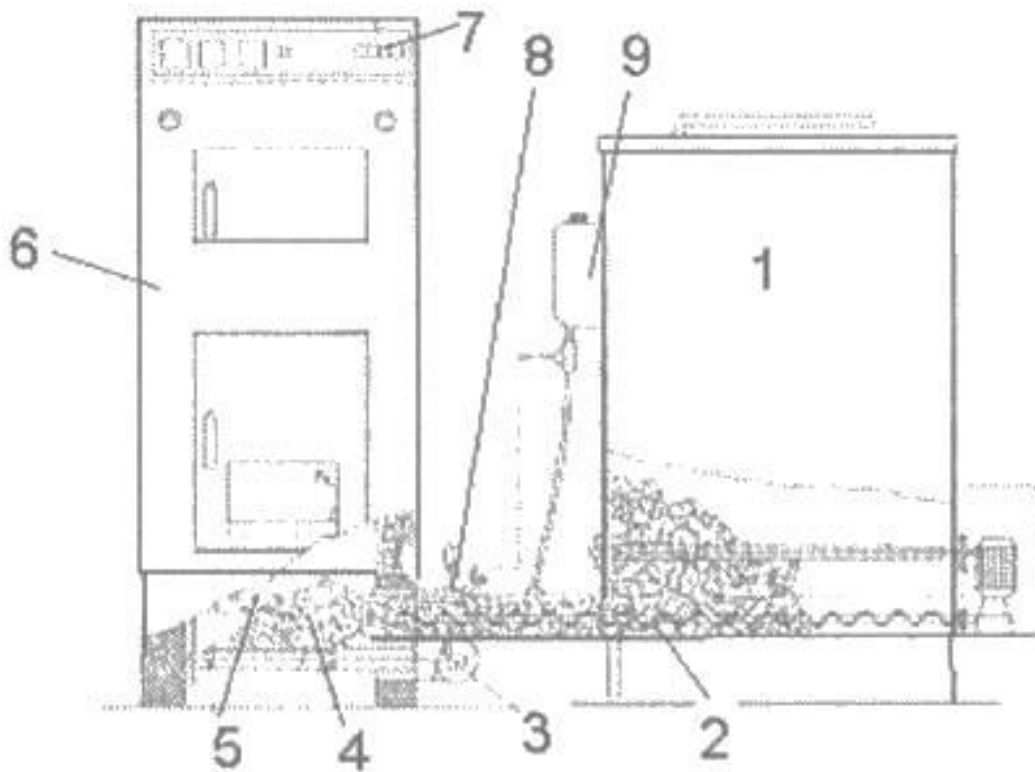
11.6.5. Aprítéktüzelő kiskazán (124. ábra)

A hő behatolás és a keletkező gázok kilépése apríték esetében intenzívebb.

Az apríték a szilárd biomassza aprításával előállított, az adott tüzelőberendezés igényeinek megfelelő méretű részecskékből álló energiahordozó.

Viszonylag egységes mérete miatt jól adagolható, kis méretei és nagy fajlagos felülete miatt gyorsan elgázosodik.

Ömlesztett anyagként kezelhető: tárolást követően, a tűztérbe juttatás gépesíthető, automatizálható.



124. ábra: Aprítéküzelő házi kiskazán elvi elrendezése (Bai et al., 2002) 1. aprítéktároló, 2. behordócsiga, etetőcsiga, 3. ventilátor a primer és szekunder levegő betáplálásához, 4. parázságy és primer levegő bevezetés a rostélyon, 5. szekunder-leve

11.6.6. Elgázosító kazánok

Az elgázosító kazánok tüztere osztott.

A rostély fölött primer levegő bevezetésével tökéletlen égéssel pirolízis gázokat állítanak elő, ezeket átvezetik az égőtérbe és ott megy végbe a magas hőmérsékletű tökéletes égés. A keletkező energiát hőhordozókkal (levegő, víz, gőz, termoolaj) vezetik el a hőhasznosítókhoz.

11.6.7. Aprítéküzelő nagyberendezések

Az aprítéküzelő nagyberendezések alkalmasak fűrészpor, forgács, apríték (leggyakrabban), energetikai tömörítvények égetésére. Méretét az etetőberendezés és a tüztér mérete határozza meg.

Három alaps megoldás létezik (125. ábra):

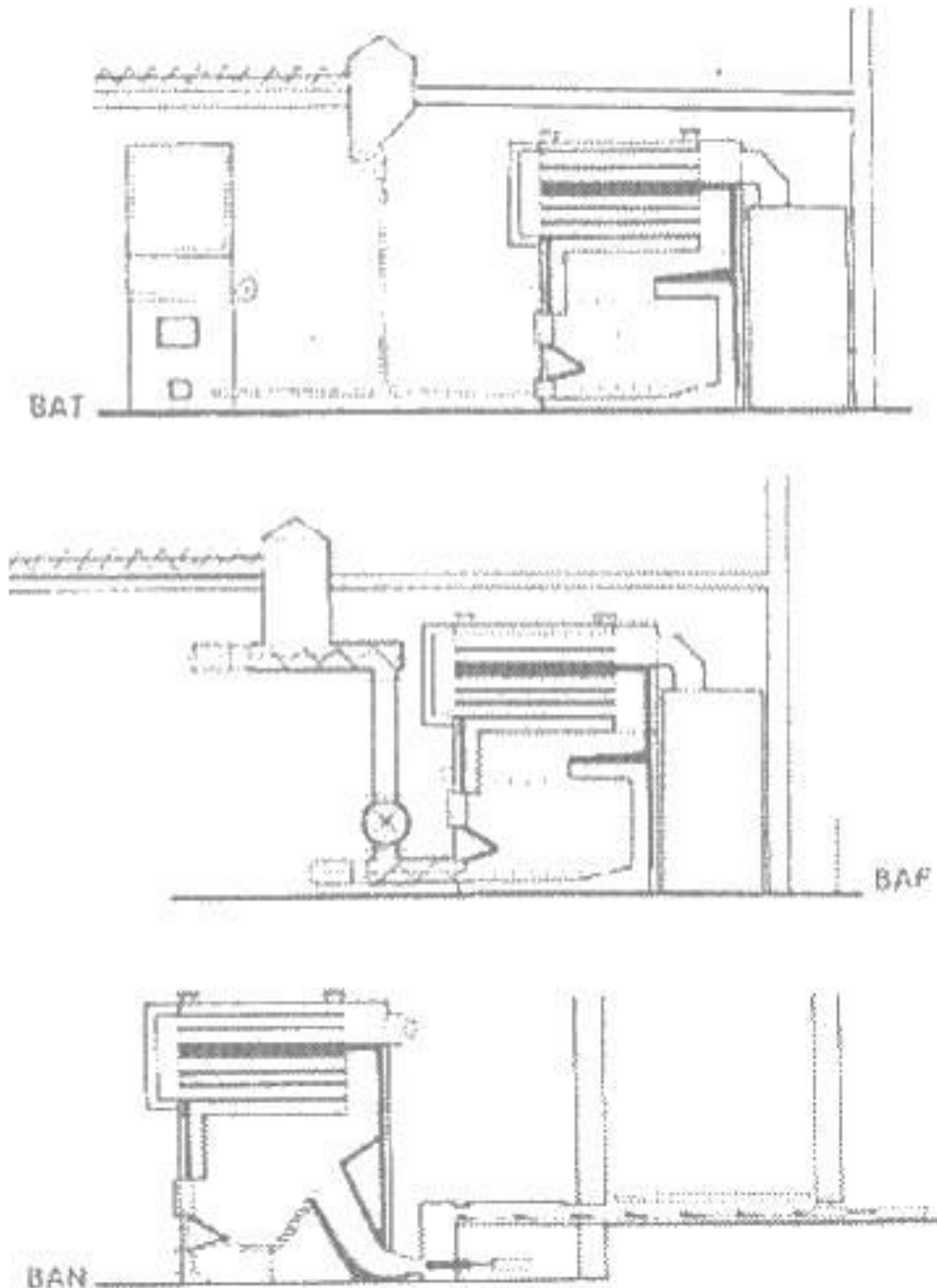
- Befúvós portüzelő berendezés (legegyszerűbb) az anyag kis hamutartalmú, 0-5 mm szemcseméretű

Cellás adagolóval jutatják be az anyagot abba a csatornába, ahol a kompresszorból jövő levegő áramlik.

Por és levegő jól elkeveredik, nagy sebességgel ki-és elgázosodik. A gázok utóégetőbe kerülnek, majd hőcserélőn, porleválasztón keresztül a kéménybe.

- Alátolós égető: csigás etetőberendezés látják el
- Rátolós tüzelőberendezés (legelterjedtebb): nagyméretű, nagy hamutartalmú, változó nedvességtartalmú alapanyaghoz. A tolófej az aprítékot a betápláló csatornába tolja, utána megtörténik a csatorna lezárása, így a tüzelőanyag-visszaégés megakadályozása.

A tűztér: ferde, mozgó rostélyos. Az apríték a rostély felső részén szárad, tovább haladva kigázosodik, majd elgázosodik. Rostély végén hamu, füstgázok hőcserélőbe, majd a kéménybe távozik. (Bai, 2002)



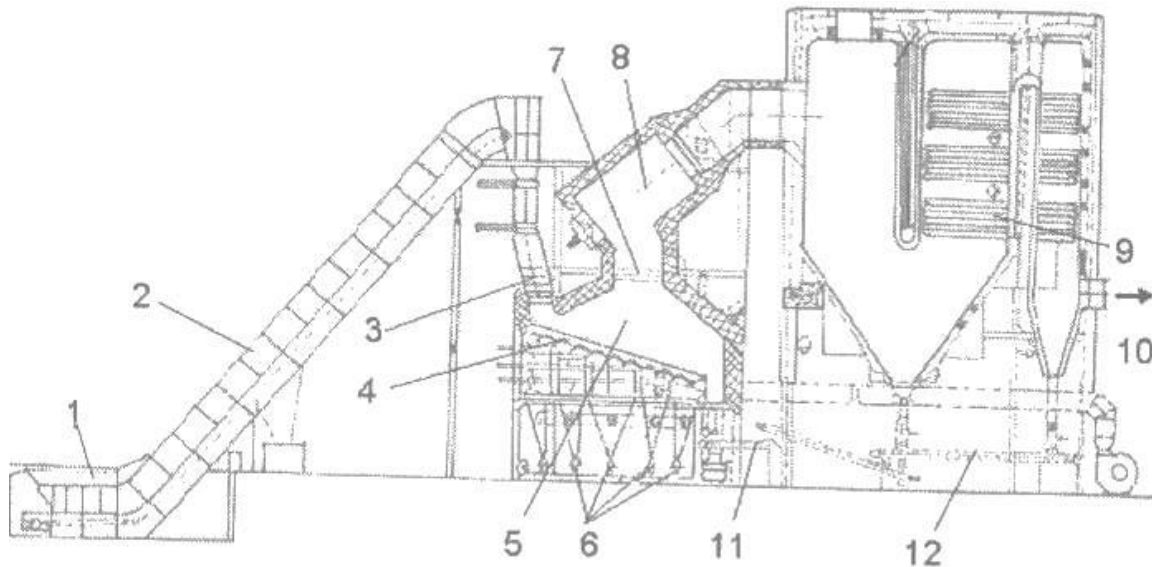
125. ábra: Az aprítéküzelő berendezések alapmegoldásai (Bai et al., 2002)

11.6.8. Nagy teljesítményű aprítéküzelő elrendezése és üzemeltetése

A nagy teljesítményű aprítéküzelő berendezések üzemeltetéséhez az apríték:

- Fogadását, tárolását;
- A tüztérbe juttatását;
- A jó hatásfokú elégetést;
- Az előállított energia kinyerését;
- A szilárd tüzelési maradványok kezelését;
- A füstgázok tisztítását kell megoldani.

Az aprítékot a beszállító gépekről a fogadó-tároló térbe kell juttatni. Ennek padozatán anyagmozgató berendezés van, mellyel a felette lévő aprítékot állandóan mozgásban tartják. Az apríték folyamatosan halad a behordószerkezet irányába. Innen a tüzelőberendezésbe kerül, ahol elég (126. ábra).



126. ábra: Nagy teljesítményű aprítéktüzelő berendezés hőcserélővel és füstgáztisztítóval (Bai et al., 2002) 1. éklétrás anyagmozgatót működtető munkahengerek, 2. az éklétrák, 3. keresztmozgató csiga, 4. adagoló csiga, 5. tüztérbe juttató berendezés,

11.6.9. Bálátüzelők

Mező- és erdőgazdasági melléktermékekből (szalma, szár, gally) tömörített bálák eltüzelésére alkalmas berendezések.

A bálák fajlagos felülete kicsi (400-700 cm²/kg) és a tüztéri állékonyság is kicsi, ezért szükség van gázosító csatorna közbeiktatására.

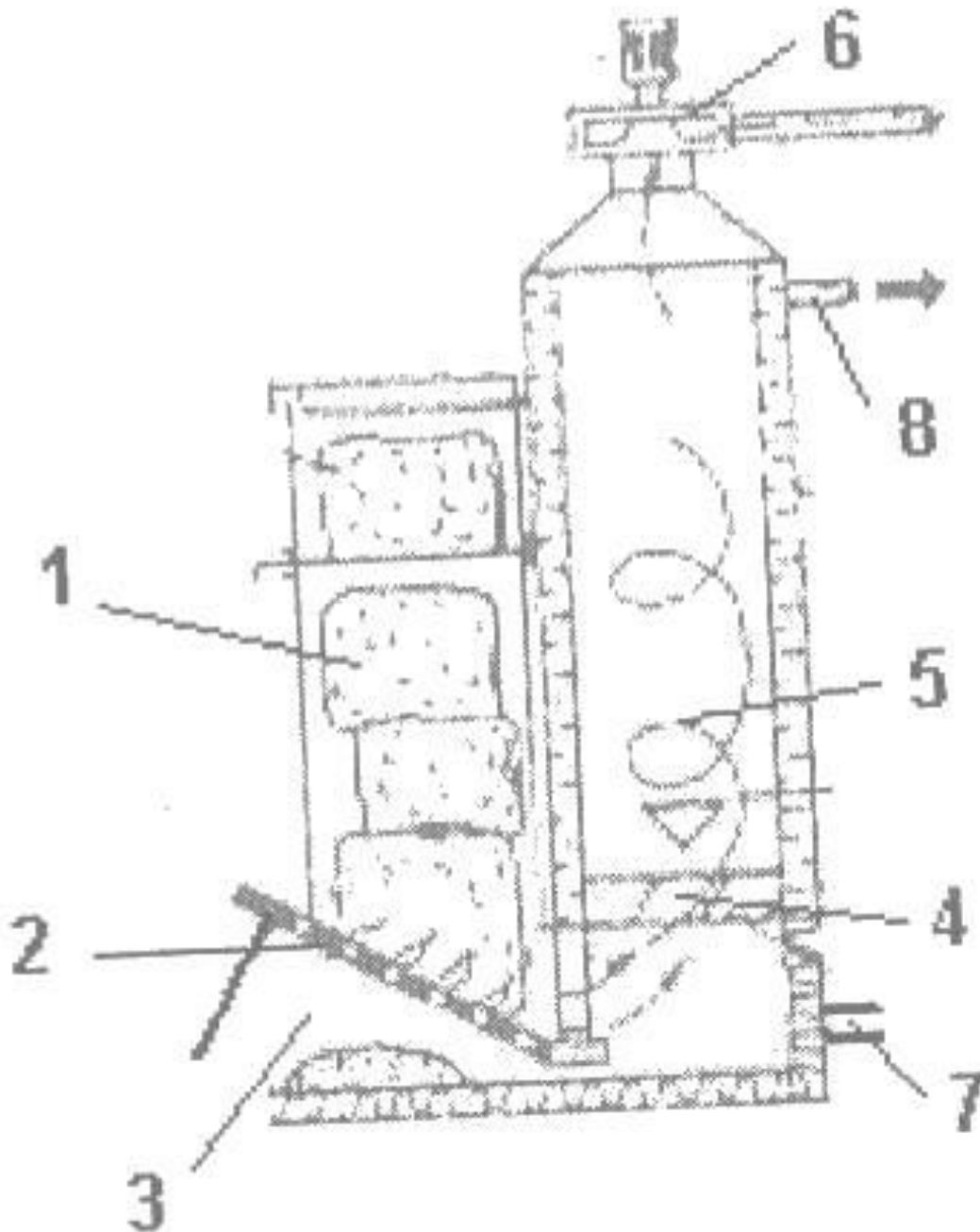
A bálátüzelő fő részei:

- Bálaadagoló;
- Gázosító csatorna;
- Tüztér;
- Hőcserélő;
- Füstgáz és salakkezelő.

A jó hatásfok függ a teljesítményarányos tüzelőanyag-ellátástól, valamint a megfelelő levegőellátástól.

Az égési folyamat a következőképpen játszódik le: A gázosító torony tüztér felőli végéhez közel primer levegőt vezetnek a bálához, mely így égve tolható előre. A bála égő végéről az

elszenesedett részek folyamatosan hullanak a rostélyra, ahol tovább égnek. A keletkező gázhoz a tüztérben szekunder levegőt juttatnak, így az égés végbemegy. Bálátüzelőt az anyag nagy mérete miatt csak nagy teljesítménnyel ($P > 1 \text{ MW}$) építenek. (Bai, 2002)



127. ábra: Bálátüzelő elrendezés vázlata (Bai et al., 2002) 1. szalmabála, 2. rostély, 3. hamukamra és a primer levegő bevezetése, 4. keverő és szekunder levegő bevezetése, 5. utóégető, 6. füstgázventillátor, 7. hőhordozó visszatérő csomk, 8 hőhordozó

12. Energetikai tömörítvények (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea)

Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

A biomasszát eredeti- vagy homogenizálást (aprítás) követő állapotban lehet tömöríteni.

A tömörítésnek fő célja a térfogati sűrűség növelése, ami kedvezően változtatja meg

- a térfogati sűrűséget, és ezzel a tárolási helyigényt;
- a rakodás feltételeit;
- a nagyobb térfogati sűrűség révén a fajlagos energiasűrűséget (GJ/m^3);
- esetenként a nedvességtartalmat.

A tömörítés történhet:

- Bálázással (hengerbála, kis- és nagybála);
- Brikettálással;
 - Dugattyús présel (egyirányú, kétirányú, háromirányú prés);
 - Csigás présel (nyomócsigás, örlőcsigás);
- Pellettálással (Marosvölgyi, 2002).

A tüzelési célú biomassza tömörítését nagyobb távolságban történő, illetve automatizált és komfortosabb felhasználása indokolja. Bálázással a mezőgazdasági gyakorlatból ismert 15-20 kg-os kis illetve 200-1000 kg-os nagybála állítható elő.

Bálázással a vékony szálú, kis hajlítószilárdságú anyagok tömöríthetők viszonylag csekély energiárfordítással. A bálázás eredeti célja a biomassza kezelésének, szállításának, tárolásának megkönnyítése, de lehetővé teszi azt is, hogy az energiahordozókat (szalmafélék, energiafű) speciális tüzelőberendezésekben (bálatüzelők) égessék el (Bai, 2002).

12.1. A fabrikett

A brikett egy nagyon korszerű, környezetbarát tüzelőanyag, mert használatkor a környezetvédelem érdekei, a természetes anyagok iránt érzett vonzódás és a kényelmi szempontok egyidejűleg érvényesíthetők.

Természetes alapanyagokból (faporok, faforgács, faapríték) készül. - kötőanyagot (ragasztó) nem tartalmaz, ezért kémiai összetétele a természetes fáéval azonos. - nedvességtartalma kicsi (8-14% körüli), ezért könnyebben és jobb hatásfokkal ég, mint a hagyományos tűzifa. - fűtőértéke nagy, kb. 18-18,5 MJ/kg, tehát közel megegyezik a barnaszénével. - hamutartalma kicsi (0,8-7,5 %), hamuja környezetbarát, a szénsalakkal szemben természetes növényi tápanyag, ezért kiskertekben műtrágya helyettesítésére kiszórható. - a fában kén gyakorlatilag nincs, ezért füstje a környezetre káros kéndioxidot nem tartalmaz. Nagy az energiasűrűsége ($22-24 \text{ MJ/dm}^3$).

Ahhoz, hogy a környezetbarát tüzelőanyag, a fabrikett előbb felsorolt előnyei maradéktalanul érvényesülhessenek, megfelelő tüzelőberendezésben kell elégetni, de kellő figyelem mellett jó tulajdonságai a hagyományos tüzelőberendezésekben is megmutatkoznak. [18.]

A biobrikett elállítása történhet:

- Dugattyús présel (egyirányú, kétirányú, háromirányú prés) (**128. ábra**);
- Csigás présel (nyomócsigás, örlőcsigás).

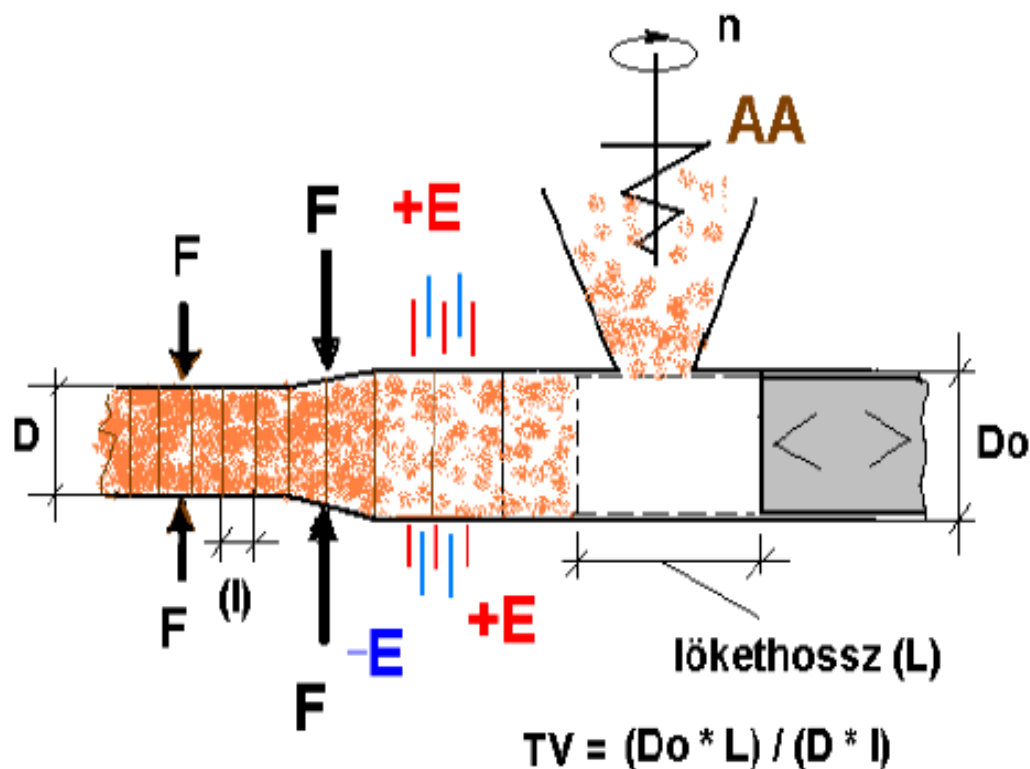
A présgépekre jellemző, hogy a tömörítés legalább két lépésben történik.

Az első szakaszban az alapanyagot örléssel vagy anélkül, eltömörítéssel a préscsatornába nyomjuk, a préscsatornában tengelyirányú-, és a préscsatorna kúposágának függvényében keresztirányú tömörítés megy végbe. A préscsatornában relaxációs folyamatok is végbemennek. A brikettálás egyik fontos jellemzője az energiaigény. A brikettálásba vitt energia az alapanyag deformálására esetleg utánaprítására és az eltömörítésre, a

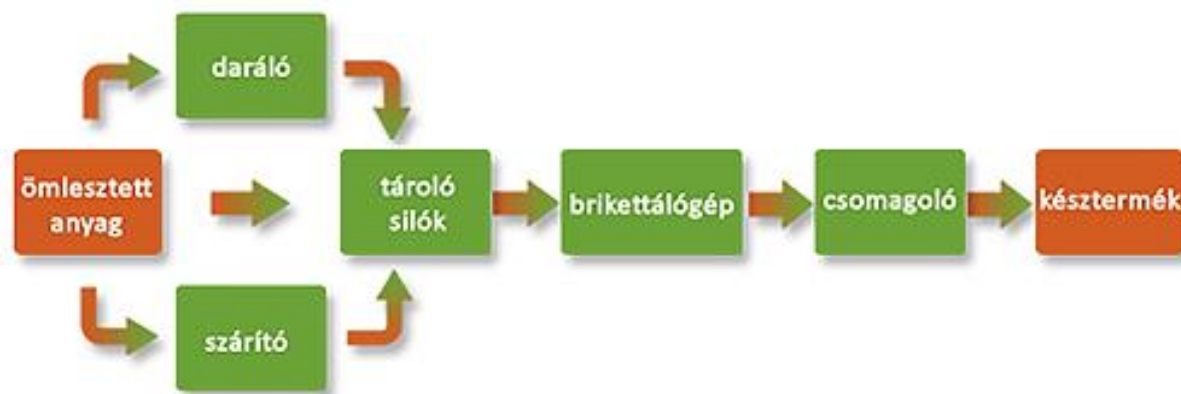
préscsatornában a keresztirányú tömörítésre, a tömörítvény préscsatornából történő kitolására használdik fel. A felhasznált energia mennyisége nagymértékben függ az elállított tömörítvény térfogati sűrűségétől. A tömörítést megfelelő gépek felhasználásával és kötőanyag felhasználása nélkül végzik. A brikettálandó alapanyagot mechanikai úton apró részekre bontják, (vagy már kis frakciókból áll). A présgépben fellépő 800–1600 bar nyomás, a préseles közben képződő vagy bevitt hő és a túlnyomásos vízgőz hatására megfelelő hatásidő alatt a farészecskék kapcsolatba kerülnek egymással, miközben az alapanyag térfogata jelentősen csökken (tömörítési viszonyszám 1:4...1:12). A térfogati sűrűség jelentősen nő, meghaladja a természetes fa térfogatsűrűségét (sűrűség=1,00...1,4 g/cm³) az alapanyag a kívánt idomú briketté alakul (Marosvölgyi, 2002).



128. ábra: Brikettáló gép (Marosvölgyi, 2002)



129. ábra: A brikettgyártásnál fellépő erők (Marosvölgyi)



130. ábra: A brikettgyártás folyamatábrája [19.]

12.2. A pellet

A pellet a biobrikett-gyártás speciális változata.

Korábban takarmányozási célra állítottak elő pelletet, de kedvező méretei miatt az utóbbi időben igen nagymértékben terjed a tüzipellet-gyártás. A biobrikett igen kedvező tulajdonságokkal rendelkező energiahordozó, egy nagy hátránya van: a mérete. Erre a célra az igen kis méret; (5-10 mm átmérjű és 10-25 mm hosszú) pellet sokkal jobban megfelel, mert csigás- vagy cellás adagolóval igen pontos adagolással juttatható a tüztérbe, tehát egészen kis hőteljesítmény; berendezések (2-3 kW) is jó hatásfokkal működhetnek vele.

Az alapanyag lehet: por- forgács- apríték- szecska. A gépben a termék elállítása közben is folyik aprítás-örlés, ezért kevésbé finom szemcseméret; alapanyagot igényel, mint a dugattyús brikettáló. A pelletálás gépe a pelletáló berendezés **(131. ábra)**.

A pelletáló berendezésnek két fontos változata használatos:

- hengermatricás;
- síkmatricás.

Mindkét esetben járókerekek (görgők) préselik át az alapanyagot a matrica furatain. A görgők őrlést is végeznek. A pellet $0,7-0,9 \text{ g/cm}^3$ sűrűség; ömlesztett halmazsűrűsége $600-650 \text{ kg/m}^3$ (Marosvölgyi, 2002).



131. ábra: Pelletáló berendezés és a pellet (Marosvölgyi, 2002)

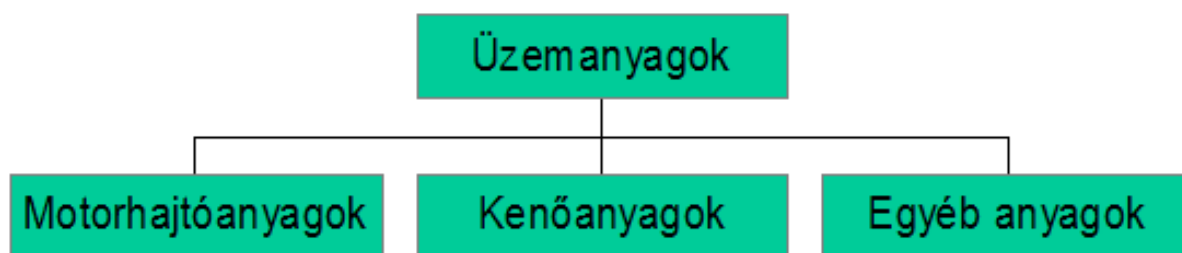
13. Növényi olajok, bioalkoholok (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea)

Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

Hétköznapi értelemben a motorhajtóanyagokat gyakran üzemanyagoknak nevezik, pedig ezek csak az egyik csoportját alkotják az üzemanyagoknak, igaz a legjelentősebbet.

Az üzemanyag, a belsőégésű motorok működéséhez szükséges hajtó-, kenő- és hűtőanyagokat üzemanyagoknak nevezzük.

A motorhajtóanyagok folyékony vagy gáz halmazállapotú szénhidrogének. A hagyományos motorhajtóanyagokat elsősorban kőolaj lepárlásával állítják elő. (motorbenzin, gázolaj)



132. ábra: Az üzemanyagok csoportosítása

A következő táblázat a biológiai eredetű üzemanyagokat mutatja be.

53. táblázat: Biológiai eredetű üzemanyagok

1. Generációs motorhajtó-anyagok	2. Generációs motorhajtóanyagok	3. Generációs üzemanyagok
<p>1.1 Nyers növényi olajok (átalakítás nélkül)</p> <p>1.2 Biodiesel (RME, SME, PME, AME, TFME) /észterezett növényi olajok/</p> <p>1.3 Biogázolaj / bioalapolaj (katalikus átalakítással izomerizáló hidrogénezéssel)</p> <p>1.4 Bioetanol (keményítő és cukorbázisok fermentációjával)</p>	<p>2.1 Szintetikus motorhajtóanyagok szintézis gázból (BTL, BFTD, BioFT, Bio DME, bio-metanol)</p> <p>2.2 Lignocellulóz etanol (enzimes eljárással IOGE, NOVOZYME tech.)</p> <p>2.3 Szilárd biomasszák elfolyósításával (Shell HTU, Flash Pyrolyse)</p>	<p>3.1 Hidrogénnel üzemelő tüzelőanyag-cellás/tüzelőanyag-elemes rendszerek.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sűrített hidrogénnel (450 Wh/kg) - Metanol / etanol folyékony üzemanyaggal, ill. biogázból nyert metánnal (1000Wh/kg) - Tüzelőanyag reformerekből nyert hidrogénnel (1500 Wh/kg)
MA	HOLNAP	JÖVŐ

13.1. A biodízel

A gázolajok helyettesítésére szóba jövő növényi olajok két kategóriába sorolhatók: a tiszta növényi olajok és ezek észterezett származékai.

A legkedvezőbb tulajdonságú olajnövények: repce, a napraforgó, a szója és egyes pálmafajták. Az európai kontinensen: a repce és a napraforgó jöhet számításba, mellette állati zsiradékok, használt sütőolajok is felhasználhatók.

A repceből és a napraforgóból kinyert olaj (triglicerid) közvetlenül is felhasználható motorikus üzemanyagként, viszont ennek elég sok hátránya van: motor átalakítás, magas üzemanyag viszkozitás, megnő a motor fogyasztása, bonyolult a szabványosítása. Ha azonban megtörténik az átészterezés folyamata melynek során a repce- (ill. napraforgó-) olajat (triglicerid) lúgos közegben metanollal reagáltatják és termékként repce (vagy napraforgó) olajmetilésztert (RME) és glicerint kapnak, jobbak a felhasználási lehetőségek.

A növények magjának 44-50 % olajat tartalmaz, melynek 85-92 %-a nyerhető ki a megfelelő technológiával, a többi olajpogácsában marad vissza.

A növényi olajok tulajdonságai függenek a növény fajtájától, a termőhely adottságaitól (talaj, éghajlat, tápanyag utánpótlás, stb.), a termőhely adottságaitól, évjárattól, a termesztés és a kinyerés technológiájától, az utókezelésektől és nem utolsósorban az állásidőtől.

A növényi olajokat dízelmotorok hajtására csak tisztított, gyantamentes állapotban lehet használni. A hagyományos finomítással kapott biodízel ("zöld dízel") mellett metanollal észterezett változatát (repceolaj esetében: RME, szójaolajnál: SME) is előállítják.

13.1.1. A biodízel előállítása

1. Első lépés a **tárolás** a folyamatos alapanyagellátás miatt szükséges, ennek hiányában kihasználhatatlanná válik a gépsor, ez jelentősen megrághatja a technológiát.
2. **Tisztítás**, ennek hiányában szerkezeti károsodás következhet be a bekerülő kő, fém stb. esetén, valamint a kisajtott olaj újra megkötése és a szűrő eltömődése (por, szerves anyag) is veszélyt jelenthet.
3. A **kondicionálás** fázisa történhet hőkezeléssel (80-90°C-on), vagy mechanikai úton (roppantás, aprítás, hántolás) A művelet célja az alapanyag fajsúlyának, olajtartalmának és puhaságának növelésével a jobb olajkinyerés, a prés teljesítményének és élettartalmának növelése.
4. Télen a **termény előmelegítése** (25-30 °C) is szükség lehet, a dermedés elkerülése miatt.
5. A **préselés** műveletében nagy fordulatszám alkalmazásakor az alapanyag olajtartalma egy, vagy két lépcsőben 8-12 %-ra csökken, közben az olaj 55-75 °C-ra melegszik (meleg sajtolás). Hideg sajtolás esetén a termék 50 °C-os hőmérsékletű, ezt étkezési célú felhasználásnál és adalékanyag nélkül érdemes végezni. Ebben az esetben az olaj, vitamin, tápanyagtartalom nem károsodik, jobb minőségű olajpogácsa marad vissza, viszont a prés teljesítménye és az olajtartalom kinyerhetősége csökken. az olajpogácsa értékes fehérjedús takarmányként, de energetikai célra is alkalmazható.
6. A **szűrés** folyamata a biodízel minőségét és az észterezésnél felhasznált adalékanyagok mennyiségét befolyásolja (vertikális lemezes szűrők a leghatékonyabbak)/

A technológia alkalmazása során kapott finom olaj nehezen éghető, lerakódásokat okozhat, ezért szükséges még egy észterezési folyamatot is beiktatni.

Melynek során: Növényi olaj+3 metanol= 3 biodízel +Glicerin

Az észterezés mellékterméke a glicerin, mely vegyipari, vagy energetikai célra hasznosítható.

13.1.2. A biodízel előnyei

- a fosszilis üzemanyagoknál sokkal kisebb mértékben terheli a környezetet, ezáltal hozzájárul a Kiotóban vállalt kötelezettség betartásához, lassítja a globális felmelegedést;
- hozzájárul a nemzetközi piacokon értékesíthető CO₂ megtakarítás keletkezéséhez (CO₂-ből csak annyit bocsát ki, amennyit az alapanyagként felhasznált növény növekedése során felvett);
- mivel előállításához kevesebb energiát igényel, a gyártás során kevesebb az energiafelhasználás és a CO₂ kibocsátás;
- nem toxikus anyag, így az emberek, az állatok egészségére nem ártalmas;
- 30%-os bekeverési arányig nincs szükség a jármű alkatrészeinek kicserélésére;
- forgalmazásához nem kell a jelenlegi kúthálózatokat átalakítani;
- forráspontja 150°C, így sokkal biztonságosabb, mint a dízel üzemanyag (77°C);
- bár energiataralma alacsonyabb, teljesítménye csupán 5-10%-kal marad el a dízelétől;
- a CO és a HC emissziói a személyautónál közel megegyeznek a dízel emissziójával, a haszongépjárműveknél többnyire jóval alacsonyabbak;
- az RME oxigéntartalmának köszönhetően a korom mennyisége gyakorlatilag a felére vagy még kevesebbre csökken;
- a teljes részecske-emisszió is jelentősen csökken a hagyományos dízel kibocsátásához képest;
- mindössze a nitrogén-oxidok kibocsátási értéke növekszik valamelyest;
- a biodízel- szintén rendkívül értékes - kénmentessége révén az oxidációs katalizátorok és hasonló kipufogógáz utókezelő rendszerek hatását kiválóan és tartósan ki lehet használni.

13.2. Bioetanol

Az alkoholokat általában cukorból vagy keményítőből, ritkábban cellulóztartalmú anyagból élesztővel végzet fermentációval és folyamatos desztillációval nyerik.

Főbb cukornövények: cukorrépa, melasz (cukoripari melléktermék), cukornád, édesburgonya, édescirok.

Fontosabb keményítő tartalmú növények: burgonya, kukorica, búza, rozs, zab, árpa, rizs, csicsóka, vadgesztenye.

A bioetanol, biometanol a benzinüzemű személygépkocsik meghajtására alkalmas anyagok.

A 90-es években nagyobb mértékben Brazíliában használták a kőolaj kiváltására.

A motoralkoholok közül a világon a legelterjedtebben alkalmazott bio-üzemanyag a bioetanol, mely víztelenített alkohol.

A bioetanolt használhatják a kőolaj alapú üzemanyag helyettesítőjeként, vagy a benzinbe keverve.

A keverés történhet közvetlenül, vagy izobutilén hozzáadásával (kőolaj finomítás mellékterméke).

A bioetanol benzinhez történő keverését az éterezés, izobutilénnel történő reagáltatás előzi meg, így keletkezik az etil-tercier-butil-éter (ETBE).

Az ETBE leggyakrabban a Magyarországon is használt hagyományos oktánszám-növelő, az MTBE (metil-tercier-butil-éter) kiváltására szolgál.

Az etanol és izobutilén reakciójából létrejövő ETBE-t azért keverik a benzinhez, hogy annak oxigéntartalmát, oktánszámát növeljék.

Franciaország már 1885-1890 között 749 hl alkoholt állítottak elő növényi eredetű alapanyagból. Henry Ford volt a XX. század elején, aki autóját alkohollal működtette.

Magyarországon 1927-ban kezdődött a bioalkoholok előállítása 20 %-ban keverték a benzinhez és "Motalko" néven hozták forgalomba. Az évek előrehaladtával a stabil kőolajárak miatt a bioetanol gyártás háttérbe szorult, majd 1973-ban, a gazdasági világválság kezdete után ismét felledült.

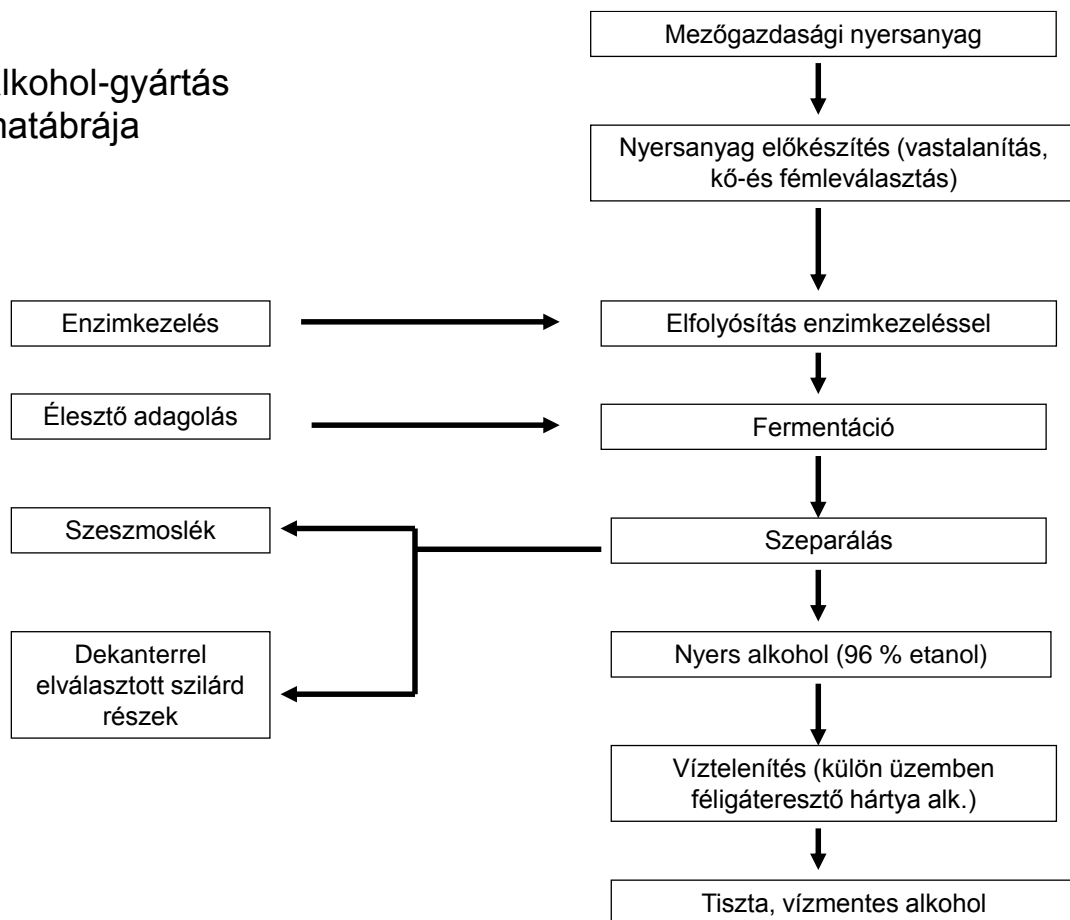
A tiszta formában való bekeverés különféle térfogat százalékban történhet, legelterjedtebb az E5, E10, E85 azaz 5-10-85%-ban bioetanol tartalmú benzin.

Egy liter etanol kb. 1,66 l benzint helyettesít. A bioetanol, magasabb oktánszáma lévén javítja az Otto-motorokban használatos üzemanyagok minőségét.

13.2.1. A bioetanol gyártás folyamata

A bioetanol gyártás folyamatát a **133. ábra** tekinti át.

A bioalkohol-gyártás
folyamatábrája



133. ábra: A bioetanol gyártás folyamatábrája

13.2.2. A bioetanol üzemanyag előnyei

- oktánszám növelő adalék;
- kénmentes;
- csökkenti a motorbenzinek aroma tartalmát;
- teljesebb az égése, mivel maga a bioetanol is oxigéntartalmú vegyület;
- magasabb kompresszió tűrőképesség;
- növekedik a teljesítmény és a nyomaték;
- térfogategységben található magasabb energia tartalom;
- kisebb üzemi hőmérséklet, nagyobb motor élettartam;

- a nagy párolgáshő miatt csökken az NO_x-emisszió;
- a formaldehid emisszió többszöröse a tiszta benzinüzemben mértnek, mely katalizátorral az eredeti szintre csökkenthető;
- az aldehidek egyébként a katalizátorokban könnyebben oxidálhatók, mint a hagyományos szénhidrogének;
- a dízelmotoroknál is a szén-hidrogén-emisszió növekedését eredményezi, ami oxidációs katalizátorral csökkenthető.

14. Pirolízis, elgázosítás (Dr. Czupy Imre, Vágvölgyi Andrea)

Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron

14.1. Pirolízis

A hőbontás (pirolízis) a szerves anyagú hulladék megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása.

A hőbontás során a szerves hulladékból különböző termékek keletkeznek:

- pirolízisgáz;
- folyékony termék (olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó bomlási víz);
- szilárd végtermék keletkeznek. (pirolíziskosz).

Ezek összetétele, aránya és mennyisége a kezelt hulladék összetételétől, a reaktor üzemi viszonyaitól és szerkezeti megoldásától függ.

A hőbontás többféle hőmérsékleten végezhető:

- kis- és középhőmérsékletű eljárások (450-600 °C);
- nagy hőmérsékletű eljárások (800-1100 °C);
- nagy hőmérsékletű salakolvasztások eljárások (>1200 °C).

A pirolízis során keletkező végtermék elsősorban energiahordozóként (fűtőgáz, tüzelőolaj, koks), ritkábban vegyipari másodnyersanyagként (pl. a gázterméket szintézisgázzá konvertálva metanol előállításához) és esetenként egyéb célokra (talajjavítás szilárd, szénben dús maradékkal; fakonzerválás vizes maradékkal; granulált salakolvadék építőipari adalékanyagként stb.) hasznosítható.

A pirolízis során döntőek a kémiai átalakulás reakciófeltételei:

- hőmérséklet;
- felfűtési idő és a reakcióidő;
- szemcse-, ill. darabnagyság;
- átkeveredés mértéke, hatékonysága.

A végtermék összetételének és részarányának alapvető meghatározója a hőmérséklet: alkalmazott hőmérséklettartomány általában 450–550 °C.

A reaktorok a fűtési mód szerint lehetnek:

- közvetett (reaktorfalon keresztül, ill. cirkulációs közeg segítségével) és
- közvetlen fűtési megoldásúak.

A pirolízis előnyei:

- a szilárd maradékok vízfürdős leválasztást követően különbözőképpen feldolgozhatók;
- keletkeznek értékesíthető alifás és aromás szénhidrogének;
- légszennyező hatása jelentősen kisebb, mint a hulladékégetésé.

A pirolízis hátrányai:

- fokozott anyag-előkészítési igény;
- a kisebb hőmérsékletű eljárásokban a gáztisztítás összetettebb és komplikáltabb;
- az ennek során keletkező, többnyire erősen szennyezett mosóvizet is komplex módon tisztítani kell;

- az égetéshez képest nagyobb a lehetősége a nehezen bomló, nem tökéletes égéstermékek képződésének;
- a települési és az egészségügyi veszélyes hulladékkezelésben „áttörés” a reduktív és oxidatív eljárás soros összekapcsolása, folyamatirányítási rendszerek kifejlesztése és alkalmazása.

14.1.1. A 4 legjellemzőbb pirolízis technológia

1. Siemens eljárás

Ez az eljárás a pirolízis és az azt követő nagyhőmérsékletű égetés kombinációja.

A 150–200 mm-re aprított szilárd települési és ipari hulladékot 450–500 °C hőmérsékleten pirolizálják.

Az így előállított pirolízisgázokat további kezelés nélkül közvetlenül a nagyhőmérsékletű (kb. 1300 °C) égetőkamrába vezetik.

A szilárd pirolízismaradékot rostálják, a fémeket leválasztják. A tapasztalat szerint az 5 mm-nél kisebb részek gyakorlatilag az egész izzítási kokszt tartalmazzák.

Ezt megőrlik és szintén a nagyhőmérsékletű égetőkamrába vezetik.

A hőhasznosítást követően (gőz-, ill. áramtermelés) a füstgázt a hulladékégetőkhöz hasonló komplex rendszerben tisztítják.

A salakolvadékot vízfürdős hűtést követően tárolják ki.

Az eljárás előnye, hogy a hagyományos égetéssel szemben, a gáz és a finomra őrölt piroliziskokszt elégetése az égetőkamrában alacsony (20–30%) légf felesleggel történik.

2. Lurgi eljárás

A pirolízis ezen technológiája az előzőtől főként az elülső, termikus feltárási egységben különbözik, ahol cirkuláló fluidágyas kemencét alkalmaznak.

A pirolízishez szükséges energiát a gáz és a piroliziskokszt részleges elégetésével biztosítják, a fluidágy tehát önálló elgázosítóként működik.

A keringtetett fluidizáló közeget olyan fűtőágy felett vezetik, amelyben a hőhasznosító kazánban előállított gőzt túlhevítik (hatásfoknövelés).

A fűtőágyat az égetési levegővel fluidizálják és így az égetés véggáza nem okoz klórkorróziót. A gáz- és szilárd szén kiégetése, valamint a véggáz tisztítása az előző eljárashoz hasonló.

3. Noell-féle eljárás

Ennél a technológiánál a szilárd hulladék termikus feltárása közvetetten fűtött forgódobos reaktorban, aprítás után, 450–550 °C-on történik.

A pirolízis kokszt szárazon hűtik, a fémtartalmát leválasztják, majd őrleést követően az áramlásos rendszerű elgázosító reaktorba vezetik.

A pirolízisgázokat gyors hűtéssel hűtik, a kondenzálható szénhidrogéneket leválasztják és szintén a reaktorba vezetik.

A pirolízis összes maradékanyaga elgázosításra kerül. Az áramlásos gázosítóban oxigén felhasználásával parciális oxidáció megy végbe, salakolvasztási hőmérsékleten, 2–35 bar túlnyomás mellett.

A véggázt hűtik, tisztítják. A hűtővízzel előtisztított gáz alacsony hőmérsékletű gőzhasznosítás mellett hűl le és a gáztisztító berendezésben szabadul meg a kéntartalmától, a kinyert elemi kén értékesíthető. A szilárd olvadék vízfürdőben kerül lehűtésre és további hasznosításra.

A gáztisztító szennyvize a nyersgáz szennyezéseinek nagy részét tartalmazza, ezért az oldott gázoktól és szilárd részekről elválasztják, elgőzölik.

A további gázhűtésből származó vizes kondenzátumot a gázmosóban újra felhasználják. A gáztisztításból különböző célra hasznosítható tisztított gázt nyernek.

4. Termoselsct-eljárás

Ezt a technológiát alapvetően a szilárd települési és ipari hulladékok kezelésére dolgozták ki. A települési hulladék előkezelés (aprítás) nélkül feldolgozható a berendezésben.

A technológia lépései a következők: a hulladék tömörítése, mely a hulladék heterogén összetétele miatt szükséges. Ezt követi a pirolízis (gáztalanítás, a levegő kizárása és állandó nyomás mellett, közvetlenül fűtött pirolizáló csatornában kigázosítás vagy pirolízis 500–600 °C hőmérsékleten). Az utolsó lépés az elgázosítás, nagyhőmérsékletű égetés (elgázosítás tiszta oxigénnel 1200 °C hőmérséklet feletti tartományban)

A megolvadt szervesanyagok homogenizálva, stabil vegyületekben kötődnek meg, amelynek további hasznosítása kedvező (építési és kohászati alapanyag).

A nagyhőmérsékletű elgázosítás során valamennyi szerves anyag elbomlik, a képződő szintézisgáz lényegében hidrogénből, szén-monoxidból és vízgőzből tevődik össze, kismennyiségű szilárd és gáznemű szennyező tartalommal.

A gáz tisztítása a szokásos módon, több fokozatban történik. (Barótfi, 2000.)

14.2. Az elgázosítás

Az elgázosítást már a 19. század óta ismerik, ilyen folyamat pl., amikor szénből az ún. városi gázt állítják elő, amit eredetileg az utcák megvilágítására használtak.

A természetes gázkészletek felfedezése és a csővezetékek kiépítése révén ez az energiahordozó kiszorult a piacról. Az 1970-es években, mikor nőttek az igények és az árak, valamint féltő volt, hogy a földgázlelőhelyekről nem tudják biztosítani azok kielégítését, ismét feltámadt az érdeklődés az elgázosítás iránt. Ezek a gondok azonban végül megoldódtak. Az utóbbi időben azonban a klímaváltozás és a Kyotói Egyezményben vállalt kötelezettségek megint előtérbe helyezték az elgázosítást, mert az energiatermelésnek ez a módja lényegesen tisztább és környezetbarátabb, mint a hagyományos széntüzelés.

Európában a legnagyobb biomassza elgázosítókat a 90-es években építették.

Egy 2003-as felmérés szerint a világ 10 legnagyobb hulladék elgázosítója évente kb. 1,5 millió tonna hulladékot dolgoz fel. Ezek az üzemek a világ legkülönbözőbb helyein találhatóak Németországtól Japánig, a legrégebbi 1980 óta működik. Mindez azt bizonyítja, hogy a rendszer működőképes, bár természetesen nem tekinthető univerzális megoldásnak. (Kiss, 2004.)

Az elgázosítás a biomassza közvetlen elgázosítása oxigénnel, vagy vízgőzzel. Az elgázosítóban a biomasszát a hőhordozót tartalmazó fluidizált ágyba táplálják be, ahol 800-850°C-on végbemegy az endoterm vízgőzös elgázosítás.

Az inert fluidizált hőhordozót és a biomasszából képződött, teljesen át nem alakult, elszenesedett biomasszát a második fluidizált ágyba viszik, ahol a még éghető rész 900-1300 °C-on oxidálódik. a forró hőhordozó fedezi az elgázosítás hőigényét.

A reakció során fő terméként CO 32-41%-ban, CO₂ 17-19%-ban, H₂ 24-26%-ban keletkezik, emellett kevesebb metán, nitrogén, hamu, kátrány is megjelenik. A gáz további felhasználására hűtésre és tisztításra van szükség.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Alexa L.- Dér S.:** Szakszerű komposztálás. Profikomp könyvek Zenith Rt., Budapest, 2001.
- Bagi B.:** Biogáz helyzet Ausztriában: dinamikus fejlődés, komoly lehetőségek. In: Biohulladék folyóirat 2. évfolyam 2. szám, 2007. június p.13-16.
- Bai A. - Kormányos Sz.:** A biogáz, mint hajtóanyag. Előadás.
- Bai A.:** A biogáz. Száz magyar falu könyvesháza Kht., Budapest, 2007.
- Bai A.:** A bio-üzemanyagok alkalmazása a debreceni buszközlekedésben I. Műszaki és környezetvédelmi hatások. Tanulmány, Debrecen, 2008.
- Bai A.-Lakner Z.- Marosvölgyi B.- Nábrádi A.:** A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2002.
- Bai A.- Sipos G.:** A hagyományos erdők és az energetikai faültvények sokrétű jelentősége. Erdészeti Lapok CXLI. évf. 4. szám (2007. április)
- Barkóczy Zs.:** A dendromassza alapú decentralizált energiatermelés alapanyagbázisának tervezése. PhD értekezés Sopron, 2009
- Barótfi I.:** Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2000.
- Barta I.:** Az agrár-környezetvédelemben rejlő megújuló energiaforrások. In: Agrároklatás Unikum, 2002. április p. 4-6.
- Chae, K.J., Jang, A., Yim, S.K., Kim, I.S.:** The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. Bioresource Technology 99, 2008.1–6.
- Donauer B.:** A biogáztermelés lehetőségeinek és korlátainak vizsgálata osztrák és magyar feltételek mellett. Diplomatervezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 2005.
- Elek E.:** A biogáz-hasznosítás, mint gyorsan fejlődő üzletág. <http://www.villanyszaklap.hu/cikkek.php?id=958>, 2008.
- Farkas K.:** Agrárenergetika a szakember szemével. In Agrárium 18. évfolyam, 3. szám 2008. március p. 30-32.
- Fuchsz M.:** Biogáz. A Magyar Biogáz Egyesület kiadványa. Budapest, 2006.
- Fuchsz M.:** Biogáz a földgázhálózatban. Hulladéksors- Hulladékgazdálkodási szakmai folyóirat 2008. IX. évfolyam 11. szám p.48-49.
- Gőgös Z.- Bíró T.:** Biogáz, mint megújuló alternatív energiaforrás lehetősége a magyar mezőgazdaságban, a magyar vidéki életben. In *Biogáz-előállítás és felhasználás Műszaki Kiadványok I. évfolyam, 2009. p. 25-27.*
- Gunaseelan, V.N.:** Effect of inoculum substrate ratio and pretreatments on methane yield from Parthenium. Biomass & Bioenergy 8, 1995.39–44.
- Gyulai I.:** A biomassza dilemma. Magyar Természetvédők Szövetsége, Budapest, 2006.
- Hájos A.:** Laboratóriumi fermentáló géppel biogáz előállítása, az összetétel valamint a melléktermékek vizsgálata. Diplomatervezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 2008.
- Hajdú J.:** A bioenergia előállításának és hasznosításának műszaki és gazdasági kérdései
- Hansen, K. H.- Angelidaki, I., Ahring B. K.:** Anaerobic digestion of swine manure: Inhibition by ammonia Water Research, Volume 32, Issue 1, January 1998, Pages 5-12
- Hargitai R.:** Gázmezők a háztájiban. Hulladéksors- Hulladékgazdálkodási szakmai folyóirat 2006. VII. évfolyam 4. szám p.8-9.
- Hódi J.:** Depóniagáz-kitermelés, ártalmatlanítás-hasznosítás. In: *Biogáz-előállítás és felhasználás Műszaki Kiadványok I. évfolyam, 2009. p. 18-23.*
- Ivelics R.:** Minirotációs energetikai faültvények termesztés-technológiájának és hasznosításának fejlesztése. PhD értekezés Sopron, 2006
- Kacz K.:** A biogáz-termelés alapanyagai. Kézirat, 2005.
- Kacz K. – Neményi M.:** Megújuló energiaforrások. Könyvkiadó, Budapest, 1998.
- Kalmár P.:** A biogáz hasznosítása gázmotorokban. In: *Biogáz-előállítás és felhasználás Műszaki Kiadványok I. évfolyam, 2009. p. 48-52.*
- Kaltwasser, B. J.:** *Biogáz előállítás és hasznosítás. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1983.*

- Kapros T.:** Biogáztüzelés az ipari berendezésekben In: *Biogáz-előállítás és –felhasználás Műszaki Kiadványok I. évfolyam, 2009. p. 38-41.*
- Kapros T.:** Földgázvezetékbe történő biogáz-betáplálás az Európai Unióban In: *Biogáz-előállítás és –felhasználás Műszaki Kiadványok I. évfolyam, 2009. p.60-61.*
- Kárpáti Á.:** Szennyvíziszap rothasztás és komposztálás. Ismeretgyűjtemény No. 6. Veszprémi Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, egyetemi jegyzet, 2002.
- Kazai Zs.:** Zöld energiát okosan, avagy a biomassa energetikai célú hasznosításának környezeti fenntarthatósági feltételei. Tanulmány, Budapest, 2008.
- Kocsis I.:** Komposztálás. szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2005.
- Kim, M., Gomec, C.Y., Ahn, Y., Speece, R.E.:** Hydrolysis and acidogenesis of particulate organic material in mesophilic and thermophilic anaerobic digestion. *Environmental Technology* 24, 2003.1183–1190.
- Kiss Á.:** Környezetvédelem. www.bimeo.hu/bor-cipo/2004/040502.htm
- Kissné Quallich E. :** A biogáz. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- Kovács A.- Fuchsz M.- Hideg P.:** *Biogáztisztítási technológiák. In Biogáz-előállítás és –felhasználás Műszaki Kiadványok I. évfolyam, 2009. p. 53-55.*
- Kovács A.- Fuchsz M.:** *Biogáz Magyarországon: egy növekvő piac perspektívái. Előadás, Pécs, 2007.*
- Kovács A.- Fuchsz M.:** *A biogázipar helyzet és perspektívái Magyarországon. In Biogáz-előállítás és –felhasználás Műszaki Kiadványok I. évfolyam, 2009. p. 9-10.*
- Kovács K.:** A biogáz. 2006. http://www.agraroldal.hu/biogaz_cikk.html.
- Kovács K.:** A megújuló energiához stratégia kell. 2008. <http://www.bitesz.hu/biogaz/a-megujulo-energiahoz-strategia-kell.html>
- Kőrösi V.:** Biogáz, a jövő energiaforrása. KUTIK, Summer School, Miskolc, előadás, 2007.
- Lakatos L.:** A biogáz előállítás és felhasználás. Műszaki és élelmiszeripari ismeretek környezetgazdálkodási agrármérnök és környezetmérnök szakos hallgatók részére HEFOP 3.3.1. Előadás.
- Láng I. (főszerk.):** *Környezet- és természetvédelemi lexikon I. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2002.*
- Lawrence, A. W. - Mc Carty P. L.:** The effect of sulphides on anaerobic treatment. In Proc. of the 19th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Engineering Extension Series. 1964. 117, 343-357.
- Malina, Jr. J. F. - Pohland, F. G. (Eds.):** Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes. Water Quality Management Library, Vol. 7. Technomic, Lancaster, 1992.
- Maramba, F.D.:** Biogas and waste recycling, 1978.
- Marosvölgyi B. (2002):** Biomassa hasznosítás I. Nyugat-magyarországi Egyetem-jegyzet
- Marosvölgyi B.:** Biobrikett- gyártás technológiai fejlesztése. Előadás, Sopron
- Marosvölgyi B. -Ivelics R. (2005):** Short rotation coppice in Hungary. In: Bioenergy International Vol. 13. Stockholm
- Marosvölgyi B.-Horváth Béla:** Biomassa-előállítás és –hasznosítás. FVM Vidékfejlesztési, Képzési és szaktanácsadási Intézet, Budapest, 2010.
- Molnár G.:** A biogáz forgalmazásának lehetőségei a hazai földgáz-elosztóhálózatban című dolgozatról. In: *Biogáz-előállítás és –felhasználás Műszaki Kiadványok I. évfolyam, 2009. p. 58-60.*
- Mosey, F.E.- Fernandes, X.A.:** Patterns of hydrogen in biogas from the anaerobic-digestion of milk-sugars. *Water Science and Technology* 21, 1989., 187–196.
- Nagy Gy. (2005.):** Hulladékgazdálkodási kézikönyv II. KJK KERSZÖV kiadványok
- Németh I. G.:** Épülnek a biogáz üzemek. 2009 <http://www.vg.hu/vallalatok/energia/epulnek-a-biogazuzemek-293916>
- Németh K. (1987):** Faipari kémiai technológia II. Erdészeti és Faipari Egyetem jegyzet, Sopron

- Németh K.** (1997): Faanyagkémia Kémiai szerkezet, reakciók. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Németh K.** (1998): A faanyag degradációja. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Olessák D.- Szabó L.:** Energia hulladékból. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- Papp E. :** Ahol a jövő már elkezdődött. Svéd tapasztalatok, megoldások. In: Camion Truck & Bus. 2008./1. p. 88-89.
- Pongrácz L.:** Szomszédolás Ausztriában. Mezőhír, mezőgazdasági szaklap. 2007. január Előadás, Budapest, 2008.
- Potyondi L.:** Répakutatási eredmények. A répa, mint energianövény. Biomassza konferencia. Előadás, Sopron, 2008.
- Rimkus, R. R. - Ryan, J. M. - Cook, E. J.:** Full-scale thermophilic digestion at the West-Southwest Sewage Treatment Works, Chicago, Il. J. Water Pollut. Contr. Fed., 1982. 54 (11) 1447-1457.
- Sági F.:** Energiahasznosítás a mezőgazdaságban – Biogáz. 2003. <http://www.kornyezetunk.hu/belso/mg25.html>
- Sandberg, M., Ahring, B.K.,** 1992. Anaerobic treatment of fish-meal process wastewater in a UASB reactor at high pH. Applied Microbiology and Biotechnology 36,800–804
- Schulz, H.- Eder, B.:** Biogázgyártás. Cser Kiadó, Budapest, 2005.
- Sinóros-Szabó B. – Maniak S.:** Bioreaktorok Magyarországon. In: Agrártudományi közlemények, 2005/16. különszám p. 248-254.
- Szendrei J.:** A biomassza energetikai hasznosítása. In: Agrártudományi közlemények, 2005/16. különszám p. 264-272.
- Sikolya L. (szerk.) :** A környezetvédelem technikai alapjai- Hulladékgazdálkodás. Nyíregyházi főiskola, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, 2007.
- Szunyog I.:** Az egyes biogáz típusok magyar földgázrendszerbe történő betáplálásának minőségi korlátai. In: Energiagazdálkodás. 50. évfolyam, 3. szám, 2009. p. 20-25.
- Veperdi I. (szerk.)(2005):** Erdőtelepítési termesztés-technológiai és végrehajtási útmutató kidolgozása, a nem szokványos erdőművelési módszer miatt, a különböző vágásfordulóval kezelt energetikai erdőkre. Kutatási jelentés, Budapest
- Vermes L.:** Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1998.
- Yu, H.Q.- Fang, H.H.P. -Gu, G.W.:** Comparative performance of mesophilic and thermophilic acidogenic upflow reactors. Process Biochemistry 38, 2002., 447–454.
- Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008-2020 Budapest, 2008. (<http://www.khem.gov.hu>)
- Hulladéksors folyóirat, 2008. IX. évfolyam 3. szám
- Hulladéksors folyóirat, 2008. IX. évfolyam 6. szám

INTERNETES IRODALOM FORRÁSOK

1. www.biogas.hu. Letöltés: 2009.11.19.
2. Biogáz vonat Svédországban <http://www.biogaz-forum.hu> Letöltés: 2007. 11.23.
3. Trendek meghatározása a fenntartható városi közlekedésért. <http://www.stockholm.se> Letöltés: 2007. 12.10.
4. <http://www.herbator.hu/kepek/biogazuzem2.jpg> Letöltés: 2009.11.27.
5. <http://www.nfu.hu/thumbnail/12362/0x0fill/kiop2.jpg> Letöltés: 2009.11.27.
6. Megkezdte működését a kenderesi biogáz kiserőmű. Zöldtech <http://www.zoldtech.hu/cikkek/20070912-biogaz-eromu-kenderes> Letöltés: 2009.11.24.
7. http://www.vasuttortenet.eoldal.hu/oldal/a-kaposvari-cukorgyar-iparvasutja-ii_resz
8. <http://www.gombaforum.hu/index.php?c=hirarchivum&tol=70&kod=72> Letöltés: 2009.11.27.

9. http://www.promenad.hu/KEPEK/NAPIKEPEK/normal_0831biogaz2.jpg
Letöltés: 2009.11.27.
10. www.bitesz.hu/dokumentumtar/biogaz/biogaz.../download.html
Letöltés: 2009.11.24.
11. <http://www.hemok.net/hu/content/biogaz-gyartouezemek> Letöltés: 2009.11.24.
12. <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/10/boosting-biogas-with-heat-bonus-how-combined-heat-and-power-optimizes-biogas-utilization>;
Letöltés: 2009.11.24.
13. www.zoldtech.hu/cikkek/20090422biogaz.../biogaz_eloallitas.doc
Letöltés: 2009.11.24.
14. <http://www.fvm.hu/main.php?folderID=2373&articleID=13692&ctag=articlelist&iid>
1 Letöltés: 2009.11.24.
15. Emk.nyme.hu/uploads/media/Kotsis.L.pdf
16. <http://cserepkalyhas.uw.hu/kepek/grundofen.jpg>
17. http://kalyhainfo.web.maxer.hu/?page_id=162
18. www.merlin.bgk.bme.hu
19. www.biobrikett.hu

15. Vegyipari hulladékok (Dr. Kurdi Róbert)

Pannon Egyetem, Veszprém

15.1. Bevezetés

A klasszikus fizika egyik alapvető igazsága a megmaradási törvény, vagy ismertebb nevén a termodinamika első törvénye. Ennek értelmében a teljes hulladékmentes technológia megvalósítása elvileg lehetetlen feladat, azonban az korántsem mindegy, hogy kiindulási anyagokból milyen mértékben „gyártunk” hulladékot. Léteznek olyan „elavult” vegyipari technológiák, melyekben a főtermék kitermelése csak pár százalékos, de a melléktermék hasznosításával a hulladék mennyisége drasztikusan csökkenthető. A technológiai folyamatokban felhasznált oldószerek olyan folyamatokban ahol ezeknek a regenerálása nem megoldott ott hulladéknak, megsemmisítésre ítélt anyagnak tekinthetők, szemben azokkal a technikákkal ahol a regenerálás már megoldott.

A környezetvédelem különféle iparágakra különféle hatást gyakorolhat. Vannak olyan iparágak melyeket inkább a környezetbarát kategóriába sorolnak, a vegyipar azonban a hagyományos értelemben környezetszennyezésre inkább hajlamos iparnak számít. Az Európai Unióhoz való csatlakozással a környezet védelme minden hazai vállalkozásnak kötelező. A környezetünk pozitív irányban történő változásának vannak nyertesei, akik előnybe kerülnek és vannak költségviselői is.

54. táblázat: A környezetvédelem ágazati eltérései

A környezetvédelem költségeinek főbb viselői	A környezetvédelem pozitív hatásainak elsődleges élvezői
Vegyipar	Turisztika, idegenforgalom
Energiaipar	Egészségügy
Közlekedésipar	Bank és biztosítás szolgáltatók
Kohászat	Oktatás
Bányászat	Közigazgatás

A vegyipar számára a környezetvédelmi előírások nagyon szigorúak, jelentősen növelik a termelési költségeket, kiadásokat, melyek a technológiák fejlesztését vonják maguk után.

Fontos szempont, hogy a vegyiparral szemben olyan követelményeket fogalmaznak meg, amelyek rákényszerítik a gyártókra a környezetbarátabb termékek előállítását illetve a nem környezetbarát termékek lecserélését. Erre példa a nemrégiben kifejlesztett a természetben lebomló a műanyag zacskók esete is.

A vegyipar ilyen irányú fejlesztése (technológiák és termékek fejlesztése) a környezetvédelem szempontjából pozitív irányú változásokat von maga után. A technológiák fejlesztése, korszerűsítése következtében csökken a felhasznált anyagok mennyisége és ezeket kisebb energiával tudják átalakítani terméké, az előállított termékek és a keletkezett hulladékok pedig kevésbé lesznek szennyezőek a természet és az emberi társadalom számára.

A vegyipari ágazat szempontjából ezek a változások nem segítették a fejlődést, a vegyipar növekedését. Addig, amíg mindkét fél, a társadalom és az ipar szempontjából nem kifizetődő a változás addig hiába várjuk azokat a fontos hulladékmentesítési eljárások kidolgozását, mint az alumínium gyártás során keletkező vörösiszap feldolgozás, vagy a barnaszemek kéntartalmának felhasználása kénsavgyártási nyersanyagként. Ilyen eljárások eredményeként a vegyipar jóval

drágábban tudna a nátrium-hidroxidot visszanyerni, vagy a kénsavat előállítani és a technológiákban újrahasználni. Viszont ezzel csökkentené a lehetőségét egy esetleges környezeti katasztrófa kialakulásának. A költségnövekedéssel járó technológiai innováció nem érdeke még a vegyipari vállalatoknak, pedig a környezetvédelemnek mindenki számára fontos ügynek kell lennie.

A US National Council Policy Division 1996-ban egy tanulmánybanⁱⁱ közzétette, hogy milyen kapcsolatot kell kialakítani a gazdaságnak a környezetvédelmi célok és a technológia nyújtotta lehetőségek közt. Az összeállítás a vegyiparral, vegyi anyagokkal kapcsolatban a következő környezetvédelmi feladatokat sorolta fel:

- a vegyiparban keletkező termékek, a különféle technológiai folyamatok során képződő hulladékok környezeti hatásainak felmérése (a káros környezeti hatások elkerülése vagy az esetlegesen bekövetkező környezeti katasztrófák felszámolásának érdekében ismerni kell az anyagok és a környezet közti kölcsönhatásokat)
- olyan technológiák kidolgozása a vegyiparban melyekkel a környezetterhelést csökkenteni lehet (*új, környezetbarát technológiák kidolgozása vagy a jelenlegi technológiák környezeti hatásainak csökkentése és az eddig vagy ezután keletkező hulladékok megfelelő kezelése, felhasználása*)
- jobban meg kell értenünk a természetben lejátszódó kémiai és biokémiai folyamatokat (pontosan meg kell határoznunk azokat a paramétereket amelyek szerint a környezet állapot folyamatosan megfigyelhetjük)

Magyarországon a jelenlegi gazdasági helyzetben és az ismert technológiai feltételek mellett a legfontosabb feladat a vegyipar számára a termelési hulladékok csökkentése.

15.2. Hulladékok a vegyiparban

A vegyipar rohamosan fejlődése a többi iparág térnyerését is segítette. Új anyagok, alapanyagok előállítása más iparágban használatos technológiák számára fontos kiinduló pontot jelent. A vegyipar az utóbbi években, évtizedekben történt sajnálatos események miatt (garéi hulladéklerakó szennyezése, tiszai ciánszennyezés, vörösizsap katasztrófa) a környezetvédelemben dolgozó szakemberek és a társadalom irányából jövő (sokszor jogos) támadások célkeresztjében áll. A vegyipar támadásának alapja azok a nyersanyagként, alapanyagként használt vagy termékként előállított kémiai anyagok és kiemelten a keletkező hulladékok melyek a környezetet közvetett vagy közvetlen módon szennyezhetik.

Az IPPC direktíva alapján a vegyipar részterületeit az alábbiak szerint lehet megadni:

- Szerves kémiai alapanyagok gyártása
- Szervetlen kémiai alapanyagok gyártása
- Foszfor, nitrogén, kálium alapú műtrágyák gyártása
- Növényvédőszer gyártása
- Gyógyszergyártás
- Robbanószer gyártása

A vegyiparban keletkező hulladékokat csoportosíthatjuk különféle szempontok szerint, ezek közül az egyik a fentiekben felsorolt ágazatok alapján történő, eredet szerinti csoportosítás. A hagyományos csoportosítás lehet a halmazállapot szerinti csoportosítás, mely szerint

beszélhetünk szilárd, folyékony és légnemű vegyipari hulladékokról. A 2010 őszén történt kolontári vörösiszap katasztrófa nyomán a közvélemény találkozhatott az iszapszerű hulladék elnevezéssel is, amely nem halmazállapotot jelöl, hanem egy megjelenési formát.

A vegyipari hulladékokra a társadalom szereplőinek többsége úgy gondol, mint veszélyes hulladékokra, azonban a vegyipari veszélyes hulladékok nagy részét adó szerves kémiai folyamatokból származó veszélyes hulladék az összes iparági folyamatokból származó veszélyes hulladéknak csak az 5 %-át teszi ki (2003-as adat).

A vegyipari hulladékok jelentős része jellemezhető azokkal a veszélyes tulajdonságokkal legalább egyikével melyeket a Hulladékgazdálkodási törvény 2. sz. melléklete tartalmaz. Ezek szerint a vegyipari hulladék többek közt lehet robbanékony, oxidáló, tűzveszélyes, irritáló, mérgező, karcinogén, maró vagy fertőző.

A vegyiparban keletkező hulladékokat a többi hulladékfajtaéhoz hasonlóan jellemezhetjük az adott technológia, folyamat hatásfokával, a hozammal. Ez 100%-os abban az esetben ha egy mól kiindulási anyagból (alapanyagból) egy mól termék lesz, ez a jelzőszám azonban nem veszi figyelembe a hulladék keletkezését. Így gyakran előfordul vegyipari technológiákban, hogy 100%-os hozam mellett a keletkezett hulladék mennyisége többszöröse a terméknek. Ezért a vegyipari hulladékok esetében is használatos a környezeti faktor jelzőszám, amely az egy kg termékre eső hulladék mennyiségét adja meg. Általában jellemző, hogy minél nagyobb a termelés nagyságrendje, annál kisebb a környezeti faktorⁱⁱⁱ.

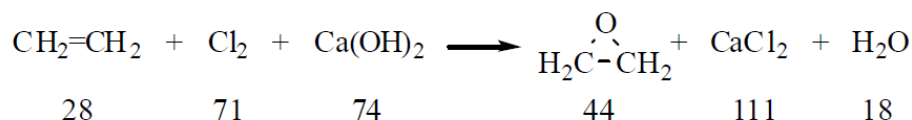
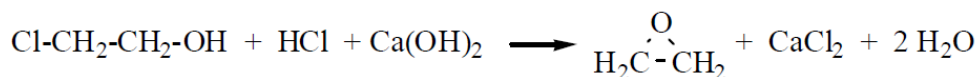
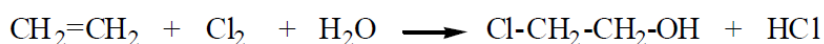
55. táblázat: Az iparágak és a környezeti faktor összefüggései

Iparág	Termék mennyisége (t)	Környezeti faktor
Olajfinomítás	$10^6 - 10^8$	0,1
Vegyipari alapanyaggyártás	$10^4 - 10^6$	<1 - 5
Finomvegyszergyártás	$10^2 - 10^4$	5 - 50
Gyógyszergyártás	$10^1 - 10^3$	25 - 100 <

A fenti táblázatból látszik, hogy a vegyipari alapanyaggyártás a viszonylag hulladékszegény technológiák közé sorolható, természetesen ezek csak átlag értékek és a vegyiparban is léteznek extrém környezeti faktorról rendelkező technológiák.

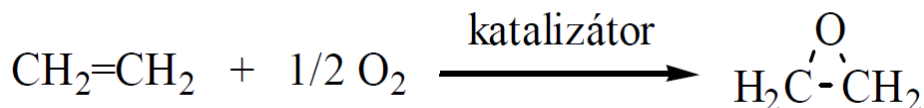
Egy konkrét példán, az etilén-oxid előállításán szemléltetjük a hulladékképződéssel kapcsolatos problémát:

Etilén-oxid előállítása klórhidrin eljárással:



A móltömegek alapján kiszámított Környezeti faktor ebben az esetben $K=(111+18)/44=2,93$.

Ezzel szemben az etilén katalitikus oxidációja során csak etilén-oxid keletkezik. Ezüstalapú heterogén katalizátor ($\text{Ag}/\text{Al}_2\text{O}_3$) alkalmazásakor a katalizátor könnyen visszanyerhető így gyakorlatilag hulladék nem keletkezik^{iv} (környezeti faktor = 0).



15.3. A vegyiparban alkalmazott hulladékcsökkentési stratégiák

Mivel ma még gyakorlatilag nem létezik olyan technológia, olyan eljárás mellyel hulladékmentesen tudjuk a termékeket előállítani, így kijelenthetjük, hogy a vegyipari tevékenység (természetesen a többi ipari tevékenységgel egyetemben) elkerülhetetlenül hulladékok képződésével jár együtt. Amíg a környezetvédelmi előírások nem voltak elég szigorúak, addig a kevésbé fejletett ipari technológiák mellett a termelési hulladékok kezelésére elsősorban az ún. csővégi megoldásokat alkalmazták.

Az 1970-es és 80-as évek vegyiparát jellemezték ezek az eljárások, melyeknél a hulladék ártalmatlanítása (hulladékok lerakása, szennyvizek tisztítása), - és az addig kismértékben alkalmazott – újrahasznosítása teljes mértékben független volt a technológiai folyamatoktól. A környezetvédelem előtérbe kerülését a 80-as évek második felében természetesen a környezetszennyezés mind súlyosabbá válása segítette, így a technológiák során a hulladékkeletkezés visszaszorítása egyre fontosabb szempont lett. A 90-es évekre a technológiáktól független környezetvédelmet felváltotta a technológiához egyedileg hozzárendelt, azokkal szervesen összekapcsolt környezetvédelem koncepciója.

A vegyipari technológiákba integrált környezetvédelem célja^v:

- a potenciális szennyező anyagok mennyiségének a forrásoknál történő csökkentése,
- a nyersanyagok és az energia felhasználásának mérséklése és
- a termelési hulladékok, valamint az elhasznált termékek újrahasznosítása.

Ahhoz, hogy ezeknek a céloknak a vegyipari vállalkozások megfeleljenek, a vegyipari technológiák jellegét kell a hulladékcsökkentés irányába eltolni. Ennek megfelelően a vegyipari technológia környezetvédelmi célú változásait két csoportba soroljuk:

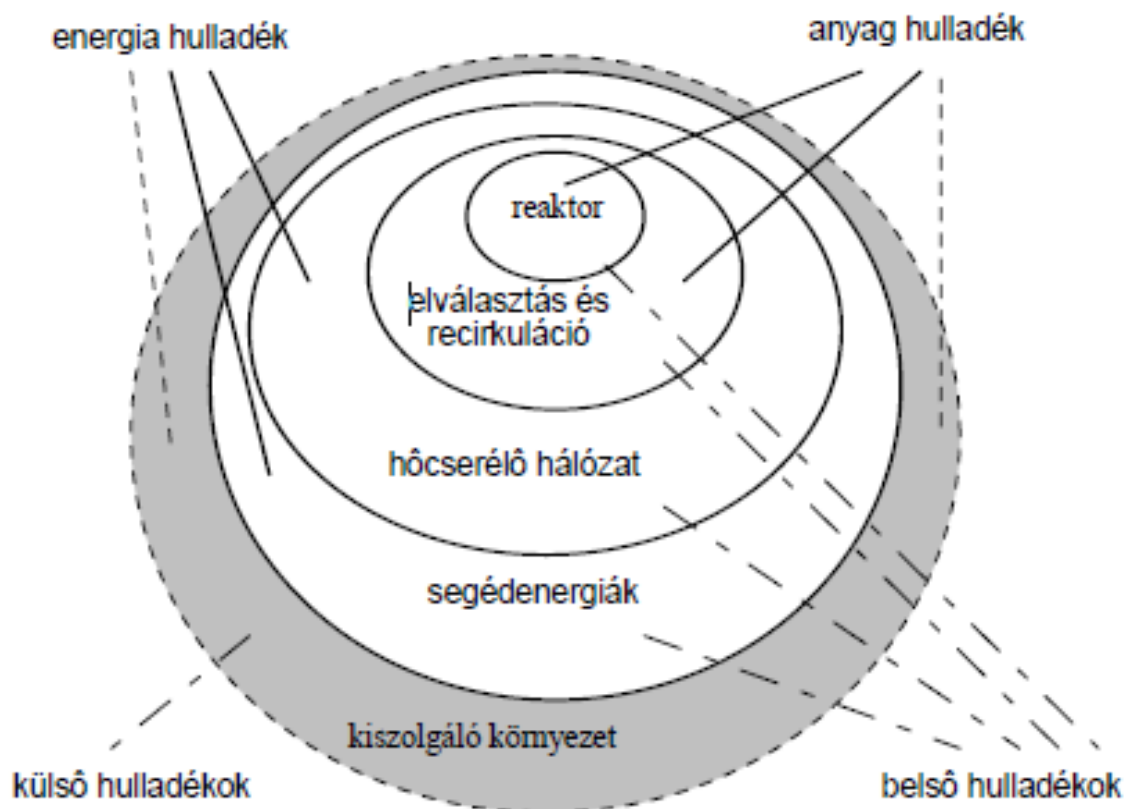
- meglévő üzemek korszerűsítése, illetve
- új, környezetvédelmet az alaptechnológiákba integráló üzemek tervezése, építése.

Az esetek többségében az új környezetbarát üzem építése könnyebb feladat, mint a meglévő üzemek technológiáinak korszerűsítése.

Olyan esetekben ahol egy vegyipari gyár több üzemegységből áll, ott nem elég az üzemek szintjén kezelni a hulladék kibocsátás csökkentését, mert így csak helyi optimumokat kapunk, ami nem feltétlenül egyezik meg a globális optimummal. Az egyes üzemek fejlesztéseit mindig egy magasabb egység részeként kell kezelni, ellenőrizni és összehangolni, és értelemszerűen a kibocsátás csökkentésének vizsgálatába és az ezt követő fejlesztésekbe az összes üzemet be kell vonni.

A hulladékcsökkentő folyamatokat leíró tervezést, hierarchikus vegyipari folyamattervezésnek nevezzük, amely egyaránt alkalmazható új technológiák kifejlesztésekor és a meglévő technológiák korszerűsítésekor.

A hierarchikus folyamattervezés Linnhoff és munkatársai^{vi} által publikált ún. hagymadiagrammal jellemezhető, amely jól szemlélteti a vegyipari termelő folyamat főbb elemeit és azok hierarchikus kapcsolatát.



134. ábra: Linnhoff hagymadiagramja

A folyamattervezés a belső rétegtől kezdődik, ez a reaktor, majd folytatódik az elválasztással és recirkulációval, ill. az ezeket a műveleteket végző berendezésekkel. A tervezés a hagymaszerkezetnek megfelelően bentről kifelé halad, tehát folytatódik a hőcserélő hálózattal és az energia és nyers, illetve segédanyag rendszerrel, majd végezetül magával a kiszolgáló környezettel. Így a folyamat egyre komplexebb lesz. A folyamattervezés során figyelembe kell venni a képződő hulladékokat is. Az első két rétegben anyag jellegű hulladékok, majd energiahulladékok keletkezése várható. A folyamattervezés lépéseiben keletkező hulladékokat gyűjtőnéven belsőhulladékoknak, a kiszolgáló környezetben keletkező hulladékokat külső hulladékoknak is nevezhetjük.

Mivel a folyamattervezés egyes szintjei között szoros összefüggések, kölcsönhatások^{vii} vannak, ezért mindig együtt kell vizsgálnunk az egész folyamatot. Például, ha a reaktor optimális működése a cél, akkor nem hagyhatjuk figyelmen kívül a folyamattervezés többi szintjét, az elválasztás és a recirkuláció folyamatát.

Fonyó és munkatársa^{viii} közleményükben egy táblázatban foglalta össze a hagyma-diagram rétegei alapján a képződő különféle hulladékokat (anyag- és energiahulladékokat) valamint egyes hulladékcsökkentési eljárásokat. A rendszer egységeit érintő változtatások befolyásolják a rendszer többi elemét, így a járulékos hatásokra minden egyes alkalommal figyelni kell.

56. táblázat: Képződő hulladékok és lehetséges hulladékcsökkentési módszerek

Réteg	Hulladékforrás	Hulladékcsökkentés egyik lehetséges módja
reaktor	Az elreagálatlan nyersanyagok visszavezetése nehéz	Konverziót növelni kell
	Magában a főreakcióban keletkezik hulladék	Más reakcióutat kell választani Más reaktortípust kell választani Változtatni kell a reaktor hőmérsékletét és a nyomást Reagens felesleget kell alkalmazni
	A mellékreakcióban keletkezik a hulladék	A terméket el kell távolítani a reakció közben
	A nyersanyag szennyezései miatt keletkezik hulladék	Tisztítani kell a nyersanyagot, vagy más nyersanyagot kell alkalmazni
	A reakció katalizátora már „elfáradt”	A katalizátort cserélni kell
	Rossz üzemeltetés, körülmények	Új szabályozási rendszer bevezetése
Elválasztás és recirkuláció	Szennyezett a nyersanyag	Nyersanyag tisztítása
	Az elválasztáshoz segédanyagot kell alkalmazni	Új műveletet kell kifejleszteni a segédanyag kiváltására
	A hulladékáramot nem vezetik vissza	Új technológiai lépésként elválasztást kell beiktatni
	Reverzibilis reakcióban keletkezik a hulladék	A hulladékot el kell választani és a rendszerbe visszavezetni
Kiszolgáló környezet	Indítási és leállási nehézségek lehetnek	Minimalizálni kell a leállások számát az üzembiztonság javításával
	Raktározás	Jó raktározási körülmények biztosítása
	Berendezések tisztítása	Megbízható berendezéseket kell alkalmazni
	Berendezések emissziója	Megbízható berendezéseket kell alkalmazni
	Mintavétel	Zárt rendszerű mintavételt kell biztosítani
Hőcserélők, energia és kiszolgáló környezet	Közvetlen emisszió veszélye az üzemből vagy az energiaellátó rendszerből	Az energiahasznosítás javítása A fűtőközeg cseréje Energiahordozók és a füstgáz kéntelenítése Kis NO _x emissziójú kazánok használata Füstgázok visszavezetése
	Szennyvíz	Konceptuális vagy NLP módszerek alkalmazása a szennyvíz csökkentés érdekében

15.4. Hulladékcsökkentés meglévő vegyipari üzemek, gyárak esetében

A környezetvédelmi törvények szigorodása előtt egy vegyipari üzemben a hulladékcsökkentést a technológiai folyamatok pontos betartása jelentette, ettől eltérni csak kis mértékben lehetett, abban az esetben, ha ez nem csökkentette számottevően a termelési hozamokat. Ebből az is következik, hogy ameddig az adott technológiai folyamatot használták, addig a hulladék mennyisége és milyensége nem változott.

Már működő vegyipari üzemekben akkor érhetőek el megfelelő eredmények a hulladékminimalizálás területén, ha a környezetterhelés csökkentési lehetőségeket a technológia minden egyes részegységében megvizsgáljuk.

A hulladékképződés csökkentésének lehetőségeit meg kell vizsgálni valamennyi már működő üzem esetében és állandóan szem előtt kell azokat tartani új üzem tervezésekor is. A meglévő üzemek környezetvédelmi korszerűsítésénél korlátozva van a vegyészmérnök tervezői szabadsága, mivel az üzem berendezései már adottak és azok lényegesen már nem módosíthatók. Esetenként van lehetőség új berendezések üzem beállítására, de alapvető változtatásokra nem kerülhet sor.

Linnhoff által megalkotott hagyma-diagram struktúrája szerint a hulladékképződés lehetséges módjai a következők lehetnek:

15.4.1. Reaktor:

A reaktor a vegyipari technológiákban az egyik legfontosabb egység, az anyaghulladék keletkezésének egyik fő felelőse^{ix}. A leggyakoribb esetekben öt fő oka^x lehet annak, hogy a reaktorban anyagjellegű hulladék keletkezik:

- A főreakcióban is keletkezik hulladék, pl: $A + B \rightarrow \text{Termék} + \text{Hulladék}$
- A termékből is keletkezik hulladék, pl: $A + B \rightarrow \text{Termék}$; illetve $\text{Termék} \rightarrow \text{Hulladék}$;
- A nyersanyagban lévő szennyeződés a kémiai reakció következtében hulladékká alakul illetve a reakciókban ezután részt is vesz káros mellékreakciókat eredményezve, valamint ami növeli a nyersanyagvesztéseget is;
- Abban az esetben, ha a nyersanyag a reaktorban nem reagál el teljes mértékben és a recirkuláció nem lehetséges, akkor a nyersanyag nagy része hulladékká válik;
- Amennyiben a vegyipari reakcióban a katalizátor előregedik az is hulladékképződéssel jár.

A fentiekben már említett technológiai lépések közti kölcsönhatások miatt fontos szempont a reaktorok optimális konverziójának kiszámítása a környezetvédelmi szempontok figyelembe vételével.

Amennyiben a reaktorban csak a termékképződéssel járó vegyipari reakció játszódik le, tehát nincsenek mellékreakciók, akkor 100%-os konverzióra kell törekedni. Természetesen ezt csak abban az esetben tehetjük meg, ha ez a környezetvédelmi szempontoknak nem mond ellent.

A meglévő reaktorok működtetése a nyersanyagok betáplálásának javításával, jobb katalizátor alkalmazásával, a fűtés és/vagy hűtés optimalizációjával javítható.

A hőmérséklet szabályozása különösen fontos az erre érzékeny vegyipari technológiák esetében, Smith és Petela ipari esettanulmányában^{xi} erre találunk példát. A reaktor

hőmérsékletének kismértékű változása esetén a főtermék másodlagos reakciók sorozatán keresztül hulladékká alakult, ezáltal a termelésihozam jelentős mértékben lecsökkent. Megoldásként a hőmérséklet pontos szabályozását kellett biztosítani. Ennek érdekében a helyi túlmelegedések elkerülése végett a keverési mechanizmust optimalizálták, valamint gondoskodni kellett a reaktor külső hűtésének tökéletesítéséről is, de ez költségnövekedéssel járt volna. Egy külső hőcserélő alkalmazásával a reaktor tartalmát folyamatosan keringették a hőmérséklet emelkedés kiküszöbölése érdekében, valamint a reaktor hűtőkörnyegében lévő vizes hűtést maximalizálták. A változtatások eredményeként javult a főtermék hozama, ezzel párhuzamosan pedig csökkent a hulladék képződése, ami mind környezetvédelmi mind gazdasági mutatókban is jelentős javulást hozott a cégnek.

15.4.2. Elválasztás és recirkuláció:

A technológia ezen pontján a cél a termék elválasztása a nyersanyagtól és az esetlegesen keletkező hulladéktól, és a nyersanyag visszajuttatása, recirkuláltatása a reaktorba (lásd. 135. ábra).

Smith és Petela ezeknek a technológiai lépéseknek az anyagjellegű hulladékok csökkentésére irányuló megoldásait négy pontban foglalta össze:

- A reaktorba jutás előtt a nyersanyag szennyeződéseinek eltávolítása nagyon fontos az esetlegesen fellépő mellékreakciók elkerülése céljából;
- A hulladékáram direkt recirkuláltatása reverzibilis reakciókban képződő hulladékok esetében lehet megoldás;
- A többletkomponensek hozzáadásának eliminálása is csökkentheti a képződő hulladék mennyiségét;
- A hulladékáramban maradt termékek és/vagy nyersanyagok elválasztása a hulladéktól, és ezeknek a megfelelő technológiai lépésekbe történő visszavezetése.

15.4.3. Hőcserélő hálózatok, energiahordozók és kiszolgálóközegek:

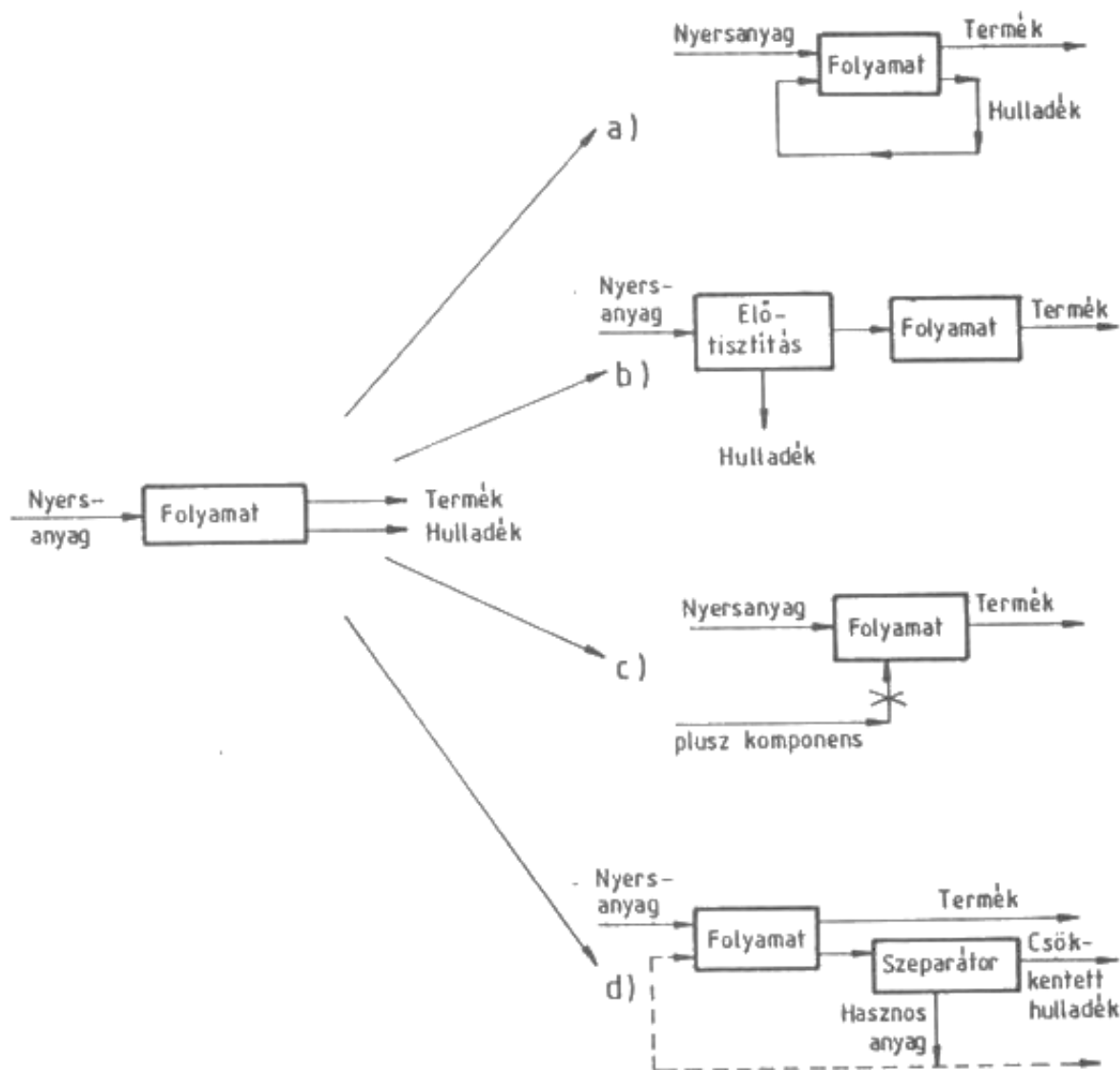
A technológia lépések ez irányú környezetvédelmi szintű változtatásával energia megtakarítás képződik, melynek segítségével a gazdasági szempontok javulnak, valamint az energiahulladék mennyisége csökken. A vegyipari technológiák esetében az energiahulladék csökkentését energiaracionalizálással tudjuk elérni.

Eddig a hagyományos szerkezetben szereplő technológiai lépéseket ismertettük, de nem szabad megfeledkezni a kiszolgálóközegekben történő változtatási lehetőségekről sem, hiszen ezek is nagymértékben csökkenthetik a hulladékok keletkezését, vagy legalább is kevésbé veszélyes hulladékok keletkezését valószínűsítik.

15.4.4. Raktárkészlet:

A technológia pontos ismerete fényében kell meghatározni a raktározni kívánt nyersanyag mennyiségét, hiszen a sokáig tárolt nyersanyag (bizonyos technológiák esetén) megromolhat, minősége veszt a kívánatos értékből. A kisebb, de a technológia szempontjából elégséges nyersanyag tárolásával költségmegtakarítás érhető el, és nem mellékesen az esetleges veszélyes hulladék keletkezését is a minimálisra csökkenthetjük.

A nyersanyag vásárlásánál figyelni kell arra, hogy lehetőleg azonos mennyiségben és kiszerezésben vásároljuk az anyagot, a kiürült tartályokat töltsük újra, hiszen így sok csomagolási hulladék keletkezését hiúsíthatjuk meg.



135. ábra: Az elválasztás szerepe a vegyipari hulladékok csökkentésében

15.4.5. Nyersanyag helyettesítés:

A meglévő és már akár évtizedek óta működő vegyipari üzemek esetében is találhatunk olyan technológiai módosítási lehetőségeket, melyek eredményeként egy vagy több nyersanyagot környezetbarátabb anyaggal helyettesíthetünk.

Ehhez a vegyipari technológia ismerete szükséges a keletkező hulladékok tulajdonságának, veszélyességének, mennyiségének illetve ártalmatlanítási költségeinek pontos meghatározásával. Működő üzem esetében csak azokkal a hulladékokkal érdemes foglalkozni, amelyek veszélyes hulladéknak minősülnek és megsemmisítésük nagy anyagi terhet ró a vállalatra.

Természetesen nem csak a reaktorba jutó anyagokra kell ezeket megvizsgálnunk, hanem a technológiai folyamat teljes anyagterképére is. A helyettesítés nem jelent minden esetben új anyagot, hiszen a fentiekben leírt okok miatt a tisztább, szennyeződésektől mentes anyagok használatával is csökkenthetik a keletkező hulladék képződését.

A teljesség igénye nélkül felsorolunk egy-két konkrét ipari példát:

- A hűtőtornyokba a veszélyes kromát alapú inhibitor használatát a kevésbé veszélyes foszfát alapú korroziógátlóval helyettesítették^{xii}.

- Kevésbé veszélyes, kevésbé illékony oldószerek alkalmazása, metil-etil-keton helyett egyes technológiákban már triklór-trifluor-etánt használnak.
- Régebbi szerves oldószer alapú festékeket vizes alapú festékekre cserélik ki.

15.4.6. Berendezések működtetése:

A technológiai folyamatokban résztvevő berendezések hatékonyságát javítani kell. Elengedhetetlenül szükséges a folyamatos ellenőrzés, az időszakos karbantartás betartása, hogy egy esetleges üzemzavar esetén a környezetszennyezés elkerülhető legyen. A folyamatos karbantartás a berendezéseknek nem csak az élettartalmát javítja, hanem csökkenti az olajvesztéseket ez által a hulladékok keletkezését csökkenti. Értelemszerűen új berendezés üzembeállítása, vagy a technológia sor egy vagy több elemének módosításakor előnyben kell részesíteni a kevesebb hulladékot termelő, tehát környezetbarátabb eljárást.

15.4.7. Hulladékok keletkezésének figyelése, kezelése, szelektív gyűjtésük:

Az üzemben keletkező hulladékokat általában egyben kezelik úgy, hogy az megfeleljen az általános környezetvédelmi előírásoknak, ami nem a legjobb megközelítés. Ennél sokkal szerencsésebb, ha a hulladékokat technológiai lépésenként külön-külön kezeljük, rendszerezzük, gondoskodunk ártalmatlanításukról. Ehhez azonban elengedhetetlenül szükséges a technológiai sor maradéktalan ismerete, hogy pontos mely berendezések a felelősek egy adott hulladék képződéséért. Jakobs és munkatársai tanulmányukban^{xiii} leírták, hogy egy vegyipari üzemben a keletkezett folyékony szennyvíz semleges kémhatást mutatott. Az egyes technológiai lépéseket felülvizsgálva azonban megállapították, hogy az egyik lépésben lúgos, a másokban savas kémhatású anyag keletkezett, amelyek a gyűjtés során összekeveredtek és semlegesítették egymást. A hulladékok keletkezési helyének lokalizálása után, apróbb módosításokkal azokat külön-külön meglehetősen szüntetni.

Rossz gyakorlat, hogy a regenerálásra szánt oldószereket együtt, közös tárolóedényben gyűjtik, mivel ez jelentősen megnehezíti a regenerálást, sőt annak költségeit is növeli. Ezért az oldószereket külön-külön kell gyűjteni.

15.5. Új üzemek tervezési feladatai, hulladékcsökkentési stratégiák

Új üzem tervezni bonyolultabb feladat, mint a régit átalakítani, azonban itt nincsenek már működő, beállított berendezések, amik a tervezést, a hulladékcsökkentési stratégia kialakítását gátolnák. A folyamattervezés során nem egy kész tervet készítünk el, hanem számos egyéb alternatívát, és a döntési mechanizmusban ezek közül lesz a legjobb kiválasztva.

Új vegyipari üzemek esetében több tervezési szinten kell kidolgozni a megfelelő stratégiákat:

- Termékkonceptió kialakítása,
- Laboratóriumi kísérletek,
- Folyamattervezés,
- Részletes, gépészeti tervezés.

A hulladékcsökkentés szempontjait nem a komplex rendszerben kell először vizsgálnunk, hanem az egyes döntési szinteken.

15.5.1. Termékkonceptió kialakítása

Elmúltak azok az idők amikor egy üzem, gyár felépítése nem azzal a kérdéssel kezdődött, hogy lesz-e kereslet a termékre. Egy termék gyártását tehát a piaci kereslet és kínálat viszonya dönti el, beleértve a gazdaságossági szempontokat is. Jellemzően egy kereslet-kínálat szintű döntés

előkészítői nem gondolnak a technológiai paraméterekre, azonban a döntés meghozatalában a környezetvédelem szempontjait is érvényesíteni kell. A szempontok érvényesítéséhez elegendő néhány kérdésre megadni a választ.

- A szükséges nyersanyag, az adalékanyagok, a termék és az esetlegesen keletkező hulladékok a veszélyes anyagok kategóriájába tartoznak-e? Vannak-e speciális környezetvédelmi előírások a felhasznált vagy keletkező anyagokkal szemben?
- A szükséges nyersanyag milyen szennyeződések tartalmaz? A szennyeződések miatt keletkező hulladék veszélyesnek minősül? Amennyiben mellékreakció lejátszódik, akkor ez kiváltható-e a nyersanyagok tisztításával?
- Az alkalmazott technológia BAT technikának minősül-e?
- A keletkező hulladékot a gyárban feltudják dolgozni? A maradék hulladék jogszabályoknak megfelelő elhelyezéséről, megsemmisítéséről tudnak-e gondoskodni?

A kérdésekre adott válaszok segítenek kiválasztani a megfelelő technológiát és már előre képet kapunk a felmerülő környezetvédelmi, hulladékkezelési problémákról, feladatokról.

15.5.2. Laboratóriumi és félüzemi kísérletek, technológiai méretnövelés

Minden technológiai eljárás az első kísérlettől a megvalósításig, egy fejlődési pályát fut be. A kívánt mennyiségű és minőségű termék előállítását teljesíteni képes üzemi eljáráshoz csak többlépcsős, tudatos fejlesztő munka eredményeként lehet eljutni. Ennek fő állomásai a laboratóriumi kísérlet, a félüzemi kísérlet, a próbaüzem és a nagyüzem.

A részletes tervezés előtt a költségminimalizálás, és a maximális üzembiztonság elérése valamint a hulladékcsökkentés szempontjából, gondos laboratóriumi és félüzemi vizsgálatok végzésére, s azok eredményeinek a figyelembe vételére van szükség, hiszen a feladat az egész technológia paramétereinek a meghatározása.. Ezeket a méréseket azonban gyakran elhagyják, mivel azok is nagyon költségesek és időigényesek.

Alapvető különbség a laboratóriumi és a félüzemi kísérletek között nem a reaktorok méretében lehet, hanem a megválaszolandó kérdésekben. A laboratóriumi vizsgálatok az egyes paraméterek közötti kapcsolatok tisztázására irányulnak, szigorúan ellenőrzött körülmények között. A különböző paraméterek hatásait el kell választani, hogy befolyásuk a teljes rendszer működésére jobban érthető legyen. A teljes folyamat ismeretével lehetőség nyílik a különböző technológiai konfigurációk célszerű tervezésére. A fél-üzemi vizsgálatok legfőbb célja, hogy tervezési változatokat dolgozzon ki a legvalószínűbb körülményekre. Mindenféle lehetséges hatást számításba kell venni a tervezésnél, hogy a szükséges ellenintézkedésekre kellően felkészülhessenek.

A cél nem a kitermelési százalék maximalizálása, hiszen 99%-os kitermelés sem elég jó, ha a maradék 1 % mérgező nem kezelhető hulladékká alakul át. Meg kell állapítani az egységnyi termék előállításakor várhatóan keletkező hulladék mennyiségét. Figyelni kell arra, hogy minden hulladékot azonosítsunk a technológia során, például a leállási, újraindítási veszteségeket is. Abban az esetekben, amikor többlépcsős, bonyolult szakaszos technológiákat használnak, sokkal több hulladék keletkezhet, mind az azonos kapacitású folyamatos üzemben. Éppen ezért nagyon fontos a laboratóriumi kísérleteknél és az ehhez tartozó technológiai méretnöveléseknél, hogy egy adott termék előállításánál minél egyszerűbb, folyamatos technológiát fejlesszünk ki.

15.5.3. Folyamattervezés

Jelen anyagban nem célunk a vegyipari folyamattervezés hatalmas irodalmának a feldolgozása, csak a hulladékcsökkentéssel, hulladékkezeléssel kapcsolatos részeket emelnénk ki. A környezetvédelem szempontjait figyelembe vehetik üzemi és vállalati szinten is. Üzemi szinten minden egyes technológiai folyamatot, gyártósorokat és az ott felmerülő hulladékkezeléssel kapcsolatos problémákat vizsgáljuk^{xiv}. Vállalati vagy más néven, felső szinten a vállalat egészére vizsgáljuk a környezetvédelem szempontjait, az egyes üzemek egymásra gyakorolt hatásait, de nem vizsgáljuk az egyes technológiai lépéseknél felmerülő problémákat^{xv}.

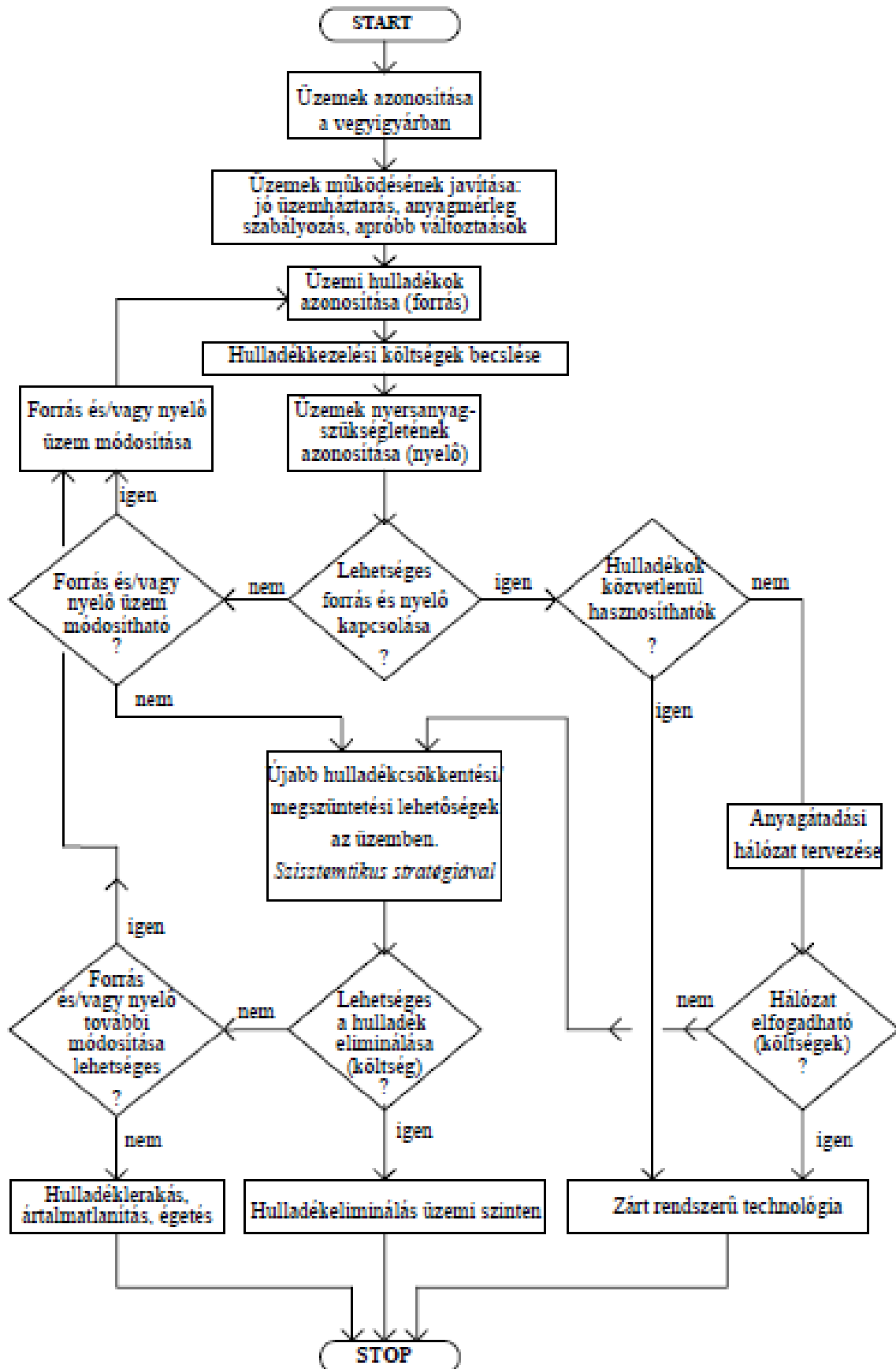
Egy helyesen megválasztott reaktor határozza meg az egész rendszert, az egész folyamatot. A reaktor üzemeltetésekor különös figyelmet kell szentelni az adalékanyagok bevitelének minimalizálására, hiszen ezek a hulladékok keletkezését valószínűsíthetik. Ha egy adalék- vagy segédanyag használata elkerülhetetlen, akkor olyat kell választani, aminek a kezelésére megvannak a pontos és megbízható környezetvédelmi technológiák.

Cohen és Allen tanulmányukban^{xvi} egy finomító üzembeli példán szemlélteti a folyamattervezés során. A technológiai sor számos pontján a szennyvíz fenol szennyeződést mutatott, ugyanakkor a rendszer más elemei fenolt igényeltek. A feladat adott volt, a keletkezett fenolt a szennyvízből ki kell nyerni, amit extrakcióval és adszorpcióval oldottak meg. A hulladékkeletkezésének csökkentése mellett jelentős nyersanyag költséget is meg tudtak takarítani.

15.5.4. Szisztematikus stratégia az anyaghulladékok csökkentésére

Mizsey publikációjában^{xvii} egy szisztematikus stratégia alkalmazását javasolta a hulladékcsökkentési eljárások kidolgozásában. Az egyes üzemekben a technológiák kismértékű változtatásával elérhető az anyagjellegű hulladékok csökkentése. Ezt követően gazdasági szempontból kell megvizsgálnunk a hulladékkezelési módszereket. Az egyes gazdasági alternatívákat viszont csak akkor szabad figyelembe venni, ha a keletkezett hulladékkezelésének nincsenek speciális környezetvédelmi szabályai.

Mielőtt az egyes üzemekben lényeges technológiai változtatásokat hajtanánk végre, meg kell vizsgálni, hogy hasznosítható-e valamelyik üzem hulladéka nyersanyagként a vegyipáron belül egy másik üzemben. Ezt a technikát zártrendszerű recirkulációs technológiának nevezzük¹⁴. Az ilyen technológiák lényege a vegyipari gyárak tudatos tervezése úgy, hogy az egyik üzemben keletkező mellékterméket a másik üzemben nyersanyagként tudjuk felhasználni. Ha semmiképp nem tudunk zárt rendszerű termelést kialakítani, akkor üzemi szinten kell törekedni a hulladékok minimalizálására. A fentiek szerint meg nem szüntethető hulladékokat ártalmatlanítjuk, elégetjük, vagy lerakjuk.



136. ábra: Szisztematikus hulladékcsökkentési stratégia a vegyi üzemek és a vegyipár szintjén

15.6. Üzemi tapasztalatok szerepe a hulladékcsökkentésben

Egy üzem és/vagy egy vállalat üzembe helyezése és/vagy működtetése során számos felbecsülhetetlenül fontos tapasztalat gyűlik össze, melyekre a tervezőnek nagy szüksége van. Ezért fontos az üzem dolgozóival a rendszeres tapasztalatcsere és megbeszélés. Ők testközelből ismerik a problémákat és sokszor azok megoldásában is hasznos segítséget nyújtanak. Az egyes keletkezett hulladékok megítélésében is lényeges a véleményük. Legalább ennyire fontos azonban, hogy az üzem dolgozói is tudatban legyenek a hulladékcsökkentési törekvéseknek és sajátjuknak érezzék azokat.

15.7. Zöld vegyipar: fenntartható fejlődés

A vegyipar megítélése egyre romlik, pedig az 50-es, 60-as években a társadalom a kémiát tekintette a megváltónak, annak, aki megadja a társadalom különféle igényeire a választ. A vegyipar fejlődött, de sajnos sok olyan nem várt esemény következett be mely a kezdeti eufórikus hangulatot a nem várt irányba terelte. Megemlíthetnénk rossz példaként itt a DDT nevű rovarirtószert, a magzati rendellenességeket okozó Thalidomide nevű gyógyszert, vagy az ózonkárosító, hűtőszekrényekben alkalmazott freonokat. Nem mehetünk el a nagy vegyipari balesetek mellett sem. 1984-ben 3500 ember halt meg Indiában metil-izocianát levegőbe kerülésekor, 1996-ban a texas-i egyetemen egy rosszul megválasztott vegyipari hulladék közömbösítési technológia során a fém nátriumot tartalmazó szerves hulladék vízzel került kapcsolatba, a kár 30 millió dollárra rúgott. 2000-ben hazánk elszenvedte az eddigi (remélhetően utolsó) legnagyobb elővíz szennyeződését. A román- ausztrál tulajdonú Aurul a környék fémhányáiban felhalmozott meddőhányókból nyerte ki az aranyat és ezüstöt - a fejlettebb országokban már nem alkalmazott - ciános kioldással. Mivel az eljárás vízigénye igen nagy, a mérgező mosóvizet ülepítés után újra felhasználták. Az ülepítő gát átszakadt a ciánt és nehézfémeket tartalmazó szennyvíz a Lápos folyóba ömlött, majd a Szamoson keresztül elérte a Tiszát. A vállalatnál nem létezett kárelhárítási terv, így nem történt kísérlet sem a szennyezés lokalizálására, sem enyhítésére. Az érintett folyókban 1241 tonna hal pusztult el.

A fentiekben említett környezetet és az emberi életet károsító tevékenységek veszélyessége csökkenthető, ha a vegyipari technológiáknál visszaszorítjuk a veszélyes anyagok felhasználását és előállítását. A zöld vegyipar céljaiban a környezetterhelés csökkentése, a veszélyes anyagok kiváltása és az ehhez kapcsolódó technológiák kidolgozása áll. Ilyen tulajdonságú termékek, nyersanyagok, technológiák alkalmazása gazdaságilag rövidtávon nem kifizetődő. A gazdasági megtérülés hosszútávon fog bekövetkezni.

A zöld vegyipar alapelveit 12 pontban foglalták össze. Itt mindegyiker nem térnénk ki, hiszen ezzel számos nagyon színvonalas tanulmány foglalkozik^{xviii,xix}, csak a hulladékkezeléssel kapcsolatos alapelvekkel foglalkozunk.

- Az első és legfontosabb elv a hulladék keletkezésével foglalkozik. A keletkezés meggátolása a legfontosabb, jobb ezzel foglalkozni, mint a hulladékot költséges technológiákkal kezelni. A termelő fizet a hulladék elszállításáért, tárolásáért, sőt a hulladék újrahasználatánál már az egyszer megvett anyagot szeretné visszanyerni így ezért duplán fizet.
- Az energiahulladékok csökkentésének jó példája lehet, ha a technológiákat úgy módosítjuk, hogy lehetőleg azok szobahőmérsékleten és atmoszférikus nyomáson játszódjanak le. Általános szabály, hogy minél kevesebb energia kell egy termék előállításához, annál versenyképesebb, mert az energia drágulása nem érinti olyan mértékben a termék árát, mint a kevésbé hatékony energiafelhasználással készülő versenytárs termékét.

- Megújuló nyersanyagok alkalmazunk vegyipari alapanyagként. A megújuló nyersanyagok tipikus képviselői a biológiai, főként a növényi eredetű anyagok. Ahol lehet, ezeket kell használni.
- A termékek lehetőleg ne kerüljenek a környezetbe, ha mégis oda kerülnek, akkor viszonylag rövid idő alatt környezetre ártalmatlan összetevőkre bomoljanak el.

16. Vegyipari tevékenységek hulladékkezelései (Dr. Kurdi Róbert)

Pannon Egyetem, Veszprém

16.1. Elérhető legjobb technika alkalmazása az olefingyártásban^{xx}

16.1.1. Bevezetés

1999-ig az Európai Unió minden egyes tagországának saját nemzeti jogrendjébe kellett illeszteni a 96/61/EK irányelvet, mely a környezetszennyezés integrált megelőzéséről és csökkentéséről (IPPC direktíva) szól.

A magyar országgyűlés az IPPC Irányelvet, a környezetvédelem általános szabályairól szóló, 1995. évi LIII. Törvény módosítása (a törvényt a 2001 évi LV. törvény módosítja, mely egyes törvényeknek a környezet védelme érdekében történő, jogharmonizációs célú módosításáról szól) és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárás részletes szabályait lefektető, 193/2001-es Kormány Rendelet megalkotása révén illesztette be a magyar jogrendszerbe.

Az IPPC, mint egy kiemelten fontos környezetvédelmi irányelv, a környezetre hatással bíró tevékenységeket egy egységes engedélyezési rendszerbe tereli, melynek eredményeképpen a környezet szennyezése megelőzhető, ha ez nem valósítható meg maradéktalanul, akkor a lehető legkisebb mértékűre kell visszaszorítani a szennyezés kibocsátást.

Az IPPC egyik alapvető újítása és követelménye a BAT technikák bevezetése. A BAT egy angol mozaik szó, a Best Available Techniques rövidítése. A magyar megfelelője az „elérhető legjobb technikák”, amely összefoglalva a következőket jelenti: azok a hatékony és fejlett eljárások és módszerek, melyek lehetővé teszik a szennyezés kibocsátás elkerülését, amennyiben ez nem lehetséges akkor a minimalizálást. Természetesen a gazdaságossági szempontokat is figyelembe kell venni a technológiák kiválasztásakor. Amikor a BAT alkalmazása nem megfelelő a környezetvédelmi és a szennyezettségi határértékek betartásához, akkor a BAT-nál szigorúbb intézkedések is megkövetelhetők.

Az ipari gyáraknak a hatóság nem írja elő egy konkrét technológia alkalmazását, a környezethasználóknak kell egy engedélykérelmi dokumentációban igazolniuk az általuk használni kívánt technikát, ezt vizsgálják felül és ellenőrzik az alkalmazni kívánt technika viszonyát a BAT követelményeihez. Annak érdekében, hogy a BAT meghatározását megkönnyítsék a környezetvédelemmel foglalkozó államigazgatási szervek iparági útmutatókat adtak ki, melyben bemutatják a főbb szennyező forrásokat és szennyező komponenseket.

A jegyzetben részletesebben az egyszerű szénhidrogének gyártását mutatjuk be.

16.1.2. Az ágazat főbb környezeti hatásai

A vegyipari tevékenységek közül a szénhidrogének előállítása tartozik az egyik legszennyezőbb tevékenységek közé. Az alkalmazott technológiák között találhatóak alacsony és magas nyomású és hőmérsékletű eljárások is. A krakkolási szakasz endoterm reakció, ami rendkívül energiaigényes, az olefinek szétválasztása pedig exoterm reakció, ezért jelentős hűtővízigény lép fel a szükséges hűtés elérése érdekében.

A krakkolás vízgőz jelenlétében történik, ami miatt jelentős mennyiségű szénhidrogén tartalmú szennyvíz keletkezik a krakkolás utáni elő-szétválasztás, a termékfrakcionálás és a krakkoló kemencék kiégetésekor is. Az eljárások során keletkező szennyvizeket technológiai eredetű szennyvizeknek nevezzük. Ezeket a vizeket, a szennyezésnek kitett illetve a nem szennyeződött csapadékvizektől, a recirkulációs vízű hűtő-körök vizeitől külön kell kezelni, külön

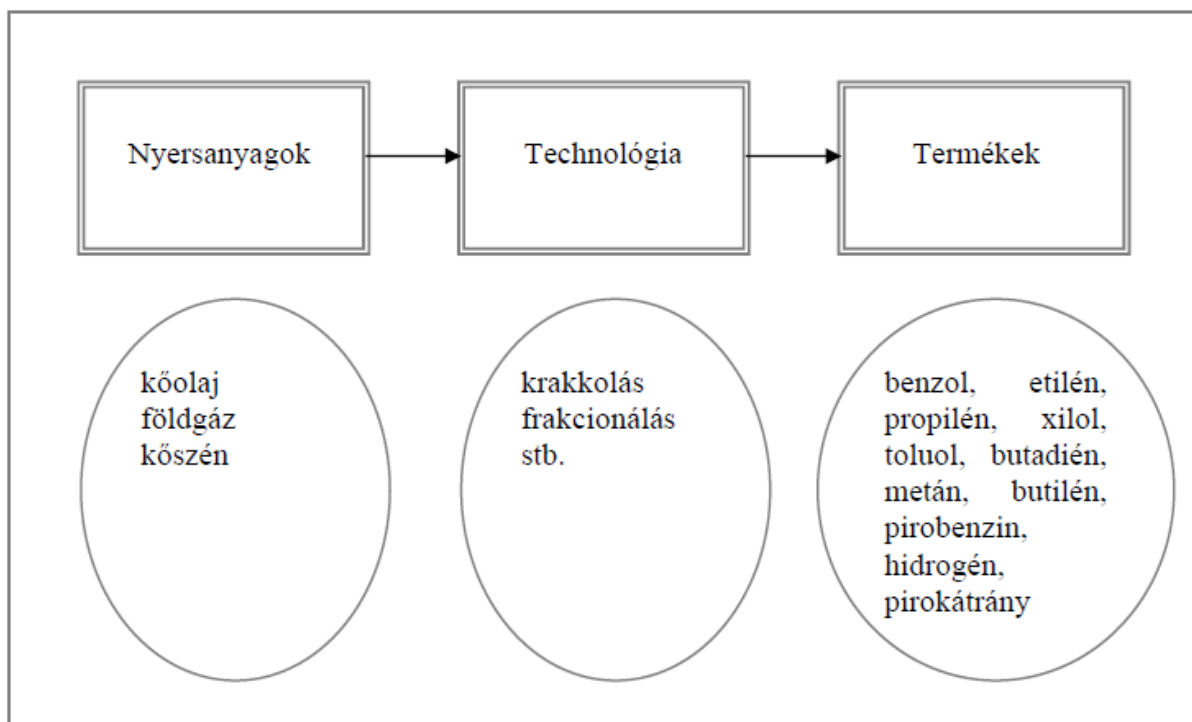
csatornahálózat alkalmazásával. A biológiai tisztításuk előtt előkezelésükről is gondoskodni kell. Vízmennyiség megtakarítás okán a hűtővíz rendszereknél recirkulációs eljárást alkalmaznak. Ezzel összhangban nagyon fontos, hogy a technológia oldaláról történő vízszennyeződéseket meg tudjuk akadályozni.

Az olefinek előállítását zárt technológiai rendszerben történik. Az üzemeltetés során szükséges gázlefűtásokat végezni, ezeket zárt fáklyarendszerben gyűjtik. Ebbe a rendszerbe vezetik a folyadék lefűtásokat is, melyeket az erre a célra kiépített forralókban előzetesen elpárologtatnak, majd a gázok elvezetése innen fáklyákon keresztül történik. A gázok a fáklya kilépő pontján a folyamatosan égő őrláng biztosításával égnek. A fáklyák lehetnek csőfáklyák, vagy ún. földfáklyák.

Az olefingyártó technológiák potenciális légszennyező forrásoknak is bizonyulnak, hiszen a technológia során számos esetben történhet meg a környezet ilyen irányú szennyezése. Többek közt a szivattyúk, kompresszorok, csővezetékek, elzáró és szabályozó szerelvények karimái, tömszelencéi, készülékkarimák, mintavételi helyek, tárolótartályok légzői helyes és helytelen működése következtében.

Az olefingyártás egyben jelentős vegyipari hulladékforrás is. Hulladékot képeznek a különböző kimerült szárító- és katalizátortöltetek, az elhasznált kenő-, szabályozó- és tömszelence záróolajok, a karbantartásból, készüléktisztításból származó polimerek és iszapok, továbbá a különböző elhasznált segédanyagok. A képződő hulladékok szinte minden esetben veszélyes hulladéknak is minősülnek.

Kiemelten kell kezelni a talaj és a talajvíz védelmét. Különböző iparágakban a technológiai berendezések alatti területet technológiai blokknak is nevezzük. Olefingyártás esetében ezt a területet összefüggő szigetelt és olajálló térburkolattal kell ellátni, mert a csapadékvíz összegyűjtéséről, elvezetéséről és a befogadóba történő bevezetése előtti szennyvíztisztításáról gondoskodni kell.



137. ábra: Olefingyártás folyamatábrája

Az esetek többségében az olefingyártás során egy különálló, de a technológiai sorral szorosan kapcsolódó tartályparkot is használnak. Itt az alapanyagok, ritkábban a termékek és melléktermékek tárolása történik. A folyadékfázisú anyagokat atmoszférikus állóhengeres tartályokban tárolják. Ezeket környezetvédelmi okokból védősáncsal, kármentesítővel veszik körül. A tartályokat úgy alakítják ki, hogy az esetleges szivárgás a tartályfenéken is érzékelhető legyen, mivel a tartályparkok potenciális talaj-, illetve talajvíz-szennyező forrásoknak minősülnek.

Az olefingyártás leegyszerűsített folyamatábrája alapján látható, hogy milyen nyersanyagokból indulnak ki és, hogy milyen termékek képződnek.

16.1.3. Szennyezés megelőzés az olefingyártás során

Minden ipari ágazatban, de különösen a veszélyes, mérgező anyagokat alkalmazó vegyiparban különös figyelmet kell szentelni a szennyezés-megelőzésnek. Ezt az egyre jobb és tökéletesebb technológiák alkalmazásával, a melléktermékek hasznosításával lehet elérni.

Ebben az iparágban különösen igaz, hogy a használatos berendezések nagyon drágák és hosszú élettartammal rendelkeznek, azonban ennek ellenére a szennyezés-megelőzésére irányuló befektetések a jobb és fejlettebb technikák hatékonysága révén rövidebb vagy hosszabb távon megtérülnek.

Ezeknek a tevékenységeknek lehetnek közvetlen és közvetett előnyei is.

Közvetlen előnyök:

- Mivel kevesebb hulladék keletkezik, ezért csökken a hulladékok kezelésének költsége;
- A kevesebb hulladékból adódóan, kevesebb vagy optimális esetben nem is kell hulladék-kezelő berendezéseket létesíteni;
- A hulladék-kezelési költségek nem csak az üzemben belül, hanem a telephelyen kívül is csökkennek;
- Fejlettebb technológiák alkalmazásakor jobb kihozatalt érhetünk el a termékek szintjén, ami szintén gyártási költségek csökkenését vonja maga után;
- A fejlettebb technológiák miatt a hulladékokat könnyebben tudjuk értékesíteni vagy újrafelhasználni ezekből bevételek és megtakarítások is képződhetnek;
- Az esetleges környezetszennyezés elkerülése miatt a felmerülő környezeti előírásokból származó szankciók száma is csökken.
- A kevesebb hulladék miatt a hulladékkezelés környezeti hatásai is csökkennek;
- Végezetül, de nem utolsó sorban a környezetbarátabb üzem a vevőket elégedettséggel töltheti el, javul a bizalmuk, mely javítja az értékesítés sikerét.

Közvetett előnyök:

- A káros környezeti hatások csökkentése költségmegtakarítást eredményez a következő területeken:
 - alacsonyabbak lesznek a remediációs költségek;
 - megtakarítások képződnek a törvényi-jogi kötelezettségek teljesítése során;
 - a társadalom jobban elfogadhatónak fogja tartani az üzemet;
 - jobb közegészségügyi helyzet;
 - növekszik a környezettudatosság az üzem vezetői és dolgozói körében.

Fontos megjegyezni, hogy a környezetet terhelő szennyezés megelőzésére használt folyamatokat a fejlesztések bármely szakaszában bevezethetjük. Sok esettanulmányt megvizsgálva megállapítható, hogy a kutatási és fejlesztési szakaszban érdemes a

változtatásokat véghezvinni, hiszen ez lesz a legeredményesebb a termelés és a környezetvédelem szempontjából. Sok szempontból hozhat megfelelő eredményt az üzemeltetési gyakorlatban bevezetett változtatás is.

Egy vegyipari üzem tekintetében a szennyezés-megelőzés érdekében végzett változtatásokat szinte a technológia egészét érintően meglehet határozni.

A jegyzet ezen szakaszában kizárólag csak az olefin szénhidrogének előállítása során megtehető szennyezés-megelőző lépéseket részletezi.

16.1.4. Az energiahatékonyság kérdése

Az ipar technológiák fejlődése sajnos sok esetben az energiafelhasználás növekedésében jelentkezik, minél nagyobb, minél jobb teljesítményű berendezések energiaszükséglete általában növekszik. Éppen ezért az energiahulladékok, valamint a kibocsátásra kerülő gázhalmazállapotú hulladékok keletkezését meg kell gátolni a lehető legjobb optimalizációk alkalmazásával.

Az olefin gyártás esetében a szén-dioxid emissziók a krakkolóba betáplált alapanyag mennyiségével általában arányosak. Az optimalizáció elérése érdekében ahol arra csak a technológia lehetőséget ad, vissza kell nyerni a hőt. Az emissziókat nem csak a betáplált anyag mennyisége, hanem az anyag típusa is befolyásolja. Mivel az utóbbit nehezebb befolyásolni ezért a szén-dioxid emissziót szinte csak az energiahatékonyság növelésével tudjuk a kívánt irányba elmozdítani.

16.2. Nehézfém tartalmú szennyvizek, galvániszapok és anyalúgok kezelése

A vegyipar számos területén, a gyógyszergyártásban, a gumiiparban, a festékgyártás valamint a korrózióálló galvánbevonat készítése során is képződnek krómtartalmú hulladékok. A szerves vegyiparban oxidálószerként alkalmazott króm-trioxid ugyancsak krómtartalmú szennyvizet és anyalúgot eredményez.

A króm-trioxid rendkívül erős oxidálószer, etanollal és más szerves anyagokkal robbanásszerűen reagálhat. Erősen mérgező vegyület. Pora a szemet, a légzőszerveket és a bőrhámot erősen izgatja, súlyos felmaródásokat okoz. Belsőleg emésztési zavarokat, vesekárosodást és májkárosodást, görcsöket, bénulást idéz elő. 0,6 g anyag már halálos lehet. Gőzei is mérgezőek. A bőrre került anyagot bő vízzel le kell mosni.

A technológiai lépésekben keletkező szennyvizekben és anyalúgokban a króm az esetek többségében mind króm(III)-, mind króm(VI)-ionként van jelen. A fentiekben feltüntetett okok miatt az ilyen hulladékokat ártalmatlanítani kell, a legjobb, ha úgy, hogy a krómtartalom újra felhasználható legyen.

16.2.1. Ipari szennyvizek és anyalúgok krómtartalmának kezelése

Egy balatonfüzfi vegyipari vállalatnál egy egyszerűen kivitelezhető eljárást dolgoztak ki^{xxi} a króm(VI)- és a króm(III) tartalom biztonságos kinyerésére. Az eljárás előnye, hogy ipari méretekben is gazdaságosan alkalmazható, ennek eredményeként az élővizek szennyeződése megakadályozható.

A technológia első lépésében az anyalúgban lévő króm(IV)-ionokat nátriumbiszulfitos kezeléssel króm(III)-ionokká redukálják. Ezután a reakcióelegyben lévő különböző szerves

szennyeződések extrakciója következik. A technológia jellegzetessége, hogy környezetbarát módon az extrakcióhoz felhasznált oldószert desztillációval visszanyerik. Az extrahált oldatot többnyire nátrium hidroxiddal kezelik, végtermékként króm-szulfát oldat keletkezik, amely bőrcserző szerként azonnal felhasználható. Ha erre nincs szükség, akkor bepárlással szilárd formában kapják meg, így számos más eljárásban felhasználható. A kidolgozott eljárás előnyei:

- a krómtartalmú szennyvizek és anyalúgok feldolgozása jelentősen csökkenti a környezet terhelését,
- az eljárással hasznosítható, illetve értékesíthető termékek állíthatók elő,
- az eljárás ipari méretben egyszerűen, a vegyiparban általánosan használatos gépi berendezésekben és készülékekben kivitelezhető,
- a felhasznált anyagok nagy része a technológiai folyamatba visszaforgatható, így csak minimális mennyiségben kerül szennyezőanyag a környezetbe.

16.2.1.1. A króm kinyerése króm(VI)-tartalmú galvániszapból (Hulladékok és másodnyersanyagok felhasználása 2003/5)

A modern technika számos helyen alkalmazza a korrózióálló galván krómbevonatokat. A technológia után a galvániszapban hat vegyértékű krómot tartalmazó anyagok maradnak vissza. A hagyományos technikák alapján a króm visszanyerése történhet

- ioncserélő gyanták alkalmazásával,
- elektrolízissel.

A krómtartalmú galvániszapot a jobbik esetben kémiai módszerekkel redukálják az előzőekben említett példák alapján, vagy rosszabb esetben veszélyes hulladékként deponálják. A zöld vegyipar és a fenntartható fejlődés elveit figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy 1 tonna króm-trioxid bányászata, használata és hulladékként való kezelésé során 28,8 GJ energiát használunk fel.

Svájcban egy új eljárást dolgoztak ki a fenti problémára, mely során szerves oldószert alkalmazásával a szilárd hulladékból kinyerhető a króm-trioxid, mely így teljes értékű nyersanyagként hasznosítható tovább.

Az elsődleges vizsgálatok megállapították, hogy a króm és a vas kinyerésének nehézségét a galvánhulladék nedvességtartalma okozza. Abban az esetben ha legalább 5%-os mennyiségben tartalmaz a szilárd anyag krómot, akkor a technológia a következő lépésekből tevődik össze:

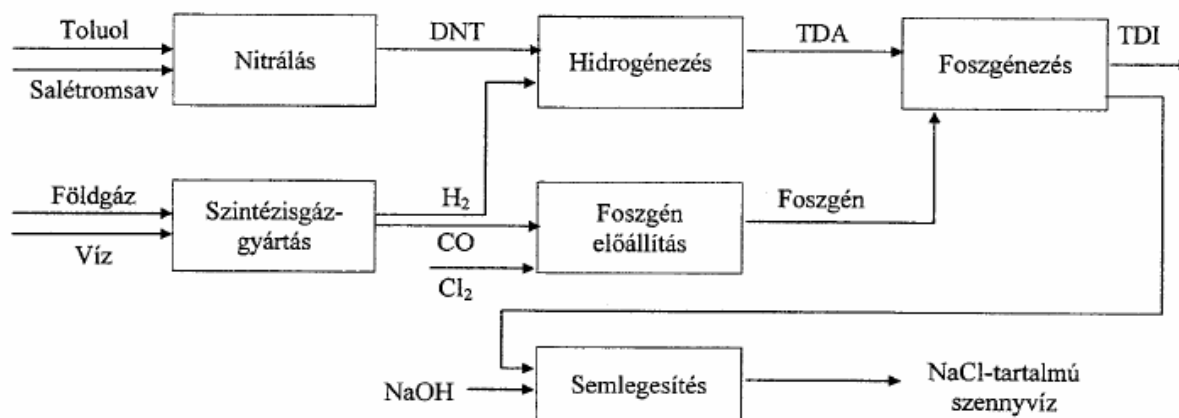
- Az erősen hidratált polianionok - $[Cr_n(OH)_{3n+m}]^{m-}$ -formájában jelenlévő krómot kénsavas feloldás után elektrokémiai úton, (Sn-Pb) O_{2-x} anódon oxidálják, ahol kromát, dikromát vagy krómsav formájában válik le. Majd a terméket megszáritják.
- Az előbbieken nyert $CrO_3 \cdot xH_2O$ vagy $Cr_2O_6 \cdot xH_2O$ képletű termékben a kötött vizet az extraháló oldattal (S=oldószert) helyettesítik, majd elpárologtatják, így $CrO_3 \cdot yS$ vagy $Cr_2O_6 \cdot yS$ vegyületet kapnak.
- A szilárd/folyadék-elegyből kiszűrik és oldószerttel leöblítik a szilárd részt. Az oldószert elpárologtatása után pedig az anyagot átkristályosítják.
- A kiszűrt maradékban ólóm- és bárium-sóként megkötött krómot úgy nyerik ki, hogy az egyensúlyt a jól oldódó dikromát irányában eltolva ezt elektrokémiai eljárásnak vetik alá.

Az egész eljárás haszna a kitermelés és az újrahasonosítás költségeinek összehasonlításából következik. Egy tonna hatértékű króm-oxid újrahasonosítása az ércből kiinduló technológiának energiafelhasználásából az oldószeres extrahálás optimalizálásától függően 25-60% között van. Összességében elmondható, hogy az itt bemutatott eljárásnak köszönhetően felesleges energia és költség a galvániszap hulladék krómtartalmának ártalmatlanítása, majd lerakókba szállítása, hiszen mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontból jobban megéri a leírt technológiával történő újrahasonosítás.

16.2.1.2. Izocianát-gyártás során keletkező hulladékok újrafelhasználása^{xxii}

Kiwitt tanulmányában^{xxiii} a toluol-diizocianát gyártásának példáján keresztül mutatja be zártrendszerű technológiák alkalmazását.

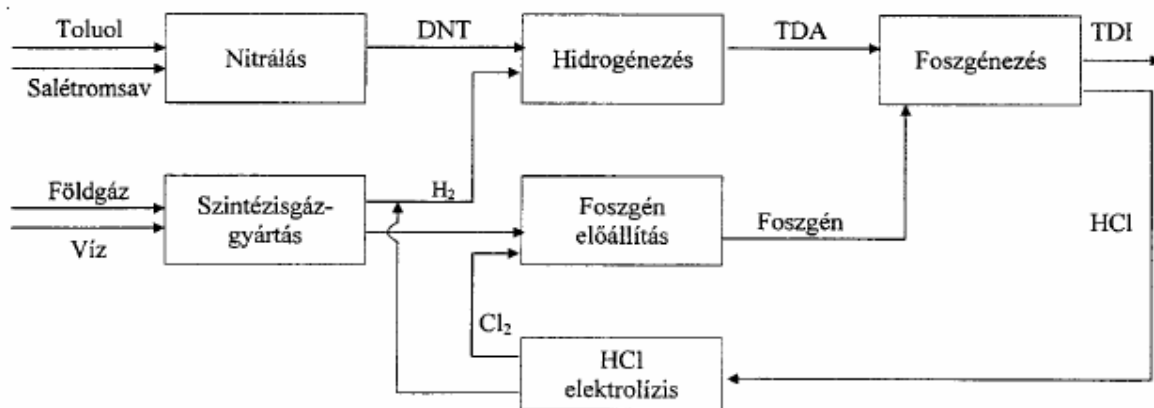
Az izocianátok a poliuretán ipar alapanyagának számítanak és többlépcsős technológiával állíthatók elő, kémiai és fizikai átalakítások sorozatán keresztül. A technológia egy korábbi változatában a foszgénezésnél sósav keletkezett, melyet nátronlúggal semlegesítettek (**138. ábra**) és az így kapott sós szennyvíz hulladékként szerepelt tovább a folyamatban. Ez komoly környezetterhelést jelent és nem mellékesen a technológiát is drágábbá tette.



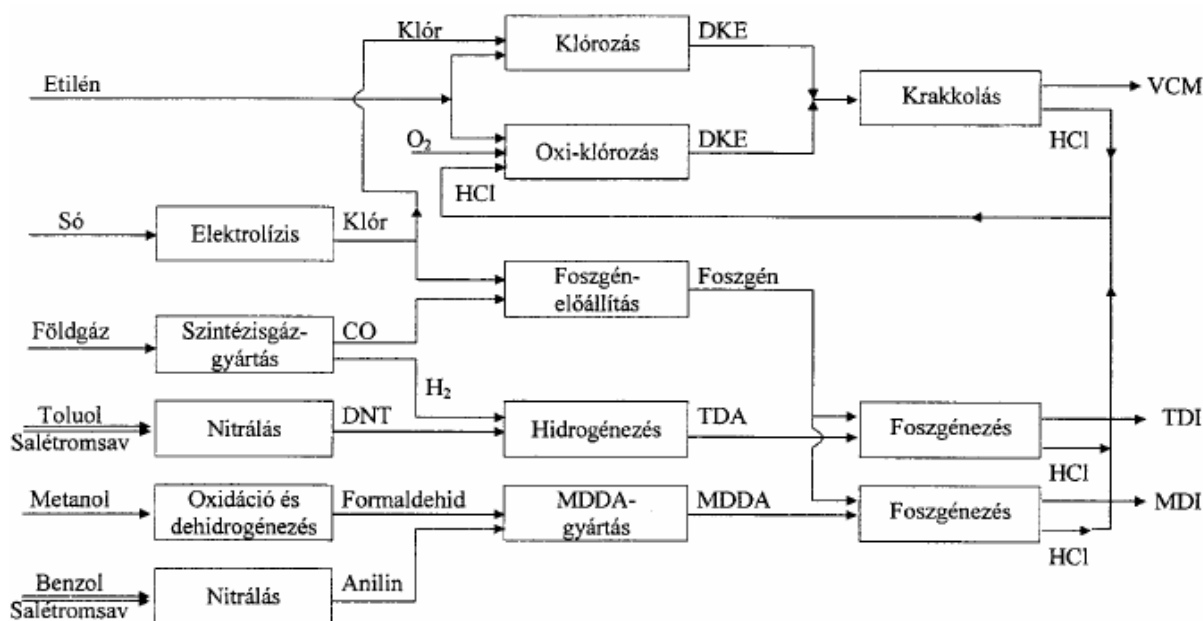
138. ábra: A korábbi izocianát gyártás technológiai folyamatábrája (TDI – toluilén-diizocianát, DNT – dinitrotoluol, TDA – toluilén-diamin)

Kiwitt által leírt technológiában a sósavat nem semlegesítették nátriumhidroxiddal. A képződő sósavból elektrolízissel hidrogén és klór gázt állítanak elő, melyet a technológia egyes részeibe visszatáplálnak. A hidrogént a hidrogénezésnél, a klórgázt pedig a foszgéngyártásnál használják fel (**139. ábra**). A német vegyipari óriás, a BAYER AG öt üzeménél valósították meg ezt a technológiai módosítást, ami mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból sikeresnek bizonyult.

A magyar vegyipar egyik fellelgyárában, a BorsodChem Rt-nél is alkalmazták az integrált izocianát gyártást, sőt sikeresen kapcsolták össze a PVC gyártásukkal. Így három különböző lépésben keletkezik sósav, az izocianát gyártásnál, a diklór-etán krakkolásánál és a metilén-difenil-diamin foszgézési reakciójánál. A három forrásból származó sósav együttes alkalmazásával egy modern gyártásszerkezetet hoztak létre. Ennek az alapja egy új, kombinált vinil-klorid monomer gyártás, amelynél a kiegyensúlyozott klórozás – oxiklórozás lépésben a melléktermékként képződött összes sósavat feldolgozzák, és ezzel egy környezetbarát integrált folyamatot valósítanak meg (**140. ábra**).



139. ábra: Integrált izocianát előállítás a BAYER AG vegyipari vállalatnál (TDI – toluiléndiizocianát, DNT – dinitrotoluol, TDA – toluilén-diamin)



140. ábra: BorsodChem Rt integrált környezetbarát technológiai megoldása (VCM – vinil-klorid monomer, TDI – toluilén diizocianát, MDI – metilén-difenil-diizocianát, DNT – dinitro-toluol, TDA – toluiléndiamin, DKE – diklór-etán, MDDA – metilén-difenil-d

A technológiát azért ha még kis mennyiségben is, de hagyja el hulladéknak minősülő szennyvíz, ezt előkezelik, majd az anyagintegráció elvének megfelelően a központi szennyvíztisztítóba kerül.

16.2.2. Izopropil-alkohol visszanyerése oldószerhulladékból^{xxiv}

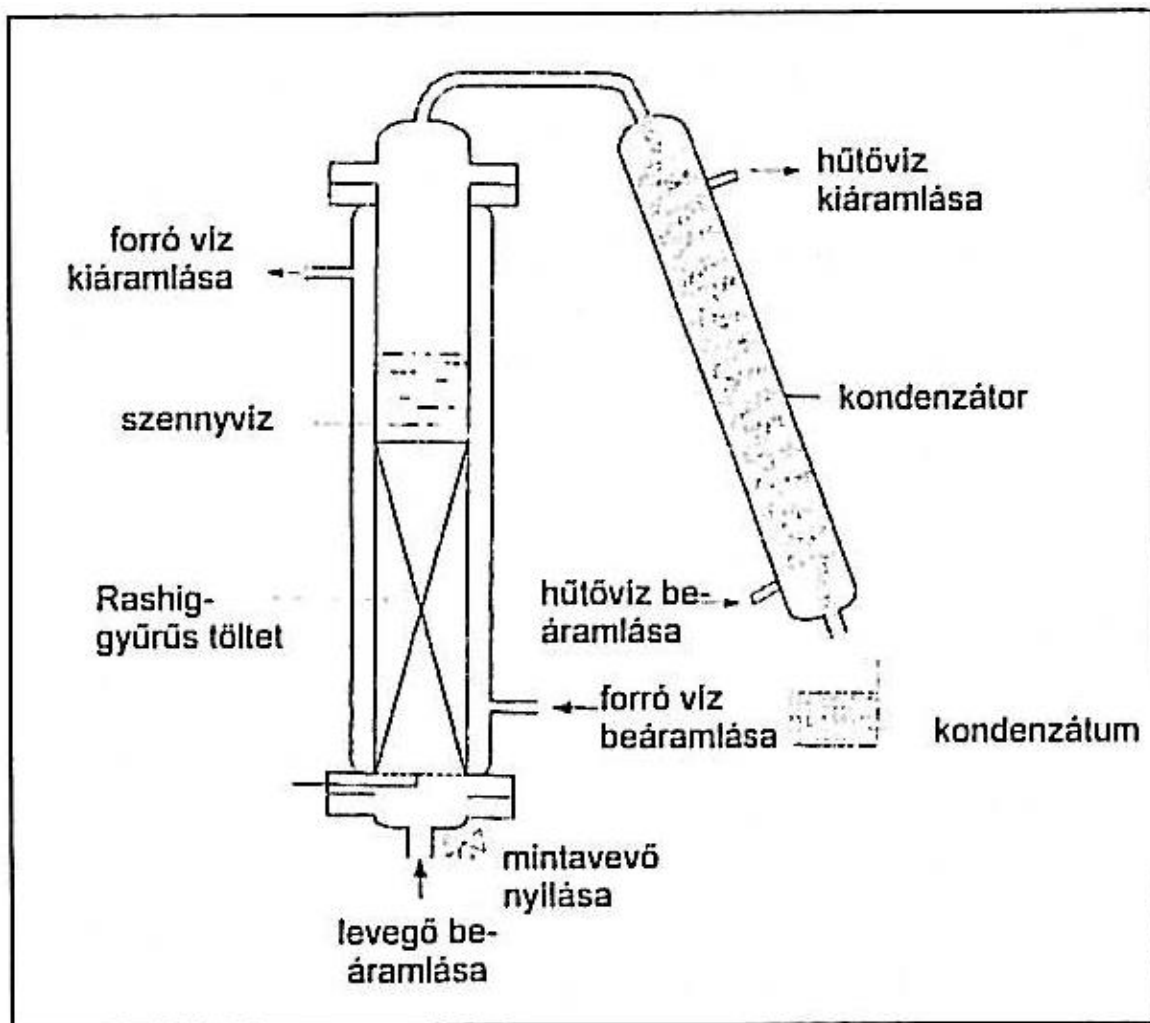
Az izopropil-alkohol (vagy izo-propilalkohol, izopropanol, 2-propanol, propán-2-ol) a legegyszerűbb szekunder alkohol. Az 1-propanol konstitúciós izomerje. Színtelen, jellegzetes szagú folyadék. Jól oldódik vízben, alkoholban, és éterben.

Oldószerként, illetve acetone és más vegyületek előállítására használják. Valamint oldószerként alkalmazzák festékek, lakkok és szappanok gyártásakor. Használják fertőtlenítőszerekben is. A gépkocsik hűtővizének fagymentesítésére is alkalmazzák.

Az izopropil-alkohol oldószert széles körben alkalmazzák az elektronikai és finommechanikai iparban is, tisztító és víztelenítő szerként, többek közt a félvezetőgyártó üzemekben a lapkák

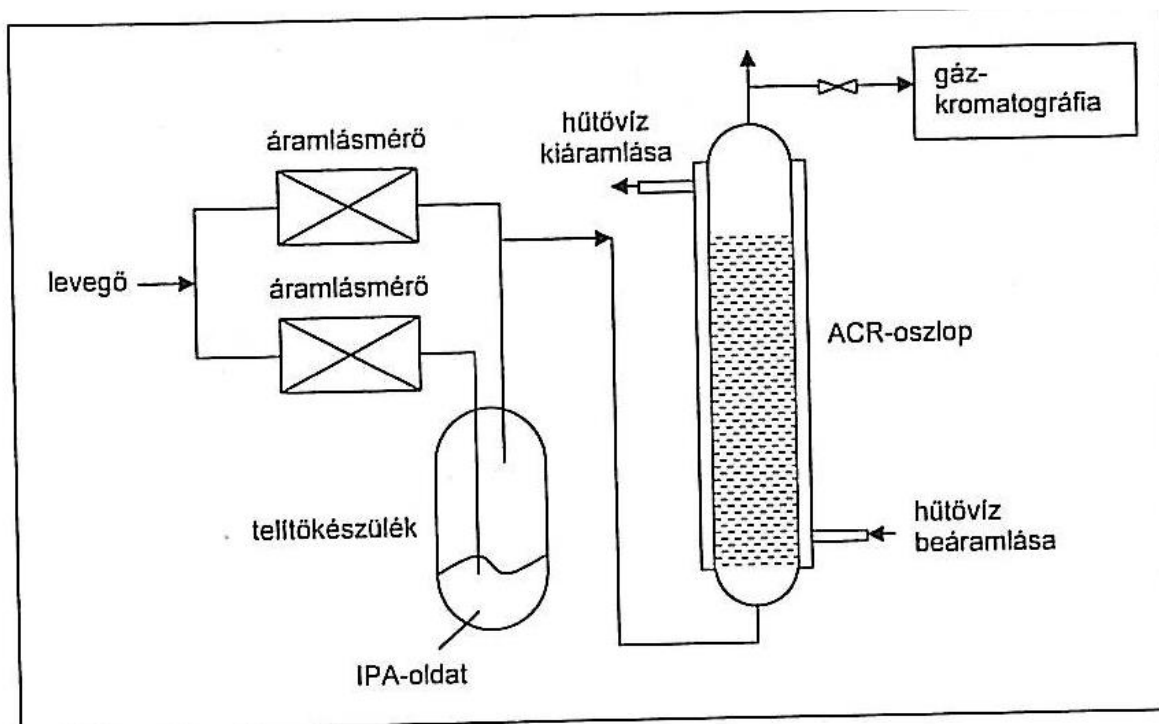
felületének mosására és tisztítására. A félvezetőgyártás évente több mint ezer tonna igen nagy tisztaságú izopropil-alkoholt használ fel, melyet eleinte az alapvető környezetvédelmi előírásoknak csak tisztítottak és oldószerhulladékként kezeltek. Ez többnyire égetéses technológiát jelentett a nagy szerves anyag tartalom miatt, azonban ebben az esetben a visszanyerhető anyag teljes egészében elveszett.

Mivel viszonylag alacsony a forráspontja (84,2 C) ezért desztillációval vagy átpárolgatással elválasztható az oldószerhulladéktól (**141. ábra**). A desztilláció megfelelő megoldás lehetne, hiszen a vegyiparban gyakran alkalmazzák illékony szerves vegyületek elválasztására, azonban jelentős energiaigénye és magas költségei miatt nem megfelelő módszer az izopropil-alkohol visszanyerésére. Ugyancsak el kell vetni a más esetekben sikeresen alkalmazott hidrofil membrán technikákat, az energiaigénye ugyan nem magas, de a berendezések üzemeltetése egy bonyolult technológiai folyamat részeként gazdaságilag nem kifizetődő.



141. ábra: A levegős kigőzölés folyamata mellékkondenzátorral

Gazdasági és környezetvédelmi szempontból kiválasztott eljárás a magyarul kigőzölésnek vagy kipárlási módszernek nevezett technológia, kondenzációval és aktív szén rosttal végrehajtott adszorpcióval kombinálva (**142. ábra**).



142. ábra: Izopropil-alkohol adszorpciója aktív szén rost tölteten

A technológia nem egy fejlett eljárást takar, de az alkalmazott berendezések egyszerű és olcsó üzemeltetést tesznek lehetővé. A vizsgált esetben a kigőzölőtoronyból kilépő gázelegyben lévő izopropil-alkohol gőzt a vízhűtéses mellékkondenzátorban kondenzáltatják. A gázelegyben visszamaradó izopropil-alkoholt a kondenzátor elhagyását követően az aktív szén rost töltetes oszlopban adszorbeálják.

16.2.2.1. Az oldószerhulladék jellemzői

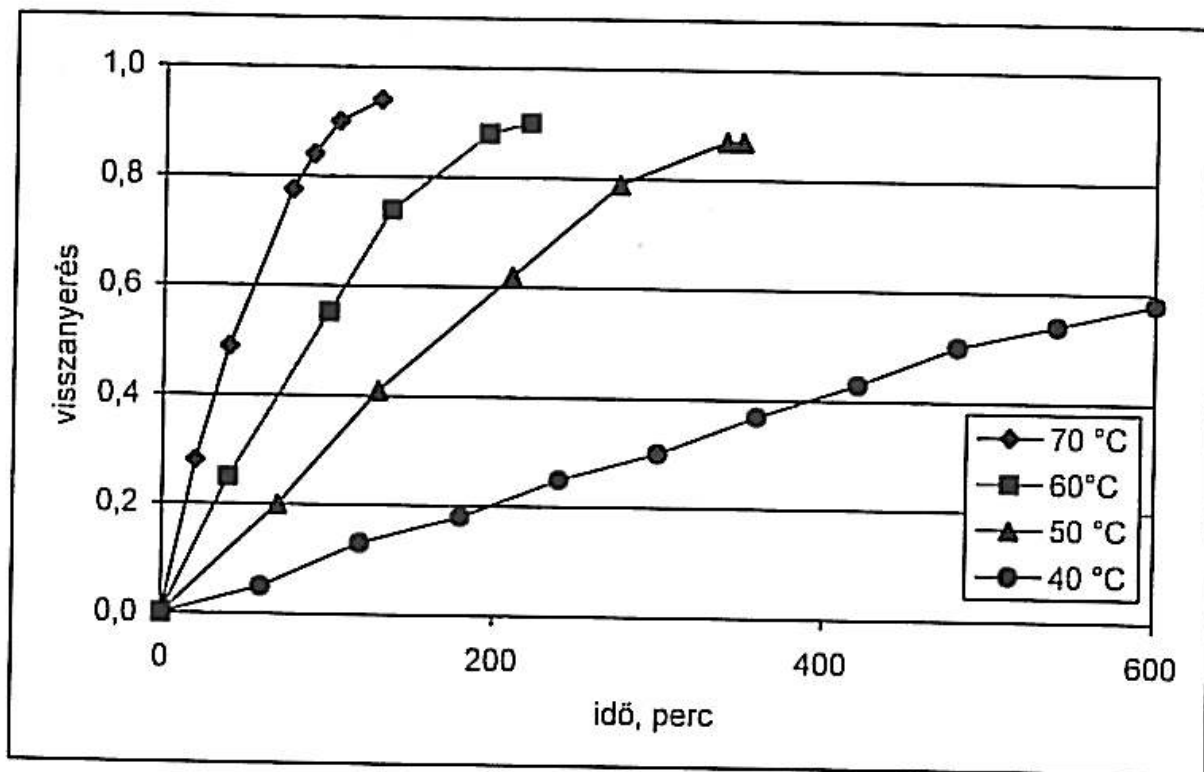
A félvezetőgyártásban alkalmazott oldószer, tiszta izopropil-alkohol, azonban az oldószerhulladék mintáiban különféle vizsgálatokkal szerves és szervetlen vegyületeket mutattak ki. Az oldószerhulladék minőségét a kémiai oxigénigénnyel, a szuszpendált szilárd anyaggal és a vezetőképességgel lehet jellemezni. Az oldószerhulladék színének meghatározására spektrofotometriás méréseket használtak, az izopropil-alkohol koncentrációját pedig gázkromatográfiai módszerekkel határozták meg.

A félvezetőüzem tájékoztatása szerint az oldószerhulladékok kis mennyiségben az alábbi kémiai anyagokat tartalmazzák: felületaktív anyagok, fotorezisztens rétegek (komplex polimerekből, adalékanyagokból, érzékenyítő anyagokból), előhívó anyagok (tetrametil-ammónium-hidroxid, monoetanol-amin, glikol-éter), kigőzölő reagensek (2-propanol-amin, dietilén-glikol-monometil-éter), derítőszer (N-metil-2-pirrolidion) és más szerves anyagok (metanol, alkilén-glikol, színezékek).

A vizsgálatokat egy éven keresztül végezték el, ez alatt az oldószerhulladék pH-ja 9 körüli, színe pedig sötét narancssárga volt. A minták mért kémiai oxigénigénye meghaladta az 1.000.000 mg/l értéket, szuszpendált szilárd anyag mennyiségük 10 mg/l értéknél, vezetőképességük 65 ± 21 $\mu\text{m}/\text{cm}$ értéknél volt kisebb. A várakozásoknak megfelelően az izopropil-alkohol mennyisége meglehetősen nagy volt, 675 ± 28 g/l. Ennek megfelelően az izopropil-alkohol visszanyerésére szükség volt két technológiai lépés, mégpedig a levegős kigőzölés és az aktív szenes adszorpció, együttes alkalmazására.

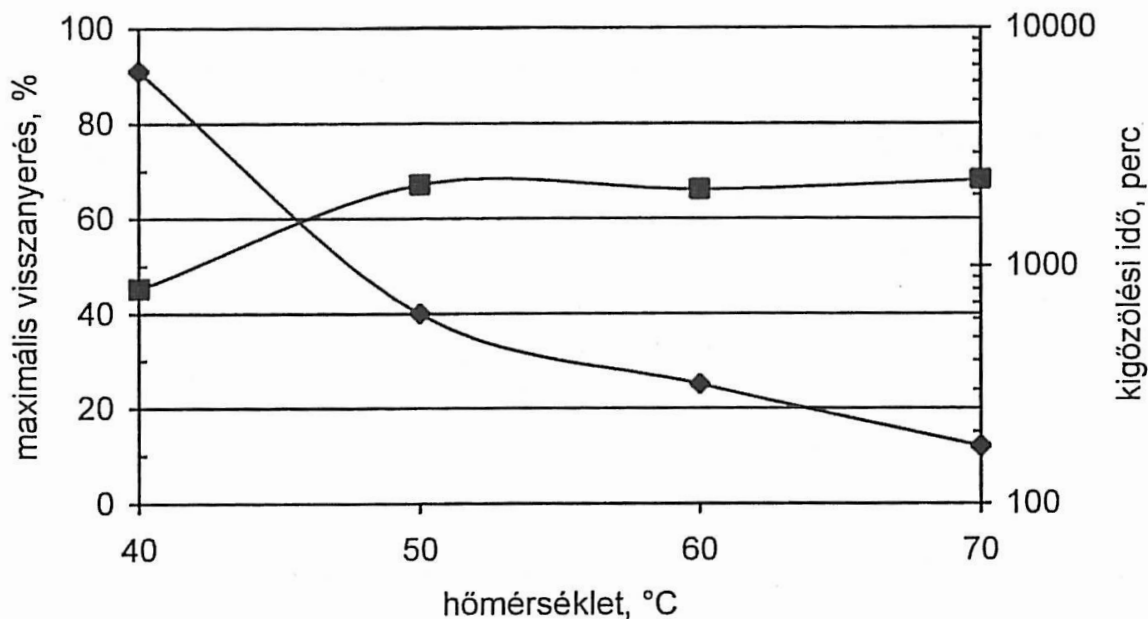
16.2.2.2. Az izopropil-alkohol visszanyerése levegős kigőzöléssel

Az optimális visszanyeréshez szükséges beállítani a megfelelő kigőzőlési hőmérsékletet, a levegő-térfogatáramát és a kigőzőlési időt. A **143. ábra** a kigőzőlési hőmérséklet hatását mutatja az izopropil-alkohol visszanyerésének esetében. 70 C-on a kinyerés gyorsan nő, körülbelül 150 perc alatt éri el a maximumot. A hőmérséklet csökkentésével ez a gyors növekedés lelassul, 40 C-on pedig már a maximum elérése 2265 percig tartott.



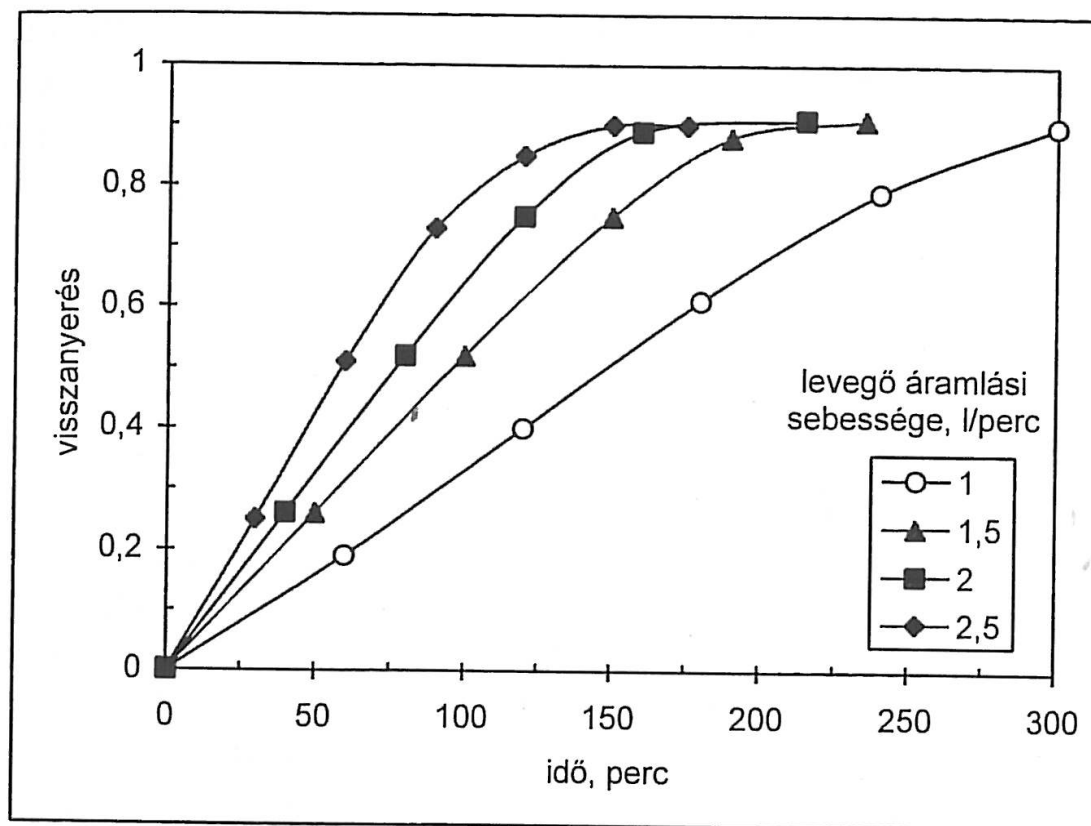
143. ábra: Izopropil-alkohol visszanyerése az idő függvényében különböző kigőzőlési hőmérsékleten, 697 g/l kezdeti koncentráció, 1,5 dm³/min levegőáramlási sebesség és -10 C-os kondenzátor hőmérséklet mellett

Az izopropil-alkohol maximális mértékű visszanyerése és az ehhez szükséges kigőzőlési hőmérsékletet ábrázolták a **144. ábra**. Az ábrán látható, hogy a 40 C-on maximálisan 62 % körüli maximális visszanyerés valószínűsíthető és ez is hosszú időbe telik (2265 perc). 50 C-on a kigőzőlési idő lecsökken 380 perc körüli értékre és a visszanyerés határfoka 92 %-ra növekszik. A hőmérséklet 70 C-ra történő növelésével a visszanyerés határfoka már csak kis mértékben javul 94%-ig, viszont az ehhez szükséges idő jelentősen lecsökken, 380 percről 153 percre. Ezek alapján elmondható, hogy a 60 vagy 70 C-os kigőzőlés előnye a rövid kigőzőlési idő, hátrányként viszont a jelentős energiatöbblet írható fel.

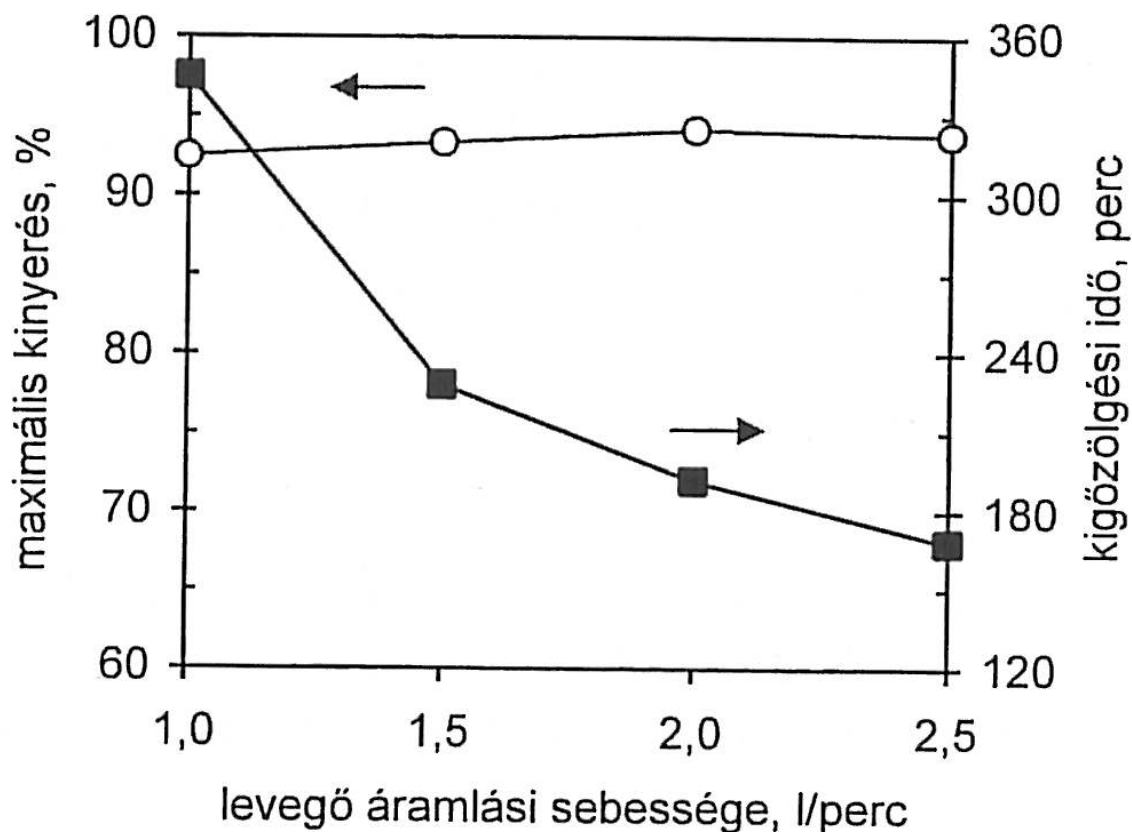


144. ábra: Maximális izopropil-alkohol visszanyerés és az ehhez szükséges kigőzőlési idő a kigőzőlési hőmérséklet függvényében, 697 g/l kezdeti koncentráció, 1,5 dm³/min levegőáramlási sebesség és -10 C-os kondenzátor hőmérséklet mellett

A levegő áramlási sebességének hatását a visszanyerés határfokára a **145. ábra** és **146. ábra** mutatja. Az ábra 60 C-os kigőzőlési hőmérséklet mellett mutatja be a tendenciákat.



145. ábra: Izopropil-alkohol visszanyerése az idő függvényében különböző levegőáramlási sebességek esetén, 697 g/l kezdeti koncentráció, 60 C-os kigőzőlési hőmérséklet és -10 C-os kondenzátor hőmérséklet mellett

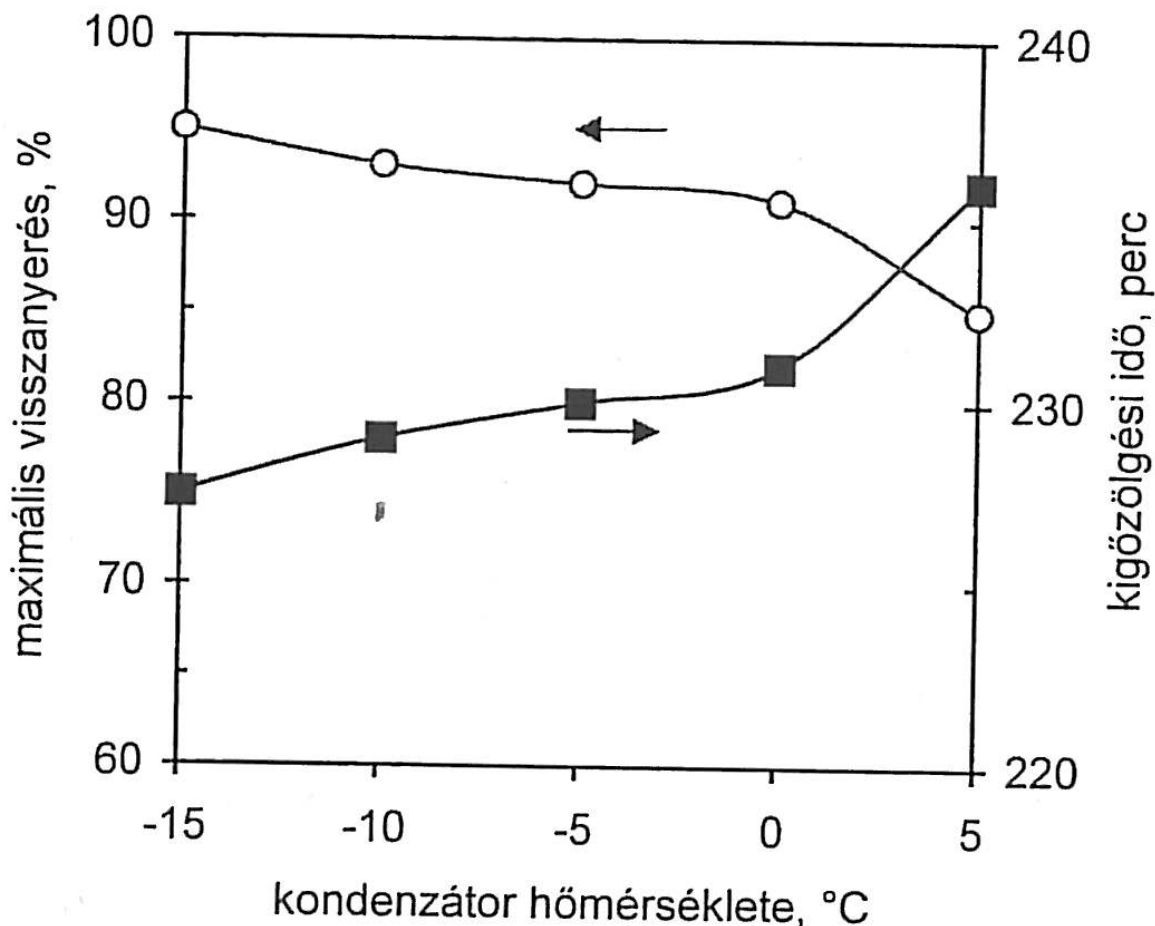


146. ábra: Maximális izopropil-alkohol visszanyerés és az ehhez szükséges kigőzölési idő a levegő áramlási sebességének függvényében, 697 g/l kezdeti koncentráció, 60 C-os kigőzölési hőmérséklet és -10 C-os kondenzátor hőmérséklet mellett

Az ábrák alapján látható, a mérések bebizonyították, hogy a levegő térfogatáramának változása nincs számottevő hatással a maximális kinyerésre, mivel ha az 1 dm³/min értéket megnöveljük a 2,5-szeresére, akkor a maximális kinyerés csak 0,8% nő, 92,6%-ról 93,4%-ra. A levegő áramának hatása jelentősebb a maximális kinyerés elérésére szükséges időre, de a változás itt sem mondható jelentősnek.

Hiába változik a kigőzölési idő a levegő térfogatáramának hatására kedvezően, a nagyobb levegőáram miatt a tartózkodási idő és ez kedvezőtlen hatással lesz az izopropil-alkohol koncentrációjára a kondenzátorban, ráadásul még a levegő áram növeléséhez nagyobb levegőszivattyú is kell, ami szintén negatívan befolyásolja az aktív szén rostokkal töltött adszorpciós oszlop teljesítményét. Az előzőekben felsorolt tényezők alapján meghatározták az optimális levegő-térfogatáramot, amely 1,5 dm³/min.

Megvizsgálták a kigőzölő toronyból távozó gázelegy összetételét. Ezek alapján elmondható, hogy a gázelegy elsősorban izopropil-alkoholt, levegőt és vízgőzt tartalmaz. A **147. ábra** bemutatjuk a kondenzátor hőmérsékletének hatását a rendszerre, ezen belül arra a kigőzölési időre melynek során az izopropil-alkohol maximális mértékben visszanyerhető.



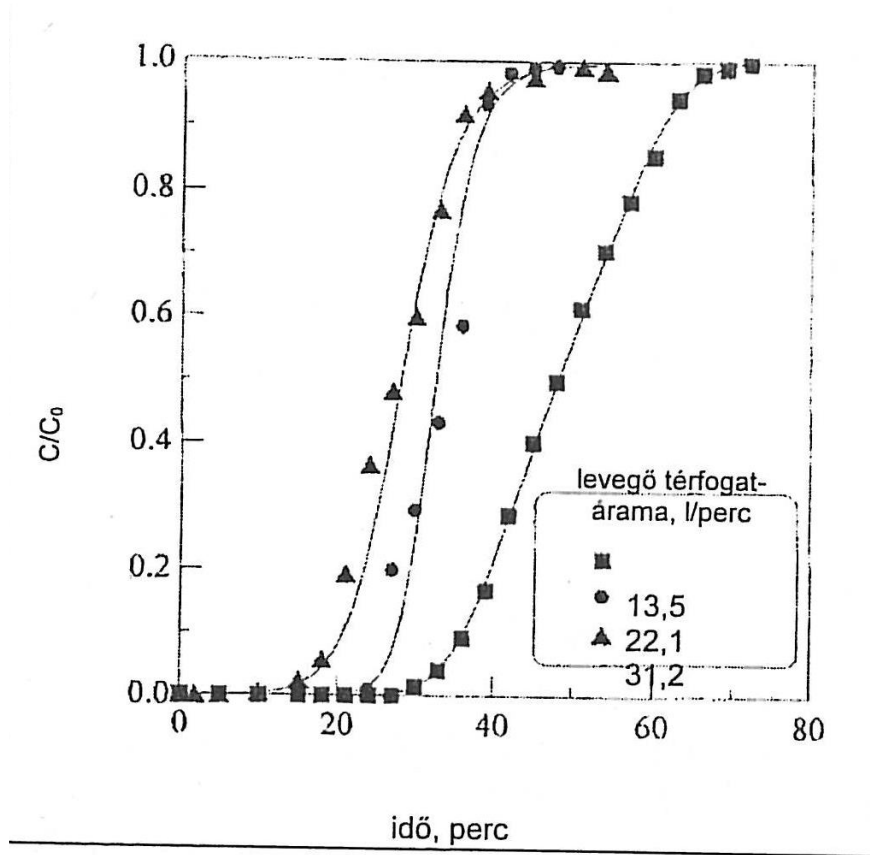
147. ábra: A kondenzátor hőmérsékletének hatása a maximális izopropil-alkohol visszanyerésére és az ehhez tartozó kigőzölési időre, 697 g/l kezdeti koncentráció, 60 C-os kigőzölési hőmérséklet és 1,6 dm³/min levegőáramlási sebesség mellett

A kondenzátor hőmérsékletének csökkentése jó hatással van a maximális visszanyerési értékre, 5C-ról -15C-ra való hűtés közel 10%-kal növeli az értéket, 85,3%-ról 94,9%-ra. A kigőzölési idő viszont nem csökken jelentősen, csupán 234 percről 227 percre. Minden egyes paramétert megvizsgálva megállapítható, hogy a kondenzátor hőmérsékletének jelentős csökkentéséhez szükséges energiátöbbletből adódó költségnövekedés nem éri meg a gyártás során. Így a kigőzölő rendszerhez szükséges kondenzátor hőmérsékletet -10C-on vagy ennél magasabb hőmérséklet szükséges.

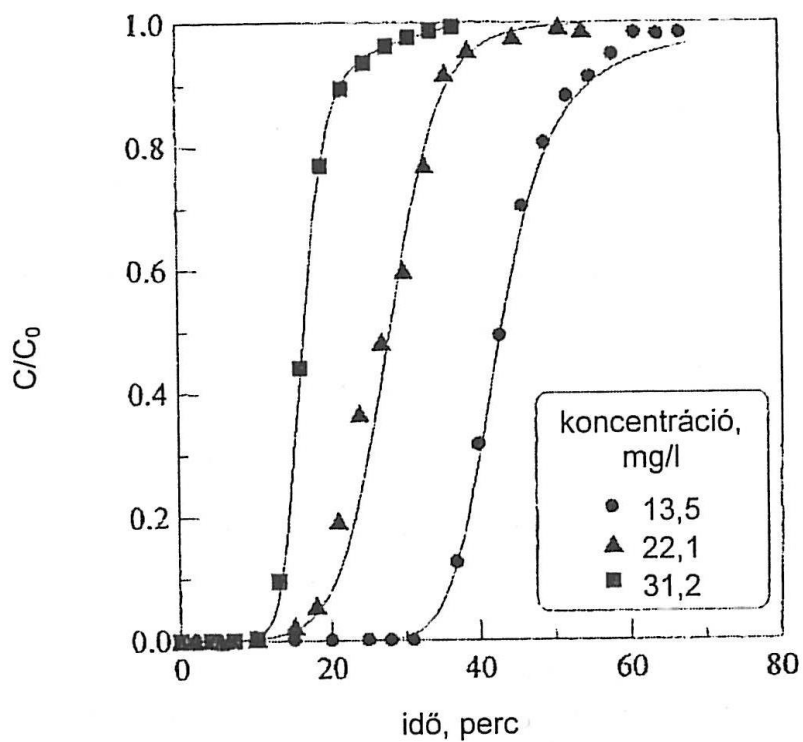
16.2.2.3. Izopropil-alkohol adszorpció az aktív szénrel töltött oszlopban

Az eddigiekben ismertetett eredmények bemutatták, hogy a kondenzátorral felszerelt kigőzölő rendszerrel körülbelül 93%-os maximális visszanyerés érhető el. A vissza nem nyert izopropil-alkohol egy része a vizes oldatban, a kigőzölő toronyban maradt, a többi pedig a gázeleggyel elhagyja a kondenzátort. A gázeleggyben kísérletek során vizsgálták az izopropil-alkohol koncentrációját, mely az eredeti oldószerhulladék közel 3%-át teszi ki, 40mg/dm³ értéket. A magas környezetvédelmi előírások és a gazdaságossági szempontok alapján ennek eltávolítása aktív szén töltetes oszlopban végrehajtott adszorpcióval valósítható meg.

A 148. ábra és 149. ábra bemutatjuk az izopropil-alkohol adszorpció hatékonyságát aktív szenes rostok segítségével. Az ábrák függőleges tengelyén ábrázolt C/C₀ érték az adszorpció utáni és az adszorpció előtti izopropil-alkohol koncentrációk arányát jelöli.

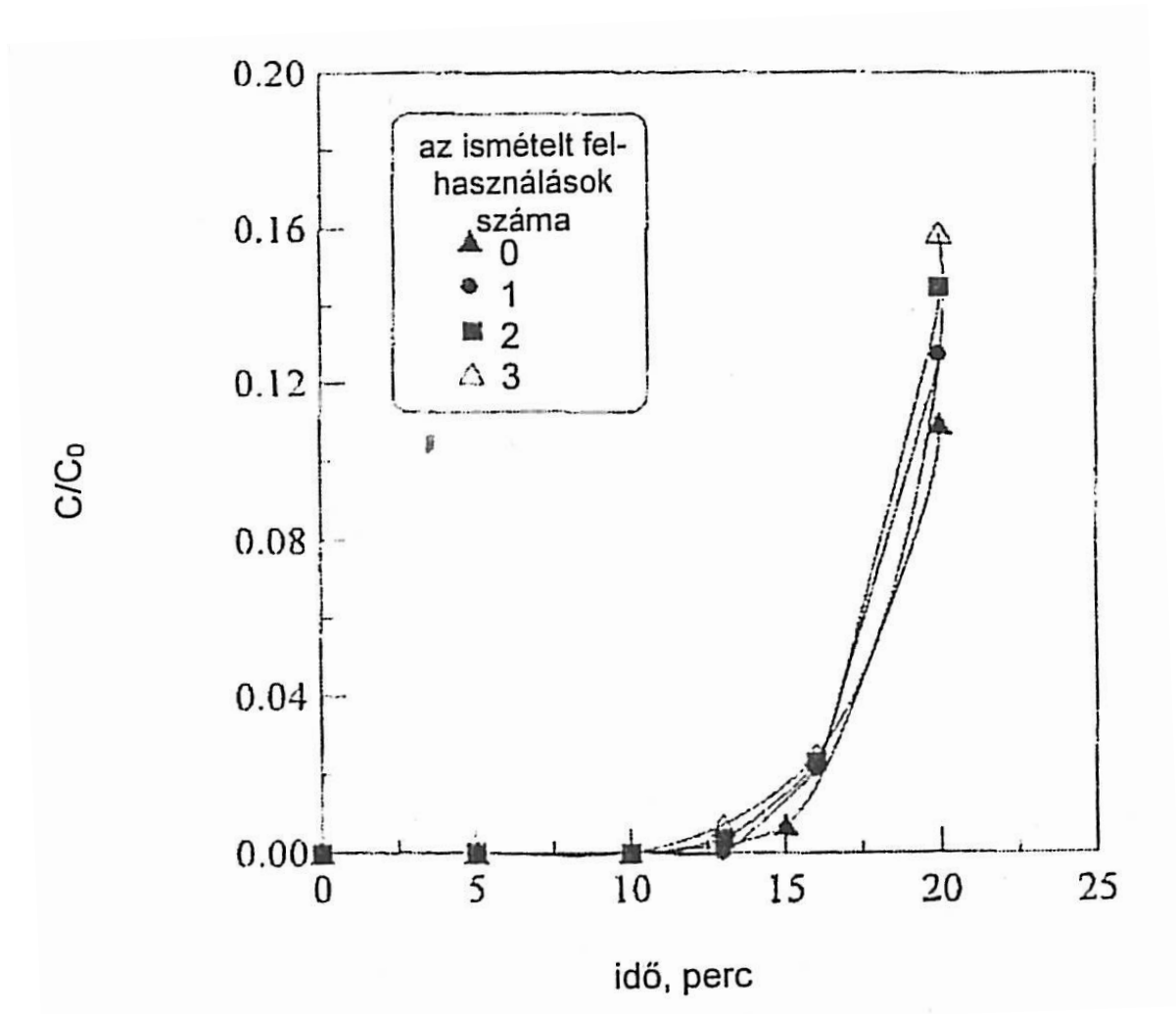


148. ábra: A várt és a tényleges izopropil-alkohol adszorpciós görbék összehasonlítása különböző kiindulási izopropil-alkohol koncentrációk esetén, 1,6 dm³/min levegő térfogatáram és 24C-os adszorpciós hőmérséklet mellett



149. ábra: A várt és a tényleges izopropil-alkohol adszorpciós görbék összehasonlítása különböző térfogatáramok esetében, 22mg/dm³ izopropil-alkohol koncentráció és 24C-os adszorpciós hőmérséklet mellett

A folyamatos működéshez elengedhetetlen az elhasznált aktív szén rostok regenerálása, amelyet termikus regenerációval oldanak meg. A kísérletek alapján ehhez 60 perces 150C-os melegítés megfelelő. Vizsgálták a regenerált oszlopok hatásfokát, ezt a **150. ábra** mutatjuk be.



150. ábra: Az eredeti, illetve a regenerált aktív szén rost oszlopok izopropil-alkohol adszorpciós görbéi 22mg/dm³ kiindulási izopropil-alkohol koncentráció, 1,6 dm³/min levegő térfogatáram, 60C-os adszorpciós hőmérséklet és 24 órás adszorpciós idő melle

Az ábrán látható, hogy a regenerált oszlopok használata nem befolyásolja számottevő mértékben a gyártási folyamatot, és ezzel egyidejűleg csökkenthetjük a környezeti terhelést is.

17. Vegyipari hulladékok gyűjtése, szállítása (Dr. Kurdi Róbert)

Pannon Egyetem, Veszprém

A vegyipari alap- és segédanyagok anyagok a gyártási folyamatok során egymással kémiai reakcióban reagálnak. A keletkező hulladékok különféle kémiai és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Tulajdonságaikban hasonlíthatnak a kiindulási anyagokhoz, de jellemzőikben azoktól jelentősen el is térhetnek. Ennek okán a vegyipari hulladékok kezelésekor, gyűjtésekor az elsődleges szempont a keletkező anyagok kémiai tulajdonságainak meghatározása. A gyűjtés során mindenekelőtt törekedni kell a különféle hulladékfeleségek elkülönített, szelektív gyűjtésére. Ez azért is fontos, mert az egyes anyagok egymással reakcióba is léphetnek, ami környezetbiztonsági, munkavédelmi és tűzvédelmi szempontból veszélyes hatásokat is eredményezhetnek. Ilyenek lehetnek például a rosszul gyűjtött vegyipari hulladékok között fellépő túlzott exoterm reakciók, ami gyulladáshoz vagy akár robbanáshoz is vezethet. Ennek megfelelően meghatározták az egymással közösen nem gyűjthető, egymással összeférhetetlen hulladékok listáját.

A csoportosítás során az egymással együtt nem gyűjthető vegyipari hulladékokat sorolták fel, külön megemlítve az esetlegesen lejátszódó reakciók típusát is.

A „A” csoportba tartozó hulladék anyagokat nem lehet keverni, közös tartályban tárolni a „B” csoport anyagaival, mivel egymással kémiai reakció lejátszódása mellett egyesülnek, ezáltal exoterm reakció, gyulladás, robbanás, gázfejlődés és extrém heves reakciót eredményezve.	
I. csoport. Hőfejlődés, erős reakció	
I/A	I/B
Acetiléniszap	Savgyanta
Lúgos maró folyadék	Savoldat
Lúgos tisztítószer	Akkumulátorsav
Lúgos korrozív folyadék	Vegyztisztítószer
Lúgos korrozív akkumulátorfolyadék	Savas elektrolit
Lúgos szennyvíz	Maratósav vagy oldószer
Mésziszap és más korrozív alkáliák	Folyékony tisztítószer
Meszes szennyvíz	Páclé és más korrozív savak
Hidraulikus mész	Savas iszap
Használt lúg	Használt savak és keverékek
2. csoport. Tűz- vagy robbanásveszély	
2/A	2/B
Azbeszthulladék	Tisztító oldószer
Berilliumhulladék	Elavult robbanóanyag
Kiöblítetlen növényvédőszer-tartály	Kőolajszármazék (hulladék)
Hulladék növényvédő szer	Oldószer
	Hulladékolaj és más tűz- és robbanásveszélyes hulladék
3. csoport. Tűz- és robbanásveszély, tűzveszélyes, gyúlékony hidrogéngáz felszabadulása mellett	
3/A	3/B
Alumínium	Minden 1/A és 1/B csoportba tartozó hulladék
Berillium	

Kalcium	
Lítium	
Magnézium	
Kálium	
Nátrium	
Cinkpor és más aktív fémek és fémhidridek	
4. csoport. Tűz, robbanás vagy hőfejlődés; gyúlékony vagy toxikus gázok keletkezése	
4/A	4/B
Alkoholok	Minden koncentrált hulladék az 1/A, az 1/B csoportból
Víz	Kalcium
	Lítium
	Fémhidridek
	Kálium
	Nátrium
	SO ₂ Cl ₂ , SOCl ₂ , PCl ₃ , CH ₃ SiCl ₃ és minden vízzel reagáló hulladék
5. csoport. Tűz, robbanás, heves reakció	
5/A	5/B
Alkoholok	Koncentrált hulladék az 1/A vagy az 1/B csoportból
Aldehidek	
Halogénezett szénhidrogének	Hulladékok a 3/A csoportból
Nitrált CH-k és más reakcióképes szerves vegyületek	
Vegyületek és oldószerek	
Telítetlen szénhidrogének	
6. csoport. Toxikus hidrogén-cianid vagy hidrogén-szulfid-gáz keletkezése	
6/A	6/B
Használt cianid-és szulfidoldatok	Az 1/B csoport hulladékai
7. csoport. Tűz, robbanás vagy erős reakció	
7/A	7/B
Klorátok és más erős oxidálószer	Ecetsav és más szerves savak
Klór	Koncentrált ásványi savak
Kloritok	A 2/B csoport hulladékai
Krómsav	A 3/A csoport hulladékai
Hipokloritok	Az 5/A csoport hulladékai és más tűzveszélyes és gyúlékony hulladékok
Nitrátok	
Salétromsav, füstölő	
Perklorátok	
Permanganátok	
Peroxidok	

Az egyes csoportokon belül az A oszlopban felsorolt anyagokat tartalmazó hulladékok keverése a B oszlopban felsoroltakkal nem megengedett.

A vegyipari hulladékok esetében a gyűjtőedény anyagára is figyelni kell, hiszen számos esetben nem kívánatos kémiai reakció játszódhat le a hulladékok és az edényzet anyaga között. Mivel

a vegyiparban használatos anyagok igen szerteágazó tulajdonságokkal rendelkeznek ezért a belőlük képződő hulladékok esetében a gyűjtésre használható tárolóeszközök is igen sokfélék lehetnek. Kialakításuk alapján ezek lehetnek különféle anyagból készült hordók, kannák és konténerek is. Fontos szempont, hogy a tárolóeszközön kötelező feltüntetni a hulladék megnevezését, azonosító kódját és a veszélyességi jellemzőit. Ezeket az eszközöket csak a meghatározott hulladékok gyűjtésére, tárolására lehet használni.

A következő táblázatban a gyűjtőedény anyagát vesszük figyelembe és felsoroljuk a bennük nem gyűjthető hulladékokat.

Tartály, konténer vagy betonfal anyaga	Összeférhetetlen
Acél	Ásványi savak, salétromsav, híg kénsav
	Alkáli-alumíniumsók, nátrium-hidroxid, kálium-hidroxid
Magnézium	Ásványi savak
Ólom	Ecetsav, salétromsav
Réz	Salétromsav, ammónium
Cink	Sósav, salétromsav
Ón	Szerves savak, alkáliák
Titán	Kénsav, sósav
Üvegszálalás műanyag	95%-os kénsav, 50%-os salétromsav, 40%-os aromás oldószerek, fluortartalmú oldószerek, klórozott oldószerek
Vinilek (PVC)	Ketonok, észterek, aromás szénhidrogének
Klórozott gumik	Szerves oldószerek
Epoxi (aminok, poliamidok, poliészterek)	Oxidálósavak (salétromsav), ketonok
Poliészterek	Oxidálósavak, erős alkáliák, ásványi savak, ketonok, aromás szénhidrogének
Szilikonok	Erős ásványi savak, erős alkáliák, alkoholok, ketonok, aromás szénhidrogének

A vegyipari hulladékok gyűjtésére, tárolására és szállítására, mivel többnyire veszélyes hulladéknak is minősülnek, egyaránt alkalmazni kell az ADR: Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodást (1979. évi 19. tvr.), valamint a RID: Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozásáról szóló Szabályzatot (1986. évi 2. tvr.).

17.1. Vegyipari hulladékok szállítása

A veszélyes hulladéknak minősülő vegyipari hulladékok szállítása, tárolása esetében a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. Évi LIII. Törvény 36§-ában foglalt felhatalmazás alapján alkották meg a veszélyes hulladékokról szóló 102/1996. /VII.12./ Kormány rendeletet^{xxv}.

A rendelet hatálya kiterjed a veszélyes hulladékokra, az azokkal kapcsolatos tevékenységekre és a veszélyes hulladékok tulajdonosaira.

A tulajdonosnak az anyagmérleg, illetőleg más dokumentumok alapján köteles beszámolnia veszélyes hulladékkal történő tevékenységéről, annak megkezdését követően 60 napon belül, és a bejelentést évente meg kell tennie a környezetvédelmi hatóságnak a rendeletben meghatározott melléklet szerint. A pontos adatszolgáltatás több ok miatt is szükséges, egyfelől a hulladékok útját figyelni kell, másfelől az államhatárt átlépő hulladék esetében a nemzetközi

megállapodások is szigorúak és végül, de nem utolsósorban a hulladékkezelő cégek részéről is felmerült az igény a veszélyes hulladékok keletkezésének, mozgásának dokumentálásáról. A felsorolt okok miatt kell a veszélyes hulladékok keletkezéséről, kezeléséről, átadásáról és átvételéről valamint kísérőjegyet kell alkalmazni a veszélyes hulladékok szállításáról.

A veszélyes hulladékok szállításában, kezelésében résztvevőknek az országhatáron belüli mozgásokat kísérőjegyekkel, formanyomtatványokkal kell dokumentálni. Ezeket meg kell küldeniük az illetékes környezetvédelmi hatóságnak, környezetvédelmi felügyelőségnek, ők ezeket ellenőrzik, az esetleges hibákat, hiányosságokat kijavíttatják, majd a hibátlan adatszolgáltatást rögzítik, feldolgozzák, majd az országos adatokat egy adatfeldolgozó egység összesíti.

A kötelezően kitöltendő nyomtatványokat 10 évig kell megőrizni az esetleges ellenőrzés megkönnyítése céljából. A következő nyomtatványokat kell használni:

- Bejelentőlap veszélyes hulladék keletkezéséről
- Veszélyes hulladék átvételi bejelentőlap
- Egyszerűsített bejelentőlap veszélyes hulladékról
- Kísérőjegy a veszélyes hulladék szállításához
- Kísérőjegy begyűjtéssel átvehető veszélyes hulladékhöz

A rendelet meghatározza az átadó és az átvevő fogalmát. Átadónak azt a személyt nevezi, aki a veszélyes (vegyipari) hulladékot telephelyéről más telephelyre szállít vagy szállíttat. Átvevő az a személy vagy szervezet, aki a hulladék átvételére jogosító engedéllyel rendelkezik és a telephelyére szállított veszélyes hulladékot átveszi.

17.1.1. A termelőre, kezelőre vonatkozó szabályok:

- A képződő, keletkező veszélyes (vegyipari) hulladékról bejelentést kell tenni és ezt évente akkor is meg kell ismételni, ha az előző bejelentéshez képest nem történt változás.
- Az adatszolgáltatást évente március 1-ig kell megtenni.
- Veszélyes hulladék exportja esetén a szállítmányok adatait is fel kell a nyomtatványokon tüntetni.
- Ha valaki a bejelentést az adott határidőig nem teszi meg, akkor az adatszolgáltatás szempontjából a telephelye megszűntnek fog számítani. Egy hatósági ellenőrzés során, ha a felügyelőség feltárja, hogy a telephelyen keletkezik veszélyes hulladék, akkor a termelőre bírság szabható ki a rendelet 9. Számú melléklete alapján.

17.1.2. Az átadóra vonatkozó szabályok:

- Az átadó köteles minden veszélyes hulladéknak minősülő szállítmányt általa kitöltött kísérőjeggyel ellátni. Ez 4 példányban készül el. A 4. példány az átadónál marad, a többi pedig a szállító viszi el, majd a szállítás megtörténte után a 3. példányt visszaküldi az átadónak ezzel is igazolva a hulladék átvételét.
- Amennyiben az előzőekben ismertetett 3. példány 30 napon belül nem érkezik vissza az átadóhoz, akkor neki ezt jelentenie kell a környezetvédelmi hatóságnak.
- Az átadónak kötelező nyilatkozatot adni arról, hogy egy esetleges meghiúsuló átvétel esetén a szállítmányt visszafogadja vagy egy más, de vele szerződésben lévő átvevőhöz átírányítja.
- Az átadó csak a környezetvédelmi felügyelőség engedélyével rendelkező szállítónak adhatja át a szállítmányt.

- Minden egyes átadott veszélyes hulladékszállítmányról nyilvántartást kell vezetnie az átadónak.

17.1.3. A szállítóra vonatkozó szabályok:

- A szállítónak a Környezetvédelmi Főfelügyelőség szállítási tevékenységek lebonyolítására szolgáló engedélyével kell rendelkeznie.
- A szállító csak olyan veszélyes hulladékokat szállíthat, melyre engedélye feljogosítja.
- A szállító csak a kísérőjegyen megtalálható átvevőnek adhatja át a veszélyes hulladékot.
- Amennyiben a szállító nem tudja valamilyen oknál fogva átadni a hulladékot az átvevőnek, csak abban az esetben szállíthatja tovább, ha arról az átadó, mint továbbítási lehetőség, rendelkezett.
- Az átadásig a szállítónak kell biztosítania a veszélyes hulladék megőrzését.
- Sikertelen szállítás esetében az eredeti kísérőjegyet, az átadás meghiúsulásának feltüntetésével, vissza kell juttatni az átadónak.

17.1.4. Az átvevőre vonatkozó szabályok:

- Az átvevő veszélyes hulladékot csak abban az esetben vehet át, ha annak átvételére és kezelésére a felügyelőség által kiállított engedéllyel rendelkezik, és a hulladékot azonosította a kísérőjegyen feltüntetettel.
- Az átvevőnek telephelye beléptető pontján a veszélyeshulladék-szállítmány okmányain szereplő adatokat egyeztetnie kell az engedélyében lévő felhatalmazással és a két fél közötti szerződésben szereplő adatokkal. Ugyancsak egyeztetni kell az okmányokban szereplő adatokat a szállítójárművön ténylegesen megtalálható hulladékkal. Az átvevőnek (telephelyén) meg kell győződnie arról is, hogy a szállított veszélyes hulladék minőségi jellemzői megegyeznek a szerződésben foglaltakkal.
- Az átvevőnek az átvételt a kísérőjegy valamennyi példányán cégszerű aláírásával igazolnia kell és a kísérőjegy 3. példányát az átadóhoz meg kell küldenie. A kísérőjegy 1. példányát bizonylatként meg kell őrizni, a 2. példányt pedig a szállítónak átadni.
- Az átvevőnek joga van megtagadni a veszélyes hulladék átvételét akkor, ha az nem egyezik a szerződésben, illetve a kísérő dokumentumokban foglaltakkal. Lehetősége van arra is, hogy az okmányoktól eltérő minőségű hulladékot átvegyen akkor, ha az engedélyében foglaltak erre felhatalmazzák, de ezt a ténytetni a kísérőjegyen.
- Amennyiben az átvevő nem veszi át a veszélyes hulladékot, a szállítvány csak akkor irányítható tovább, ha az átadó a továbbításról intézkedett, és intézkedésének megfelelően kitöltött új kísérőjegyet csatolt a szállítványhoz. (Az átadó intézkedik a visszaszállításról vagy más belföldi átvevőhöz történő továbbításról.) Az átvétel megtagadásáról haladéktalanul értesíteni kell az átadót.
- Az át nem vett veszélyes hulladékokra vonatkozó kísérőjegyet - azon az átvétel megtagadásának okát feltüntetve - az átadóhoz vissza kell küldeni.

17.1.5. A hatóságok feladatai az adatszolgáltatásban

A környezetvédelmi felügyelőségeknek az általuk a veszélyes hulladékok kezelésével, tárolásával és átvételével kapcsolatosan kiadott engedélyekről, az engedélyek visszavonásáról nyilvántartást kell vezetniük. A nyilvántartásnak a következőket kell tartalmaznia:

- az engedélyes nevét, címét, KSH azonosító számát,

- a veszélyes hulladékazonosító számát, megnevezését,
- a kezelés módját, azonosító számát,
- a kezelhető, tárolható, átvehető mennyiséget,
- az engedély számát, kiadásának, illetve jogerőre emelkedésének időpontját,
- az engedély érvényességének időtartamát, érvényességi területét.

A Környezetvédelmi Főfelügyelőség tartja nyilván a veszélyes hulladékok szállítására, begyűjtésére, exportjára, importjára, valamint egyéb országos vagy regionális hatályú tevékenységi engedélyekre vonatkozó adatokat. A környezetünk biztonságát szem előtt tartva, a környezetvédelmi hatóság, amennyiben azt a keletkező, a kezelt, illetve tárolt, vagy a szállítandó veszélyes hulladék környezeti veszélyessége vagy mennyisége szükségessé teszi, úgy tájékoztatást tesz a megyei Polgári Védelmi Hatóság felé.

A kormányrendelet meghatározza a veszélyes hulladéknak minősülő anyagok behozatalát vagy kivitelét az országból. Ennek értelmében veszélyes hulladékok, ide tartozik a vegyipari hulladékok döntő többsége is, behozatala, kivitele és tranzit szállítása során a Bázeli Egyezmény alapján kell eljárni.

A rendelet 23. §-a szerint az országba csak hasznosítás szempontjából hozható be veszélyes hulladék, azonban még kísérleti és próbauzemi hasznosításkor sem megengedett ez a cselekmény. A hasznosítást minden esetben igazolni kell, ugyanakkor abban az esetben, ha a hasznosítás során olyan veszélyes hulladék képződik, amelynek az országban nem megoldott az ártalmatlanítása vagy az esetleges újrahasonosítása, akkor az exportáló országnak nyilatkozatban kell vállalnia a hulladék visszafogadását. (A veszélyes és nem veszélyes összetevőkre történő szétválasztás, tisztítás nem tekinthető hasznosításnak.)

17.1.6. Veszélyes (vegyipari) hulladékok nyilvántartása

A 102/1996. (VII. 12.) Kormányrendelet 5. Számú melléklete alapján kell eljárni a veszélyes hulladékok nyilvántartásakor.

A veszélyes hulladék termelőjének, tárolójának, kezelőjének nyilvántartást kell vezetnie a következőkről:

- A hulladék keletkezését eredményező tevékenység, ezen belül szükséges rögzíteni a technológiai folyamatábrát a bemenő és kimenő anyagok minőségével valamint a technológiai és kezelési utasításokat,
- A felhasznált anyagok mennyiségét, összetételét,
- A keletkező hulladék összetételét, keletkezésének pontos helyét a technológiai láncban,
- A veszélyes hulladéknak a további sorsát, életútját a telephelyen belül,
- Meg kell nevezni a hulladék átvevőjét, neki ezt aláírással és engedélyekkel kell igazolnia.

A veszélyes hulladékok nyilvántartását a keletkezés helyén kell vezetni, évenkénti összesítéssel. A nyilvántartás formai követelményeit a rendelet nem szabályozza, de a következő információkat minden nyilvántartásnak tartalmaznia kell (részlet a rendeletből):

- A veszélyes hulladékot eredményező technológia/tevékenység megnevezése, sorszáma.
- A technológia/tevékenység során felhasznált anyagok megnevezése, mennyisége (havonta)

Megnevezés	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.

- A technológia/tevékenység során keletkezett veszélyes hulladékok
 - Megnevezése:
 - Veszélyességi osztálya:
 - Azonosító száma:
 - Fontosabb jellemzői:
 - Térfogatsúly:
 - Megjelenési forma:

Dátum	Keletkezett mennyiség, kg	Átadott mennyiség, kg	Kezelése	Megjegyzés	Aláírás

- A tárolt veszélyes hulladékok
 - Megnevezése:
 - Veszélyességi osztálya:
 - Azonosító száma:
 - Fontosabb jellemzői:
 - Térfogatsúly:
 - Megjelenési forma:

Dátum	Átvett mennyiség, kg	Átadó	Átadott mennyiség, kg	Átvevő	Aláírás

- A kezelési technológia során kezelt veszélyes hulladékok
 - A kezelési technológia megnevezése, sorszáma, kezelési kódja:

Dátum	Kezelt hulladék azonosító száma	Veszélyes hulladék megnevezése	Kezelt mennyiség, kg	Megjegyzés	Kezelés igazolása aláírással

- A kezelésre átvett veszélyes hulladékok

Dátum	Átvett hulladék azonosító száma	Veszélyes hulladék megnevezése	Átvett mennyiség, kg	Átadó megnevezése	További sorsa

- A kis mennyiségben keletkező veszélyes hulladékok esetében használható az alábbi, egyszerűsített nyilvántartás

Dátum	Keletkezett veszélyes hulladék megnevezése	Keletkezett veszélyes hulladék azonosító száma	Keletkezett veszélyes hulladék mennyisége, kg	Átadott mennyiség, kg	Átvevő megnevezése

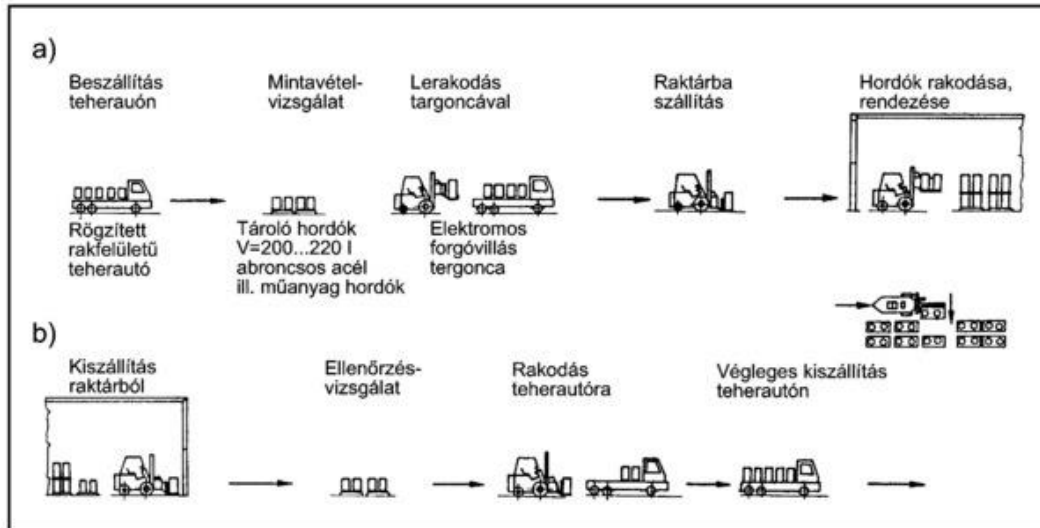
17.2. Vegyipari hulladékok átmeneti tárolása

Jelenleg részletes előírások csak a veszélyes termelési hulladékok gyűjtőhelyének kialakítására vannak (102/1996. /VII.12./ Korm. rendelet a veszélyes hulladékokról), ahol a hulladék legfeljebb egy évig tárolható.

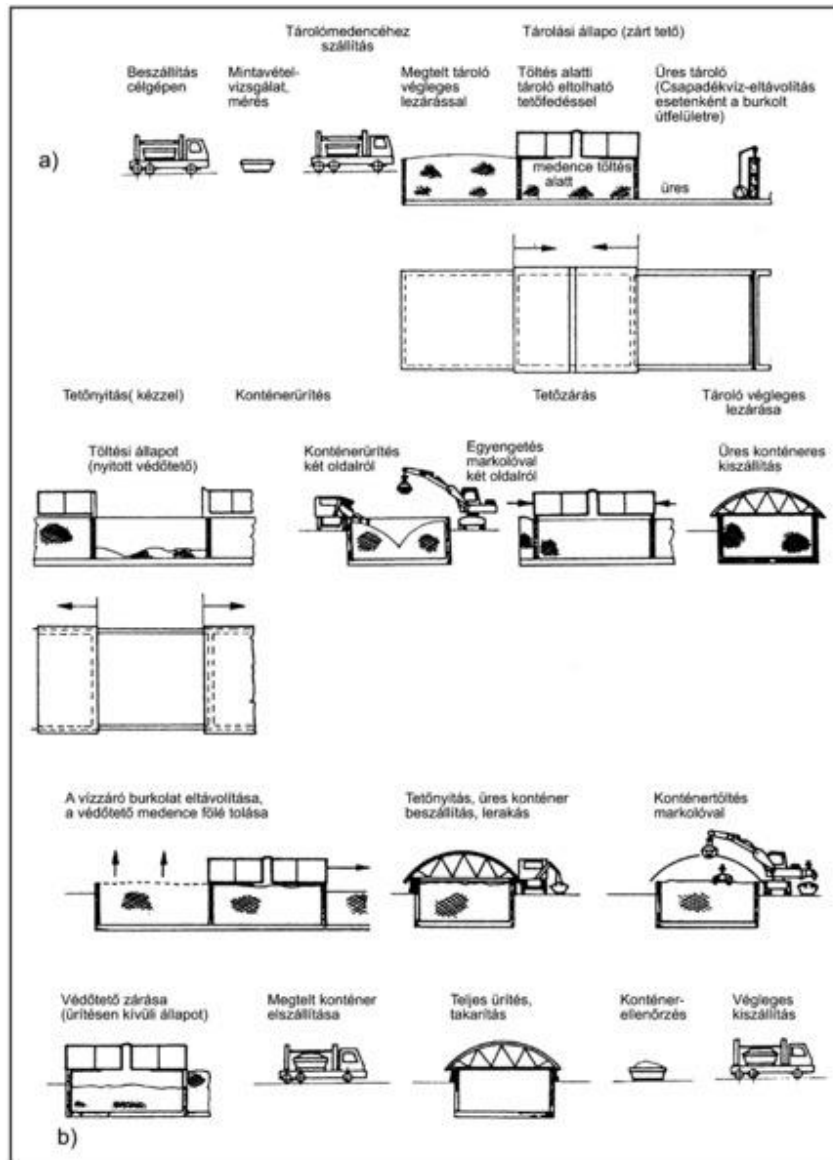
A veszélyes vegyipari hulladékok tárolását rendszerint átmeneti tárolásban oldják meg, ha nem áll rendelkezésre hasznosítási vagy ártalmatlanítási eljárás. Szintén ezt a tárolási módot kell alkalmaznia abban az esetben, ha az ártalmatlanító létesítmények (hulladékégetők) ideiglenes kapacitás hiánnyal rendelkeznek. A jelenlegi hazai szabályozás alapján az átmeneti tárolás időtartama szakaszosan van szabályozva és legfeljebb 3 évig tárolható a veszélyes hulladék. A fentiekben részletezett kormányrendelet szabályozza az átmeneti tárolók kialakításának lehetőségeit és működési feltételüket. Az egyik legfontosabb szabályozás, hogy a létesítés környezeti hatásvizsgálat köteles, ipari övezetben vagy külterületen létesíthető.

Az átmeneti tároló létesülhet csak az adott ipari üzem hulladékainak tárolására, de lehetséges több ipari létesítmény hulladékainak együttes tárolása, ekkor a tárolót körzeti átmeneti tárolónak is nevezhetjük. A telephelyen nem csak a tárolásra van lehetőség, de bizonyos előkezelési munkálatok is megtörténhetnek, természetesen amennyiben ez hatóságilag engedélyezve van. Ebben az esetben tároló-előkezelő telephelyről beszélünk.

A következő ábrákon bemutatjuk az átmeneti tárolás technikáit hordós és ömlesztett tárolás esetében. A vegyipari hulladékok tárolásánál nagyobb jelentősége van a hordós tárolásnak, hiszen fokozott figyelmet kell szentelni a szelektív hulladékgyűjtésnek és tárolásnak az esetlegesen bekövetkező (szabályozhatatlan) kémiai reakciók meggátolásának érdekében. A technológiai folyamatok mindkét esetben hasonlóak, kezdődik a beszállítással, majd a beérkező hulladékok vizsgálata és átvétele történik, majd a megfelelő helyre szállítják telephelyen belül. Ezután beszélhetünk tényleges tárolásról, ami a kiszállítással és az átadással fejeződik be.



151. ábra: Vegyipari hulladékok hordós tárolása



152. ábra: Veszélyes (vegyipari) hulladékok ömlesztett átmeneti tárolása

18. Esettanulmány: Garéi hulladéklerakó története – a keletkezéstől a felszámolásig (Dr. Kurdi Róbert)

Pannon Egyetem, Veszprém

Garéi hulladéklerakó története mindenki számára ismert. A meggondolatlan környeztkárosítás, a felelőtlen gondolkodás, a gátlástalan gazdasági haszonszerzés mintapéldájává vált az utóbbi évtizedekben a garéi hulladéklerakó. A település - pontosabban a Garé, Bosta és Szalánta közti elátkozott háromszög - a hetvenes évek közepén egy tudományos tévedés és egy ügyes gazdasági manőver révén "gazdagabb" lett több mint hatvanezer hordó mérgező vegyszerrel.

Garé a Dél-Dunántúli Régióban, Baranya megyében, Pécsről délre légvonalban 17 km-re, közúton 21 km-re fekszik.



153. ábra: Garé földrajzi elhelyezkedése



154. ábra: A hulladéklerakó közvetlen környezete, forrás: Google Earth

A (volt) hulladéklerakó a településtől mintegy 2 km távolságra észak-keletre található, egy 7 hektáros területen.



155. ábra: Garé volt hulladéklerakó területe, forrás:Google Earth

A garéi hulladéklerakó története 1977-ig nyúlik vissza, amikor is eredetileg egy olyan területnek szánták ki, amely ideiglenesen fogadja a hulladékot a bőr- és a húsfeldolgozótól. A lerakót a Pécsi Bőrgyár, a Möbiusz Húsfeldolgozó Vállalat működtetette.

A terület kiválasztása az akkor érvényben lévő szabályozásoknak megfelelően történt, figyelembe véve a veszélyes hulladékok lerakására, elhelyezésére irányuló földtani szakvéleményeket.

A körülhatárolt területet a Magyar Állami Földtani Intézet Dél-Dunántúli Területi Szolgálata javasolta e célra. A hulladéklerakókra a területfelhasználási engedélyeket a Pécsi Járási Hivatal Műszaki Osztálya adta ki, az akkoriban hatályos jogszabályok figyelembevételével.

1960-ban a Budapesti Vegyiművek a Chemi Linzzel közösen gyártani kezdte a Buvinol és a Klorinol nevű kukorica-gyomirtó és erdeicserje-irtó szereket.

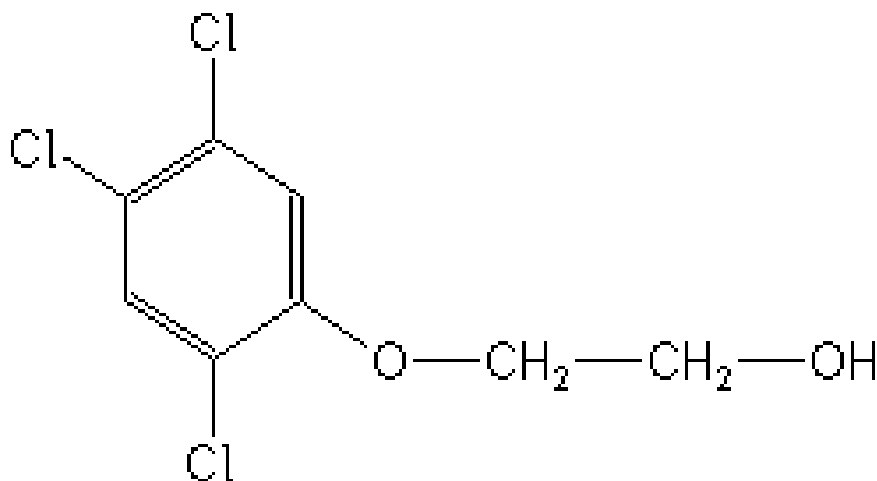
A Buvinol (Buvinol: klorinolnak (2,4,5-T etanolnak vagy fenteracolnak) és atrazine-nak 1:1 arányú keveréke) elnevezésű gyökérhibricidet a BVM 1967-ben szabadalmaztatta és 1970-ben kezdte el forgalomba hozni.



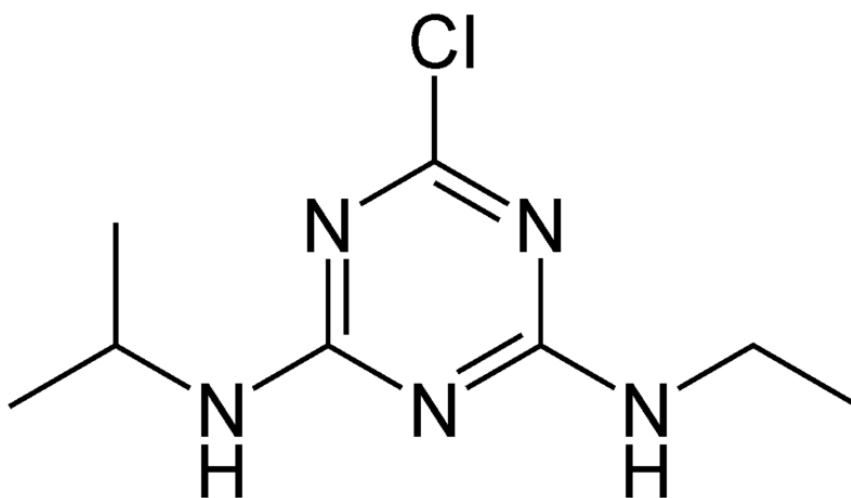
156. ábra: A lerakó, Forrás: www.karotazs.hu



157. ábra: A lerakó, Forrás: www.humusz.hu



158. ábra: 2,4,5-T etanol, fenteracol



159. ábra: atrazine

A Buvinol termék 25% Aktinit PK + 25% 2,4,5—TE (klór-aminotriazin + fenoxi-etanol) hatóanyagot és 50% semleges vivőanyagot tartalmazott és a felhasználóknak a csomagoláson feltüntették az akkor szokásos „gyenge mérge” figyelmeztetést. Élelmezés-egészségügyi várakozási ideje 30 nap (legeltetésnél ez csak 14 nap), munkaegészségügyi várakozási idő pedig nem volt. Az LD50 értéke 3200 mg/kg, ez az a kísérleti állatok (legtöbbször patkány) testsúlykilogrammja meghatározott mennyiség, amelynek hatására az orális adagolás után az állatok 50%-a elpusztult. Maga a vegyszer barnásfehér színű, enyhén vegyszerszagú finom por. Vízzel elkeverve tartós szuszpenziót ad.

A környezetvédelem térnyerésével a klórozott szénhidrogén tartalmú szénhidrogéneket folyamatosan vonták ki a forgalomból, 1992-ben a buvinol növényvédőszer használati engedélye is bevonásra került.

A Budapesti Vegyiművek gyárában a növényvédőszer előállításánál keletkező hulladékként az üstmaradványban klórbenzol származékok keletkeznek. A vegyipari hulladék klórtartalma közel 60%. A gyártás első éveiben a hulladék kezelése minden egyes környezetvédelmi szempontrendszernek gyökeresen ellentmondott. A kezelés egyszerűen a nem látható helyre történő lerakást jelentette. A vegyi hulladékot egy ideig a Fekete-tengerbe süllyesztették, de ezt az akkori gyárigazgató leállította. Ezután a gyár Hidason lévő tározójába került a veszélyes

anyag, de a talaj-, talajvíz-szennyezés miatti lakossági tiltakozás hatására a hulladék lerakására másik telephelyet kerestek.

Így került képbe az eredetileg bőrhulladékok tárolására, lerakására kialakított garéi lerakó. A BVM 1979-ben megvásárolta a lerakó harmadát és megkezdődött a hulladék szállítása a területre.

A BVM 1987-ig kb. 16.000 tonna veszélyes vegyipari hulladékot szállított a helyszínre. A zömében klórozott benzolszármazékot és xilolt tartalmazó hulladék kb. 62.300 db 200 literes fémhordókban került lerakásra. A BVM nem kérte a falu beleegyezését a lerakáshoz és a lakosság csak 10 év elteltével szembesült erről a tényről.

A garéi hulladék 60 %-a TCB (tetra-klór-benzol). A tetra klór benzol poli-klórozott aromás vegyület. 3 izomerje létezik az 1,2,3,4-TCB, az 1,2,3,5-TCB valamint az 1,2,4,5-TCB. Az anyagerősen mérgező, rákkeltő, magzatkárosító és genetikai elváltozást idéz elő.

A hulladéklerakó tervezésekor nem gondoltak a vegyipari hulladékok elhelyezésére, így természetesen a BVM szállításainak kezdetén nem is volt a hulladéklerakó az anyagok környezetvédelmi szempontból megfelelő fogadására felkészítve. A környezet állapotának felmérései alapján megállapítható, hogy már az 1980-as évek végére tényleges vészhelyzet alakult ki a térségben.

A műszaki védelem teljes elhagyása, a több ezer sérült göngyöleg és az ömlesztett hulladék mozgatásánál jelentkező szóródás, majd a hordók erőteljes korróziója miatt kiszivárgás és párolgás következtében a környezetre káros anyagok a lerakóból kijutottak.



160. ábra: Szakszerűtlen tárolás



161. ábra: A sérült hordók

Legalább 1000 tonna mérgező hulladék került a talajba, melynek eredményeként a határértéket lényegesen meghaladó koncentrációkat mértek. Az akkoriban hatályos magyar szabvány szerint a megengedett koncentráció mértéke 0,1 mg/kg. A lerakó területén, a TCB alatti talajban ez az érték 10 és 1000mg/kg között változott.

A felmérések szerint a lerakó alatti talajréteg 50 hektáron akár 30 méter mélységig TCB-vel, a talajvíz 8 hektáron dioxinnal, 15 hektáron pedig klórbenzollal volt szennyezett.

A korábbi, megelőző célzatú intézkedések, illetve próbálkozások ellenére, amelyek során a szivárgást próbálták megfékezni azzal, hogy az eredeti hordókat nagyobbakba helyezték, hiábavalónak bizonyultak, mivel a legtöbb konténer ugyancsak erőteljesen korrodálódott.



162. ábra: Garé ideiglenes betonhordók, Forrás: www.humusz.hu

A gátakon kívüli terület 100 m-es körzetben, illetve dél, délnyugati irányban kb. 1000 m határértéket meghaladóan szennyezett volt klórbenzolokkal. A szennyező anyagok kimutathatók voltak a közeli figyelő kutakban, a talajvízben, a növényzetben és a levegőben nagyobb távolságokban is. 1988-ban készült légi felvételeken a veszélyeshulladék-tárolótól közvetlenül délre fekvő erdő is a környezetszennyezés jeleit mutatja.

A hulladéklerakótól kb. 1 km-re lévő Bostán állatok hullottak el 1989 nyarán. A vizsgálatok kimutatták, hogy az állatok bendője és faggyúja tetraklór-benzolt tartalmazott.

A környék lakossága elmondta, hogy a meleg tavaszi, nyári vagy őszi napokon nem lehetett szellőztetni az egyfolytában érződő vegyszerszag miatt.

Kármentesítés

1988-ban, majd 1990-ben is, a környezetvédelmi főhatóság kötelezést adott ki a környezetszennyezés megakadályozására, a vegyipari hulladékok biztonságosabb tárolásának megoldására és ártalmatlanítására. A BVM 1986-tól a sérült hordók kb. 30 %-át átcsomagolta, és a maradék hordókat pedig leföldelte! A hulladéklerakó felszámolását 1997 végéig kellett volna megtenni. A tervekben egy veszélyes hulladék égetőmű építése szerepelt, de ez anyagi forrás hiányában megvalósult. Felmerül, hogy a magas halogéntartalmú hulladékokat a dorogi égetőműben semmisítsék meg, de ez a dorogi lakosság tiltakozása miatt hiúsult meg.

A további környezetszennyezés elkerülése végett fóliákkal takarták le, majd fóliasátrakkal fedték be a területet. A BVM 11 monitoring kútból álló hálózatot épített ki, melyben folyamatosan figyelték a talajvíz minőségét, és a szennyezett vizet kiszivattyúzás után a BVM hidasi telepén szennyvízkezelésnek vetették alá.

2001-ben kiásták a föld alól az utolsó veszélyes vegyipari hulladékot rajtó vashordót. A felaprított vashordókat és tartalmukat a helyszínen műanyag hordókba töltötték át és ezek németországi, ausztriai és magyarországi égetőművekbe kerültek megsemmisítésre.

A kiásás után a helyszínen maradt 3000 tonna klórozott benzollal szennyezett föld, de a BVM 2007 óta felszámolás alatt áll, így a teljes kármentesítés még várat magára.

19. A timföldgyártás hulladéka a vörösiszap (Dr. Kurdi Róbert)

Pannon Egyetem, Veszprém

19.1. Bevezetés

2010. október 4-én 12 óra után nem sokkal a Kolontár és Ajka között létesített, a Magyar Alumínium Termelő és Kereskedelmi Zrt. tulajdonában lévő Ajkai Timföldgyár 300 m x 500 m-es vörösiszap-tárolójának gátja kiszakadt. A kiömlő, körülbelül 600-700 000 köbméternyi iszap elöntötte Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely települések mélyebben fekvő területeit. Az erősen lúgos, közel 13-as pH-jú, maró hatású ipari hulladék (a vörösiszap felett található maró hatású lúg) körülbelül 40 négyzetméteren terült szét, ezzel felbecsülhetetlen gazdasági és ökológiai károkat okozva az Ajkai kistérségben. A „vörösiszap” kifejezés örökre beitta magát az emberek tudatába és egyben ráébresztette a lakosságot a megfelelő hulladékkezelési és felhasználási eljárások fontosságára. Magyarország történetének egyik legnagyobb ipari szerencsétlensége és környezetkárosító katasztrófája 10 emberéletet követelt.

A katasztrófa okai egyenlőre tisztázatlanok. A jegyzet nem a katasztrófát kiváltó okokkal, annak következményeivel, hanem az alumíniumgyártás során keletkező hulladékok tárolásával, esetleges felhasználásukkal foglalkozik.

A vörösiszap a timföldgyártás hulladéka, mely hazánkban az egyik legnagyobb mennyiségben képződő hulladék. A hazánkban használt technikák mellett a keletkező iszap különleges kezelést igényel, korábban veszélyes hulladéknak minősítették, de a jelenlegi jogszabályok alapján nem sorolják a veszélyesnek minősíthető hulladékok kategóriájába^{xxvi}. A világ vezető timföld, illetve alumínium előállító országai sem tudták megnyugtató módon megoldani a technológiai hulladék keletkezésével és kezelésével kapcsolatos feladatokat.

A volt Szovjetunió volt tagállamai Oroszországgal egyetemben az egyik legnagyobb timföldgyártónak minősülnek, azonban a keletkezett, felhalmozódott vörösiszap mennyiségéről sincsenek biztos információk, kezelésükről pedig szinte semmit sem tudni. Magyarországon, hasonlóan a világ szinte minden országához, zagytereken helyezik el a vörösiszapot. Az elhelyezésnél gondot jelent a szállítás költsége, ez okból Magyarországon a tározók mindenhol a timföldgyárak közvetlen közelében létesültek. Ilyenek az ajkai, almásfüzitői és mosonmagyaróvári zagy tározók.

19.2. Timföldgyártás

A timföldgyártás alapanyaga a bauxit. Az első bauxitról szóló közleményt "Buchanan" angol geológus 1807-ben kelt naplójegyzete tartalmazza. Bauxhanan India déli részén a mai Keralában téglára emlékeztető, vörösbarna, agyagjellegű kőzetet írt le, amelyet az eredeti tamil szó egyszerű átfordításával "lateritnek" (téglakőnek) nevezett el.

Az előfordulási hely klíma- és földtani viszonyai alapján két főtípust különböztetünk meg:

- A "karsztbauxit"-ot, amelynek jellemzője, hogy közvetlenül az erősen karsztosodott karbonát-térszín, a dolomit, ill. a mészkő mélyedéseiben fordul elő, általában vastag takaróréteg fedé és földünk mediterrán övezetében található. Kora általában 40-90 millió év.
- A "lateritbauxit", amelynek jellemzője, hogy szilikátos (kvarchomokkó), üledékes kőzet-térszínre települt, általában vékony, 1-2 m vastag takaróréteg fedé és a föld trópusi övezetében fordul elő. Kora a legújabb kutatások szerint kevesebb mint 1 millió év.

Közös tulajdonságuk, hogy főleg alumínium ásványokat (gippszit, böhmit, diszpor), vasércet (hematit és göthit), valamint titánércet (anatáz) és homokot (kvarc) tartalmaz. A két típus tömegszázalékos összetételében a legfőbb különbség, hogy a Magyarországon előforduló karszt bauxit 2-7-szer több Fe_2O_3 -ot tartalmaz. A tömegszázalékos összetételüket a **57. táblázat** mutatjuk be.

57. táblázat: A bauxitfajták tömegszázalékos összetétele

Összetétel	Karszt bauxit	Laterit bauxit
	% vízmentes alapon	
Al_2O_3	48 – 60	54 – 61
SiO_2	3 – 7	1 – 6
Fe_2O_3	15 – 23	2 – 10
TiO_2	2 – 3	2 – 4
CaO	1 – 3	0 – 4
H_2O	10 – 14	20 – 28
Zn, V, C szerves	nyomelemként	-

A fő bauxittermelő országok éves termelését, és az összes kibányászott bauxit nemzetenkénti százalékos megoszlását a **58. táblázat** tartalmazza.

58. táblázat: A kibányászott bauxit éves termelése

	Ország	Éves termelés (millió tonna)	%
1	Ausztrália	56,3	39,0
2	Brazília	20	13,9
3	Guinea	16,8	11,7
4	Jamaica	13,4	9,3
5	India	10	6,9
6	Kína	8	5,5
7	Oroszország	5,4	3,7
8	Suriname	3,5	2,4
9	Venezuela	2,7	1,9
10	Görögország	2,4	1,7

	Ország	Éves termelés (millió tonna)	%
11	Guyana	1,8	1,2
12	Kazahsztán	1,2	0,8
13	Ghána	0,7	0,5
14	Indonézia	0,6	0,4
15	Irán	0,4	0,3
16	Magyarország	0,3	0,2
17	Törökország	0,2	0,1
18	Franciaország	0,2	0,1
19	Szerbia-Montenegró	0,2	0,1
20	Románia	0,1	0,1

A világ fő bauxitlelőhelye Ausztrália, de jelentős mennyiségben található még Braziliában és Guineában. Magyarországon a legnagyobb készletek Bakonyoszlop térségében találhatóak (**59. táblázat**).

59. táblázat: Magyarország termelésbe vonható vagyona^{xxvii}

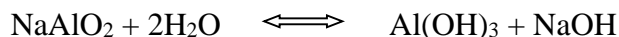
	Előfordulás helye.	Közigazgatási terület.	Kitermelhető vagyontonna). (ezer tonna).	Minőség (Modulus) ¹
1	Bakonyoszlop térsége	Bakonyoszlop, Csesznek, Dudar.	2 500	7,8
2	Németbánya I-IX. telepek	Németbánya	300	9,9
3	Németbánya kis lencsék (déli)	Németbánya	200	7,9
4	Nyirád felhagyott bányák	Nyirád	500	8,5
5	Nyireskút IV/B	Szóc, Taliándörögd.	300	7,5
6	Óbarok-Vázsonypusztá	Óbarok	195	6
7	Sármás	Bakonyjákó	250	14
8	Gerecse, Vértes	Óbarok, Nagyegyháza.	~1 800	7,2
9	Táncsics ;	Nyirád	130	8,8

Az alumíniumipar legfőbb alapanyaga a timföld, melyet a timföldgyárakban többnyire a Bayer-eljárással állítanak elő. Ezzel az eljárással állítják elő a világ timföldjének 90%-át. Ismert még 30-40 különféle módszer, de ezeket csak akkor használják ha a Bayer eljárás már nem használható gazdaságosan.

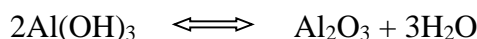
19.2.1. Bayer-eljárás folyamata (163. ábra)

A kibányászott bauxitot az eljárás első lépéseként aprítják, majd sűrűlúggal keverve megőrlik, és innen jut a feltárásba. Az autoklávus feltáró rendszerben 100-250 °C-on az alumínium-oxidok feloldódnak a nátrium-aluminátoldatban. Az egyéb fázisokat a szilícium-oxid kivételével, lúg nem oldja. Technológiai sor ezen szakaszán a mellékreakció következtében a szilícium-oxidból nátriumalumínium-szilikát képződik, ami jelentős alumínium és nátrium veszteséget okoz^{xxviii}. A vörösiszapot a bauxitból ki nem oldott alkotórészek, és a nátriumalumínium-szilikát alkotja.

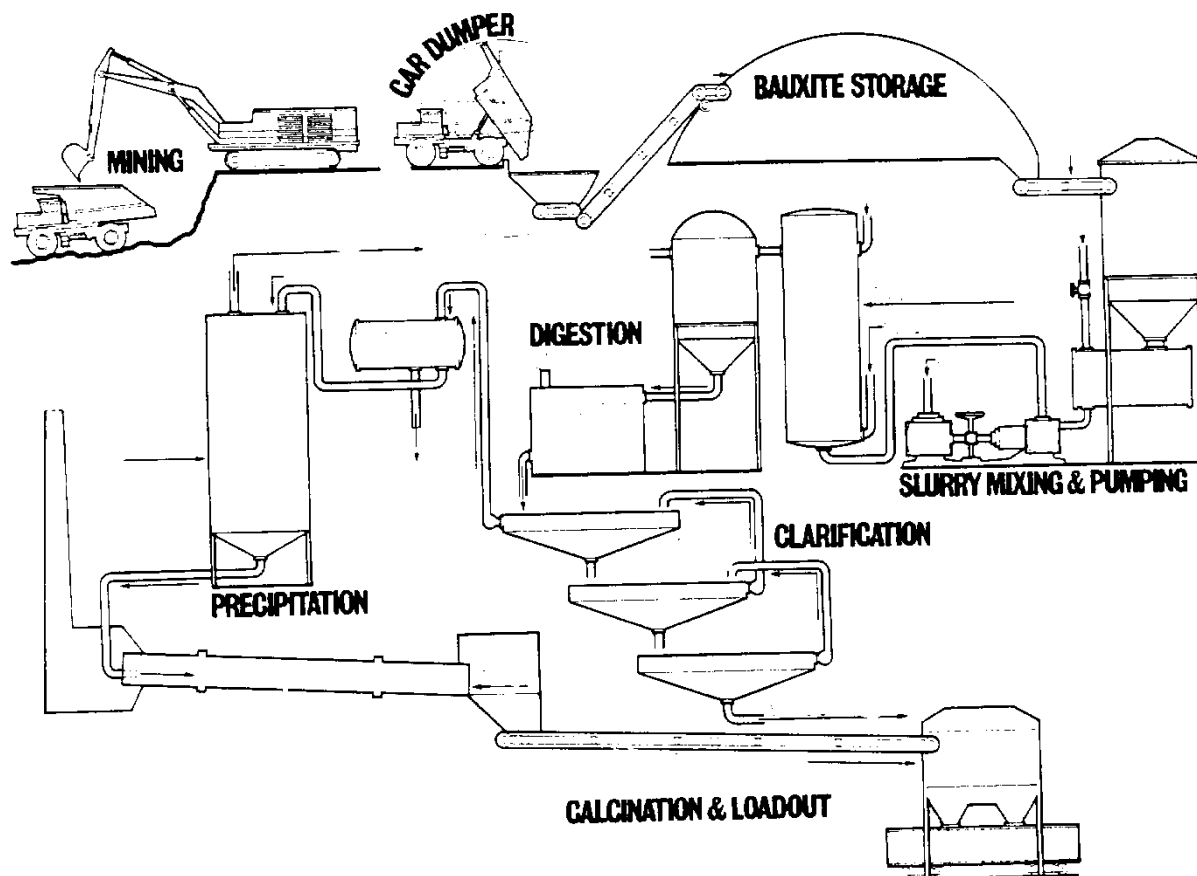
Az iszaptól elválasztva az oldatot lehűtik, alumínium-hidroxidot adnak hozzá, mint oltóanyagot, majd állandó keverés mellett az alumíniumtartalom 40-50%-át kiválasztják. Ez a kikeverés művelete.



A kivált alumínium-hidroxidot az oldattól elválasztják, és timfölddé kalcinálják.



A hidrát leszűrése után az aluminátlúgot besűrítik, és pótolják a lúgvesztésüket, majd ezt visszavezetik a folyamat elejére az őrléshez.



163. ábra: A Bayer eljárás sematikus ábrája

A Bayer-eljárásnak két jelentős irányzata alakult ki a világon: európai és amerikai változat. A két technológia több ponton is eltérő paraméterekkel dolgozik, és a termék fizikai adottságai is különböznek egymástól. Az alkalmazott lúgkoncentráció értékei, a berendezések illetve a résztechnológiai megoldások eltérései szolgálhatnak az előállított timföld minőségének magyarázatául. A két technológia kialakításakor nagymértékben alkalmazkodtak a feldolgozott bauxit sajátosságaihoz²⁸.

A technológia egyes lépéseinek részletesebb tárgyalása nem tartozik szorosan a hulladékkezeléshez, ezért itt csak a gyártás során hulladékként jelentkező vörösiszap sorsát kísérik kitüntetett figyelemmel.

19.2.1.1. A vörösiszap szétválasztása az alumínátlúgtól:

A technológiai folyamat ezen lépése három különböző részre bontható:

- a vörösiszap elválasztása az alumínátlúgtól, az alumínátlúg lebegő szennyeződésektől való megtisztítása
- vörösiszap kimosása, és a hulladéklerakóra történő szállítása
- alumínátlúg előkezelése (lehűtése) az alumínium-hidroxid kiválasztása érdekében

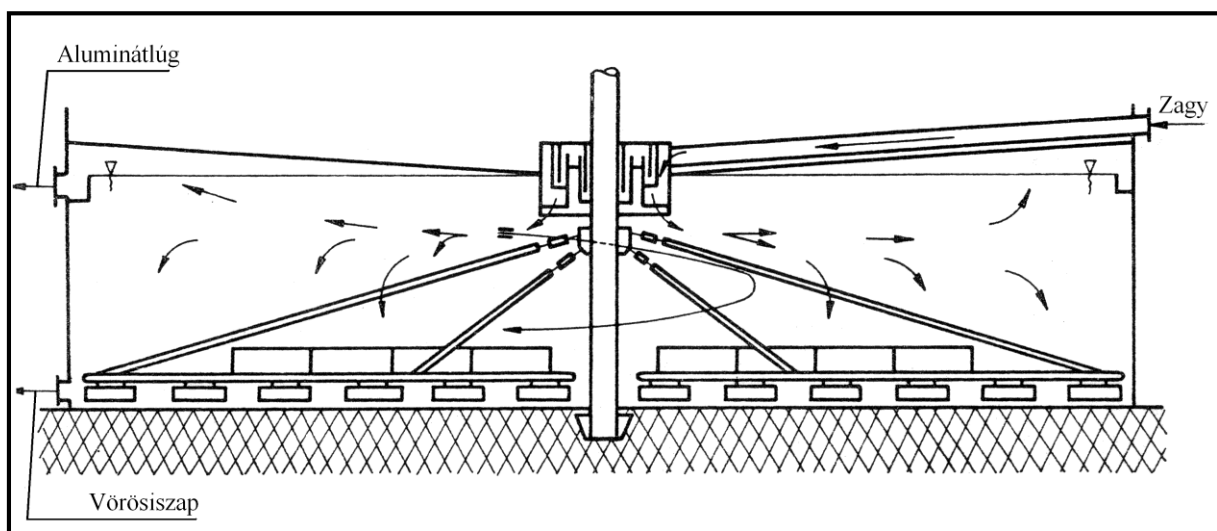
A vörösiszap és az alumínátlúg egymással zagyszerű anyagot képez. Ezek egymástól történő elválasztására általában ülepítést használnak. Ennek technológiai alapja a nehézségi erő hatására történő szétválás.

Az irodalmi adatok alapján a különböző bauxitból keletkező vörösiszapok különböző sebességgel ülepednek. Az ülepedést a következő tényezők befolyásolják:

- A bauxitban és természetesen az ebből keletkező vörösiszapban lévő vasvegyületek ásványos összetétele
- az ülepedéskor bekövetkező timföldhidrát-kiválás mértéke
- a bauxit kovásvav tartalma
- iszap szemcsemérete, szemcseeloszlása és hidratáltsága

Az ülepítés berendezései:

Ülepítő berendezésként többnyire egy egykamrás Dorr készüléket használnak. Átmérőjük 32-35 méter, míg magasságuk elérheti a 8 métert. Maga az ülepítő lapos fenekű kialakítású, az iszapot oldalsó elvezetéssel távolítják el. A keverést kerületi meghajtással végzik. Az ülepítő berendezés sematikus képe az **164. ábra** látható.

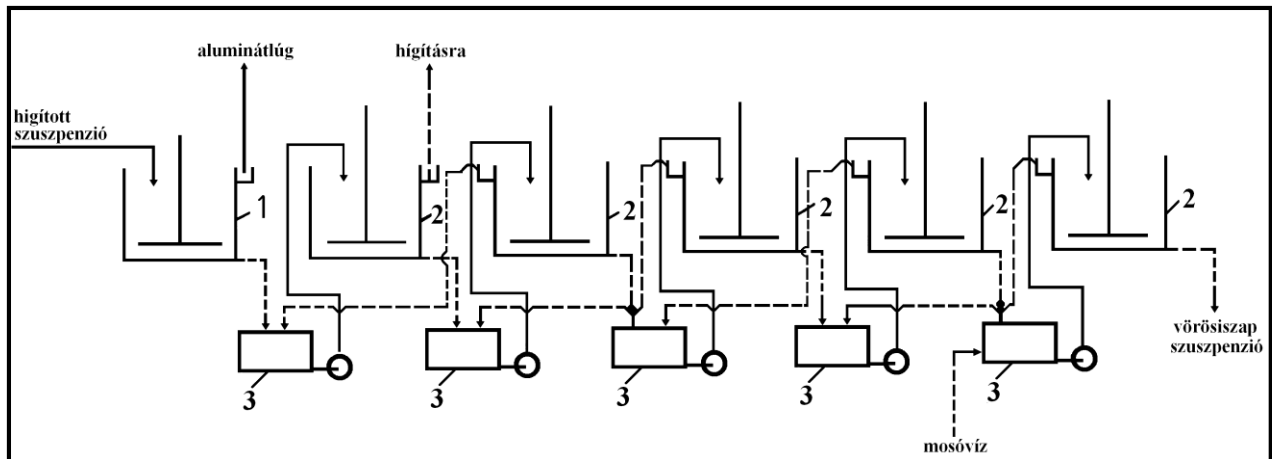


164. ábra: Egykamrás Dorr-ülepítő^{xxix}

Mosórendszerek:

Sorba kapcsolt ülepítő berendezésekben kiülepedő vörösiszapot ellenáramú mosófolyadékkal mossák úgy, hogy az utolsó mosóba már csak forró vizet vezetnek. Az **165. ábra** ezt a folyamatot mutatjuk be. Az ülepítőbe táplálás előtt a vizet az utolsó előtti mosófokozat sűrű iszapjával (kónusz anyag) keverik. Az utolsó ülepítő túlfolyását a hátulról számított harmadik mosóból kivett sűrű zaggal elegyítik, és ezt adagolják az utolsó előtti készülékbe. Az utolsó mosógyűrű zagyát a hányóra továbbítják. A mosórendszer első tagjának kettős szerepe van:

- aluminátlég biztosítása a további műveletekhez
- vörösiszap kimosása

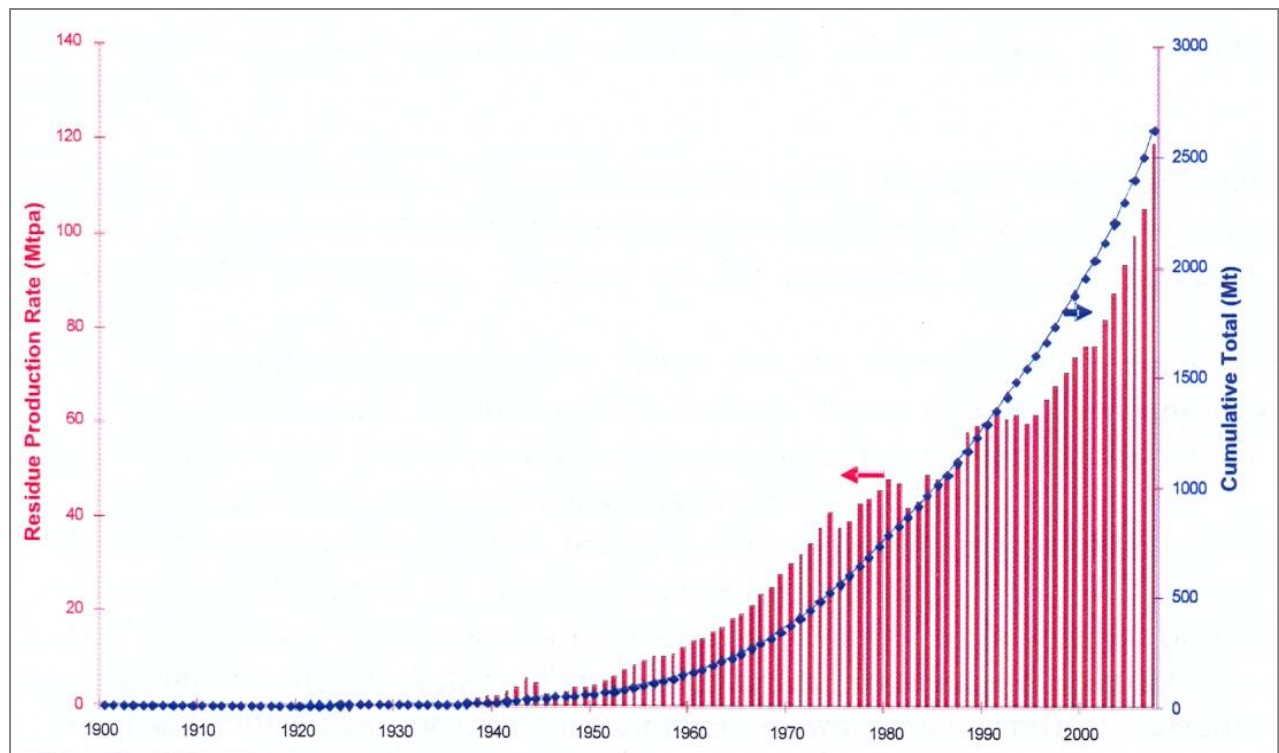


165. ábra: Dorr-mosósor²⁹

Kisebbségi vörösiszap képződés esetén a mosósorokat szűrővel látják el, a szűrésre általában nyomószűrőket használnak

19.3. A vörösiszap jellemzése

A vörösiszap a timföldgyártás során keletkezik (166. ábra). Tixotrópos tulajdonságú anyag. Összetételére jellemző, hogy több értékes fémet is tartalmaz. Összetételére vonatkozó adatokat a következő táblázatban találjuk:



166. ábra: Évente keletkező vörösiszap mennyiség (Forrás: CSIRO Document DMR-3608, May 2009)

60. táblázat: A vörösiszap tömegszázalékos összetétele²⁷

Komponensek	%
Fe ₂ O ₃	32-40
Al ₂ O ₃	15-18
SiO ₂	9-14
Na ₂ O	7-12
CaO	3-8
TiO ₂	4-6

Magyarországon évente 4 millió tonna vörösiszap keletkezik, amelyeket zagytereken tárolnak. Magyarországon kizárólag a nedves eljárású tárolást használják. Hazánkban jelenleg csak Ajkán végeznek el lerakást, azonban lerakó üzemelt még Almásfüzitőn és Mosonmagyaróváron is.

19.4. Az ajkai lerakó:

Az ajkai lerakó telepen több kazettában több mint 20 millió tonna vörösiszap van lerakva. Az I. – VIII. kazettáig a teljes lefedést elvégezték már, a monitoring rendszert teljes mértékben kiépítették. Az ajkai lerakón tárolt vörösiszap mennyiségeket az **61. táblázat**^{xxx} mutatja be.

61. táblázat: Az ajkai lerakón tárolt vörösiszap mennyiségek

A lerakó jelölése	Területe (ha)	A lerakott vörösiszap mennyisége (tonna)	Vörösiszap elhelyezési ideje	Jelenlegi helyzet
I.	3,8	280.800	1943-1968	Lefedve, monitorozva
II.	3,6	347.600	1943-1968	Lefedve, monitorozva
III.	3,5	410.000	1943-1968	Lefedve, monitorozva
IV.	3,3	442.400	1943-1968	Lefedve, monitorozva
V.	3,3	537.200	1943-1968	Lefedve, monitorozva
V./A	1,8	280.800	1943-1968	Lefedve, monitorozva
VI.-VII.	38	7.110.000	1967-1974	Lefedve, résfallal körülvéve, mon.
VIII.	41	8.250.000	1971-1997	Lefedve, résfallal körülvéve, mon.
IX.	49	10.699.000	1980-2004	Üzemel, monitorozva
X.	20	1.120.000	1998-2012	Üzemel, monitorozva



167. ábra: Ajkai lerakók [Google Maps]

19.5. A vörösiszap kezeléskor figyelembe veendő szempontok

A timföldgyártás során képződő vörösiszapok lerakása, kezelése és hasznosítása során kiemelt figyelmet kell fordítani a gazdaságossági, biztonsági és természetesen nem utolsósorban a környezeti szempontokra is^{xxxii}.

Jelenlegi tudásunk alapján elmondhatjuk, hogy a vörösiszaprak jelenleg gazdaságos felhasználását nem ismerjük. A gazdaságossági tényezőket a következők befolyásolják:

- a lerakott hulladék kitermelésének költségei,
- a szállítási költségek,
- a szóba jöhető hasznosításhoz alkalmazható egyéb anyagok ára

A hulladéknak minősülő vörösiszap kezelése során számtalan probléma merül fel, melyek közül a legjellemzőbbek a következők:

- *Gazdasági problémák:*
 - a melléktermék visszanyerése a jelenlegi technológiák alkalmazásával nem gazdaságos,
 - az alacsonyabb minőség miatt, alacsony gazdasági értéke van a vörösiszaprakból készült legtöbb terméknek,
 - a lerakás és a monitoring rendszer kiépítésének költségei emelkednek,
 - a lerakók kialakítása során minél nagyobb területek kerülnek ki a mezőgazdasági termelésből,
- *Környezeti, egészségügyi, biztonsági problémák:*
 - nagy térfogatú, hosszú távon fel nem használható hulladék képződik, melynek elhelyezése már a közeljövőben környezetpolitikai kérdéseket fog felvetni,
 - magas lúgtartalom miatt egy esetleges havária hatalmas károkat okozhat (ez történt az ajkai katasztrófa alkalmával),
 - csapadékvíz átszivárgásának lehetősége,
 - a közelmúlt eseménye miatt jövőbeni szigorúbb környezetvédelmi szabályozások várhatóak,
 - a kiporzás lehetősége a száradás időszakában további egészségügyi problémákat vethet fel,
 - hosszú távú problémák a vörösiszap Na koncentrációjából adódóan amely a mosási technológia nem megfelelő problémájából ered,

19.6. A vörösiszap kezelési és hasznosítási lehetőségei

2000-ben jelent meg a The Aluminium Association Washington DC által fémjelzett Technology Roadmap for Bauxite Residue Treatment and Utilization kiadvány. Ebben foglalmazták meg vörösiszappal szembeni legfontosabb javaslatokat, amelyek a következők voltak:

- hulladékkezelés és lerakás
- lerakást megelőző hasznosítás
- technológiai módosítás
- fémvisszanyerés a vörösiszapból
- a kovasavtalanítási lépés elválasztása (Si tartalom (DSP) eltávolítása a feltárás előtt)
- bauxit hasznosítása
- a lerakott vörösiszap konszolidációjának elősegítése
- kén-dioxid és szén-dioxid tartalmú gázok tisztítása
- felhasználás különböző gyártási célokra

A timföldgyártás során az előzőekben bemutatott Bayer-eljárást alkalmazva különböző összetételű és mennyiségű melléktermék is keletkezik. A legnagyobb mennyiségben a vörösiszap keletkezik. Mennyisége és összetétele elsősorban a feldolgozott bauxit összetételétől függ.

A bemutatott összetétel szerint számos értékes alkotórészt tartalmaz, de gazdaságos feldolgozása még nem megoldott. A hasznos alkotórészek közé Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O komplexek valamint a különböző kismennyiségben megtalálható fémek tartoznak.

Hazánkban és szerte a világon nagy területeket elfoglaló és igen költséges kialakítású és fenntartású iszaptavakat használnak a vörösiszap elhelyezésére, melyek többnyire a szállítási költségek minimalizálása céljából a timföldgyár közelében kerülnek kialakításra.

19.7. Vörösiszap lerakása

A tárolási módszereket a terület környezetvédelmi körülményei és a helyi szabályozás egyaránt meghatározzák, tehát ezeket figyelembe véve kell meghatározni a tározók lehetséges helyét és kialakításuk módjait.

A nemzetközi gyakorlat szerint két alapvető módszere van a lerakásnak, a magyarországi lerakóknál használt ún. nedves lerakás és a külföldön általában használt száraz vagy félszáraz lerakás.

19.7.1. Nedves lerakás

A timföldgyári technológiából kikerülő iszapot víztelenítés nélkül helyezik el a zagytározón. A lerakó kialakításánál kiemelkedő figyelmet kell szentelni a szigetelésnek, hogy a talajba történő szivárgást teljes mértékben megakadályozzák. A lerakó kialakítása többnyire védőgáttal kiemelt medence formájú depóniát (x. ábra) jelent, ezt használják egyébként folyékony vagy iszapszerű ipari hulladékok tárolására. Elterjedt ez a tárolási mód még a bányaiparban, az előkészítőműveknél és a kohászatban is, főleg monodepóniaként.



168. ábra: Nedves lerakás, Orissa, India

19.7.2. Száraz lerakás

A száraz lerakás (169. ábra) megvalósításához a vörösiszap nedvesség tartalmát lecsökkentik. A megfelelő szárazanyag-tartalom eléréséhez a vörösiszapot vákuumszűréssel vagy nagy nyomású technikák (170. ábra) alkalmazásával víz és lúg mentesítik. A száraz lerakásnak több módszere ismert, egyik elterjedt alkalmazáskor a csökkentett nedvességtartalmú anyag vékonyréteget helyezik el egy nagy felületen, majd a megszáradása után újabb réteget engednek rá.



169. ábra: Száraz vörösiszap, Görögország



170. ábra: Nagynyomású technológiai sor (Görögország)

19.7.3. Félszáraz lerakás:

Ennek a módszernek az alkalmazása lényegében a száraz és a nedves eljárás előnyeit alkalmazza, de az iszap nedvességtartalma jelentősen alacsonyabb, mint a nedves lerakás esetében. Előnye a száraz eljárással szemben, hogy a szállítás a timföldgyárból egy csővezetéken keresztül történik (**171. ábra**) ami gazdaságosabb, mint a teherautókon vagy vasúton történő szállítás.

Az iparilag fejlettebb országokban inkább a száraz eljárást alkalmazzák, melynek számtalan előnye van a nedves eljárással szemben.

Legfőbb előnyei:

- A hulladéklerakók jelentősen kisebb méretűek a nedvességtartalom csökkentése miatt,
- A talajvíz szempontjából kritikus Na-tartalom a nedvességtartalom csökkentésével kisebb lesz, hiszen vörösiszap Na-tartalmának (Na_2O), nagy része oldott fázisban található,
- Környezetpolitikai és gazdaságossági szempontból előnyösebb ez a tárolási mód.

Hátránya:

- A nedvességtartalom csökkentése és a nedves technológiák átalakítása száraz lerakássá jelentős többletköltséggel jár

Az ajkai timföldgyárnál a nedves lerakást alkalmazzák, azonban a katasztrófa felhívta a figyelmet ennek veszélyeire, így meggondolandó az átállás a költségesebb száraz eljárásra.



171. ábra: Félzsáraz tárolás, Damandjodi, India

Még egy lerakási módszerről kell megemlékeznünk, amit szerencsére már az iparilag fejlett országokban nem használnak. A tengerparti országokban az 1970-es évekig jellemző volt, hogy a vörösiszapot a tengerek mélytengeri részébe egy csővezetéken keresztül egyszerűen leengedték. Ennek a korántsem elegáns megoldásnak a korzikán bekövetkező vörösiszap katasztrófa vetett véget. 1972-ben egy titán- és vanádium származékokkal foglalkozó olasz vegyipari cég az ipari termelés során keletkező veszélyes hulladékot a Földközi-tengerbe engedte. A krómot, titánt, arzént, ólmot és kadmiumot is tartalmazó erősen maró hatású vörösiszap a vízbe kerülve komoly ökológiai következményeket okozott, több kilométeres körzetben kipusztította a tengeri planktonokat és a halakat. A lakosság és a környezetvédők tiltakozása ellenére az olasz kormány nem vonta vissza a cég engedélyét, annak ellenére, hogy jogerős bírósági ítéletben el is marasztalták őket. A cég végül is 1976-ban állította le a vörösiszap tengerbe juttatását. Az évek alatt 2500 tonna veszélyes mérgező anyag ömlött a Földközi-tengerbe, szinte visszaállíthatatlan katasztrófát okozva ezzel.

19.8. A vörösiszap szállítása

A szállításhoz „Sz”- kísérőjegy szükséges, melyet a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről szóló 98/2001. (VI. 15.) Korm. rendelet ír elő. Az eljárások alapján a szállítás történhet közúton, vasúton és vízi útvonalon is.

19.9. A vörösiszaptározók rekultivációja

Magyarországon az almásfüzitői lerakó esetében már megtörtént a rekultiváció. A rekultiváció folyamatát^{xxxii} ezen a példán keresztül mutatjuk be. A rekultivációs réteg kialakításához az eljárás során különféle hulladékokat használtak fel, melyek közt veszélyes, nem veszélyes hulladékok és kondicionáló anyagok is találhatóak.

A veszélyes hulladékok felhasználása

A rekultivációs réteg elkészítéséhez használt veszélyes hulladékok mennyiségénél a környezet védelmét elsődleges szempontként kell figyelembe venni, és indirekt módon lehet meghatározni a mennyiséget, a következő feltételek rögzítésével és betartásával:

- A rekultivációs kompozíció összetételi határértékeit minden esetben be kell tartani,
- Annyi veszélyes hulladék vehető át, amennyi az adott veszélyes hulladékból az átvételt követően folyamatosan kezelhető,
- Adott veszélyes hulladékok bekeveréséhez a kondicionáló anyagok, összekeverendő egyéb hulladékok az átvétel időpontjában a vörösiszap tározón megfelelő mennyiségben rendelkezésre kell, hogy álljanak,
- Az adott veszélyes hulladék mennyiség kezeléséhez a szükséges műszaki feltételeket (gépkapacitást, híg iszap elhelyezéséhez az előre elkészített kazettát stb.) biztosítani kell.
- Erőművi salak-pernyéből legalább 4-5 fuvarnyi mennyiséget tartalékolni kell a vörösiszap tározón: keverő-, út-, és kazettaépítő anyagként.

Nem veszélyes termelési hulladékok felhasználása

Nem veszélyes hulladékokat is felhasználnak a rekultivációs réteg elkészítéséhez, de használnak még kondicionáló és egyéb anyagokat is. Ezek a következők lehetnek:

- Erőművekből származó salak és pernye (minősítéstől függően),
- Bányameddő,
- Taviiszapok,
- Növényi hulladékok: parkokból származó hulladékok,
- Szénmosási meddő,
- Ipari szennyezettől mentes kommunális szennyvíztisztítói iszapok,
- Trágya,
- Egyéb nem veszélyes, a rekultivációs réteg kialakítására alkalmas hulladékok,
- Talaj.

19.9.1. A rekultiváció technológiája

A technológia alapján biztosítani kell a folyamatos munkavégzés feltételeit, a rekultivációs keverék előállítását, ezután következik maga a rekultiváció és természetesen fenntartásról és a karbantartásról is gondoskodni kell. Ezeket röviden részletezzük is:

A munkavégzés feltételeinek kialakítása:

Mivel a kialakított tárgyakat, építményeket hosszú ideig használják ezért ezeket nagy terhelésre kell megtervezni. A rekultiváció során ezek a következők:

- Megfelelő minőségű utakat kell kialakítani, megfelelő fogadótérrel,
- Megfelelő előkezelő, pihentető és érlelő területet kell kialakítani
- A rekultiválandó területet elő kell készíteni

19.9.1.1. A rekultivációs keverék előállítása:

A keverék előállításához felhasználnak inert hulladékokat, melyek nem mennek át jelentős fizikai, biológiai, kémiai átalakuláson. Jellemzőjük, hogy vízben nem oldódnak, nem égnak, nincsenek kedvezőtlen hatással a vele kapcsolatba kerülő más anyagokkal úgy, hogy ennek következtében a környezet vagy a lakosság károsulna. Ilyenek például a meddő földek és bizonyos pernyék.

Hulladéknak minősülő anyagokat is felhasználnak a keverék előállításánál. Ez lehet veszélyes és nem veszélyes hulladék is. Természetesen a hulladékok beérkezésekor a mindenkor érvényes jogszabályi feltételeknek meg kell felelni. A hulladékot, amennyiben lehetséges, akkor egyből a keverőterületen kell elhelyezni, ha ez nem megy, akkor a fogadótéren.

19.9.1.2. Keverés:

A keverés kezdetekor először az inert és a nem veszélyes anyagokat kell lerakni, majd ezekhez kell hozzátenni a veszélyes hulladékokat. A keverés és rakodás homlokrakodóval, áthalmozással történik. A kevés szerves anyag tartalom miatt folyékony keverőben használják fel a keveréket. Ez legalább 4 medencéből áll. Egy időben két medencét használnak, egyikben a magasabb olajtartalmú veszélyes hulladékok gyűjtése van, természetesen, ha ilyen felhasználtunk. Bekeverés után az érlelő területre kerül innen a keverék. A másik medencében az alacsony olajtartalmú és a szerves anyag tartalmú hulladékokat gyűjtik. Ezeket szilárd anyaggal keverik és a pihentetőre vagy az érlelőre kerül a rekultivációs keverék.

19.9.1.3. Pihentetés:

A magas nedvességtartalmú keverék kiszáritására pihentetést használnak. Itt a nedves keverék természetes módon elveszíti a felesleges víztartalmát. A prizmákban elhelyezkedett anyagot szükség esetén át kell rakodni, ezzel is a száradást segítjük elő. Nagyobb mennyiségű szerves hulladék bekeverésekor - az elkészített keverék megfelelő összetétel esetén – a pihentetőből is felhasználható rekultivációra az anyag. Ez elsősorban a rekultivációs réteg felső részében helyezendő el.

19.9.1.4. Érlelés:

Ebben a technológiai lépésben a komposztálási folyamatok elindítása a cél. Nagyobb beavatkozást csak a magasabb olajtartalmú keverék kíván, ekkor olajlebontó baktériummal kezelik az anyagot. A lebontási idő letelte után a keverés technológiai lépésébe kell az anyagot visszavinni.

A kevésbé szennyezett hulladék értelemszerűen kevesebb beavatkozást kíván, könnyebben tisztítható, ezért a technológia szelektálja a hulladékokat. Két különböző féle depónia kerül kialakításra. Az egyikben a magas olajtartalmú hulladékok lesznek, itt történik az olajlebontó baktériumokkal történő kezelésük. Itt magas, 45%-os nedvességtartalom biztosítja a gyors bomlást. Az érlelés itt 3-6 hónapig tart, levegőztetésre szükség lehet.

A másik keverékben alacsony olajtartalmú anyagok lesznek. Az érlelés általában 1-2 hónapig tart, az érlelési idő felénél átforgatással levegőztetni kell. A nedvességtartalom biztosítását a depóniák nedvesítésével, az összegyűjtött csurgalékvíz elvezetésével lehet biztosítani. Az érlelő területről legkésőbb egy év elteltével minden keveréket el kell helyezni.

A hulladék összetételétől függően a megfelelő konzisztenciát és tápanyagtartalmat különféle hulladékok hozzáadásával lehet kialakítani. Ilyenek lehetnek az erőművekből származó pernyék, szennyvíziszapok, biokomposzt, stb.

A kész rekultivációs közeget rétegesen kell alkalmazni, közéjük 10-20cm vastagságban inert hulladékot kell elhelyezni.

19.9.1.5. Rekultiváció:

Amennyiben az érlelés során kialakítottuk a megfelelő közeget, akkor ezt a rekultiválandó területre kell kihelyezni, a fentiekben említett technikákkal. Ezután történik meg a növénytelepítés.

Fenntartás, karbantartás:

A fenntartás során a növényeket gondozni kell, tápanyag utánpótlásukról kell gondoskodni és szükség esetén rétegvastagítást is kell végezni.

19.9.2. A vörösiszap lehetséges felhasználási területei

A lehetséges felhasználási területeit már sokan kutatták. Azonban olyan módszer mely gazdaságosan alkalmazható nagymennyiségű timföldgyártási hulladék feldolgozására még nem áll rendelkezésünkre.

A hasznosítás igen szerteágazó lehetőségeket rejt magában (Huj Mónika diplomamunka, Pannon Egyetem):

Hasznosítás módja

- Fémkinyerés
 - Vas-oxidok acélipari hasznosítása
 - Csak Magyarországon több, mint 30 millió tonna vörösiszap található a lerakókon. Az alkalmazott technológiából adódóan a száraz iszap vastartalma átlagosan 40-45 %. Mivel hazánkban nem áll rendelkezésre nagy mennyiségű vasérc, a vörösiszap akár jelentős másodnyersanyag forrás is lehetne.
 - TiO₂ pigmentipari hasznosítása
 - Kohászati salakképző módosító anyag előállítás
- CO₂ és SO₂ mosás a füstgázokból
- CO₂ eltávolítás speciális esetekben
- Útlap, gátkorona építés
- Talajjavítás (víz és tápanyag visszatartás)
- Savas talajok és hulladékok (bányavizek, meddőhányók) kezelése
- Cement adalék
- Építőipari alapanyag (tégla)
- Szennyvízkezelési segédanyag
- Kútúrás segédanyag
- Pigment
- Kompozitok töltőanyaga
- Műanyagok töltőanyaga
- Hulladékok termőtalaj alatti fedőrétege
- Erózió sújtotta területen altalajpótló
- Komposztok nehézfém megkötő adalékanyaga
- Ivóvízkezelési segédanyag
- Opalizáló ágens
- Katalizátor
- Egyéb felhasználások

20. A nukleáris ipar hulladékkezelési kihívásai (Dr. Szűcs István)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

Az előrejelzések szerint a világ primer energia felhasználása 2050-ig megkétszereződhet. Ezzel párhuzamosan az energiaellátás biztonságának fenntarthatósága is egyre égetőbb problémává válik, mivel a fosszilis üzemanyagok tartalékai végesek és kimerülőben vannak. E kimerülési folyamat során felismert globális éghajlatváltozás tény-adatai rádöbbenetették a világot arra, hogy a lakosság életszínvonalát csak gazdaságilag ésszerű, biztonságos és fenntartható energia használata esetén lehet megőrizni, és világossá vált, hogy mindez igen bonyolult és nagyszabású kihívás.

Az Európai Unió tagországainak állam- és kormányfői 2007 márciusában deklarálták, hogy az üvegház-hatású gázok kibocsátását 2020-ig az 1990-es szint 80 %-ára kívánják csökkenteni. Az ennek megvalósítására készült különböző akciótervek és elemzések szerint a cél a nukleáris energia mai részarányának változatlanul tartása vagy növelése nélkül nem érhető el. (Jelenleg a nukleáris energia az EU teljes villamosenergia-termelésének 31 %-át adja. Ez évi 900 millió tonna széndioxid kibocsátás „megtakarítását” jelenti, ami csaknem azonos a közlekedési szektor teljes CO₂ kibocsátásával.)

Számos gazdaságossági és környezetvédelmi versenylőnye miatt a nukleáris ipar világszerte reneszánszát éli, annak ellenére, hogy ezt a lendületet egy-egy természeti- és ahhoz kapcsolódó műszaki katasztrófa megtörheti. A 2011. március 11-i japán földrengés fukushimai atomerőműre gyakorolt hatásainak nemzetközi vonzatai ellenére a hazai energiapolitika fő pilléréként funkcionáló atomerőmű élettartam-növelési és bővítési szándéka továbbra is elfogadott alternatívaként prognosztizálható.

A következő évtizedek várhatóan meredeken felfutó nukleáris iparához kapcsolódó anyagi és humán erőforrások jelentős növekedési igénye vitathatatlan. Ez fokozottan igaz az iparág műszaki és társadalmi elfogadtatásában egyre meghatározóbb szerepet játszó nukleáris környezetvédelem területére is. E környezetvédelmi küldetés egyik fő területe a nukleáris technika vívmányainak alkalmazásához kapcsolódóan keletkező radioaktív hulladékok szakszerű és biztonságos kezelésének és elhelyezésnek kérdése.

Amennyiben az elhelyezés a már véglegesség igényével fogalmazódik meg, a kihívás nem olyan súlyú, amelyet egyszer és mindenkorra meg lehet oldani, hanem inkább egy hosszú probléma- és feladatsor megoldásának kezdete, amely átível a következő évszázadokba is. Az atomenergia, a nukleáris ipar más ágazatai által nyújtott előnyök igénybevétele csakis a hulladékok végleges elhelyezésének megoldásával párhuzamosan képzelhető el.

Mivel a már meglévő és az elkövetkezendő évtizedekben keletkező radioaktív hulladékmennyiség már korábban meghozott döntések eredménye, az egyetlen lehetőségünk, hogy gondoskodni kell a radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezéséről. Ezért a továbbiakban elsősorban a már működő atomenergia ipar termék-életciklusának utolsó szakaszához kapcsolódó hulladékkezelés egyes fontosabb kérdéseivel foglalkozunk.

20.1. A radioaktív hulladékok forrásai

A radioaktív hulladékok egyik igen jelentős forrása maga a bennünket körülvevő **természet**. A Föld felszínén és földkéreg alatt óriási radioaktív anyagkészletek találhatók. Ezen hatalmas természetes aktivitáskészlet főbb forrásai:

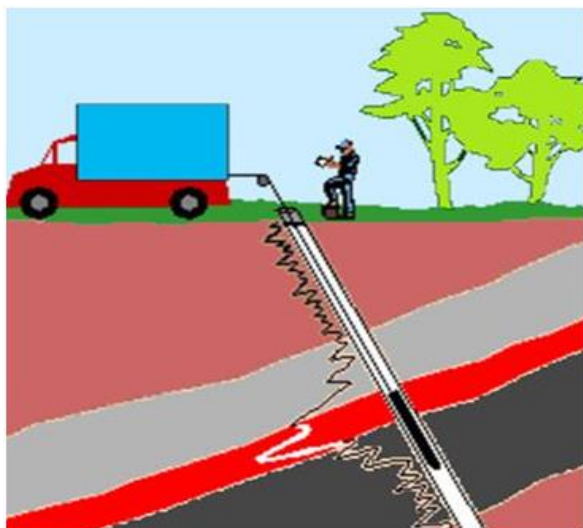
- *A földkéregben található ásványi nyersanyagok*, természetes előfordulású radioaktív anyagok (angol betűszóval NORM, Naturally Occuring Radioactive Materials). (Ezek,

feldolgozva már sokkal nagyobb aktivitású hulladékot eredményezhetnek — rövidítve: TENORM, technológiailag megnövelt koncentrációjú természetes radioaktív anyagok — pl. urán- és tórium bányászat, szén- és gáztüzelésű erőművek, cementgyártás, magas természetes radioaktivitású építőanyagok felhasználása.)

- *A természeti folyamatok* (vulkánkitörések, vulkáni utóműködések, gáz- és fluidum források, erózió, defláció).
- *Spontán, természetben lejátszódó maghasadási folyamatok.* (Pl. Gabonban, Oklo közelében 1,8 milliárd évvel ezelőtt egy uránban gazdag lelőhelyen ugyanolyan folyamat játszódott le, mint az atomerőművekben.)
- *A világtengerek,* amelyek összes becsült természetes radioaktivitása — persze óriási, ($\sim 10^{18}$ m³-es hígításban) — igen jelentős, mintegy 10^4 Exabecquerel (1 EBq = 10^{18} Bq, 1 Bq = 1 bomlás/s).

(Összehasonlításul: A hirosimai atombomba által 1945-ben a levegőbe juttatott radioaktivitás kb. 0,01 EBq volt, az 1986-os csernobili atomerőmű baleset során a becslések szerint mintegy 4 EBq került a légkörbe, 2011-ben fukushimai atomerőműből pedig ennél kb. egy nagyságrenddel kevesebb. A hidegháború éveiben több, mint 10^3 EBq aktivitású radioaktív anyag került a levegőbe. Összesen nagyjából ugyanilyen nagyságrendű nukleáris hulladékot termeltek a világ atomreaktorai az elmúlt 50-60 évben.)

Az élet számos területén találkozhatunk **mesterséges** radioaktív izotópokkal is: az iparban, az egészségügyben, a kutató-fejlesztő munkák során a nukleáris energetikában. (**172. ábra-175. ábra**). Az izotópdiagnosztikai és -terápiás alkalmazások betegségek korai felismerését és gyógyítását teszik lehetővé. Az ipari alkalmazások közül az anyagvizsgálatok, a minőségellenőrzés, a nedvesség- és szintmérések, hő- és fényforrások gyártása, vagy gyógyszerek előállítása említendő példaként. Az elmúlt évtizedben a besugárzási technológia világszerte önálló iparágga fejlődött, amit az orvosi eszközök, az élelmiszerek és a csomagolóanyagok egyre nagyobb mennyiségű sugárkezelése bizonyít. A hasznos alkalmazások tehát — a kellő biztonsági feltételek mellett — szükségesek, sőt egyes területeken elkerülhetetlenek, mivel az ionizáló sugárzás segítségével egyértelműen az élet minőségét lehet javítani.



172. ábra: Mélyfúrási geofizikai szelvényezés (olajipar)



173. ábra: PET tomográfia (orvostudomány)



174. ábra: Izotópos kormeghatározás (földtudományok)



175. ábra: Radioaktív hulladéktároló (nukleáris ipar)

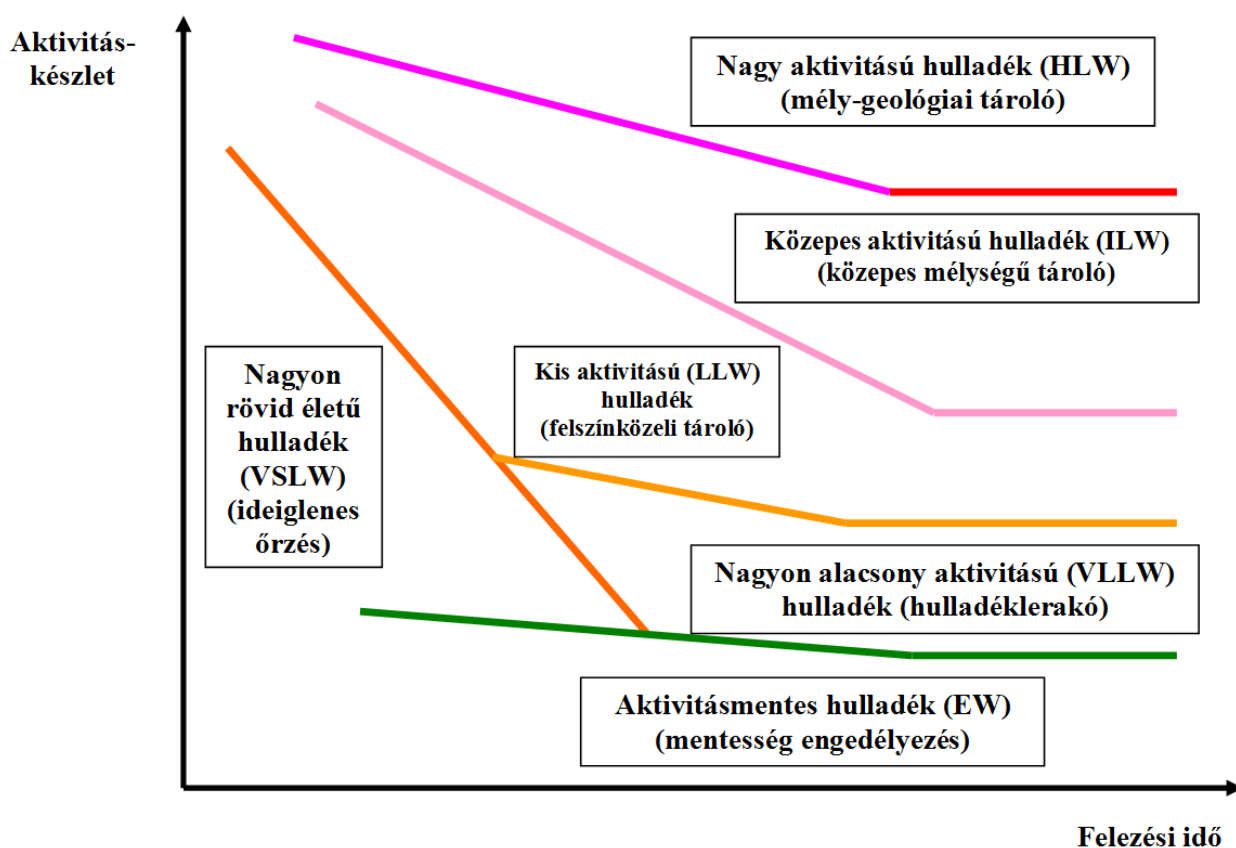
A probléma súlyossága						
A legsúlyosabb problémákat okozhatja		Brachyterápia	Ipari radiográfia	Teleterápia		
Problémákat okozhat		Nedvesség érzékelők	Fúróluk-szelvényezés	Ipari szondák		
Általában nem probléma					Ipari és kutatási célú besugárzók	
Kevés aggodalomra ad okot		Kalibráló források				
Nem probléma	Fogyasztói termékek					
	1 kBq	1 MBq	1 GBq	1 TBq	1 PBq	Forrás erősség
	Nagyon gyenge	Gyenge	Közepes	Erős	Nagyon erős	

176. ábra: Radioaktív sugárforrások aktivitástartománya és hulladékká válásuk problémájának súlyossága

Hasonlóan szinte minden más tevékenységhez, ezen alkalmazások is hulladékok keletkezésével járnak. Ezen hulladékok egy része radioaktív izotópokat is tartalmaz, melyek bomlásuk során különféle ionizáló sugárzást bocsátanak ki. Az ilyen anyagokat nevezzük radioaktív hulladékoknak, amelyek precízebb meghatározása: valamely tevékenységből vagy beavatkozásból visszamaradt anyagok, amelyek további hasznosítására már nincs igény, és amelyek a vonatkozó határértékeknél nagyobb koncentrációban vagy aktivitásban tartalmaznak radioizotópokat. Az **176. ábra** a különböző (kBq – EBq) aktivitástartományokba eső sugárforrások alkalmazási területeit és a hozzájuk kapcsolódó potenciális veszély mértékét tünteti fel.

20.2. A radioaktív hulladékok kategorizálásának nemzetközi elvei

Számos hulladékkategóriát definiáltak az elmúlt évtizedek során: nagyon kis aktivitású hulladék, kis és közepes aktivitású hulladék, nagy aktivitású hulladék, kiégett nukleáris fűtőelem (amennyiben egyes országokban azt hulladéknak tekintik), hőtermelő hulladék, alfa-sugárzó hulladék, transzurán hulladék, elhasznált zárt sugárforrás, leszerelési hulladék, vagy az uránbányászathoz és az uránérc-feldolgozásához kapcsolódó hulladékok. A pontos hulladék-kategorizálásnak a legtöbb országban fontos gyakorlati jelentősége van, mivel a különböző csoportba tartozó hulladékok ennek megfelelően kerülnek tárolásra és elhelyezésre. Az utóbbi időben a hulladék-elhelyezés szempontjait is szem előtt tartó hulladékkategóriákat definiáltak, amelyek döntően két jellemzőt vesznek figyelembe: a radioaktivitás szintjét, ill. ezzel összefüggésben a hőfejlődés mértékét, valamint a radioaktív hulladék élettartamát, azaz a hulladékban lévő radioizotópok felezési idejét. Ezen jellemzőktől függ, hogy a radioaktivitás szintje mennyi idő alatt csökken egy elfogadható értékre, amelynek ismerete elengedhetetlen a végleges elhelyezés tervezésekor. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (a továbbiakban NAÜ, vagy IAEA) által javasolt (IAEA Safety Standards No. GSG-1, 2009) legújabb hulladék-kategorizálási rendszer is kapcsolatot teremt a hulladék jellemzői és az elhelyezés javasolt módja között **177. ábra**.



177. ábra: A radioaktív hulladékok osztályozásának koncepcionális sémája (IAEA Safety Standards No. GSG-1, 2009)

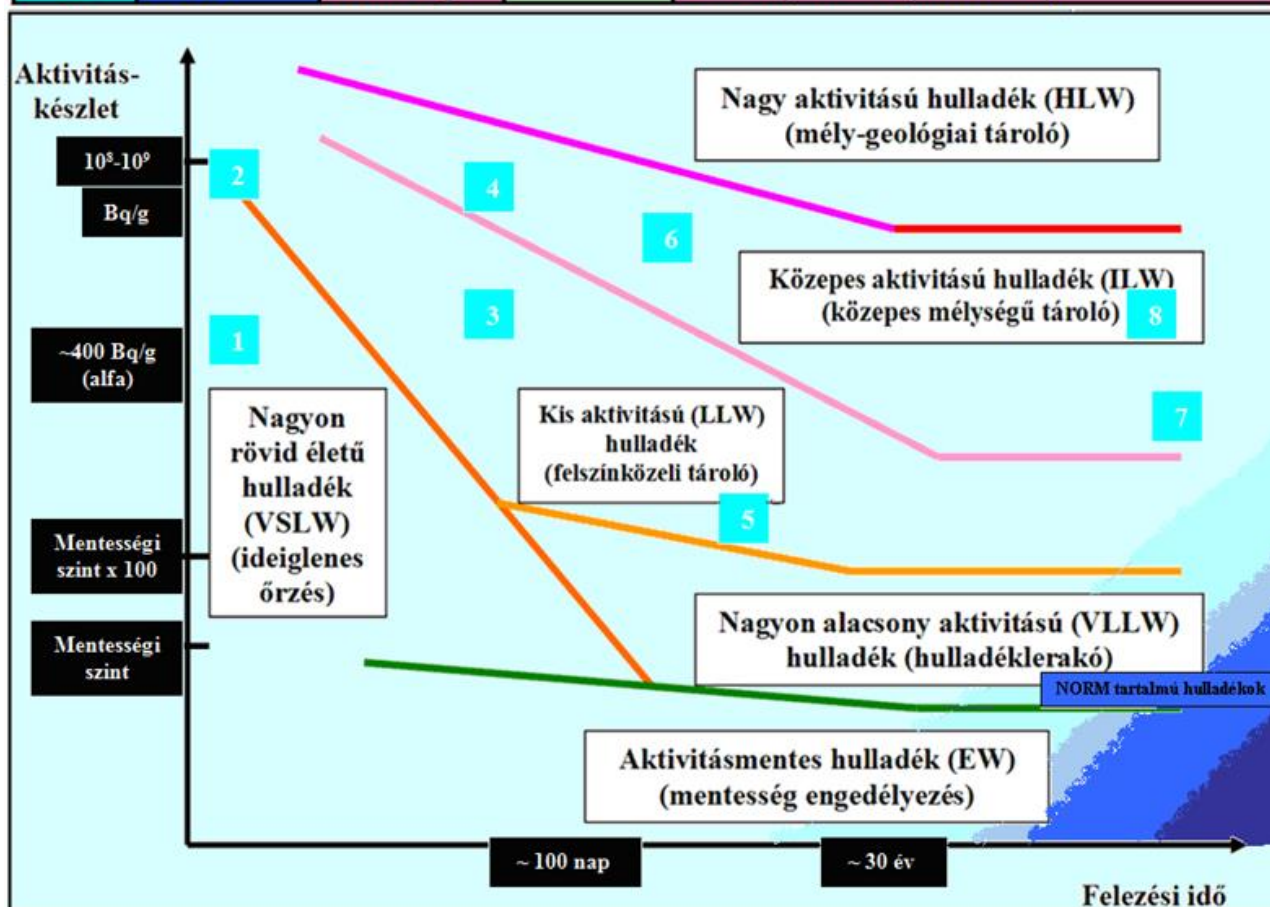
Az **177. ábra** vázoltaknak megfelelően a NAÜ által javasolt alábbi hat radioaktív hulladék-kategória (és kvalitatív leírásuk) vezethető le, ill. tekinthető a jövőben ajánlott nemzetközi csoportosítás legújabb alapjaként:

- *Aktivitásmentes (mentesült) hulladék (EW)*: Az a hulladék, amely rendelkezik az aktivitás mentesség, mentesültség vagy a sugárvédelmi célú hatósági kontrol alól való kikerülés kritériumaival.
- *Nagyon rövid életű hulladék (VSLW)*: Az a hulladék, amely néhány évig terjedően, radioaktivitása lebomlásának idejére tárolható, amelyet követően az kikerül az hatósági ellenőrzési kötelezettség alól, a nem ellenőrzött elhelyezésre, felhasználásra vagy kibocsátásra vonatkozóan a hatóság által jóváhagyott lépéseknek megfelelően. Ebbe a kategóriába azok a hulladékok tartoznak, amelyek elsősorban a nagyon rövid felezési idejű, gyakran kutatási és orvosi célokat szolgáló radioaktív izotópokat tartalmaznak.
- *Nagyon alacsony aktivitású hulladék (VLLW)*: Az a hulladék, amely nem szükségszerűen felel meg az aktivitásmentes (mentesült) (EW) hulladék kritériumainak, de nem igényel magas szintű elszigetelést és izolációt és ennél fogva alkalmas egy mérsékelt ellenőrzésű-, olyan kommunális típusú- felszínközeli hulladéklerakóban való elhelyezésre, amely akár más veszélyes hulladékot is tartalmazhat. Az ebbe a kategóriába tartozó tipikus hulladékok az alacsony aktivitás-koncentrációjú talajok és kötőmelékek. Hosszabb élettartamú izotóp koncentrációk jelenléte a VLLW hulladékban nem jellemző.
- *Alacsony aktivitású hulladék (LLW)*: Az a hulladék, amely a mentességi szintek feletti, de korlátozott mértékű hosszú élettartamú izotópokat is tartalmaz. Ez a hulladéktípus több száz éves periódust átfogó- és felszínközeli kialakított lerakóban való elhelyezésre alkalmas robosztus izolációt és elszigetelést igényel. Ez a kategória a hulladékok széles skáláját öleli fel: egyaránt tartalmazhatnak rövid élettartamú, magasabb-, és a hosszú élettartamú, viszonylag alacsony aktivitás-koncentrációjú izotópokat.
- *Közepes aktivitású hulladék (ILW)*: Ez hulladék, tartalmánál fogva, részben pedig hosszú élettartamú izotópjai miatt a felszínközeli lerakó által biztosítottnál magasabb fokú izolációt és elszigetelést igényel. Ugyanakkor az elhelyezésekor és őrzésekor kibocsátott hőmennyiséget vagy nem-, vagy csak korlátozott mértékben kell felügyelni. Tartalmazhat hosszú élettartamú radionuklidokat, különösen olyan alfa-sugárzókat, amelyek aktivitás-koncentrációja nem bomlik le az alatt az idő alatt, ameddig az intézményes ellenőrzés biztosítható, arra a szintre, amely a felszínközeli tárolókra elfogadható. Emiatt az ebbe a kategóriába tartozó hulladékokat mélyebben — a több tíz métertől a néhány száz méterig terjedő tartományban — kialakított tárolókban kell elhelyezni.
- *Nagy aktivitású hulladék (HLW)*: Ezek a hulladékok elég nagy aktivitás-koncentrációval rendelkeznek ahhoz, hogy a bomlási folyamat vagy a nagy mennyiségű hosszú élettartamú izotópok jelenléte folytán olyan jelentős mennyiségű hőt termeljenek, amelyet ilyen hulladékok elhelyezésére alkalmas tárolók tervezésénél figyelembe kell venni. E hulladékok számára a több száz méterre- vagy még mélyebben a felszín alatt, stabil geológiai formációkban kialakított tárolók jelentik az általánosan elfogadott opciót.

A radioaktív hulladékok (**177. ábra** szerinti és a fentiekben leírt) osztályozási sémájának konkrét alkalmazási lehetőségét szemlélteti (a hozzákapcsolt adatokkal ellátott) **178. ábra**, az IAEA Safety Standards No. GSG-1 (2009) alapján. Amint a példa is mutatja, az előzőekben bemutatott osztályozási séma szerint az **178. ábra** megjelenített különböző típusú és felhasználású (már használaton kívüli) zárt sugárforrások izotópjainak- és a természetben előforduló radionuklidokat (NORM) tartalmazó hulladékoknak az (elhelyezkedésében megnyilvánuló) besorolása nemcsak aktivitásuk függvénye. Ez utóbbiak jellemzői széles

skálán mozognak, több (az ábrán a sötétebb kék színskála színárnyalataival lefedett) hulladék kategóriába is tartozhatnak.

Jelölés	Felezési idő	Aktivitás	Mennyiség	Példa
1.	< 100 nap	100 MBq	Kevés	Y-90; Au-198 (brachiterápia)
2.	< 100 nap	5 TBq		Ir-192 (brachiterápia)
3.	< 15 év	< 10 MBq		Co-60; H-3; Kr-85
4.	< 15 év	< 100 TBq		Co-60 (besugárzó)
5.	< 30 év	< 1 MBq		Cs-137 (brachyterápia; nedvesség érzékelő)
6.	< 30 év	< 1 PBq		Cs-137; Sr-90 (vastagság érzékelő; RTG)
7.	> 30 év	< 40 MBq		Pu; Am; Ra (statikus eliminátor)
8.	> 30 év	< 10 GBq		Am-241; Ra-226 (érezkelők)



178. ábra: Szemléltető példa a radioaktív hulladékok osztályozási sémájának alkalmazására az IAEA Safety Standards No. GSG-1 (2009) alapján

20.3. A radioaktív hulladékok hazai kategorizálása

Magyarországon az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény (továbbiakban: Atomtörvény) 2. §-ának m) pontja szerint a további felhasználásra már nem kerülő olyan radioaktív anyagot, amely sugárvédelmi jellemzői alapján nem kezelhető közönséges hulladékként, radioaktív hulladéknak tekintjük. A hazai szabályozás alapja az 1989-ban megjelent, majd 2004-ben módosított szabvány, valamint az Atomtörvény végrehajtási utasításai között kiadott 23/1997. számú népjóléti miniszteri rendelet, amit az egészségügyi, szociális és családügyi miniszter 2003-ban megjelent rendelete módosított. A szabvány, illetve a miniszteri rendelet az osztályozás alábbi szempontjait említi meg:

- a hulladékban jelenlévő radionuklidok **felezési ideje** szerint: rövid, közepes és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok;
- aktivitáskoncentráció** szerint: kis-, közepes- és nagy aktivitású radioaktív hulladékok;
- hőfejlődés** szerint: kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéknak minősül az a hulladék, amelyben a hőfejlődés az elhelyezés (és tárolás) során elhanyagolható, míg nagy aktivitású az a hulladék, melynek hőtermelését figyelembe kell venni;
- halmazállapot** szerint: szilárd, biológiai eredetű, folyékony és nem tűzveszélyes, folyékony és tűzveszélyes, valamint légnemű radioaktív hulladékok;

Az **a)** szempont szerint a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék lehet:

- Rövid élettartamú az a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék, amelyben a radionuklidok felezési ideje 30 év, vagy annál rövidebb, és csak korlátozott koncentrációban tartalmaz hosszú élettartamú alfa-sugárzó radionuklidokat (ez a koncentráció 4000 Bq/g egy gyűjtőcsomagolás esetében, és 400 Bq/g a teljes hulladék mennyiségre átlagolva).
- Hosszú élettartamú az a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék, amelyben a radionuklidok felezési ideje és/vagy az alfa-sugárzó radionuklidok koncentrációja meghaladja a rövid élettartamú radioaktív hulladékokra vonatkozó határértékeket.

A **b)** szempont szerint a fentiekén kívül a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok definiálásánál és osztályozásánál az alábbi további szempontok érvényesülnek:

- A radioaktív hulladék kis és közepes aktivitású osztályba sorolását a benne lévő radioizotóp aktivitás-koncentrációja (AK) és mentességi aktivitás-koncentrációja (MEAK) alapján kell elvégezni az **62. táblázat** szerint:

62. táblázat: A radioaktív hulladékok aktivitás koncentráció intervallumai

Radioaktív hulladék osztály	Aktivitás koncentráció AK (Bq/g)
Kis aktivitású	1 MEAK — 10^3 MEAK
Közepes aktivitású	10^3 MEAK — 10^6 MEAK
Nagy aktivitású	10^6 MEAK <

- Az egyes izotópokra vonatkozó mentességi aktivitás koncentráció (MEAK) értékeket a 23/1997. (VII. 18.) NM rendelet tartalmazza. Néhány radionuklidra az **63. táblázat** mutat példát:

63. táblázat: Egyes radioaktív izotópok mentességi aktivitás koncentráció (MEAK) értékei

Radionuklid	MEAK (Bq/g)
Cs-137	10
I-131	100
Sr-89	1000
C-14	10000
P-33	100000

- Ha a radioaktív hulladék többfajta radioizotópot is tartalmaz, akkor az osztályozást a **64. táblázat** szerint kell elvégezni:

64. táblázat: Több izotópot tartalmazó radioaktív hulladék aktivitás koncentráció intervallumai

Radioaktív hulladék osztály	Aktivitás koncentráció viszonyítás
Kis aktivitású	$\sum_i (AK_i / MEAK_i) \leq 10^3$
Közepes aktivitású	$10^3 < \sum_i (AK_i / MEAK_i) \leq 10^6$

A c) szempont szerinti hazai besorolást, — amelynek a 47/2003. (VIII. 8.) ESZCSM rendelet (a továbbiakban ESzCsM rendelet) 2. sz. mellékletének 2. pontja az alapja — az MSZ 14344-1:2004 szabvány annyiban pontosítja, hogy meghatározza azt a hőfejlődési értéket, amely az átmeneti tárolás és/vagy a végleges elhelyezés szempontjából jelentősnek minősül, így azt figyelembe kell venni. Ez az a hőfejlődési határ (2 kW/m^3), amely alatt a radioaktív hulladék kis és közepes aktivitású-, felette nagy aktivitású kategóriába tartozik. (Megjegyzendő, hogy a szintén használatos MSZ 14344/1-1989 jelzetű, a radioaktív hulladékok osztályozásának és minősítésének módjáról rendelkező szabvány szerint nagy aktivitású radioaktív hulladéknak minősíthetők azok az anyagok, amelyek aktivitás koncentrációja meghaladja az $5 \cdot 10^8 \text{ kBq/kg}$ értéket, illetve levegőben elnyelt dózisteljesítménye nagyobb, mint $10^4 \text{ } \mu\text{Gy/h}$. A transzurán elemeket is tartalmazó hulladékokra pedig külön osztályozást kell alkalmazni.)

Az **179. ábra** feltüntetett hazai nukleáris iparhoz kapcsolódó főbb létesítmények (fenti kategorizálásnak megfelelő radioaktív hulladékokra és kiegészítő fűtőelemekre vonatkozó tárolási kapacitásait és mennyiségeit feltüntetve) 2010. évi leltár adatait az **65. táblázat** foglalja össze a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. (RHK Kft.) 10. közép- és hosszútávú terve (2010) alapján. (Az ábrán és a táblázatban a korábbi ábrákon és táblázatokban használt, a radioaktív hulladékok kategóriáihoz kapcsolt színek kódokat használtuk.)



179. ábra: A Paksi Atomerőmű és a meglévő/tervezett hazai radioaktív hulladék lerakók elhelyezkedése

65. táblázat: Hazai radioaktív hulladék és kiégett üzemanyag tárolási kapacitások és mennyiségek (2010)

Helyszín	Intézmény, létesítmény	KIS ÉS KÖZEPES AKTIVITÁSÚ				NAGY AKTIVITÁSÚ HULLADÉK		KIÉGETT NUKLEÁRIS ÜZEMANYAG			
		Tárolási kapacitás		Tárolt mennyiség		Tárolási kapacitás	Elfoglalt tárolási kapacitás	Tárolási kapacitás		Tárolt mennyiség	
		bruttó m ³	db hordó (200 l)	bruttó m ³	db hordó (200 l)	m ³	m ³	db	tU	db	tU
Püspökszilágy Kisnémeti	RHFT szilárd hulladék	5040	---	5040	---	---	---	---	---	---	---
P A K S	PA Zrt. szilárd hulladék	---	12541	---	8433	222,8	92,4	---	---	---	---
	PA Zrt. folyékony hulladék	10020	---	6891	---	---	---	---	---	---	---
	PA Zrt. Pihentető medencék	---	---	---	---	---	---	2600	308,4	1882	223,2
	KKÁT	---	---	---	---	---	---	7200	854,1	6067	719,7
Bátaapáti	NRHT szilárd hulladék	épül	épül	---	1600	---	---	---	---	---	---

A d) szempont szerinti csoportosításban a hazai atomerőmű üzemeltetéssel és leszereléssel kapcsolatban keletkező kis és közepes aktivitású hulladékok halmazállapot szerint (szilárd — szürke, folyékony — kék) kategorizált mennyiségeiről valamint ezek végleges elhelyezéséhez szükséges hulladéktároló térfogat becsléséről ad áttekintést az 66. táblázat (az RHK Kft. 10. közép- és hosszútávú terve (2010) alapján).

66. táblázat: A kialakítandó végleges, kis és közepes aktivitású hulladéktároló szükséges térfogatának becslése

	2010.01.01. [m ³]		Keletkezés évente [m ³]	Üzemidő végéig keletkezik [m ³]		Kezelés	Elhelye- zendő szilárd hulladék [m ³]	Hulladékcsomagok		
								Hordók (db)	Egyéb (db)	
SZILÁRD	Kis, közepes aktivitású hulladék (tömörített, nem tömörített és Co-60 eltávolító utószűrő, mmdezek 200 l-es hordókban)	2006,6	Paks 1686,6	170 (Co-60 utószűrők nélkül)	6326,6 (Tömörített, nem tömörített üzemviteli hulladék 200 l-es hordókban)		Nincs	7556,2	37781	
			NRHT 320,0		1229,6 (Co-60 eltávolító utószűrők 200 l-es hordókban)					
	Nagy méretű	nincs központosítva		nincs megbontva	800		Nincs	800,0		200 (4 m ³ konténer)
	Cs-oszlop tároló konténer (szelektív szorbens tárolókonténer)	---		nincs megbontva	42,5		Nincs	42,5		25 (1,7 m ³ konténer)
Leszerelési hulladék ⁽¹⁾	---		---	---		Nincs	6633,8	25245 (200 l)	302 (5,248 m ³ konténer)	
FOLYÉKONY	Gyanta	156		5	424,52 ⁽²⁾		Cementezés 60 l / 200 l	1415	7077 (200 l keverős)	
	Bepárlási maradék	5685		250	12248	Üzemvitel 10418	Térfogat csökkentés FHF technológiával. Maradék iszapprész cementezve 182 l / 400 l	5238	16867 (400 l)	
						Üzemzavar 1830	Cementezés 182 l / 400 l			
	Egyéb	560		---	560		Bepárlás: VR = 20 és cementezés 182 l / 400 l	138		
		200		15	517,5		Bepárlás: VR = 20 és cementezés 182 l / 400 l	183		
290		10	540		Cementezés 182 l / 400 l	1187,2				
							Üzemvitel + üzemzavar	16559,9		
							Leszerelés	6633,8		
							Összes	23193,7		

(1) A leszerelés során keletkező folyékony hulladékok szilárdított állapotban együtt vannak feltüntetve ebben a sorban az egyéb szilárd leszerelési hulladékokkal. (2) Tartalmazza az atomerőmű leállítása során kirakásra kerülő gyanták mennyiségét is.

20.4. Hazai atomerőművi radioaktív hulladék leltár

A legnagyobb radioaktív hulladéktermelő Magyarországon a Paksi Atomerőmű.

Az üzemi működés során keletkező radioaktív izotópok részben a hűtőközegbe kerülnek, amelynek:

- egy részét (pl. nemesgázok, trícium) a környezetbe kibocsátják;
- egy másik részét, az illékony komponenseket, aeroszolokat (pl. jód) szűrőkkel-, míg
- a vízben lévő szennyezőit pedig ioncserélő gyantákkal gyűjtik össze.

A különböző karbantartási tevékenységek során keletkezett hulladékok (pl. kesztyűk, munkaruhák, védőeszközök) szintén összegyűjtik.

Az **66. táblázat** szerinti mennyiségben keletkező hulladékok halmazállapotuk szerint folyékonyak vagy szilárdak. A táblázat második oszlopa bemutatja a 2010. január 1-jén meglévő hulladékok mennyiségét, halmazállapotuk szerint elkülönítve egymástól. Ezen belül elkülönítve jelenik meg a 200 l-es acélhordókban tárolható szilárd tömörített-, nem tömörített- és Co-60 eltávolító utószűrő hulladékformák még Pakson tárolt hányada, és az a rész, amit a Bábaapátiban lévő Nemzeti Radioaktív-hulladék Tároló (NRHT) területére már átszállítottak. Az oszlop adatai a folyékony halmazállapotú hulladékok megjelenési formáinak megfelelő mennyiségi megoszlást is tükrözik. (E mennyiségi adatok összesítve az **65. táblázat** ötödik oszlopában (6891 m³) is megjelennek.) Megjegyzendő, hogy a Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolójában (KKÁT) keletkező kis mennyiségű hulladék kezelése az erőművi hulladékokkal együtt történik.

20.4.1. Kis és közepes aktivitású hulladékok

20.4.1.1. Folyékony radioaktív hulladékok

A radioaktív izotópokat tartalmazó vegyszeres hulladékvizek (igen kis szárazanyag tartalmú (3-5 g/dm³) vizes oldatok, amelyekben a primerkör vízüzeméhez, a víztisztítók regenerálására, a reaktorteljesítmény finomszabályozására, és dekontaminálási célokra felhasznált oldott vegyszerek vannak) az atomerőmű ellenőrzött zónájában az alábbi főbb forrásokból keletkeznek:

- Az *ioncserélő gyanták* (**66. táblázat** 5. sor) várható éves mennyisége a jelenlegi keletkezési ütem szerint 5 m³/év. Az eddigi üzemeltetés során (2010. január 1-ig) keletkezett elhasznált gyanták mennyisége összesen kb. 150 m³. Ez a jelenleg figyelembe vett 30 éves üzemidőt (és az ioncserélő oszlopok végső, leszerelési leürítését is) figyelembe véve 424 m³. Ez (200 literes hordónként 60 litert becementálva) összesen 1415 m³ — immár szilárd formában elhelyezendő — ioncserélő gyantákból származó radioaktív hulladékot jelent.
- A *bepárlási maradék* (**66. táblázat** 6. sor) az összegyűjtött hulladékvizek vegyszeres kezelés utáni bepárlásával nyert (kb. 200 g/dm³ “bórsav koncentrációjú”) sűrítménye. Az eddigi üzemeltetés során 5685 m³ keletkezett. A 2003 áprilisában bekövetkezett 2. blokki üzemzavar óta 1830 m³ alfa-sugárzókat tartalmazó bepárlási maradék keletkezett, melynek átmeneti tárolása a többi sűrítménytől elkülönítve, külön tartályokban történik. A bepárlási maradékok várható éves mennyisége a jelenlegi keletkezési ütem szerint 250 m³ /év.

- A *dekontamináló oldatok*, (amelyek a 2. blokki üzemzavar elhárítása során keletkeztek), gyűjtése külön tartályban történt. A helyreállítási tevékenységek során 560 m³ gyűlt össze.

20.4.1.2. Szilárd radioaktív hulladékok

Az atomerőművi szilárd hulladékok mintegy fele műanyag, ezen felül található bennük textília, hőszigetelő anyag, fa, fém, gumi, papír, üveg. E hulladékokat, beleértve az aeroszol szűrőket és a szilárdított iszapokat is, speciális (belül műanyag bevonattal ellátott) 200 literes fémhordókba helyezik.

A keletkező radioaktív hulladékok feldolgozása a jelenlegi gyakorlat szerint:

- A nem tömöríthető radioaktív hulladékok *szétválasztása* a tömöríthetőktől már a gyűjtés során megvalósul azáltal, hogy:
 - *műanyag zsákokba* kerülnek a tömöríthetőek (ide csak igen ritkán kerül nem tömöríthető hulladék);
 - *hordós gyűjtésű* hulladékok közé pedig a nem tömöríthető, különböző elhasznált alkatrészek, szerkezeti elemek, szigetelő anyagok, szennyezett munkaeszközök kerülnek, amelyek tömegük vagy méretük miatt egyébként sem helyezhetők műanyag zsákokba.
- A tömöríthető radioaktív hulladék *térfogatcsökkentése* az 500 kN-os préssel történik, átlagosan 5-ös redukciós tényezővel. Az eddigi tapasztalatok alapján a keletkezett szilárd radioaktív hulladékok 80-85 %-a tömöríthető.
- A primerköri csurgalékvizeket gyűjtő, vegyszeresen kezelő, ülepítő, vagy átmenetileg tároló berendezésekből kikerülő radioaktív iszapok szilárdítását, korábban gyöngykovaföld 1:1 arányú hozzákeverésével végezték. (2007 márciusától a gyöngykovaföldes felítatás helyett az iszapok ülepítése és a folyadéktartalom nedves ipari porszívóval való eltávolításával történik a szilárdítás.)

20.4.2. Nagy aktivitású hulladékok

Az RHK Kft. 10. közép- és hosszútávú terve (2010) alapján: a „Paksi Atomerőmű üzemeltetése során az erőmű adatszolgáltatása szerint, éves szinten viszonylag kis mennyiségben (nettó 5 m³/év) keletkezik nagy aktivitású radioaktív hulladék, amelyet az erőmű területén ideiglenes jelleggel tárolnak az erre a célra kialakított csőkutakban. Az elfoglalt tárolóhely a hulladék nettó térfogatánál nagyobb. A becsült éves keletkezési mennyiség kellően konzervatívnak látszik. A **65. táblázat** szerint 222,8 m³-es tárolási kapacitásban 2010. január 1-jén 92,4 m³-nyi hulladékot tárolnak. Az üzemidő végéig (25 év hátralevő üzemidő) további 146,6 m³ nagy aktivitású hulladék keletkezésével kell számolni (ez a mennyiség már tartalmazza a második blokki üzemzavar során keletkezett nagy aktivitású hulladékokat is).

Ezt a hulladékot a végső elhelyezés érdekében konténerekben gyűjtik össze és betonnal öntik ki. Arra való tekintettel, hogy a csőkutakban elhelyezett hulladék térkitöltése nagyon rossz, a konténerezett és tárolásra előkészített hulladék térfogata ugyanannyinak tekinthető, mint amennyit a hulladék jelen állapotában a csőkutakban elfoglal. Az elhelyezhető hulladék méretét korlátozza a csőkutak geometriája. Egy-egy tárolócső jellemző méretei: átmérő 183 mm, magasság 6880 mm. A tároló kutakban el nem helyezhető – nagyméretű – hulladékok gyűjtésére ólomkonténerekben van lehetőség.

Az atomerőmű későbbi lebontása során további 303,7 m³ nagy aktivitású hulladék keletkezésével kell számolni. Ez a hulladékmennyiség nettó mennyiségnek minősül, azaz a leszerelésből származó nagy aktivitású hulladék elhelyezéséhez ennél nagyobb térfogatú tároló szükséges. A fenti hulladékmennyiséget 101 db, nagyjából 3 m³-es belső (effektív) térfogatú

konténerben helyezik el. Ezen konténernek külső mérete beleértve a felületi elemeket is 1,7 m élhosszúságú kockának felel meg, tehát a leszerelésből keletkező nagy aktivitású hulladék bruttó térfogata 496,2 m³. A jövőben megvalósítandó nagy aktivitású hulladéktároló szükséges kapacitása az atomerőművi eredetű nagy aktivitású hulladékok befogadására tehát 92,4 + 146,6 + 496,2 = 735,2 m³.

Az atomerőmű különböző (szilárd, sűrítmény, gyanta) hulladékáramaiban az **67. táblázat** bal oldala összegzi az radioizotópok átlagos és legnagyobb mért aktivitás-koncentrációját, jobb oldala pedig a biztonsági értékelés szempontjából fontos izotópok becsült aktivitását adja meg a hosszabbítás nélküli üzemidőre (2017) számítva.

67. táblázat: Az atomerőmű hulladékaiban lévő radioizotópok aktivitás-koncentrációja (Bq/dm³) (bal oldalon) és az egyes izotópok becsült aktivitása az üzemidő végén (Bq) (jobb oldalon) (Forrás: www.rhk.hu)

Hulladék áram	Szilárd		Sűrítmény		Gyanta		Izotóp	Szilárd	Sűrítmény	Gyanta	Összesen
	Max.	Átlag	Max.	Átlag	Max.	Átlag					
¹²⁴ Sb	5,67E+06	3,90E+05	5,00E+04	9,60E+03	N.A.	N.A.	¹²⁴ Sb	8,45E+08	1,56E+09	N.A.	2,40E+09
⁵⁸ Co	7,98E+07	3,89E+06	2,30E+06	2,18E+05	6,40E+06	2,40E+06	⁵⁸ Co	1,81E+10	1,73E+11	1,23E+10	2,03E+11
^{110m} Ag	3,15E+07	1,20E+06	9,70E+05	2,28E+05	5,40E+08	9,80E+07	^{110m} Ag	2,18E+10	9,01E+10	7,68E+11	8,80E+11
⁵⁴ Mn	7,23E+07	4,33E+06	1,60E+07	7,57E+05	3,90E+08	1,00E+08	⁵⁴ Mn	3,17E+10	1,03E+11	9,00E+11	1,03E+12
¹³⁴ Cs	5,90E+07	3,06E+06	8,50E+06	2,87E+05	1,30E+08	1,90E+07	¹³⁴ Cs	1,70E+09	2,02E+11	3,32E+11	5,35E+11
⁵⁵ Fe	7,80E+07	2,50E+06	2,70E+07	1,89E+06	8,00E+09	3,36E+09	⁵⁵ Fe	1,76E+12	3,17E+11	5,61E+13	5,81E+13
⁶⁰ Co	1,16E+08	8,67E+06	4,90E+07	1,64E+06	6,30E+07	1,70E+07	⁶⁰ Co	3,38E+11	1,03E+12	6,15E+11	1,98E+12
³ H	NA	NA	6,40E+05	1,66E+05	4,30E+05	9,55E+04	³ H	N.A.	4,77E+11	7,52E+10	5,53E+11
²⁴⁴ Cm	1,20E+01	2,00E-02	1,50E+04	6,29E+02	4,20E+04	7,60E+03	²⁴⁴ Cm	4,07E+04	2,99E+08	5,52E+07	3,54E+08
⁹⁰ Sr	9,60E+00	1,90E+00	4,20E+05	1,86E+04	6,29E+06	2,59E+06	⁹⁰ Sr	2,32E+05	1,28E+10	2,48E+11	2,61E+11
¹³⁷ Cs	1,08E+08	2,59E+06	5,90E+06	1,02E+06	2,20E+08	4,00E+07	¹³⁷ Cs	1,68E+10	2,85E+12	2,85E+12	5,71E+12
²³⁸ Pu	2,80E-01	4,20E-02	4,90E+03	2,47E+02	9,60E+04	1,40E+04	²³⁸ Pu	1,08E+05	2,05E+08	1,55E+08	3,60E+08
⁶³ Ni	2,20E+05	1,60E+04	1,90E+06	4,28E+05	1,10E+07	7,00E+06	⁶³ Ni	4,12E+10	5,92E+11	2,79E+11	9,12E+11
²⁴¹ Am	8,90E-01	9,60E-02	4,20E+03	2,25E+02	1,80E+04	2,88E+03	²⁴¹ Am	2,58E+05	1,92E+08	3,77E+07	2,30E+08
¹⁴ C	2,80E+05	1,50E+04	1,56E+04	6,67E+03	4,30E+05	1,13E+06	¹⁴ C	4,07E+10	2,46E+10	3,01E+11	3,66E+11
²⁴³ Am	NA	NA	3,00E-01	4,60E-02	6,60E-01	6,60E-01	²⁴³ Am	N.A.	1,96E+05	5,61E+04	2,52E+05
⁹⁴ Nb	5,80E+05	1,70E+02	3,90E+01	4,60E-02	1,40E+02	1,40E+02	⁹⁴ Nb	4,62E+08	6,80E+07	1,19E+07	5,42E+08
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	3,90E-01	5,50E-02	3,30E+03	1,91E+02	9,50E+04	1,38E+04	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,50E+05	1,73E+08	8,43E+06	1,81E+08
⁵⁹ Ni	2,20E+03	1,70E+02	4,60E+04	8,60E+03	4,50E+05	1,29E+05	⁵⁹ Ni	4,62E+08	2,39E+10	3,25E+10	5,68E+10
⁴¹ Ca	1,10E+01	5,50E-02	5,50E+01	1,06E+01	1,70E+04	2,50E+03	⁴¹ Ca	1,50E+05	4,30E+07	1,19E+09	1,23E+09
⁹⁹ Tc	5,60E+00	1,00E+00	7,67E+01	9,88E+00	5,76E+04	1,92E+04	⁹⁹ Tc	2,72E+06	3,04E+07	3,70E+08	4,03E+08
²³⁴ U	1,20E-02	3,80E-03	2,67E+00	4,43E-01	1,46E+02	4,20E+01	²³⁴ U	1,03E+04	1,01E+06	5,93E+06	6,95E+06
³⁶ Cl	2,90E-01	2,10E-02	6,40E+00	2,50E+00	5,07E+03	2,15E+03	³⁶ Cl	5,71E+04	9,97E+06	8,43E+07	9,43E+07
¹³⁵ Cs	1,20E+00	2,40E-02	3,70E+00	3,90E+00	1,10E+03	6,90E+02	¹³⁵ Cs	6,53E+04	1,66E+07	1,79E+07	3,45E+07
¹²⁹ I	3,00E-02	1,10E-03	2,17E+03	2,64E+02	1,79E+04	5,13E+03	¹²⁹ I	2,99E+03	2,33E+08	9,15E+07	3,24E+08
²³⁵ U	2,50E-03	8,40E-04	1,20E-01	3,93E-02	2,60E+01	1,32E+01	²³⁵ U	2,28E+03	2,65E+05	2,08E+06	2,35E+06
²³⁸ U	9,20E-03	2,70E-03	8,11E-01	2,33E-01	5,50E+01	1,65E+01	²³⁸ U	7,34E+03	7,70E+05	3,97E+06	4,74E+06

21. A nukleáris létesítmények üzemeléséhez és leszereléséhez kapcsolódó radioaktív hulladékkezelés stratégia kérdései (Dr. Szűcs István)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

21.1. A radioaktív hulladékkezelés nemzetközi alapelvei

A radioaktív hulladék kezelésére és végleges elhelyezésére vonatkozó szabályozást a legtöbb országban a nemzetközi sugárvédelmi és sugárbiztonsági előírások figyelembevételével törvényesítik. A NAÜ gondozásában jelenleg is folyamatban van a radioaktív hulladékok kezelésére vonatkozó szabványrendszer kidolgozása. A sorozat alapdokumentuma az elveket foglalja össze. Az alapcélkitűzés szerint a hulladékokat úgy kell kezelni, hogy megvédjük az emberi egészséget és a környezetet mind most, mind pedig a jövőben anélkül, hogy méltánytalanul nagy terheket hagynánk a jövő generációkra. Összesen kilenc alapelvet **(68. táblázat)** határoztak meg, amelyek következetes érvényesítése lényegesen magasabb szintű védelmet nyújt a társadalom egésze számára, mint az egyéb ipari tevékenységek gyakorlata (pl. a veszélyes hulladékok kezelése és elhelyezése).

A hulladék-elhelyezés elfogadási követelményeit általában a nemzeti hatóságok határozzák meg, felhasználva a nemzetközi szervezetek ajánlásait és előírásait. A NAÜ-ajánlások és előírások teljes mértékben illeszkednek az Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) ajánlásaihoz. A szervezet egy olyan sugárvédelmi politikát dolgozott ki, amelynek elsődleges célja, hogy biztosítsa az egyének megfelelő védelmét anélkül, hogy indokolatlanul korlátozná azokat a hasznos tevékenységeket, amelyek a sugárterhelésükhöz vezethetnek [1]. Az ICRP ezen alapdokumentuma három feltétel teljesülését követeli meg a sugárvédelmi tevékenységek során:

- a) *A sugárzással járó tevékenység indokoltsága*: a sugárzással járó tevékenység bevezetése a társadalom számára nettó pozitív haszonnal kell járnia.
- b) *A védelem*: alapkövetelmény, hogy a sugárterhelést az ésszerűen elérhető leg-alacsonyabb szinten kell tartani, a gazdasági és szociális tényezőket is figyelembe véve (ALARA-elv; angol betűszó: As Low As Reasonably Achievable).
- c) *Az egyéni dózisok korlátozása*: a sugárterhelés mértékét valamennyi sugárzással járó tevékenységet figyelembe véve egy, a hatóságok által meghatározott határérték alatt kell tartani.

68. táblázat: A radioaktív hulladékkezelés alapelvei (IAEA Safety Requirements No. WS-R-4 Annex II. 2006)

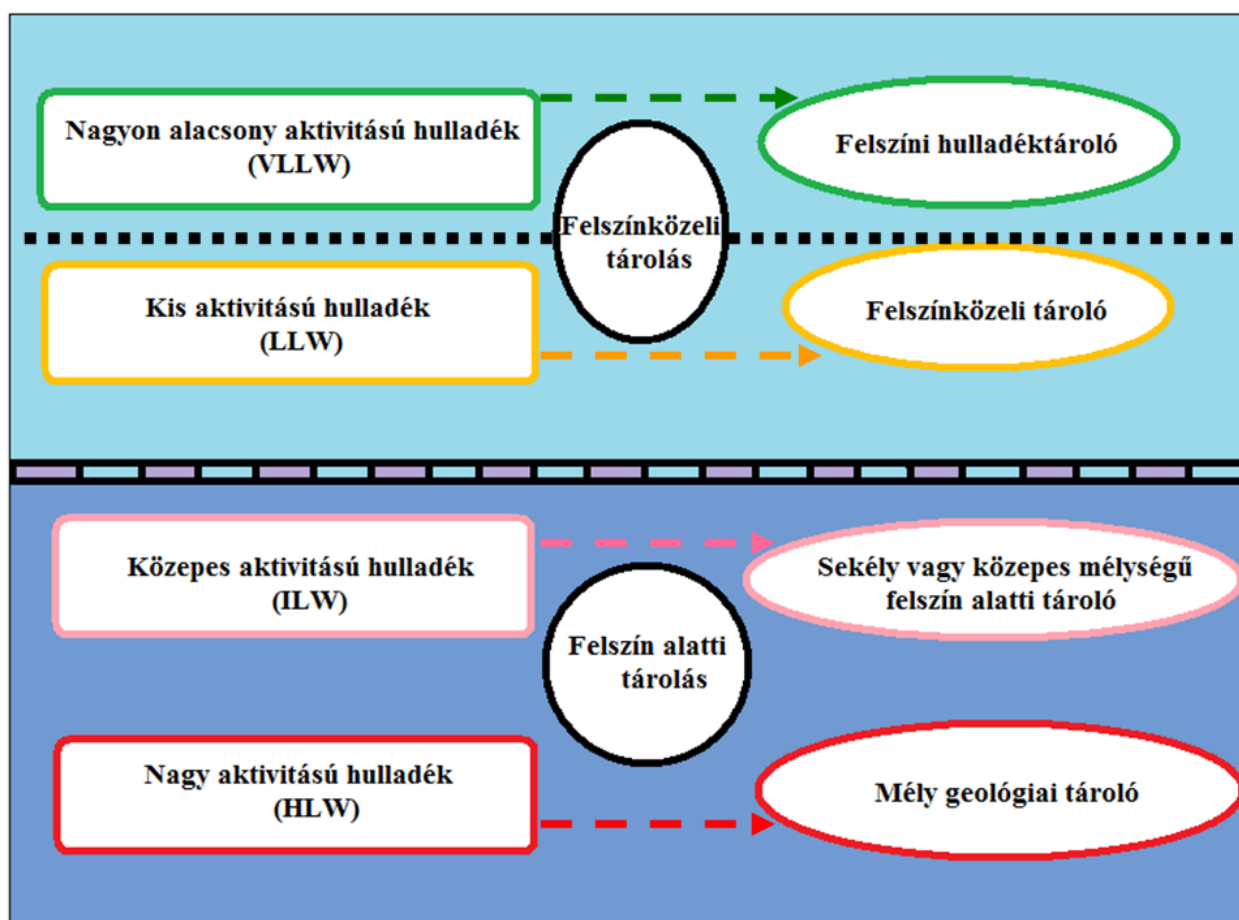
	Alapelv	Tartalom
1.	Az emberi egészség védelme (Protection of human health)	A radioaktív hulladékokat oly módon kell kezelni, hogy az emberi egészség védelme elfogadható legyen.
2.	A környezet védelme (Protection of the environment)	A radioaktív hulladékokat oly módon kell kezelni, hogy biztosított legyen a környezet megfelelő védelme.
3.	Az országhatárokon túlnyúló védelem (Protection beyond national borders)	A hulladékokat oly módon kell kezelni, hogy a környezet és az emberi egészség védelme az országhatárokon túl is elfogadható legyen.
4.	A jövő generációk védelme (Protection of future generations)	A hulladékokat oly módon kell kezelni, hogy a jövő generációk egészségére gyakorolt hatása ma elfogadhatónak tartottnál ne legyen nagyobb.
5.	A jövő generációkra hagyott teher (Burdens on future generations)	A hulladékokat oly módon kell kezelni, hogy a következő generációkra ne rójunk indokolatlan terheket.
6.	A nemzeti törvényi keretek megalkotása (National legal framework)	A hulladékokat törvényes nemzeti kereteken belül kell kezelni, ahol világosan megjelölik a felelőségeket , és lehetőséget biztosítanak a független hatósági funkciók gyakorlására.
7.	A radioaktív hulladékok keletkezésének szabályozása (Control of radioactive waste generation)	A hulladékok keletkezését a praktikusan elérhető legalacsonyabb szinten kell tartani.
8.	A radioaktív hulladékok keletkezésének és kezelésének összefüggése (Radioactive waste generation and management interdependencies)	A hulladékok keletkezésének és kezelésének összefüggéseit megfelelően figyelembe kell venni.
9.	A létesítmények biztonsága (Safety of facilities)	A radioaktív hulladékok kezelésére szolgáló létesítmények biztonságát azok egész élettartama során biztosítani kell.

21.2. A radioaktív hulladékkezelés általános megközelítésmódja

21.2.1. Környezetvédelmi aggályok, a biztonság és a fenntartható fejlődés

Az energia fenntartható fejlődésben játszott szerepét minden társadalom egyre növekvő figyelemmel kíséri. A hangsúly az erőforrások megőrzésén, a lehetséges káros környezeti hatások elkerülésén, a természeti erőforrások kiaknázásán és a természet hosszú távú védelmén van. A műszaki szakemberek és a döntéshozók többsége elfogadja a különböző radioaktív hulladékok elhelyezésének **180. ábra** vázoltak szerinti koncepcionális tárolótípusait. Többnyire

egyértelmű van abban is, hogy a geológiai elhelyezés a hosszú élettartamú hulladékok végleges tárolásának műszakilag jó, biztonságos és megvalósítható megoldása. Ennek ellenére sokan érdemesnek tartják a fenntartható fejlődéssel összefüggésben egyidejűleg megvizsgálni a hosszú idejű átmeneti tárolást, és más (pl. a reprocesszással összefüggő) műszaki megoldásokat. Az alapkérdés az, hogy – a hulladék egész életciklusát és a hosszú távú környezeti hatásokat tekintetbe véve – miképpen lehet a különböző lehetőségeket beilleszteni a végleges megoldás rendszerébe. Bár általánosan elfogadott, hogy a geológiai elhelyezés lehetővé teszi a későbbi hulladék-hozzáférést (a visszanyerhetőség – retrievability – követelményét érvényesítve) az elhelyezés korai szakaszában, kérdés, hogy milyen mértékben kellene módosítani a mélygeológiai tárolók jelenlegi koncepcióit annak érdekében, hogy a hozzáférhetőség hosszabb időskálán keresztül is érvényesíthető legyen. Ez azt a kérdést is felveti, hogy miképpen célszerű a tároló bezárását időzíteni, környezeti és etikai megfontolásokat figyelembe véve.



180. ábra: A különböző radioaktív hulladékok végleges tárolóinak javasolt elhelyezési módja

21.2.2. Gazdasági megfontolások

Az a pénzügyi nyomás, amely az egész nukleáris iparra nehezedik (pl. a villamos energia piac liberalizációjából eredő hatás), sokszor inkább a rövid távú megoldásoknak kedvez, a hosszú távú célok kárára. Ez különösen érvényes a geológiai tárolókra:

- amelynek fontosságát viszonylag könnyű megértetni, a hozzá vezető lépések sürgősségét viszont már annál kevésbé, és
- amelyről bár széles körben elfogadják, hogy biztonságos és etikus megoldás, mégis:

- a rövid távú gazdasági tényezők a végleges megoldások elodázásának kedveznek;
- a politikai érdekérvényesítés pedig a nagyon hosszú idejű felszíni tárolást részesíti előnyben;
- vannak, akik olyan, más megoldásokat javasolnak, (pl. a szétválasztást és transzmutációt), amelyet akár teljesen félrevezető módon, a végleges elhelyezést szükségtelenné tevő alternatívaként tálnak.

21.2.3. Társadalmi elfogadás és bizalom

A fenti stratégiai területek csak a társadalmi bizalom kérdésével összhangban kezelhetők. A bizalom kivívása nemcsak a radioaktív hulladék-kezelésre, hanem sokszor inkább a nukleáris ipar szélesebb körű elfogadására vonatkozik. A bizalmat a radioaktív hulladék-elhelyezés stratégiájának etikai, gazdasági, politikai és műszaki kérdéseiben kell megszerezni. A társadalmi vélemények anomáliáit és különböző összetevőit, az aggodalmak forrását és hátterét pontosan kell meghatározni és megérteni.

A radioaktív hulladékkezelési programok tágabb értelemben vett célja, hogy elősegítsék a döntéshozatali folyamatok megértését, és növeljék a társadalom döntéshozatalba vetett bizalmát, pl. a tárolófejlesztés nyitott és tisztességes lefolytatásával. Amilyen korai stádiumban csak lehetséges, az érdekelteknek alkalmat kell adni arra, hogy bekapcsolódjanak a tároló fejlesztési folyamatába. Az esetleges helyi aggályokat a döntések során mindig figyelembe kell venni és kezelni kell.

21.3. Nemzetközi szervezetek szabályozási rendszere és mértékadó ajánlásai

Hazánk európai integrációja szükségessé teszi, hogy az ilyen, szakmailag és politikailag egyaránt kritikus kérdéseket (mint például a radioaktív hulladékok végleges elhelyezését célzó kutatások) nemzetközileg elfogadott, eurokonform módszerek alkalmazásával kezelje. Ezért röviden vázoljuk a témakörben illetékes nemzetközi szervezetek legfontosabb általános deklarációit, illetve azokat a konkrét előírásokat és ajánlásokat, amelyek a radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére alkalmas telephelyek hazai minősítése során mindenképpen figyelembe veendő körülményekre vonatkoznak.

21.3.1. A Nukleáris Hulladék Konvenció

A jelenlegi legmagasabb szintű, a témával foglalkozó joganyag a NAÜ kezdeményezésére, több éves előkészítő munka eredményeképpen megszületett „a kiégett fűtőelemek és a radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról szóló közös egyezmény” (a Nukleáris Hulladék Konvenció). A egyezményt hazánk 1997. szeptember 29-én, az elsők között írta alá, majd a 1998. június 2-án ratifikálta is azt. Az egyezmény kihirdetésére a 2001. évi LXXVI. törvényben került sor.

A Nukleáris Hulladék Konvenció, céljával és jellegével összhangban, a döntően a nukleáris anyagok elterjedésének megakadályozását (safeguards), illetve az általános biztonsági és sugárvédelmi szempontok érvényesítését kívánja megvalósítani. A nagy aktivitású radioaktív hulladékok problémájának teljes megoldására ez a joganyag is a mély geológiai formációban való végleges elhelyezést tekinti az egyetlen, jelenleg elfogadható végleges technikának. Általános jellegű előírásai azonban kevésbé alkalmazhatóak a potenciális telephelyek minősítésének országos szintű gyakorlatában.

21.3.2. A NAÜ által kidolgozott szabályozási rendszer fontosabb elemei

A nukleáris energia békés célú alkalmazásának tekintetében nemzetközi főhatósági szerepkört betöltő NAÜ által kidolgozott szabályozási rendszernek igen nagy gyakorlati jelentősége van. A bécsi székhelyű szervezet a 60-as évek eleje óta – mind számát, mind témaköreit tekintve – folyamatosan szélesedő, rendkívül kiterjedt előírásrendszert vezetett be a nukleáris biztonságot érintő kérdések szabályozására. Ezen belül a radioaktív hulladékok problémaköre csak a 70-es évek végétől került igazán előtérbe: ekkor kezdődött meg a Radioactive Waste Safety Standards sorozat kiadása.

A kilencvenes évek közepére a szabályozási rendszer egyes elemei között felmerülő harmonizálási problémák már igen súlyosnak bizonyultak. Ezért elhatározták a rendszer átalakítását, és jelenleg is intenzíven dolgoznak a témakört érintő előírások, illetve ajánlások teljes körű felülvizsgálatán. (A felülvizsgálati program mindenkor aktuális helyzetéről a www.iaea.org internet-címen lehet tájékoztatást kapni.)

A NAÜ négy olyan Tanácsadó Bizottságot (Advisory Committee – AC) hozott létre, amely felelős az alábbi tématerületeken hatályos dokumentumok felülvizsgálatáért:

- Nukleáris biztonság (Nuclear Safety; felelős bizottság: NUSSC);
- Sugárbiztonság (Radiation Safety; felelős bizottság: RASSC);
- Radioaktív hulladék biztonság (RadWaste Safety; felelős bizottság: WASSC);
- Szállítási biztonság (Transport Safety; felelős bizottság: TRANSSEC);

Az ötödik, legáltalánosabb terület, az általános biztonság (General Safety) kategóriájába tartozó anyagok előkészítéséért valamennyi említett Tanácsadó Bizottság közösen felel, az egyel magasabb jóváhagyási szintet képviselő biztonsági szabványokért felelős bizottság (Advisory Commission on Safety Standards; ACSS) nevű testület irányítása alatt.

Az új rendszer keretében létrejött, illetve létrejövő dokumentumok két alapvető csoportba tartoznak, amelynek egymástól elkülönülő feladatait már a nevek is jól érzékeltetik:

- *Biztonsági szabványok* sorozata (Safety Standards Series; SSS), amelyek elsődleges célja, hogy az egyes nemzeti szabályozások alapját képező információkat rendszerezze.
- *Biztonsági (műszaki) jelentések* sorozata (Safety (Technical) Reports Series; S(T)RS), amely a témával kapcsolatosan praktizáló kutatókhoz, szakemberekhez, mérnökökhöz szól, és a több évtizedes kutatási gyakorlatból nemzetközi szinten is leszűrhető legfontosabb módszertani, gyakorlati tapasztalatokkal foglalkozik.

Ezen anyagok összeállításához a világban működő programok legjobb vezető szakértőit szervezik munkacsoportokba. Így az egyes konkrét kutatási fázisok tervezése során talán a leginkább ezekre az információkra lehet és kell támaszkodni. Az SSS-en belül az egyes dokumentumok a következő három hierarchikus szintre sorolhatók be:

- *Biztonsági alapok* (Safety Fundamentals; SF), amely körbe tartozó kiadványok a legmagasabb szintű, a tagországok számára kötelező elvi-etikai és szakmai deklarációkat ismertetik;
- *Biztonsági követelmények* (Safety Requirements; SR), amik a legfontosabb, kötelező jelleggel figyelembe vevő konkrét szakmai, tervezési előírásokat gyűjtik össze;
- *Biztonsági útmutatók* (Safety Guides; SG), amelyek módszertani útmutatókat, eljárásrendeket, ajánlásokat tartalmaznak. Ezek alkalmazása ugyan – tekintettel esetleges helyszínspecifikus vonatkozásokra – nem feltétlenül kötelező, de a nemzetközi szakmai ismeretek olyan széles bázisára épülnek, hogy megalapozott

indokok hiányában az ezektől való jelentős eltérés egyetlen tagország számára sem javasolható. (Ez a sorozat áll a legközelebb a TRS köteteihez.)

A radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére alkalmas telephelyek hazai minősítése során értelemszerűen elsősorban az ACSS és a WASSAC hatáskörébe tartozó dokumentumok áttekintése tartozik. Az alábbiakban – az általános deklarációktól a részletes megvalósítási irányelvek felé haladó sorrendben – ezeket az információkat rögzítjük (átugorva a *radioaktív hulladékok kategorizálásának* és a *hulladékkezelés alapelveinek* korábban már részletesen tárgyalt kérdéseit).

21.3.2.1. A geológiai formációban történő elhelyezés biztonsági alapelvei és műszaki követelményei

Már több évtizede tartós és egyre inkább erősödik a szakmai egyetértés azzal kapcsolatban, hogy a nagy aktivitású, hosszú élettartamú, hőtermelő radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére az alkalmas geológiai képződmény a leginkább reális alternatíva. Ez jut kifejezésre az [IAEA, 1989] (No. 99; „Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High Level Radioactive Wastes”) jelű anyagban is, amelyet a téma egyik legfontosabb alapidokumentumának lehet tekinteni. (2006-ban ennek felülvizsgálataként adták ki a „Geological Disposal of Radioactive Waste WS-R-4 Safety Requirements” dokumentumot.)

A dokumentum a nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének fő céljait az alábbiak szerint határozza meg:

- A jövő nemzedékekkel szemben érzett felelősség miatt a nagy aktivitású hulladékokat hosszú távon úgy kell elszigetelni az emberi környezettől, hogy ne hárítsuk utódainkra az elhelyezési rendszer üzemeltetésének, vagy intézményes ellenőrzésének kötelezettségét.
- Az alkalmazott megoldás olyan legyen, hogy az hosszú távon garantálja a radiológiai biztonságot, vagyis a jelenleg érvényes alapelvek szerint az ember és a teljes környezet radiológiai hatásokkal szembeni védelmét.

A fenti célok elérése érdekében megfogalmazandó alapelveket a dokumentumok az alábbiak szerint rögzíti:

- *A jövő generáció terheinek minimalizálása.* Értelemszerű, hogy a végleges elhelyezés időpontjával kapcsolatos döntések meghozatalánál egyéb szempontokat is figyelembe kell venni (pl. egy felszíni átmeneti tárolás mellett műszaki és sugárvédelmi érvek, a rendelkezésre álló műszaki lehetőségek – például a végleges elhelyező létesítmény rendelkezésre állása –, a nukleáris anyagok készletgazdálkodásával kapcsolatos megfontolások, valamint egyéb gazdasági, társadalmi vonatkozások). Az alapelv azonban deklarálja, hogy a nukleáris energiával kapcsolatos terheket azoknak a generációknak kell viselni, akik annak fő haszonélvezői voltak.
- *A biztonság függetlensége az intézményes ellenőrzéstől.* Természetesen nem kizárt, hogy a jövő generációk – saját szuverén elhatározásuk alapján – erőforrásokat biztosítsanak a végleges elhelyező létesítmény karbantartására és/vagy intézményes ellenőrzésére, de a megoldás biztonsága nem múlhat ezen.

- *A jövőbeli radiológiai kockázat minimalizálásának elve.* A végleges elhelyezést úgy kell megvalósítani, hogy annak ne legyen olyan előre látható jövőbeli kockázata az emberi egészségre, vagy a természeti környezet más elemeire, ami ma ne lenne elfogadható.
- *Országhatárokon túlmutató hatások kezelésének alapelve.* A nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezési biztonsága kapcsán számításba veendő terület – a vizsgált helyszín jellegétől és elhelyezkedésétől függően – bizonyos esetekben akár a végleges elhelyezést megvalósító ország határain túl is nyúlhat. Ilyen esetekben a szomszédos ország érintett populációjára alkalmazandó sugárvédelmi kritériumok és eljárásrendek nem lehetnek kevésbé szigorúak, mint a kibocsátást generáló ország saját, belső szabályai.
- *Felső dózis-egyenérték korlát megállapítása.* A dokumentum deklarálja azt a felismerést, hogy léteznek olyan mechanizmusok, amelyek valamilyen alacsony valószínűséggel az elhelyezett radionuklidok egy részének kiszabadulását eredményezhetik. Ezek a mechanizmusok kétféleképpen lehetnek:
 - egyrészt az alkalmazott mérnöki gátak degradációja, illetve a földtani gát izolációs képességének véges volta következtében bekövetkező lassú, fokozatos migrációra (ún. normál scenáriók);
 - másrészt pedig a gátrendszer elemeinek pillanatszerű roncsolódását eredményező folyamatok (pl. geodinamikai események, szándékolatlan, vagy szándékos emberi behatolás), az ún. roncsolódásos scenáriók lehetséges hatásaira kell itt gondolni.

Az IAEA szabályozása megköveteli, hogy a normál scenáriók eredményeképpen fellépő átlagos dózis a lakosság kritikus csoportjára nézve ne lépje túl azt a felső dózisegyenérték korlátot, amelyet a nemzeti hatóság a releváns egyéni dóziskorlátból erre a tárolóra kioszt. Ez a releváns dózis hosszan tartó besugárzás esetén 1 mSv/év terhelésnek felel meg. A jövőben fellépő dózisok számításánál abból a feltételezésből kell kiindulni, hogy az akkori egyedek életstílusa és táplálkozási szokásai azonosak a ma élő emberekével.

- *Felső kockázati korlát megállapítása.* A dokumentum a lakosság kritikus csoportjára vonatkozó egyedi kockázat még megengedhető értékét 10^{-5} eset/évben korlátozza mindazon esetekre (roncsolódásos scenáriók), amelyeket a felső dózisegyenérték-korlát alkalmazásával nem lehet kezelni.
- *Az ALARA-elv alkalmazása.* A nukleáris biztonságtechnikában általánosan alkalmazott ún. ALARA-elv alkalmazásával a végleges elhelyezésből származó dózisterheléseket az észszerűen – vagyis irreális többletráfordításokat nem igénylő módon – elérhető legalacsonyabb szinten kell tartani. (A felső dózisegyenérték és kockázati korlát azonban semmiképpen sem léphető túl.)

A dokumentum szerint a fenti célkitűzések és biztonsági alapelvek megvalósítása érdekében az alábbi követelményeknek kell teljesülniük:

- *Általános rendszerszintű megközelítés.* A végleges elhelyezés hosszú távú biztonságát tagolt védelemmel kell garantálni. A tagolt védelem a hulladékforma, a csomagolás, az alkalmazott mérnöki gátak megfelelő kialakításából, valamint a földtani gát és környezete megfelelő kiválasztásából áll. A követelmény elsősorban azt mondja ki, hogy a létesítmény hosszú távú biztonságának értékelésénél a komplex, tagolt rendszer integrált teljesítőképességét kell vizsgálni. Kiemeli viszont azt is, hogy a nagy aktivitású hulladékok esetében a földtani gátak meghatározó jelentősége van, mivel a mérnöki alkotások teljesítőképessége biztosan nem garantálható a hulladékok teljes eliminációjához vezető időintervallumra.

- *Radioaktív izotóp-tartalom meghatározása.* A földtani gát szerepét játszó terület értékelése (célszerűen már a kiválasztása is) megfelelő biztonsággal csak a hulladék összetételének és fizikai, radiokémiai jellemzőinek ismeretében történhet (forrás-oldali paraméterek). Annak érdekében, hogy a tervezés és értékelés során alkalmazott jellemzőkkel megegyező legyen a végleges elhelyezésre kerülő hulladék radioaktív izotóp-tartalma, megfelelő hulladékátvételi kritériumokat kell meghatározni és kötelezően alkalmazni.
- *A megfelelő hulladékforma kialakítása.* A nagy aktivitású radioaktív hulladékok kizárólag olyan kondicionálás után kerülhetnek végleges elhelyezésre, amelynek végeredményeképp szilárd halmazállapotba, illetve az elhelyezési rendszernek megfelelő formába kerülnek, továbbá a radioaktív izotópok visszatartását elősegítő fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek.
- *A kezdeti izolációs időszak jellemzőinek megfelelő kialakítása.* A végleges elhelyezésre kerülő hulladékok kezdeti időszakban viszonylag magas hőterhelése és sugárzási szintje (még átmeneti tárolás, vagy reprocesszálás után is) következtében a tárolás kezdeti időszakát kritikussnak kell tekinteni mind a hulladékot körülvevő földtani gát stabilitása, mind pedig a számításba veendő hidrogeológiai, mechanikai, termikus, geokémiai, mikrobiológiai, stb. folyamatok komplexitása és tervezhetősége szempontjából. Ezért az elhelyezési rendszer teljesítmény-értékeléséhez meg kell határozni az ún. magas fokú izolációs időszak (amikor a mérnöki gátrendszer elemei még biztosan képesek az izotópmigráció teljes meggátlására) szükséges hosszát és ennek jellemzőit.
- *A végleges elhelyező létesítmény tervezése és építése.* Alapelv, hogy a létesítés, az üzemeltetés és a lezárás során is minden műveletet úgy kell tervezni, valamint kivitelezni, hogy a befogadó közet és a releváns környezet megfelelő biztonsági funkciója mindvégig fennmaradjon. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy
 - egyrészt törekedni kell olyan technológiák kiválasztására (illetve ezek megfelelő módon történő végrehajtására), amelyek a lehető legkisebb mértékben csökkentik a telephely izolációs képességét;
 - másrészt az így okozott hatásokat is értékelni kell a biztonságra gyakorolt következményeik szempontjából.
- *Nukleáris kritikus állapot megelőzése.* Az objektum és az elhelyezési rendszer geometriáját úgy kell kialakítani, hogy az elhelyezésre kerülő hulladékokban felhalmozott hasadóanyag bármilyen elképzelhető scenárió esetén is szubkritikus állapotban maradjon.
- *Megfelelő geológiai környezet kiválasztása.* Ezen általános követelmény a gyakorlatban két feltétel teljesítésével elégíthető ki:
 - A létesítményt olyan mélyen kell telepíteni, hogy az megfelelő védelmet nyújtson az elhelyezett hulladék számára bármely számításba vehető külső körülmény és folyamat ellen;
 - A létesítményt olyan tulajdonságokkal rendelkező befogadó közetben kell telepíteni, amely nem növeli meg jelentősen a mérnöki gátak leromlási sebességét, illetve azok degradációját követően megfelelően korlátozza a külső környezet felé irányuló radionuklid-transzportot.
- *Természeti erőforrások (készletek) figyelembevételének kötelezettsége:* A tároló telephelyét és méretét úgy kell megválasztani, hogy az ne kerüljön olyan értékes természeti erőforrások és anyagok közelébe, amelyek más forrásból nem állnak rendelkezésre. Ez a készletgazdálkodási megfontolások mellett azért is lényeges, mivel így csökkenthető (teljesen azonban nem zárható ki) annak esélye, hogy a jövőben a természeti erőforrások felkutatása, vagy kitermelése az objektum integritását veszélyeztesse és így roncsolódásos scenárió következzen be.

- *Biztonsági elemzések alkalmazásának kötelezettsége.* Ez a követelmény azon a felismerésen alapul, hogy a végleges elhelyező létesítmény hosszú távú biztonságának igazolása közvetlen módon nem lehetséges. Ennek ellenére – megfelelő műszaki és tudományos adatbázisok létrehozásával és számítási-értékelési módszerek kifejlesztésével – lehetőség van a biztonság közvetett módon történő bizonyítására. Ezt az eljárást hívják biztonsági elemzésnek. A biztonsági elemzés során az előre rögzített kockázati és dózis-kritériumok teljesíthetőségét kell vizsgálni; a forrás-oldal, az elhelyezési rendszer, a tagolt védelem, valamint a bioszféra-paraméterek együttes elemzése alapján. Ez történhet determinisztikus és sztochasztikus módszerek alkalmazásával, de a kettő párhuzamos alkalmazása és egymással való ellenőrzése az igazán kívánatos megoldás.
- *Minőségbiztosítás.* A telephely kiválasztásának, értékelésének, a létesítmény építésének, üzemeltetésének, lezárásának valamennyi folyamatára, valamint a tagolt védelem minden, emberkéz alkotta összetevőjére minőségbiztosítási rendszert kell létrehozni és üzemeltetni annak érdekében, hogy a vonatkozó műszaki szabványokban előírt minőség, illetve a tervezés és biztonsági elemzés során feltételezett tulajdonságok garantálhatók legyenek. Ehhez megfelelő szervezeti struktúrát kell felépíteni, és be kell mutatni azon szervezetek, illetve személyek felelősségét és jogait, akiket a minőségbiztosítási rendszer kidolgozásába és üzemeltetésébe bevontak.
- *Az értékelés időtávlatainak meghatározása.* Világosan fel kell ismerni, hogy – bár a jövő generációkkal szembeni felelősségünk időben korlátlan – a fent rögzített módszerekkel történő (tehát a jelenlegi életviteli és táplálkozási szokások számba vételén alapuló) értékelési eljárások több tízezer éves távlatokban egyre inkább spekulatívvá válnak. Ezért rögzíteni kell azt az időléptéket, amelyen belül a felső dózisegyenérték-korlát alkalmazásával végzett elemzést mennyiségileg is elfogadható biztonsággal kivitelezhetőnek tartjuk. Ez nem azt jelenti, hogy a későbbi, megnövekedett bizonytalanságú időszakokra vonatkozólag nincs szükség további elemzésre, de erre nézve már egyéb független módszerek, illetve garanciát jelentő eljárások kifejlesztése kívántatik meg. A roncsolódásos scenáriók kockázatának elsősorban földtani stabilitási vizsgálatokra épülő elemzése természetesen hosszabb időléptékben is értékelhető, ezért ezt a vizsgálatot a hulladék teljes várható eliminációs időtartamára vonatkoztatva is indokolt elvégezni.

21.3.2.2. A telephely-kiválasztás és telepítés alapvető irányelvei

A fenti alapelvekből, illetve követelményekből a közzettest és telephely kiválasztására, jellemzésére, valamint a telepítési folyamatra vonatkozóan figyelembe veendő irányelveket az [IAEA, 1994] dokumentuma foglalja össze („Siting of Geological Disposal Facilities”).

Bár Magyarország esetében a végleges elhelyezés érdekében kutatandó, első számú formáció (Bodai Aleurolit Formáció; BAF) a fentiek szerint már kiválasztásra került, a dokumentum néhány általános alapelvének rögzítése azért is célszerű, mert azok a telephely-minősítés bármely fázisában is kötelező érvénnyel bírnak.

A dokumentum első része a *helyszínkiválasztási és telepítési folyamat* általános követelményeit rögzíti. Ennek legfontosabb elemeit az alábbiak szerint foglalhatjuk össze:

- A célra megfelelő befogadó geológiai környezet és telephely kiválasztása során abból kell kiindulni, hogy a kiválasztás helyességével (tehát a hosszú távú izolációs képesség meglétével) kapcsolatban megfelelő értékelési eljárások lefolytatása, valamint bizonyítási kötelezettség terheli a szakembereket és a döntéshozókat. A döntéshozatalnál a már említett rendszerszintű megközelítést kell alkalmazni.

- A telephely kiválasztása és a végleges elhelyezésre kerülő hulladékok típusa és mennyisége szoros kapcsolatban kell, hogy álljon egymással.
- Tekintettel a nagy aktivitású hulladékok kapcsán megvalósítandó izoláció rendkívül hosszú időtartamára, a telephelyjellemzést követően egy időigényes, (általában több évtizedes) verifikációra kerül sor, amelynek elsődleges célja az izolációs kapacitást meghatározó legfontosabb jellemzők és folyamatok hosszú távú ellenőrzése helyszíni, tehát földalatti laboratóriumi körülmények között. A földalatti laboratóriumok (Underground Research Laboratory; URL) emellett lehetővé teszik a végleges elhelyezés megvalósításához alkalmazható technológiák fejlesztését és megvalósíthatóságuk igazolását is.
- A fentiek szerint megfelelően előkészített telephely-jellemzés és biztonsági értékelés alapozhatja meg a telepítési döntést, amelyet a kivitelezés, az üzemszerű működés és a lezárás követ. A verifikációnak azonban a létesítmény teljes üzemideje alatt tovább kell folytatódnia.

A dokumentum második része részletesen tárgyalja azokat a követelményeket, amelyek a potenciálisan alkalmasnak tekinthető kőzettest, illetve telephely kiválasztásához vezetnek. Az alkalmazott megfogalmazás szerint a kritériumok nagy segítséget jelentenek a döntési folyamatban, de nem szabad őket abszolút feltételeknek tekinteni. A tervezési fázisban nagyon fontos a rugalmasság és az, hogy megmaradjon a lehetőség arra, hogy a rendszer valamely komponensének a gyengeségét egy másikkal szemben megfogalmazott szigorúbb követelményekkel kompenzáljuk.

21.3.2.3. A geológiai formációban történő elhelyezés gyakorlati kérdései

Az IAEA 2003 februárjában adta ki a Technical Reports Series No. 413. jelű dokumentumot [IAEA 2003] (Scientific and Technical Basis for Geological Disposal of Radioactive Wastes), ami – a vonatkozó hazai jogszabály mellett – a kutatások tervezése, kivitelezése és értékelése során minden bizonnyal az egyik legtöbbet idézett, (és a további fejezetekben részletesebben tárgyalt) anyag.

A jelentést készítő munkacsoport életre hívásakor az IAEA abból indult ki, hogy – bár a több évtizedes kutatási tapasztalatok alapján már szinte teljes a szakmai konszenzus a nagy aktivitású radioaktív hulladékok végleges, mély geológiai formációban történő elhelyezésének szükségességével és kivitelezhetőségével kapcsolatban – még egyetlen országban sem lépett működésbe ilyen létesítmény (leszámítva az USA-ban, Új Mexikó államban, Carlsbad mellett kialakított, a nem jelentős hőterhelést eredményező hulladékok részére kialakított „Waste Isolation Pilot Plant”-et, rövidítve: WIPP-et). A legtöbb, ezt célzó nemzeti program vita tárgyát képezi, és késedelmet szenved, mert a társadalom egyes csoportjai nem bíznak ebben a megoldásban. Ezért a dokumentum bemutatja a geológiai tárolók tudományos és műszaki kérdéseit illetően az utóbbi évtizedben tett igen jelentős előrelépéseket, bizonyítja a koncepcióval kapcsolatos ismeretek helytállóságát, megbízhatóságát, valamint ésszerű indokokat és útmutatást ad a tagországok számára a biztonságos geológiai tárolók építéséhez. A jelentés teljes mértékben a fentiekben ismertetett dokumentumokban lefektetett alapelvekre támaszkodik.

Az anyag első részében a mély geológiai formációban történő végleges elhelyezés koncepciójának általános ismertetésére kerül sor, külön kiemelve a megoldás alapvető működési elvét és biztonságot garantáló elemeit. Megközelítése természetesen rendszerszemléletű, így a működő létesítmény valamennyi elemének (hulladékforma, hulladékcsomag, műszaki gátrendszer, a tároló kiépítése, a természetes gátrendszer, valamint a bioszféra) tervezésére, vizsgálatára és minősítésére is kitér. A leírás a végleges elhelyező

létesítmények különböző funkcióira helyezi a hangsúlyt, melyeket élettartamuk különböző szakaszaiban el kell látniuk. Leírja mindazon folyamatokat, melyek fontosak a radionuklidok elhelyezését illetően, valamint azokat is, melyek hatással lehetnek az egyes gátak hosszú távú épségére. Kijelöli azokat a fontosabb, de jelenleg még nagyobb fokú bizonytalanságokkal terhelt szakmai területeket is, melyeken a megfelelő szintű biztonság eléréséhez komolyabb előrelépést kell még elérni az egyes nemzeti programokban, illetve a nemzetközi együttműködésben.

A dokumentum kiemeli, hogy a minősítéshez és biztonsági értékeléshez tartozó egyes lényeges tulajdonságok, folyamatok, jelenségek erősen hely- és koncepciófüggők lehetnek. Így például igen fontos megállapításokat tesz a különböző jellegű potenciális befogadó összetettekben tervezett tárolók tervezésekor, létesítésekor és biztonsági értékelésekor figyelembe veendő folyamatokkal kapcsolatban.

Egy nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok számára készülő elhelyező létesítmény építése, üzemeltetése és megszüntetése – beleértve valamennyi föld alatti üreg bezárását is – rendkívül széles körű és komplex műszaki és tudományos ismereteket kíván meg, amelyeket alkalmazni kell a koncepcionális megközelítésben, a tervezés, valamint a teljesítmény- illetve biztonsági értékelés minden fázisában. Egyértelmű definíciót kell adni továbbá a teljesítmény- és biztonsági értékelés magyar szakmai nyelvben általában eléggé félreérthetően használt fogalmaira is: Eszerint a:

- „*Teljesítményértékelés*” (Performance Assessment; PA) kifejezést akkor használjuk, amikor az elemzés a többszörös gátrendszer elemeinek működőképességét, illetve annak időbeli alakulását vizsgálja.
- „*Biztonsági elemzés*”-ről illetve „*biztonsági értékelés*”-ről (Safety Assessment; SA) pedig akkor beszélünk, ha a rendszer elemzése alapján a lehetséges következményeket, terheléseket a biztonsági szabványokkal, előírásokkal hasonlítjuk össze.

A dokumentum kiemelten tárgyalja a PA/SA feladatait a létesítmény építéséhez, üzembe helyezéséhez illetve felszámolásához vezető döntéshozatali folyamatban. Kiemelendő megállapítás, hogy a döntésekhez széles körű egyetértésre van szükség az egyes fázisokat lezáró biztonsági elemzés következtetéseit illetően. Ennek elősegítése érdekében a dokumentum külön hangsúlyt fektet az ún. „Safety Case” (SC) (a legjobb magyar fordítás a „biztonsági dosszié”) összeállításának és folyamatos ellenőrzésének központi szerepére. Ennek kiemelése azért is szükséges, mivel – bár a nemzetközi gyakorlatban ezt a fogalmat már igen régóta, és széles körben használják – a hazai programokban ez a fogalom mindez ideig nem nagyon került elő.

A biztonsági dosszié összeállításának célja a többszörös gátrendszer működése által biztosított végleges elhelyezés hosszú távú biztonságába vetett bizalom felépítése valamennyi olyan információ megszerzése révén, melyek elősegítik a működés szélesebb körben történő megértését, illetve a szakemberek által megfelelő mértékben bizonyított és demonstrált megoldások elfogadtatását. A biztonsági dosszié egyaránt támaszkodik a teljesítmény- illetve a biztonsági értékelések eredményeire, de ezeken kívül még további minőségi bizonyítékokat és érveket sorakoztat fel annak bemutatására, hogy a létrehozott teljes rendszer működésének bizonytalansága az elfogadható tartományon belülre esik. Az összeállítás és bemutatás folyamatában tehát ki kell jelölni azokat az általános, koncepcionális területeket, melyeket jól ismerünk, és ahol nyugodtan hagyatkozhatunk a nemzetközi tanulmányok megállapításaira.

Természetesen minden nemzeti programban lehetnek hely- és/vagy koncepció-specifikus kérdések, további kutatómunkát igénylő, bizonytalan szakmai területek. Ezekre mindenképpen rá kell mutatni, és a biztonsági dosszié összeállítása érdekében fokozott figyelmet kell rájuk fordítani. A biztonsági dosszién belül különösen fontos azoknak a közvetlen bizonyítékoknak

az összegyűjtése és bemutatása, amelyek igazolják a természetes gátrendszer megismert tulajdonságainak a földtani korok időléptékében való állandóságát (pl. az ún. természetes analógia vizsgálatok).

Ki kell emelni, hogy a természetes analógia fogalom értelmezésében az anyag felfogása jelentősen eltér a korábbi szemlélettől, és a nemzetközi gyakorlat legújabb eredményeit tükrözi. A korai szakirodalom ezen az összefoglaló néven eredetileg azokat a különleges uránérclelőhelyeket említette, ahol a földtörténet korai időszakában (akár 1-2 milliárd évvel ezelőtt) a ^{235}U magas koncentrációja, illetve a megfelelő környezeti feltételek mellett természetes hasadási láncreakció ment végbe. (Pl. Gabon, Oklo). Ezeket a területeket abból a szempontból is megvizsgálták, hogy az ott található földtani képződmények milyen mértékben akadályozták meg a hasadási termékek környezetbe való szétszóródását. A TRS No. 413. jelű dokumentum talán az első olyan hivatalos nemzetközi ajánlás, ami ezt a fogalmat telephely-specifikus megközelítésben tárgyalja. Ezek szerint, amennyiben a természetes analógiák keresésének új célja a földtudományi alkalmasság megítélésében rejlő bizonytalanságok csökkentése, úgy természetes analógiának kell tekinteni mindazon felismert természeti folyamatokat és jelenségeket, amelyek közvetlenül bizonyítják a potenciális befogadó összlet izolációs képességét meghatározó főbb tulajdonságok hosszú idejű fennmaradását, illetve szakmailag megalapozzák a vizsgálati eredmények időbeli extrapolálhatóságát.

Az IAEA megbízásából több egyéb, a kutatási programok egyes szakmai területeinek tervezése során több alapvető fontossággal bíró műszaki jelentés is napvilágot látott. Például:

- A természetes rendszerekben általában a talajvíz (repedésvíz, pórusvíz) által előidézett szennyeződésterjedés a legvalószínűbb transzport-mechanizmus, amely a radionuklidokat a bioszféráig, az emberi környezetig eljuttathatja. Ezért a hidrogeológiának kiemelt szerepet kell játszania a végleges elhelyezésre kiszemelt közzettest kiválasztásában és minősítésében. A végleges elhelyezést célzó kutatási programok keretében végrehajtandó hidrogeológiai vizsgálatok szakmai céljait, módszertani alapjait, kivitelezésének és értékelésének szabályait foglalja össze az [IAEA 1999] jelű, Technical Reports Series No. 391. azonosítójú dokumentum (Hydrogeological Investigation of Sites for the Geological Disposal of Radioactive Waste).
- A TRS No. 413. jelű jelentés egyik kísérő dokumentumaként született meg az IAEA-TECDOC-1243 azonosítójú, [IAEA 2003/b] jelű anyag (The Use of Scientific and Technical Results from Underground Research Laboratory Investigations for the Geological Disposal of Radioactive Waste). Ez a potenciális helyszínek kutatásából és a föld alatti laboratóriumi vizsgálatokból elért legfontosabb eredményeket, ismereteket foglalja össze, külön kiemelve a föld alatti, megfelelő léptékű vizsgálatok lefolytatásának szükségességét. Az ebben rögzített ismeretek a föld alatti kutatólaboratórium geometriájának és szükséges funkcióinak előzetes tervezéséhez szükségesek.

21.3.3. Az OECD és az Európai Unió gyakorlata

A Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet-beli (Organization for Economic Co-operation and Development; OECD), valamint EU-tagságunkra való tekintettel szükséges annak vizsgálata is, hogy ezek a szervezetek a tagországok saját nemzeti szabályozási rendszerén túlmenően érvényesítenek-e közösségi előírásokat, ajánlásokat.

Mindkét nemzetközi szervezet a nukleáris energia mellett- ill. ellene elkötelezett (anti- és pro-nukleáris) országok egész csoportjait tömöríti. Ezek belső gazdasági, társadalmi és politikai érdekviszonyai – a rendkívüli módon felgyorsult globalizáció ellenére – még mindig tág határok között változnak. A tagországoknak az IAEA előírásaihoz, illetve ajánlásaihoz illeszkedő belső

szabályozási rendszerük van, és ennek megfelelően a különböző tagországokban számos tekintetben egymástól merőben eltérő gyakorlat alakult ki. Következésképpen a nukleáris energetika – és ezen belül különösen a radioaktív hulladékok – gyakorlati kérdéseiben egészen napjainkig sem az OECD, sem pedig az EU nem dolgozott ki minden tagországra nézve kötelező érvényű, konkrét előírásokat.

Ennek ellenére mindkét szervezet intenzíven foglalkozik a nukleáris hulladékok témakörével, ezen belül elsősorban a biztonság és a tudományos megalapozottság fokozásával. Az OECD Nukleáris Energia Ügynöksége (Nuclear Energy Agency; NEA) keretében működő Radioaktív Hulladék Menedzsment (Radioactive Waste Management; RWM) ezen a területen is kiterjedt fejlesztési programokat, illetve tudományos testületeket működtet, munkaértekezleteket (workshopokat) szervez. Ezek elsődleges célja a radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló egyes különálló nemzeti programok szakmai összehangolása, színvonalának és megbízhatóságának javítása. Ehhez a szakmai-tudományos közreműködésen túl az Ügynökség szervezési és esetenként pénzügyi segítséget is nyújt. Az OECD NEA ennek megfelelően az utóbbi évtizedben a végleges elhelyezés alapkoncepciójának, illetve részlet-terveinek kidolgozásában az egyik legfontosabb, kifejezetten pro-aktív jellegű szervezet lett. Közreműködésével számos alapvetőnek tekinthető szakmai dokumentum és publikáció jelent meg. Külön ki kell emelni ezen belül a különböző potenciális befogadó közzéttípusok referencialhelyszínein végzett telephelyfüggetlen kutatás-módszertani fejlesztések és vizsgálatok eredményeit, amelyek természetesen a tagországok számára rendelkezésre állnak. A BAF kutatása szempontjából különösen fontosak az agyagjellegű potenciális befogadó képződmények minősítésének általános kérdéseit tagláló publikációk.

A tervezés alatt álló kutatási program szempontjából ugyancsak igen hangsúlyos, hogy az OECD RWM keretében működik az ún. Clay Club (Agyagklub; vagy hivatalos nevén: „IGSC Working Group on Measurement and Physical Understanding of Groundwater Flow Through Argillaceous Media”). Ennek a munkacsoportnak Magyarország – éppen a BAF-fal kapcsolatos kutatások miatt – 1998 óta hivatalosan is tagja, és delegáltjai azóta is aktívan vesznek részt az Agyagklub éppen futó projektjeiben (FEPCAT, CATALOGUE, SELF-HEALING, stb.).

Az OECD NEA és az IAEA között fennálló együttműködés napjainkban kifejezetten felerősödött. Ennek elsődleges célja, hogy a két szervezet által kibocsátott elvi deklarációk, illetve szakmai dokumentumok egységesítése minél magasabb szinten történjék meg. Az együttműködés egyik legkézzelfoghatóbb példája, hogy az OECD NEA társ-finanszírozóként és szakmai közreműködőként egyaránt fellép az IAEA szabályozási rendszerének már említett felülvizsgálati programjában.

Egy több éves, nemzetközi szakmai és etikai vita következményeként az OECD NEA egy Etikai Nyilatkozatot adott ki a nukleáris hulladékok kérdéskörével kapcsolatban [OECD NEA, 1995]; [Ormai 1996]. A Nyilatkozat tartalmazza azokat a radioaktív hulladékkezeléssel kapcsolatos alapelveket, amelyek tiszteletben tartását mind a tagországoktól, mind pedig a csatlakozni kívánó országoktól a legmesszemenőbbekig megkövetelik. A Nyilatkozat (amely egyébként teljes mértékben konform az IAEA fentiekben ismertetett szabályozási rendszerével) tartalmának legfontosabb elemei – a teljesség igénye nélkül – a következők:

- *Az intergenerációs kockázat-egyenlőség elve.* Ennek értelmében a jövő generációval szembeni köteleességünk, hogy ne hagyjunk utódainkra sem a magunkénál kisebb biztonságot (tehát kezelhetetlen folyamatokat), sem pedig egyirányú döntési kényszereket. Nem tételezhetünk fel a jövő generációról a jelenleginél nagyobb gazdasági erőt, folyamatos társadalmi stabilitást (békét, működő közigazgatást, infrastruktúrát); tehát olyan megoldásokat kell előnyben részesíteni, amelyek a következő generációktól nem igényelnek állandó felügyeletet, gyors beavatkozást (amire esetleg akkor nem lesznek képesek).

- *A másokkal való törődés elve.* Mivel az elsődleges cél a biztonság (a humán egészség és a környezeti állapot elemeinek megőrzése), az első alapelv szem előtt tartása nem jelentheti a nem megfelelően megalapozott és nem kellően igazolt teljesítőképességű megoldások erőltetett ütemű alkalmazását. Kizárólag a rendelkezésre álló ismeretek bővülésével lehet döntéseket hozni olyan kérdésekben, amire ismereteink már elegendők. Ily módon kell gondoskodni a hulladékot produkáló ország határain belül, illetve azon túl élő népesség, illetve élővilág biztonságáról (tekintettel a radioizotópok kiszabadulása esetén várható, térben kiterjedt hatásokra).
- *A lakosság széles körű bevonásának elve.* Nem lehet a társadalmi igényekkel szembehelyezkedve, pusztán hatalmi szóval keresni a megoldást. Széles körű társadalmi párbeszédre és konszenzus megteremtésére van szükség egy ilyen horderejű döntés meghozatala előtt. A témával kapcsolatos közmeghallgatás intézményét és módszereit törvényileg kell szabályozni.
- *A hulladék előállítójának egyetemleges felelőssége* a probléma megoldásában. Ez az elv elsősorban a belső törvényi szabályozáshoz teremt megfelelő etikai alapot; kijelölve a lehetséges felelősi kört és rögzítve, hogy a megoldáshoz szükséges anyagi eszközöket milyen forrásból kell előteremteni. Ebben az elvben egyúttal az az igény is megfogalmazódik, hogy – az ALARA-elv szem előtt tartásával – a társadalom anyagi erőforrásainak zömét nem szabad kizárólag e kérdés megoldására fordítani, hanem úgy kell eljárni, hogy maradjanak források más környezeti problémák hasonló színvonalú kezelésére is.

Az Európai Unió némiképp hasonló szerepkört tölt be a kérdéssel kapcsolatban. Az EU e témakörben illetékes, tehát a kutatással és az ökoszisztémák védelmével foglalkozó Vezérgazgatóságai (Directorate General) szintén nagy hangsúlyt fektetnek a radioaktív hulladékokkal kapcsolatos nemzeti erőfeszítések katalizálására, illetve kontrollálására is. Rendszeresen beszámoltatják és értékelik a tagországokat, valamint a csatlakozni kívánó országokat a témakörben kifejtett erőfeszítéseikről. Emellett ugyancsak közreműködnek alapvetően fontos nemzetközi szakmai együttműködési programok kivitelezésében (pl. EVEREST- PAGIS-, PACOMA-, stb. projektek) a nagy európai földalatti referencialaborok munkájában, és/vagy eredményeik publikálásában (EUR-... jelentések).

Az EU közreműködése hazánk számára többek között azért is fontos, mert a számunkra elérhető Uniós források közül az Európai Fejlesztési Keretprogramok, valamint az előcsatlakozási alapok közül az ISPA pályázati rendszer is kiemelt prioritásai között szerepelteti a nukleáris biztonság és ezen belül a radioaktív hulladékok kérdéskörét.

A közvetlen pénzügyi támogatások lehetőségén túlmenően igen fontos az is, hogy a gyakorlati kutatómunkát az OECD és az EU szervezésében már kialakult együttműködési keretekbe illeszkedően, folyamatos és sokoldalú nemzetközi együttműködésben végezzük. Csak a folyamatos közös munka biztosítja a friss információk folyamatos beáramlását, a sokoldalú szakmai kontrollt; ezáltal a költséghatékony és kikezdehetetlen kutatási programok végrehajtását.

21.4. A hatályos hazai jogszabályok által rögzített előírások

A radioaktív hulladékok kezelésével kapcsolatos hatályos hazai rendeletek, jogszabályok köre döntően az 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról (a továbbiakban: Atomtörvény) végrehajtását szolgáló kormányzati és minisztériumi (miniszteri) rendeletek közül kerül ki.

21.4.1. Az 1996. évi CXVI. törvény az Atomenergiáról

Az Atomtörvény – jellegénél fogva – elsősorban természetesen a nukleáris energia békés célú alkalmazásának legáltalánosabb kérdéseit szabályozza. A radioaktív hulladékok végleges elhelyezése kapcsán is deklarál néhány olyan elvet, amit a kutatások tervezési, engedélyeztetési és kivitelezési időszakában nem lehet figyelmen kívül hagyni:

- Ezek közül kiemelendő a 4. § (2) bekezdésében rögzített általános deklaráció, miszerint az atomenergia alkalmazása során a biztonságnak minden más szemponttal szemben elsőbbsége van.
- A 2. § g) bekezdése szerint a „nukleáris létesítmény” fogalma a Magyarország és az IAEA között létrejött biztosítéki egyezmény 97. Cikkelyének I. pontjában rögzített meghatározáson alapul. Ennek megfelelően egy olyan speciális magyar sajátosság állt elő, ami szerint a radioaktív hulladékot kezelő létesítmények (pl. hulladéktárolók) jogilag nem minősülnek nukleáris létesítménynek [OAH 2003].
- A 38. § (2) bekezdésének a) és b) pontja rögzíti, hogy milyen feltételek mellett tekinthető biztonságosnak a radioaktív hulladék és a kiégett üzemanyag átmeneti tárolása és végleges elhelyezése. Eszerint egyrészt biztosítani kell az emberi egészség és a környezet védelmét e tevékenységek teljes időtartamára, másrészt pedig igazolni kell, hogy az emberi egészségre és a környezetre gyakorolt hatás az országhatárokon túl sem nagyobb a belföldön elfogadottnál.

A hazai szabályozás egyik mindmáig feloldatlan ellentmondása a törvény 6.§ (2) bekezdésében került rögzítésre. A törvényszöveg szerint „... radioaktív hulladéktároló létesítését előkészítő tevékenység megkezdéséhez ... az Országgyűlés előzetes, elvi hozzájárulása szükséges.” Komoly értelmezési problémát okoz azonban az, hogy a „radioaktív hulladéktároló létesítését előkészítő tevékenység” kifejezés nincs megfelelő, egyértelmű módon definiálva. Az idézett bekezdés jelenleg általánosan elfogadott értelmezése szerint már a telephelyen végzett első föld alatti üregnyitás (a nagy aktivitású hulladékok esetében a kutatások kötelező tartozékának tekintett föld alatti kutatólaboratórium kialakítása) is a hulladéktároló létesítését előkészítő tevékenységnek minősül. Az Országgyűlés elvi hozzájárulása viszont csak akkor szerezhető meg, miután a telephely alkalmassága már teljes körben bizonyítást nyert.

Ezen ellentmondás nehezen kezelhető, mivel mély geológiai formációban, bányászati módszerekkel megvalósítandó végleges elhelyezés esetében a nemzetközi ajánlások, illetve gyakorlat szerint a telephely alkalmasságát helyszíni, tehát föld alatti kutatások nélkül nem lehet végérvényesen eldönteni. Ennek oka az, hogy a felszíni kutatási módszerekkel csak az ún. primer viszonyokat lehet megismerni. Ezeket azonban a feltáró- és tárolóüregek kialakítása jelentősen megváltoztatja. Így tehát olyan telephelyek esetében, ahol korábban más célból nem létesült föld alatti feltárás, e konfliktus feloldása a törvény módosítása nélkül meglehetősen nehéznek látszik. Egy ilyen helyzet adott esetben akár teljes mértékben ellehetlenítheti a föld alatti kutatásokat, illetve teljesen megalapozatlan, idő előtti alkalmassági döntést erőszakolhat ki.

Igen kedvező körülmény viszont, hogy az 1999-ben lezárt kutatási fázis eredményei alapján Magyarországon jelenleg a BAF az egyetlen olyan formáció, ahol ez a probléma nem merül fel élesen. A telephely-minősítő kutatás különböző fázisai és a létesítés közötti határvonal nem egyértelmű definíciója azonban egyéb gyakorlati engedélyeztetési problémákat is eredményezhet (pl. a környezetvédelmi engedély megszerzésének bizonytalanságai). Ez a probléma a BAF esetében is fennállhat.

21.4.2. A 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet

A már eddig is többször említett „Földtani és bányászati követelmények a nukleáris létesítmények és a radioaktív hulladék elhelyezésére szolgáló létesítmények telepítéséhez és tervezéséhez” című, 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendeletet egyértelműen a leginkább figyelembe veendő jogszabálynak tekinthetjük, mivel:

- az a telephely kiválasztási, minősítési, illetve létesítési fázisaira, valamint ellenőrzésére vonatkozóan is tartalmaz előírásokat;
- annak egyaránt feladata a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének, valamint nukleáris létesítmények telepítésének szabályozása is.

Az IKIM rendeletről összefoglalóan megállapítható, hogy egyes részkövetelményeit tekintve általában összhangban van a nemzetközi szabályozási rendszerrel. Magyarországon talán ez az első olyan jogszabály-alkotási próbálkozás, amely szakmai indokok alapján elkülönülten kezeli a nukleáris létesítmények, valamint a különböző besorolású (kis és közepes aktivitású/nagy aktivitású) radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló, illetve a különböző telepítési technológiával létesített objektumok (felszíni/mélyégi típusú) földtani és bányászati követelményrendszerét. Nagy előrelépésnek tekinthető ez például a korábbi, generalizáló szemléletet tükröző, az egykori Központi Földtani Hivatal (KFH) által a 90-es évek elején kiadott, de hatályba soha nem is lépett rendelet-tervezetéhez képest. A rendelet komoly érdeme, hogy a téma korábbi, szinte teljes szabályozatlanságát megtörve, megfelelő jogszabályi alapot teremtett az egyes, hatályba lépése után indított hazai kutatási programok lefolytatásához, illetve megalapozta azok eljárásjogi hátterét is.

Részben a nemzetközi szabályozásnak a rendelet hatályba lépése óta eltelt időszakban megszületett új elemei, részben pedig a folyamatban lévő és tervezett kutatási programok kapcsán kialakuló gyakorlati problémák azonban világossá tették, hogy elengedhetetlenül szükséges lenne a jogszabály felülvizsgálata, további korszerűsítése. Ez tükröződik több, a témában illetékes hazai szervezet hivatalos állásfoglalásaiban is.

Miután azonban a hazai jogszabályi környezet a kutatási program végrehajtásának időszakában minden bizonnyal – várhatóan a nemzetközi szabályozás elemeinek mind teljesebb figyelembe vétele irányában – változni fog, az átmenet problémáinak enyhítése érdekében célszerű néhány pontban feltárni a jelentősebb eltéréseket, illetve meghatározni kezelésük lehetséges módjait.

21.4.3. A 213/1997. (XII.1.) Korm. rendelet

Egy további, a potenciális célterület lehatárolását, kijelölését célzó fázis tervezése során figyelembe veendő előírást a „Nukleáris létesítmény és a radioaktív hulladék tároló biztonsági övezetéről” rendelkező 213/1997. (XII.1.) Korm. rendeletben (a továbbiakban Kormány rendelet) is találunk:

3. § (3) A biztonsági övezet maximális méretei a legkülső technológiai védelmet jelentő fal síkjától számítottan:

c) Felszíni és felszín alatti radioaktív hulladék tároló esetében a felszínen ötszáz méter, a létesítmény felett kettőezer-háromszáz méter.

(4) A biztonsági övezet minimuma a (3) bekezdésben írt mérethatárokon belül az a terület, amelynek határán a folyamatosan ott tartózkodó személyt a létesítmény szabályszerű működése során a környezetbe kibocsátott vagy kikerülő radioaktív anyagok sugárzása révén még a legkedvezőtlenebb körülmények között sem érheti nagyobb sugárterhelés 100 $\mu\text{Sv}/\text{év}$ -nél.

21.4.4. A 47/2003. (VIII. 8.) ESzCsM rendelet

Az Atomtörvény végrehajtására kidolgozott jogszabályok sorában lépett hatályba az Egészségügyi, Szociális- és Családügyi Minisztérium (EszCsM) rendelete („a radioaktív hulladékok átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének egyes kérdéseiről, valamint az ipari tevékenységek során bedúsuló, a természetben előforduló anyagok sugáregészségügyi kérdéseiről.”).

Az új rendelet többek között meghatározza a végleges elhelyező objektum létesítési és üzemeltetési engedélyeztetésének módját és rendjét. Ezek szerint ezekben a kérdésekben első fokú engedélyező hatóságként az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat Országos Tisztifőorvosi Hivatala (ÁNTSz OTH), illetve területileg illetékes Sugárvédelmi Decentruma (SD) működik.

A hulladéktároló életciklusát telepítési, létesítési, üzemeltetési (esetleg átalakítás, lezárási és intézményes ellenőrzési fázisokra tagolja, és az egyes fázisokra vonatkoztatva eltérő, pontosított engedélyeztetési szabályokat állapít meg. Különösen fontosnak tekinthető, hogy a rendelet 4. és 5. sz. mellékletei rögzítik a végleges elhelyezés, az ahhoz szükséges biztonsági értékelés általános követelményeit, illetve a 6. melléklet megadja a végleges hulladéktároló telepítésének és tervezésének szempontjait is. Ezeket a szempontokat minden kutatási program tervezése és kivitelezése során maradéktalanul figyelembe kell venni.

Külön ki kell emelni, hogy az ESzCsM rendelet hatályba lépésével a hazai szabályozási rendszer számos tekintetben első ízben követi az IAEA-előírásokat (illetve a külföldi gyakorlatot). Ilyen változások például a következők:

- a rendszerszemléletű megközelítés bevezetése (ld. a 2.§ i. pontjában közölt definíciót, valamint a 4. sz. melléklet 5 -7. pontjait),
- az elhelyezés engedélyezési folyamatába szervesen integrálódó biztonsági elemzés követelményeinek meghatározása (a teljes 5. sz. melléklet),
- a normál kibocsátási scenáriókra vonatkozó felső dózisegységnérték korlát, valamint a roncsolódásos scenáriókra vonatkozó felső kockázati korlát különválasztása és a határértékek meghatározása. (A 4. sz. melléklet 10 -11. pontjai szerint a felső effektív dóziskorlát 100 μ Sv, míg a felső kockázati korlát 10^{-5} eset/év.)

Az ESzCsM rendelet és az IKIM rendelet összevetése alapján azonban több probléma is említhető. Ezek közül a legfontosabbak:

- Az Atomtörvény felhatalmazásai alapján a két rendelet szerint – elsősorban a telepítés időszakában – párhuzamos, egymással részben átfedésben lévő engedélyeztetési eljárások folytatódnak le.
- A két, számos ponton összefüggő rendelet szemlélete és tételes előírásai között sok tekintetben ellentmondások, illetve kisebb-nagyobb eltérések fedezhetők fel. A már említettek mellett egy további konkrét példa: Míg az IKIM rendelet 12 §-a szerint a földtani környezetnek önmagában biztosítania kell a sugárvédelmi követelmények teljesülését, az ESzCsM rendelet megengedhetőnek tartja a műszaki-építészeti intézkedésekkel történő „feljavítást” (6. sz. melléklet d. pontjában). Amint láttuk, az IAEA-előírások és – a nemzetközi gyakorlat is – általában ez utóbbi felfogáshoz áll közelebb.

Az említett problémákkal együtt is kijelenthető azonban, hogy az ESzCsM rendelet igen sok redundáns, illetve egymásnak ellentmondó előírást szüntetett meg az Atomtörvény végrehajtási rendeleteiben, így módon lényegesen egyszerűbb és korszerűbb sugáregészségügyi engedélyezési környezetet teremtve.

22. A nukleáris létesítményekhez kapcsolódó radioaktív hulladékok geológiai elhelyezésének műszaki alapjai (Dr. Szűcs István)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

A radioaktív hulladékok geológiai tárolókban történő elhelyezésére vonatkozó ismereteket és tudományos megértésük jelenlegi helyzetét elemezve a már említett Technical Reports Series No. 413. jelű dokumentuma [IAEA 2003] (Scientific and Technical Basis for Geological Disposal of Radioactive Wastes) az alábbiakkal foglalkozik:

- a) *A geológiai tároló koncepciójával* és azokkal a különböző funkciókkal, melyeket egy tárolónak élettartama során várhatóan el kell látnia.
- b) *A radionuklidok tárolása szempontjából fontos folyamatokkal*, valamint egyéb olyan folyamatokkal, amelyek hatással lehetnek a különböző gátak hosszú távú integritására. Taglalja egyes lényeges kérdések hely- vagy koncepció-függő szempontjait is, és kijelöli azokat a területeket, amelyeken valószínűleg még további munkára lesz szükség az egyes geológiai tároló programoknál.
- c) *A biztonsági rendszer központi szerepével*, részletezve a biztonsági/működési értékelés alkalmazását a tároló létesítésének döntéshozatali folyamata során.
- d) *Az ésszerű biztonság érdekében megszerzendő tudományos és műszaki ismeretekel*, amelyek a javasolt helyszínnel vagy egy adott elhelyezési koncepcióval állnak kapcsolatban.

22.1. A geológiai tároló koncepciója

A radioaktív hulladékok mélyen fekvő, stabil földtani környezetben történő elhelyezésének célja a megfelelő szigetelés biztosítása, mind az emberi tevékenységgel, mind pedig a dinamikus természeti folyamatokkal szemben, hogy a radionuklidok kibocsátása a végső esetben is csak olyan alacsony koncentrációjú legyen, hogy az nem jelent veszélyt az emberi egészségre és a természeti környezetre.

Egy geológiai tárolórendszert a kondicionált és becsomagolt szilárd hulladékok, valamint más műszaki gátak kombinációjaként lehet definiálni egy kiképzett üregben vagy kifűrt tárolóban, amely néhány száz méter mélyen, stabil földtani környezetben található. Azt a földtani képződményt, melybe a hulladék elhelyezésre kerül, „befogadó kőzetnek” nevezzük és általában ez a legfontosabb izolációs gát. A különböző gátak együtt hatnak, kezdetben tárolják a radionuklidokat, lehetővé téve bomlásukat, majd később korlátozzák kibocsátásukat az elérhető környezetbe. A műszaki és földtani gátak kombinációját általában „többszörös” rendszerként ismerik [2]. Nyilvánvaló, hogy a többszörös rendszerek csak a tároló lezárása után érik el teljes hatékonyságukat. A lezárást úgy definiálják, mint olyan műveletek sorozatát, melyek a tároló valamennyi megtervezett gátjának beiktatásához valamint ahhoz szükségesek, hogy feltöltsék a föld alatti térségeket és lezárjanak minden kapcsolatot az elhelyezésre szolgáló zóna és a felszín vagy a környező képződmények között.

A geológiai elhelyezés alapelve, hogy a természetes és műszaki gátak kombinációjának a rövid élettartamú, magas aktivitású radionuklidokat teljesen vissza kell tartania, vagyis addig, míg radioaktivitásuk jelentéktelen szintre süllyed. E periódus általában néhány száz évtől néhány ezer évig tart. Mindazonáltal széles körű egyetértés van abban a tekintetben, hogy a tároló-koncepciók nagy részénél nem lehet bízni abban, hogy a hulladékban lévő, valamennyi hosszú élettartamú radionuklidot teljesen visszatartja. A NAÜ Radioaktív Hulladékkezelési Értelmező Szótára úgy definiálja a hosszú élettartamú radioaktív hulladékokat, mint olyanokat, melyek

jelentős mennyiségben tartalmaznak harminc évnél nagyobb felezési idejű radionuklidokat [3], de rendszerint ennél sokkal hosszabb felezési idejű radionuklidokat tartalmaznak. Az ilyen radionuklidok teljes visszatartása érdekében a tárolórendszernek kivételesen hosszú ideig kellene működnie, és ezt nehéz demonstrálni sok elhelyezési rendszer esetében.

Következésképp egy geológiai elhelyezési rendszernek a lezárás után, a későbbiek során különböző időben különböző funkciókat kell ellátnia:

- *Szigetelés a felszínközeli folyamatoktól:* mivel a hulladékokat távol tartja a felszínközeli környezettől, ezért azok védve lesznek az ott lezajló aktív folyamatoktól.
- *A bioszféra védelme:* a bioszféra védve lesz a hulladékok radioaktivitásától, melynek csúcsa a lerakást követő első néhány száz évre esik.
- *Elzárás az emberi tevékenység elől:* a hulladékok mélységi elhelyezése miatt kevésbé valószínű, hogy a jövőbeli emberi tevékenységek radioaktivitásnak való kitettséget eredményeznek, akár közvetlen (a hulladékok felszínre hozatala), akár közvetett (a hulladék komponenseinek különböző mobilizációja) módon.
- *Korai visszatartás:* a rövid életű radionuklidok lényegében teljes visszatartása néhány száz vagy ezer évre, valószínűleg nagyrészt még a tároló műszaki gátjain belül.
- *A kibocsátások korlátozása:* késlelteti és korlátozza azt a sebességet és koncentrációt, amely mellett a radionuklidok kiszabadulnak a fokozatosan tönkremenő műszaki gátrendszeren keresztül a földtani környezetbe, majd végül transzportálódnak a bioszférába. Ez fizikai és kémiai mechanizmusok kombinálásával érhető el, melyek – más funkciók mellett – korlátozhatják a felszín alatti vizek hozzáférését a hulladékokhoz és áramlását a tárolótól a bioszféra felé, továbbá korlátozhatják a radionuklidok oldhatóságát, reverzibilisen vagy folyamatosan szorbeálhatják vagy kicsaphatják őket a kőzetek és a műszaki gátak felszínén. Ezen túlmenően, a radioaktív bomlási folyamat fokozatosan csökkenti a tárolórendszerben lévő radionuklidok mennyiségét.
- *Szétszórás és hígítás:* a hosszú élettartamú radionuklidok áramlása a földtani gát kőzetein keresztül három dimenziós szóródást jelent, mely erősen eltérő hidrogeológiai környezetekben játszódhat le. Egyes koncepciók és egyes javasolt tárolóhelyek esetében a kibocsátások nagy mélységben vagy a felszínközeli találkoznak nagy tömegű felszín alatti vizekkel, vagy hasonlóan nagy méretű felszíni víztestekkel. Ez egy további funkciót teljesít, azaz a kibocsátott radionuklidok általános hígítását úgy, hogy a bioszférába történő belépéskor a koncentrációjuk alacsonyabb lesz.

Egy javasolt lerakórendszer átfogó biztonsága és elfogadhatósága e funkciók egyensúlyaként érhető el, amely más és más minden egyes helyszín és koncepció esetében. E funkciók egyensúlyát gyakran „biztonsági koncepciónak” hívják.

Maguk a funkciók a megfelelő földtani környezet kiválasztásával érhetőek el, melyekhez illeszkednie kell a tároló tervének és a műszaki gátak koncepcióinak, melyek kiaknázzák a környezet fő jellemvonásaiból származó előnyöket. Rendes körülmények között a mélységi elhelyezésre alkalmas környezet az alábbi tulajdonságokat mutatja:

- *Hosszú távú (több millió éves) földtani stabilitás,* a kéregmozgások és deformációk, vetődések, szeizmicitás és hőáramlás tekintetében.
- *Alacsony víztartalom és -áramlás* a tároló mélységének szintjében, melynek állandónak kell lennie legalább több tízezer éven keresztül.
- *Stabil geokémiai és hidrokémiai viszonyok* a mélységben, mely elsősorban redukáló környezetet jelent és olyan összetételt, melyet a víz és a kőzetalkotó ásványok közti egyensúly szabályoz.

- *Jó műszaki tulajdonságok*, amelyek lehetővé teszik a tároló könnyű megépítését és üzemeltetését évtizedekben mérhető időtartamra.

A jól megválasztott földtani környezet mintegy gubóként fog viselkedni a műszaki gátak körül, védve azokat a fizikai erők, vízáramlás és hidrokémiai hatások erős ingadozásaitól. E tulajdonságok nagyobb ingadozásai rendszerint a litoszféra olyan dinamikus övezeteinek viszonyaiból származnak, mint a tektonikusan aktív régiók, kisebb mélységben található kőzetek és felszín alatti vízrendszerek, melyeket könnyen és gyorsan érintenek az elkerülhetetlen éghajlati változások és a területfelhasználás megjósolhatatlan változásai. A mélyebben fekvő kőzetek rendszerint védve vannak ez utóbbi hatásoktól; a mélység növelése pufferként hat és időben kisimítja a felszínközeli zavarok hullámzásait. Ez a földtani gátnak egy különösen fontos funkciója, minthogy a „határviszonyok” hosszú távú stabilitása lehetővé teszi, hogy a tárolórendszer egyetlen olyan része, mely ténylegesen tervezhető és optimalizálható (vagyis a műszaki gátrendszer) megjósolható módon működjön hosszú időn keresztül.

A világon sokféle található olyan földtani környezet, mely alkalmas a hosszú élettartamú radioaktív hulladékok elhelyezésére. Ezek jellemzői igen változatosak lehetnek, és így a fent említett, szükséges tulajdonságokat különböző kombinációkban és különböző mértékben tudják biztosítani. Az alkalmas környezet rendszerint az alábbiak egyike:

Különösen alacsony áteresztőképességű kőzetek, melyekben az advektív felszín alatti vízáramlás lényegében kizárt. Ilyenek a tömeges sóüledékek, mint a sódómok és nagy rétegzett sóösszletek, valamint egyes plasztikus agyag és agyagkő képződmények. Az ilyen befogadó kőzetekben, fenntartva az adott geológiai stabilitást nincs olyan természetes folyamat, mely a radionuklid-kibocsátást a víz útján eljuttatná a környező földtani képződményekbe, kivéve a rendkívül lassú diffúziót a pórusvízben és a kristálylapok mentén, hacsak magának a tárolónak a jelenléte hátrányosan nem érinti a befogadó kőzet stabilitását. Mindazonáltal – minthogy fennáll ez a lehetőség – az ilyen befogadó kőzetek, mint potenciális tárolóhelyek értékelésének ki kell terjednie a környező tágabb földtani környezetre is, melyben advektív áramlás előfordulhat (pl. fedő és/vagy szomszédos víztartó képződmények).

Mélységi vízrendszerek, melyek tartósan és különösen alacsony természetes advektív áramlást mutattak évszázadokon vagy évezredekken keresztül vagy még tovább. Az ilyen rendszerekben a víz általában sós, és valószínűleg egyenletesen az, a felszín alatti vízrendszer nagyrészt stagnáló természete miatt, elválasztva a jelentősebb édesvíz-utánpótlástól. A víz kémiaiilag redukív is lehet, mely a minimumra csökkenti a transzport lehetőségét sok radionuklid esetében.

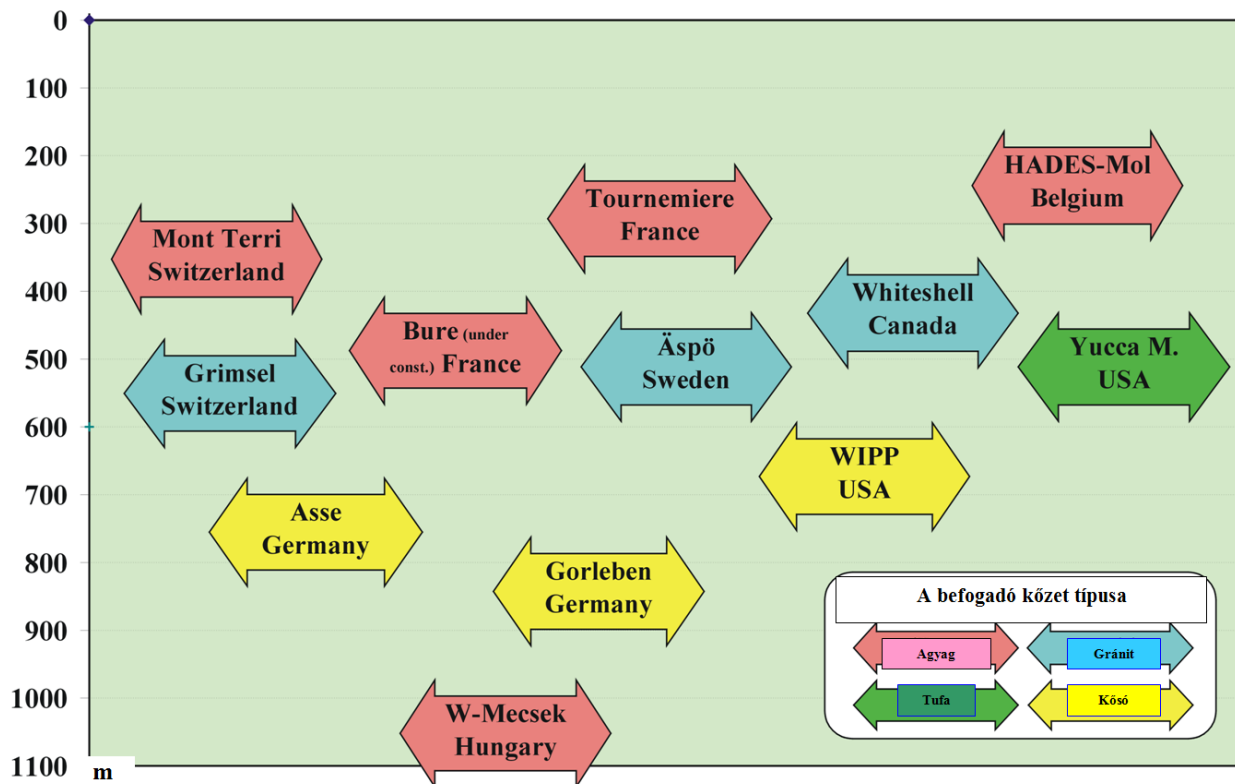
Felszín alatti vízrendszerek, melyekben a kismértékű áramlás hosszú, a lerakó övezettől a potenciálisan elérhető felszín alatti vízrendszerig vagy a bioszféráig tartó szállítási útvonalakkal kombinálódik. Az ilyen környezetet vastag (több száz méteres), stabil telítetlen zónák (a vízszint feletti övezet) és lassú, nagy távolságú, a mélységi víztestben lévő migrációs útvonalak jellemzik. Ilyenek egyes tengerparti régiók telített kőzeteiben és tömeges üledékes medencékben is előfordulhatnak, ahol a beszivárgó talajvíz lassan mozog a nagyobb mélységek felé míg végül elvezetődik, esetleg a felszínközeli vizekkel való jelentős keveredés és hígulás után.

Az ilyen környezetekben, ha a tároló megépítése mind gyakorlatilag, mind pedig gazdaságilag kivitelezhető, és ha meg tudnak felelni a biztonsági előírásoknak, akkor a befogadó kőzet pontos jellemzői nem jelentenek befolyásoló tényezőt a helyszín kiválasztásában. Számos országban az utóbbi húsz vagy harminc évben szerzett tapasztalatok [4] azt mutatják, hogy elfogadható körülményeket lehet találni olyan változatos kőzettípusoknál mint a gránitok, metamorf alaphegységi kőzetek, plasztikus agyagok, erősebben megszilárdult agyagkövek, réteges evaporitok, sódómok, porózus vulkáni tufák, erősen tömörödött vulkáni tufák és különféle, erősen diagenizálódott üledékes vagy vulkanoszediment képződmények. sok éven

keresztül elterjedt gyakorlat volt, hogy ezeket meglehetősen pontatlanul „kristályos kőzetek”, „agyagos kőzetek”, „kősók” és „vulkáni kőzetek” nevű csoportokba osztották. Bár ezt az idejétmúlt kategorizálás igen elterjedten használatos (minthogy kényelmes mód a kőzettulajdonságok általános csoportjainak leírására, ha a közeli és távoli folyamatokat írjuk le), hangsúlyozzuk, hogy megfelelő lerakókönyezet számos kőzetváltozatban előfordulhat. A világszerte vizsgált földtani környezetek helyeit, a döntési folyamat állapotát, valamint a befogadó kőzettípusokat foglalja össze a **69. táblázat** kükön a rövid élettartamú kis és közepes aktivitású-, és a nagyaktivitású radioaktív hulladéklerakókra. Az utóbbiak kialakítását megelőzően tervezett és létesítés alatt álló földalatti laborok (URL) mélységeiről és befogadó kőzettípusairól a 181. ábra: A szilárd radioaktív hulladékok geológiai elhelyezésének kutatására világszerte létesült földalatti kutató laboratóriumok (URL) a helyek, a befogadó kőzettípusok és a felszín alatti mélységek feltüntetésével. **181. ábra** ad tájékoztatást [5] alapján. (Megjegyzendő, hogy a hazai potenciális befogadó kőzet, a Bodai Aleurolit Formáció (BAF) un. α -vágatból történő felszín alatti vizsgálatai a mecseki uránbányászathoz kapcsolódóan, annak igen értékes „melléktermékeként” kezdődtek, és befejezésüket is a bányabezárások kényszerpályája határozta meg.)

69. táblázat: A szilárd radioaktív hulladékok geológiai elhelyezésének potenciális helyei és befogadó kőzettípusai

Ország	Rövid élettartamú kis és közepes aktivitású hulladéklerakók (vagy más megoldások)	Nagyaktivitású hulladéklerakókkal kapcsolatos döntések (tervezett helyszín, üzembe helyezés tervezett időpontja)	Preferált kőzet
Belgium	Dessel (engedélyezés alatt)	Nincs döntés (centralizált átmeneti tároló Mol/Desselben)	Agyag
Csehország	Richárd II, Bratrstvi, Dukovany (működők)	Kutatások	
Egyesült Királyság	Drigg (működő)	Döntés mélylerakó létrehozásáról (2040 után)	
Finnország	Loviisa, Olkiluoto (működők)	Döntés mélylerakó létrehozásáról (Olkiluoto) (2020)	Gránit
Franciaország	Centre de l'Aube (működő), Centre de la Manche (bezárt)	Döntés mélylerakó létrehozásáról (Meuse/Haute-Marne-régió) (2025)	Agyag
Hollandia	Borssele (hosszú távú centralizált tároló)	Hosszú távú centralizált tároló Borssele-ben	
Japán	Rokkasho (működő)	Kutatások (Horonobe, Mizunami)	Gránit/agyag
Kanada	Kinkardine (engedélyezés alatt), Port Hope-régió (engedélyezés alatt)	Döntés adaptív fázisonkénti menedzsmentről (2035 után)	Gránit
(Dél-) Korea	Wolsong (engedélyezés alatt)	Kutatások	
Magyarország	Püspökszilágy (működő), Bataapáti (létesítés alatt)	Kutatások (Bodai Aleurolit Formáció; átmeneti tároló Pakson)	Aleurolit
Németország	Konrad (építés alatt), Morsleben (bezárt)	Döntés mélylerakó létrehozásáról (2035)	Kósó
Spanyolország	El Cabril (működő)	Döntés hosszú távú centralizált tárolásról	
Svédország	Forsmark (működő)	Döntés mélylerakó létrehozásáról (Oskarshamn vagy Oshammar) (centralizált átmeneti tároló Oskarshammban)	Gránit
Szlovákia	Mohovce (működő)	Kutatások	
USA	Barnwell, Richland (működők), Beatty (bezárt)	Döntés mélylerakó létrehozásáról (Yucca Mountain) (2017)	Vulkáni tufa



181. ábra: A szilárd radioaktív hulladékok geológiai elhelyezésének kutatására világszerte létesült földalatti kutató laboratóriumok (URL) a helyek, a befogadó kőzettípusok és a felszín alatti mélységek feltüntetésével.

22.2. A közvetlen környezet (near field) elemei és folyamatai

A közvetlen környezetben belül a műszaki gátrendszerek azért készülnek, hogy a radionuklidokat teljes mértékben a hulladékban tartásuk egy bizonyos időtartamra, majd később szabályozzák azt az ütemet, mellyel a radionuklidok mobilizálódnak és kibocsátódnak a környező kőzetbe. A radioaktivitás gyors csökkenésének időszaka a hulladék típusától és ezzel összefüggésben a tárolt radionuklidoktól függ. Mindazonáltal a hosszú élettartamú hulladékok legtöbb csoportja esetén a néhány évszázados teljes mértékű tárolási idő alatt már jelentős mértékben csökken az aktivitás. Ezen az időn túl – hacsak nem lehet a hulladékokat évszázadokig vagy évezredekig tárolni – a radioaktív bomlás görbéjének lefutása azt mutatja, hogy már csak kevés előnnyel jár, ha megkíséreljük elérni a hosszabb teljes tárolási időt a közvetlen környezet műszaki gátjain belül, melyek, amint azt általánosan elismerik, előbb-utóbb úgyis tönkremennek. Sok egyéb olyan radionuklid felezési ideje, melyek viszonylag mozgékonyak a felszín alatti vizekben, annyira hosszú, hogy lehetetlen őket a műszaki gátrendszeren belül tartani; ezért ezek várhatóan szétszóródnak a környezetben, nagyon kicsiny koncentrációban, valamikor a távoli jövőben. Így hosszú távon a műszaki gátrendszer feladata az lesz, hogy késleltesse és szétszórja a mobil radionuklidokat, ha egyszer a tartály már tönkrement. Mindemellett sok hosszú életű radionuklid nem mozgékony, még a műszaki gátak tönkremenetele után sem, és várhatóan a közvetlen környezetben maradnak elegendő hosszú ideig ahhoz, hogy lehetővé váljon jelentős vagy akár teljes lebomlásuk.

E fejezet ismerteti azokat az anyagokat, melyek egy hosszú élettartamú hulladékok számára létesített geológiai tároló közvetlen környezetében megtalálhatók, azt a folyamatot, ahogy ezek kölcsönhatásba lépnek a környező kőzettel és a felszín alatti vízrendszerrel, illetve hosszú idők során lezajló átalakulásukat. Tárgyaljuk azokat a mechanizmusokat, melyek a műszaki gátak tönkremenetelet okozzák, beleértve a kondicionált hulladékokat, a radionuklidok mobilizálódását a közvetlen környezetben belül, valamint szállítódásukat a puffer- és

tömedékanyagokon keresztül a környező kőzetig. A földtani környezet fizikai és kémiai tulajdonságai egyértelműen fontos szerepet játszanak e folyamatok irányításában. Különösen az a mód, ahogy a közvetlen környezet átalakul a lezárás előtt és után, határozza meg a műszaki gátrendszer működésének módját [76-79].

Egy geológiai tároló várhatóan sok éven át nyitva marad az elhelyezési műveletek időtartama miatt, illetve egyes esetekben még egy meghatározatlan ideig a hulladékelhelyezés befejezését követően is. A nemzeti programokban megkövetelhetik, hogy a hulladékok eltávolíthatók maradjanak, egyben valószínűleg könnyen hozzáférhetők is míg a döntéshozók nyugodtan határozhatnak a lezárásról. Alternatív eltávolíthatósági lehetőségként számba jöhet a tároló üregeinek részleges vagy teljes lezárása úgy, hogy a műszaki gátakat visszafordítható módon helyezik el. Az elhelyezési koncepciótól és a lezárási stratégiától függően, egyes időszakokban a tárolót építeni és tömedékelni is lehet, míg máskor a tömedékelést csak a végleges lezáráskor lehet végrehajtani. Így egy feltehetően több évtizedes időszakon keresztül megkövetelhető, hogy a tároló stabil maradjon és lehetőség legyen a fenntartásra és monitoringra. Ennek előfeltétele, hogy a tárolóüregeket stabil kőzetblokkokban alakítsák ki és hogy bármilyen szükséges biztosítórendszert a szükséges időtartamra tervezzenek (jöllehet van lehetőség a helyreállító karbantartásra).

Sok olyan földtani környezetben, ahol jelentős a felszín alatti vízmozgás, a tárolót szellőztetni és szivattyúzni kell, hogy szárazon tartsák egészen a lezárás időpontjáig, habár egyes, teljesen tömedékelt részein megindulhat a visszatöltődés, ahogy a hidraulikai gradiensek elkezdnek visszaállni és a felszín alatti víz megindul olyan területek felé, melyeket korábban lecsapoltak. Az elhelyezési koncepciótól függően a műszaki gátrendszer egyéb részei még nem érik el végleges kiépítettségüket vagy tulajdonságaikat hosszú időn keresztül. Példának okáért, a közepes aktivitású hulladékkal kitöltött kamrákat nem kell tömedékelni egészen a lezárásig, míg egyes koncepciók azt irányozzák elő, hogy az ilyen, nagy térfogatú térségeket sohasem kell teljesen tömedékelni.

Minden földtani környezettípus esetén, a nyitott időszakban a nyílt kőzetfelszínek kölcsönhatásba lépnek a létesítményeken átáramló, szellőztető levegővel. A kőzet kiszáradhat vagy oxidálódhat, és üledékekben egyes nem burkolt falú üregek megrepedhetnek és biztosítást igényelnek. Ha a szellőztető levegő a tároló melegebb részeitől a hidegebbek felé áramlik, a nedvesség vízként csapódik ki. Azokon a helyeken, ahol tápanyagokat szállító víz áramlik az üregekbe, mikroszkopikus élőlények kezdenek tevékenykedni és tenyészni. Az acél biztosítórendszerek korrodálódnak és karbantartást igényelnek, míg a cementfelületek részben karbonáttá alakulnak a légköri szén-dioxiddal való kölcsönhatás miatt. Mindezeket a folyamatokat monitorozni kell és hatásaikat figyelembe kell venni a teljes, lezárás előtti szakaszban.

A vízszint alatt található tároló lezárását követően a felszín alatti vízrendszer fokozatosan visszaáll és az egész rendszer újra telítődik. Minden, a csapdába esett levegőben maradt oxigén reakcióba lép a kőzettel és a műszaki gátak anyagaival, és az egész rendszer kémiailag redukálónak válik. A mikroorganizmusok fontos szerepet játszhatnak a csapdába esett oxigén elfogyasztásában. A kőzetfeszültségek újra egyensúlyba jutnak és a litosztatikus nyomás áttevéődik a műszaki gátrendszer elemeire, különösen a gyengébb befogadó kőzetekben, ahol omlás tapasztalható. Mindazonáltal a lerakók többségénél a közvetlen környezet viselkedésének fő meghatározója a műszaki gátakat közvetlenül körülvevő kőzetben lévő víz mennyisége, mozgása és összetétele lesz.

22.2.1. Tartályanyagok

Az elhelyezési koncepciótól függően, a kiégett fűtőelemeket és a nagyaktivitású hulladékot először általában fém (rendszerint vas vagy acél) tartályba, majd egy külső csomagolásba vagy dobozba teszik [6, 7, 8, 9]. Rendes körülmények között csak a külső csomagolásnak van visszatartó funkciója a tárolóban történő elhelyezést követően. A belső vagy elsődleges tartály (pl. acéltartály, melybe a megolvadt üveget öntik) egyik szerepe, hogy elősegítse a kezelést azáltal, hogy biztosítja a szükséges mechanikai szilárdságot. Kiégett fűtőelemek esetében a rudakat egyenként kell hüvelyekbe rakni egy összetett anyagú tárolóedényben (vagyis belső tartály nélküliben).

A külső csomagolást arra tervezik, hogy hozzájáruljon a műszaki gátrendszer visszatartó képességéhez. Két koncepcionális megközelítési mód létezik:

- *A korróziót megengedő* könnyen korrodálódó anyagok használatát jelenti (pl. lágyacél vagy öntöttvas) kellő vastagságban, hogy késleltessék a tartály tönkremenetelét néhány ezer évig, vagyis addig, míg a rövid élettartamú hasadási termékek a hulladékban elbomlanak. Itt a korróziós termékeknek lehet bizonyos kémiai gát szerepük (l. később).
- *A korróziót akadályozó* anyagok esetén korrózió ellenálló anyagokat használnak (pl. réz és titán ötvözeteket), melynek célja, hogy a víz hozzáférést sokkal hosszabb időre megakadályozzák (egészen 100000 évig), feltehetően egészen addig, míg a legmobilabb radionuklidok elbomlanak és a hulladék veszélyessége a természetes uránércéhez hasonló szintre csökken.

A geológiai elhelyezésre szánt tartályok általában lágy vagy rozsdamentes acélból, vagy betonból készülnek. A rozsdamentes acélt arra használják, hogy biztosítsák a hosszú távú stabilitást a tárolás során, megelőzve ezáltal az esetleges újracsomagolást a szállításhoz és lerakáshoz. A többszörös koncepciónál az ilyen hulladékok számára készült tartályoknak általában nincs akadályozó funkciójuk, még ha képesek is távol tartani a vizet a hulladékoktól sok száz évig. Egyes közepes aktivitású hulladékokhoz készült tartályokban gázszellőztetők is lehetnek, hogy elehetővé tegyék a korrózió vagy a lassú lebomlás során képződő gázok eltávolítását anélkül, hogy a túlnyomás gondokat okozna.

A 70. táblázat röviden összefoglalja néhány tartályanyag előnyös és hátrányos tulajdonságát.

22.2.2. Tömedékanyagok

A tárolók tömedékelése szakaszosan történhet, egy időben elhúzódó folyamatként. A tároló különböző részein más és más anyagokat lehet használni, melyek különböző funkciókat látnak el, például lehetnek a műszaki gátrendszer gondosan megtervezett elemei közvetlenül a hulladékcsomagok körül, vagy egyszerűen csak tömeges kitöltés a hézagokban a tároló kevésbé kritikus részein [10]. A tömedékek természetes, átdolgozott anyagok (például agyag, beleértve a speciálisan előkészített bentonitot, melyet rendszerint máshonnan kell szállítani a tárolóhelyre) és összetört befogadó kőzetek lehetnek, mely utóbbiakat az üregképzés során nyernek (kőso, gránit, stb.) és elkülönítve vagy keverten használnak fel. Tömedékanyagként az összetört kőzet változatos keverékei jöhetnek szóba. Céljuk a tárolóban uralkodó fizikokémiai viszonyok (a kémiai összetétel, hővezető képesség és hidraulikai vezetőképesség) beállítása vagy szabályozása. A közepes aktivitású hulladékokat tartalmazó tárolók részeinek feltöltésére cementet és betont is lehet használni.

A vízzel telített kemény kőzetekben, kiégett fűtőelemek és nagyaktivitású hulladékok esetén a műszaki gátak erősen tömörített bentonitot tartalmazhatnak, mely pufferanyagként viselkedik a hulladéktartályok körül, akár vágatokban, akár pedig az elhelyezővágatok talpán mélyített

üregekben. Ezt az anyagot gondosan kell előállítani, szigorú minőségbiztosítás alapján, minthogy ennek homogén és előre látható tulajdonságokkal kell rendelkeznie, hogy megfelelhessen az előírt funkcióknak, beleértve a hulladéktartály épségének megőrzését. Ilyen anyagokat a tömítettség megőrzésére is lehet használni a tároló kritikus területein. Az ilyen pufferanyagot meg kell különböztetni a vágatok, aknák és egyéb feltáró utak tömeges feltöltéséhez használt anyagoktól. Itt összetört kőzetet és homokot lehet használni, esetleg agyaggal keverve olyan helyeken, ahol különösen alacsony áteresztőképességre van szükség.

70. táblázat: Egyes tartályanyagok tulajdonágainak összehasonlítása

Anyag		Tulajdonság	
		Pozitív	Negatív
Acél	Szénacél	Korróziótűrő, lassú korrózió;	Mérhető, egyenletes korrózió; Korróziója során hidrogén keletkezhet;
	Rozsdamentes acél	Korróziótűrő, nagyon lassú korrózió;	A felületet védő oxidréteg sérülése után lokális korrózió;
Réz		Korrózióálló, lassú korrózió; Egyenletes korrózió mellett az egyetlen elképzelhető jelenség a pontkorrózió; Nincs hidrogéncépező reakciója	Mérhető, egyenletes korrózió; Korrózió oxidképzők jelenlétében tapasztalható;
Nikkel-bázisú ötvözetek		Korrózióálló anyag, nagyon lassú korróziós sebesség; Az egyenletes korróziós sebesség nagyon kicsi, a réz és titán ötvözetekével összehasonlítható; Nincsenek gyártási, vizsgálati és záróhegesztési nehézségek;	A felületet védő oxidréteg sérülése után lokális korrózió; Korrózió során hasad, a pontkorrózió is jellemző; A becsült költségek hasonlóak a réz és titán ötvözetekhez; Az ötvözetre jellemző korróziós folyamatok jó megértése és az anyagnak a tároló környezetben való viselkedése még nem tisztázott.
Titán ötvözetek		Korrózióálló anyag, nagyon lassú korróziós sebesség;	A felületet védő oxidréteg sérülése után lokális korrózió tapasztalható; Anyagtöréssel járó korrózió léphet fel, de ez oxigén hozzáadásával kontrolálható.
Kerámia		Kitűnő korrózióállóság;	Könnyen törik; A szerkezeti állékonyság további javításra szorul; A gyártási technológiák javításra szorulnak.

22.2.3. Építőanyagok

Nehéz elképzelni olyan geológiai tárolót, mely legalább bizonyos mennyiségű beton vagy más szokványos építőanyag felhasználása nélkül épülne. Azon túlmenően, hogy lehetővé tegyék a föld alatti építést, ezekre az anyagokra azért van szükség, hogy hosszú időre biztosítsák a megfelelő munkakörnyezetet. A betont az aknák és vágatok burkolására, vagy torkrétként a falakon és a főtéken lehet használni. A számottevő mélységi vízáramlással jellemezhető befogadó kőzetekben a repedések cement alapú péppel történő eltömésével korlátozni kell a víz belépését a nyitott föld alatti térségekbe, különösen a gyors beáramlások esetében, melyek gyakran a „csatornázódáshoz” kapcsolódnak. A cementre a közethorgonyok rögzítésénél is szükség van, hogy fokozzuk a tárolókamrák stabilitását.

A felhasznált építőanyagokat, a hulladékformákra vagy más műszaki gátakra, illetve a befogadó kőzet hosszú távú hulladékizolációs tulajdonságaira gyakorolt lehetséges hatásaikat a hosszú távú biztonság szempontjából kell értékelni. Különös figyelmet kell szentelni az olyan anyagoknak, például a beinjektált cementpépnek, melyeket lényegében már lehetetlen eltávolítani a tárolóból annak lezárása előtt.

22.2.4. A radionuklidok mobilizációja

A radionuklidok máris mobilizálhatóvá válnak, amint a hulladéktartályok megrepednek és a víz érintkezésbe kerül a hulladékkal. Az ehhez szükséges idő függ a tároló koncepciójától és a lezárást követő néhány évtizedtől (egyes egyszerű beton- vagy acéltartályban tartott, kis- és közepes aktivitású hulladékfajták esetében) évszázadokig vagy évezredekig terjedhet (a réztartályban lévő kiégett fűtőelemeknél). Amint azt korábban ismertettük, egyes radionuklidok már kiszökhetnek, amint a hulladék vízzel kerül érintkezésbe (pl. az ún. azonnal kibocsátott frakció a kiégett fűtőelem felszínén), de a radionuklidok nagy részének mobilizációja bármely hulladékanyag esetében attól függ, hogy a hulladék mátrixa milyen sebességgel oldódik a mélységi vízben. Ez viszont elsősorban a felszín alatti víz összetételétől és a radiolitikus folyamatok (nagyaktivitású hulladékok és kiégett fűtőelemek esetében) előfordulásától függ, melyek helyi oxidáló viszonyokat teremthetnek a hulladék felszínén. Sok hulladékforma esetében a felszín alatti víz már a telítettség közelében lehet egyes a mátrixban is jelenlévő elemekre nézve (pl. szilícium, alumínium és uránium a kőzet-víz egyensúlyi viszonyok eredményeként). Következésképpen az oldható hulladékanyag mennyisége mindig kicsi lesz, ha a felszín alatti vízben a viszonyok már természetes módon közel állnak a kémiai egyensúlyhoz. Ezen felül ha a folyamatokat a diffúzió irányítja, akkor az oldódás nagyon lassú lesz. A radionuklidok mobilizációját erősíthetik a mikroorganizmusok, melyeket a működési szakaszban juttatunk be az elhelyező rendszerbe. Értékelni kell a mikroorganizmusok tevékenységének a szigetelőgátak működésére és a radionuklidok migrációjára gyakorolt, potenciális hosszú távú hatásait. A vízszint alatti tárolók esetében az anaerob fajok lesznek a legfontosabbak, míg a vízzel telítetlen zónában az aerob fajok fognak dominálni a biológiai tevékenységen belül.

22.2.5. Gázképződés

A vas korróziója során képződő hidrogéngáz részben fel fog oldódni a környező műszaki gátak pórusvizében és kidiffundál a mobilis mélységi vízbe. Ha a kiáramlás üteme lassúbb, mint a gázképződésé, akkor a gáznyomás olyan értékre fog nőni, mely nagyobb, mint a környező kőzetben a víznyomás. Ahhoz, hogy a gáz egy bentonit pufferen át távozzon (ha van ilyen), a nyomásnak túl kell lépnie a kapillárisnyomást az anyag finom pórusaiban. A kapillárisnyomás, mely körülbelül azonos nagyságú, mint az agyag duzzadási nyomása, az agyag tömörítésének mértékétől függ és többször tíz bar nagyságú lehet. A gáz megtalálja útját az agyagon keresztül olyan mikroszkopikusan kicsiny kapillárisokban, melyek újra összezáródnak, amint a gáz távozott.

A gáz könnyen megszökik a repedezett beton vagy porózus cement tömedékelésen keresztül, de ha nincsenek repedések, akkor viszont a nyomásnövekedés közrejátszik a repedések kialakulásában.

Feltéve, hogy a gázképződés üteme megfelel a gázeltávozás ütemének, akkor a következmények a tároló közvetlen környezetének fizikai stabilitására nézve jelentéktelennek tekinthetők. Mindemellett helyspecifikus alapon értékelni kell a nagy mennyiségű hidrogéngáz felületekről való távozását, különösen, ha a távozás viszonylag rövid idő alatt zajlik le és csak a kőzet legfontosabb, kis számú vezető csatornája mentén összpontosul [11].

22.3. A távoli környezet (far field) gátjai és folyamatai

A földtani környezet három fő módon játszik szerepet az elhelyezés biztonságának növelésében:

- e) A hulladékokat fizikailag izolálja a felszínközeli környezettől és az ott előforduló, potenciálisan romboló folyamatoktól.
- f) Stabil geokémiai, hidrogeológiai és geomechanikai környezetet tart fenn, amely kedvező a műszaki gátrendszer megőrzése és működése szempontjából.
- g) Természetes gátként viselkedik, akadályozva a víz eljutását a hulladékokhoz és a mobilizálódott radionuklidok migrációját.

A három szerep viszonylagos fontossága nem egyforma az egyes elhelyezési koncepcióknál. Valójában jelentős különbségek lehetnek a befogadó kőzet természetének és a tároló terveinek függvényében. Így a kemény, kristályos kőzetekben létesített tárolónál valószínűleg az (a) és (b) lesznek a legfontosabbak, míg a kősóban vagy agyagos üledékekben található tárolónál várhatóan a (c) szerep dominál majd.

Ezeket túlmenően, a távoli környezet úgy viselkedik, mint egy stabil gubó, amely mind térben, mind időben elsimítja a felszínközeli folyamatok hatásait a mélység felé és könnyebbé teszi a hulladékok és a műszaki gátrendszer hosszú távú viselkedésének előrejelzését. Következésképp a távoli környezet úgy nyújt stabilitást a lerakórendszernek, hogy biztosítja, a lerakó övezetben a folyamatok rendkívül lassan zajlanak le, így a műszaki gátak fizikai és kémiai környezetének változásai kicsik lesznek évszázadok vagy évezredek hosszú során át.

Részletesebben kifejtve, a stabilitást az alábbi, szükséges jellemzők szempontjából lehet definiálni:

- Az olyan tektonikai és exogén folyamatok vagy események hiánya vagy nagyon csekély valószínűsége, amelyek számottevő változásokat okozhatnának a befogadó kőzetben évszázados vagy évezredes időtávlatban (pl. vetődés, vulkanizmus, kiemelkedés és erózió).
- A befogadó kőzet és a mélységi vízáramlás ne legyen érzékeny a jelentős éghajlati változásokra és a velük kapcsolatos eseményekre, mint például ha a helyszínt jégtakaró vagy víz fedi be, illetve örökfagy alakul ki.
- Geotechnikai szempontból stabil kőzettömeg, mely állandó feszültségmezővel jellemzett területen található, lehetővé téve olyan üregek kiképzését, melyek elég nagyok a szükséges vágatok és kamrák elhelyezéséhez néhány száz méteres mélységben.
- Kis energiájú felszín alatti vízrendszer, mely létrejöhet az alacsony hidraulikai gradiensek különböző kombinációjával egy nagy területen, számottevően hosszú idő alatt is csekély utánpótlódással (ami összefüggésben lehet a terület nagyon hosszú időtartamú éghajlati stabilitásával), valamint a befogadó kőzet és/vagy a környező képződmények alacsony hidraulikai vezetőképessége révén; az ilyen rendszerekben általában nagyon idős mélységi víz van a tároló szintjében.
- Kémiai viszonyok, melyeket – vízzel telített zónában tervezett tároló esetében – a felszín alatti víz és a kőzetalkotó ásványok közötti egyensúly szabályoz és puffere, redukáló közegben.

A stabilitás szélsőséges esetében a távoli környezet olyan tulajdonságokkal rendelkezik, melyek lényegében nem változnak évmilliókon keresztül, nem zavarja meg őket a tároló jelenléte és ezek következtében a tároló mélységében lévő felszín alatti víz gyakorlatilag stagnál. Ilyen környezetben egy egész egyszerű műszaki gátrendszer is elegendő lehet, minthogy lényegében minden szükséges tárolóképességet a földtani gát biztosít.

Minthogy ilyen ideális lerakókörnyezet sok országban nem található, ezért szükséges a visszatartó képesség növelése a tároló közvetlen környezetében, amibe ugyanúgy beletartozik egy megbízható műszaki gátrendszer tervezése, mint a hulladékcsomagolások és pufferek. A fő

ok, amiért kifinomultabb műszaki gátakat tartanak szükségesnek az, hogy számos mélységi vízrendszer, különösen a repedezett kőzetekben, viszonylag dinamikus néhány száz méter mélységben is. Így a geológiai tároló programoknál nagy hangsúlyt fektetnek a felszín alatti vízáramlási rendszer jellemzésére, hogy értékelhessék a közvetlen és a távoli környezet viselkedését.

22.3.1. A felszín alatti vizek szerepe a radionuklidok szállításában

A tároló közvetlen környezetéből oldatként, a talajvízzel kiszabaduló radionuklidok belépnek a pórus- és repedésrendszerbe, és diffúzióval vagy advekcióval transzportálódnak. Ahhoz, hogy a diffúzió fontos szerepet játszhasson a transzport során, a kőzeteknek szélsőségesen impermeabilisaknak kell lenniük 10^{-12} m/s nagyságrendű hidraulikai vezetőképességgel, vagy az advekciót gerjesztő hidraulikai gradiensnek kell elhanyagolhatónak lennie. Ilyen alacsony hidraulikai vezetőképesség csak az agyagos kőzetek egyes csoportjainál figyelhető meg, melyekben a pórusok összeköttetése igen korlátozott és minden meglévő repedés eltömődött a mélységben uralkodó feszültségviszonyok alatt.

Sok tárolókonceptió esetén, különösen ha kristályos kőzetet választunk lerakó közegként, a víz kőzetrepedéseken keresztüli advekciója a radionuklidok döntő transzport mechanizmusa. Ez azt jelenti, hogy a repedésrendszerek természetét és hidraulikai tulajdonságaikat jól meg kell érteni. A **71. táblázat** részletes adatokat tartalmaz különböző fontosabb befogadó kőzetekről és azokról a jellemzőikről, amelyek fontosak a felszín alatti víz cirkulációja és a radionuklid-transzport szempontjából.

71. táblázat: A fontosabb befogadó kőzetek és azok radionuklidok szállítását befolyásoló jellemzői

Befogadó kőzet		Kőzetjellemzők és mélységi vízrendszer	Radionuklid szállítási mechanizmusok
Kristályos kőzetek	Gránit	Repedezett kőzet	Szállítás advekcióval
	Gneisz	Felszín alatti vízáramlás a nyitott repedésekben Bizonyos áramlás lehetséges a repedésekben	Némi szállítás diffúzióval
Agyagos képződmények	Erősen konszolidálódott agyagok: agyagkő, iszapkő	Nincsenek nyitott repedések Stagnáló pórusvíz	Szállítás diffúzióval
	Konszolidálódott agyagok: pala, márga		
	Plasztikus agyagok		
Kősó	Réteges kősó	Nincsenek nyitott repedések	Nincs szállítás
	Sódómok	Nincsenek pórusok	(esetleg szállítás folyadékzárványokkal, csak a termális szakaszban)
Vulkáni tufák	Vízszint felett	Repedések és pórusok, telítetlen	Esetleg némi
		Kilúgozó víz esetenkénti mozgása	szállítás a kilúgozó vízzel

22.3.2. Oldatos szállítás

Bármelyik, a tárolóból kibocsátott radionuklidnak rendes körülmények között át kell jutnia a befogadó kőzetközegen, mielőtt beléphet a repedéshálózatba vagy a közeli víztartó rétegekbe, például üledékes fedőbe. Kristályos környezetben azok a kőzetblokkokat, melyekben a radionuklid-migrációt a mátrix tulajdonságai szabják meg, törések határolják le. Üledékes környezetben a kőzetmátrix folytonos marad nagy távolságokon át, kisebb törések előfordulhatnak, míg a hidraulikai határviszonyokat a nagyobb léptékű törések szabják meg.

22.3.2.1. A kőzetmátrix tulajdonságai

A kőzetmátrixok egyedi, általában kicsiny kristályokból állnak, melyeket gyakran mikroszkopikusan kicsiny pórusok vagy mikrorepedések választanak el egymástól, összefüggő pórushálózatot alkotva. A mátrix porozitása erősen változó a különböző kőzettípusoknál. Az üledékes kőzeteknek, azaz a kősonak, agyagkőnek és lágy agyagoknak a porozitása néhány százaléktól néhányszor tíz százalékig terjed. A kristályos kőzetek, mint a gránitok és gneiszek porozitása sokkal kisebb, rendszerint 0,1 és 0,5 % közé esik. Mindazonáltal a transzportfolyamatok meghatározó tényezője inkább a pórusok összeköttetése, és nem a porozitás.

22.3.2.2. Repedések és törésvonalak

A konszolidálódott kemény kőzetek jelentős feszültségeknek és a feszültségmezők változásainak voltak kitéve hosszú földtani idők alatt. A feszültségek különböző nagyságú töréseket hoztak létre. Nagyon nagy léptékben vannak fő törésvonalak, melyek néhány száz méter szélesek is lehetnek és több tíz kilométeren át vagy még messzebb követhetők. Ezek légifelvételken is láthatók. A nagyobbak gyakran láthatók a térképeken és a levegőből, mivel völgyek és meredek lejtők létrehozásával befolyásolják a topográfiát.

A fő törésvonalak körvonalazzák a nagy kőzetteket, melyek általában kisebb törésvonalakat tartalmaznak. Ezek sorban lehatárolnak olyan kőzettömböket, melyek egyre kisebb blokkokból állnak, melyeket viszont egyre kisebb törésvonalak választanak el egymástól. Végül a kis törésvonalak néhány repedés csoportjából állnak, melynek vastagsága néhányszor tíz centiméter. Az egyes repedések közti távolság néhányszor tíz centiméter és néhányszor tíz méter között változik, esetleg még nagyobb, a kőzettípustól és a helytől függően. A törések és a repedezett zónák, ha nem tömök el másodlagos ásványkiválások, vízvezető helyet jelentenek a vízáramlás és az oldatszállítás számára. A repedéseket eltömítő anyagok általában mállási termékekből állnak, például agyagásványokból, vagy kémiai kiválással halmozódnak föl, mint a kvarc vagy karbonátok. A repedéskitöltések jelentősen befolyásolják az áramlási útvonalak hidraulikai tulajdonságait és az oldatok vándorlását.

22.3.3. Hidrogeológia és vízmozgás

22.3.3.1. A víz áramlása

Vízzel telített körülmények között a felszín alatti vízáramlás mozgatóereje a hidrosztatikai nyomásgradiens. Azt a módot, ahogy a víz a kőzeten keresztül mozog, annak hidraulikai tulajdonságai szabják meg. Permeábilis és homogén kőzetben a vízáramlás a Darcy-törvény szerint zajlik és könnyen megjósolható. Repedezett kőzetekben minden vagy a legtöbb áramlás a repedésekben vagy repedezett zónákban történik. A tömör kristályos kőzetekben és a kompakt agyagos kőzetekben a mátrix hidraulikai vezetőképessége olyan kicsi, hogy a vízáramlás

elhanyagolható. A porózusabb üledékes kőzetekben és tufákban a víz a repedések közti kőzetmátrixban is tud mozogni. A repedezett kőzetekben az áramlást sokkal nehezebb részleteiben is leírni.

A leszálló vizek övezetében a vízmozgás, melyet alapvetően a gravitáció irányít, általában összetettebb és változékonyabb. A geológiai tárolók szempontjából a telítetlen közegebeli áramlás csak akkor bír jelentőséggel, ha az elhelyezés zónája a vízszint felett van, vagy ha meg akarjuk ismerni a felső övezeteket is, mint potenciális migrációs útvonalakat.

22.3.3.2. A vízben történő szállítás útvonalai

Számos, a geológiai elhelyezés céljából tanulmányozott környezetben a repedések és a repedészónák jelentik a vízmozgás útvonalait. Az egyes repedésekben és repedészónákban a hidraulikai tulajdonságok nagyon változóak. Az egyes elemek hidraulikai áteresztőképessége jellemző módon több nagyságrenddel változik, ha egy közeli másik ponton nézzük, ugyanazon az elemen belül. A vízáramlás nagy része a diszkontinuitásnak abban a részében fog végbemenni, ahol az áteresztőképesség a legnagyobb. Az ilyen, adott egyedi repedés síkjában található útvonalak más repedések más útvonalaihoz kapcsolódnak, a vízvezető „csatornák” komplex háromdimenziós hálózatát alkotva. A helyszíni kutatásoknál gyakorlatilag lehetetlen az összes fontos vízáramlási útvonalat pontosan kijelölni, viszont a megállapított áteresztőképességek sztochasztikus tulajdonságait fel lehet használni olyan modellek kidolgozására, melyekben a várható jellemzőket (áteresztőképesség, áramlási sebességek és a radionuklidok utazásának ideje), illetve ezek várható változásait meg lehet becsülni [12, 13].

22.3.3.3. Csatornázódás

Mivel az egyes repedések áramlási és szállítási tulajdonságai rendkívül nagy változékonyságot mutatnak, ezért valószínű, hogy a repedezett kőzetekben vannak a tárolóból az elérhető környezetig vezető, összekapcsolódott gyors útvonalak. Ezt gyakran csatornázódásnak hívják. A csatornázódásnak az egyes gátak működésére vagy a tároló általános biztonságára gyakorolt lehetséges hatásait, ezek számszerűsítését jelenleg is intenzíven vizsgálják.

22.3.4. Vízkémia és kémiai késleltetés

22.3.4.1. Kémiai ülepedés és szorbció

Az oldatok számára a szabadon mozgó víz a fő szállító közeg, beleértve a radionuklidokat is. Mindazonáltal a radionuklidok reakcióba léphetnek a kőzetanyagokkal nagyon változatos módokon és többségük sokkal lassabb ütemben mozog, mint a víz. Az alacsony fluxusú területeken a víz sebességének kevés hatása van a radionuklidok többségének migrációjára. Egy kevés radionuklid, különösen az anionos formájúak (például a jód és klór izotópok) csak kevésbé lépnek reakcióba a kőzetekkel és a vízáramlással megegyező sebességgel migrálnak. Mindazonáltal a többségük esetében a kőzettel való kölcsönhatás szabja meg a mozgás sebességét. A kölcsönhatás mind fizikai, mind pedig kémiai, az utóbbi okozza a legerősebb késleltető hatást. A felszín alatti víz sótartalma szintén hatással van a késleltetésre; ezért döntő fontosságú a víz-kőzet rendszer kemizmusának megértése a radionuklid-vándorlás megbízható becsléséhez.

22.3.4.2. Kőzet- és vízkémia

Az előzőekben már összefoglaltuk néhány gyakori befogadó kőzet tulajdonságait a felszín alatti vizek cirkulációja és a radionuklid-transzport szempontjából, Most ismertetünk néhány további szempontot, amelyek speciális jelentőséggel bírnak a tágabb környezet viselkedésével kapcsolatban. A kőzetben lévő víz általános összetételét, pH-ját és redox (Eh) tulajdonságait a víz és a kőzetalkotó ásványok közti kölcsönhatás puffereleli. Mivel a víz jellemzően hosszú ideig tartózkodik a kijelölt befogadó kőzetben, a víz és az ásványok között geokémiai egyensúly áll fenn. Nagyon fontos azoknak a folyamatoknak a megértése, melyek szabályozzák a vízkémiát, mert ez lehetővé teszi fejlődésének előre jelzését a tároló által bejuttatott idegen anyagok jelenlétében. Különböző végbemenő folyamatok eredménye a kémiai egyensúly lesz, például a kőzetalkotó ásványok feloldódása és a másodlagos ásványok kicsapódása esetében. Természetes viszonyok között a reakciók igen kis intenzitásúak; a mobilis anionok, főleg a Cl⁻ vízbéli koncentrációja, valamint a hőmérséklet határozza meg. Az alacsony sótartalmú vizek általában lúgos körülményekhez vezetnek, míg a magasabb sótartalmú vizek közel semleges, vagy kissé lúgos viszonyokat eredményeznek. A néhány száz méteres mélységben található víz minden esetben múltbeli csapadékból származik. Az oxigén, mely eredetileg jelen volt a meteorikus vízben, elfogyott a víz-kőzet kölcsönhatásokban. Az Eh értéket rendszerint a II és III oxidációs állapotú vasásványok jelenlétével állapítják meg. Kétértékű vasat tartalmazó ásványok számottevő mennyiségben találhatóak a kemény kőzetekben, gyakran egy százaléknál nagyobb mennyiségben. Így a mélységi földtani környezet alapvetően redukáló állapotú.

A szabályozó mechanizmusok fontos szerepet játszanak a kémiai összetétel stabilizálásában és lehetővé teszik az olyan körülmények megismerését, melyek között a radionuklidok várhatóan vándorolni fognak. A víz oldatos összetétele változhat, a mobilis anionok koncentrációjának függvényében. A kationok között általában a nátrium és a kalcium dominál; a ritkább elemek, mint a kálium, magnézium és a vas, tág határok között ingadozhatnak, de mindig egyensúlyi koncentrációban a kőzetalkotó ásványokkal. Általánosságban a radionuklidok migrációja szempontjából a pH, az Eh, az ionerősség (az oldott ionok össz-koncentrációja) és a karbonát-tartalom a felszín alatti víz legfontosabb jellemzői.

Csekély áramlás esetén, kemény kőzetekben a felszín alatti vizek összes sótartalma a mélységgel növekszik. Nagy mélységben nagyon sós vizeket, lényegében sóoldatokat lehet találni. Ez azt jelzi, hogy a vizek nagyon sokáig tartózkodtak ott; ezen kívül azt is jelezheti, hogy valószínűleg csak nagyon csekély mozgásra kell számítanunk a jövőben is.

22.3.4.3. *A másodlagos ásványok szerepe a késleltetési folyamatban*

A mélyben fennálló egyensúlyi viszonyok között a kőzetalkotó ásványok csak igen kevésbé oldódnak a felszín alatti vizekben, vagy azért mert nem tudnak érintkezésbe lépni, mint a kő esetében, vagy mert geokémiaiilag stabilak. Mindemellett, stabilitásuk ellenére bizonyos átalakulások lezajlanak, különösen a repedezett zónák mentén és egyéb olyan övezetekben, ahová az áramlás összpontosulhat. Bizonyos körülmények között a talajvizek átmenetileg mélyen behatolhatnak a kőzetbe. A talajvízben feloldott anyagok reakcióba léphetnek olyan másodlagos ásványokat képezve, mint például az agyag- és a vas-oxihidroxid ásványok. A másodlagos ásványok kedvező hatással lehetnek a radionuklidok visszatartására, mivel általában jelentős szorpciós kapacitással rendelkeznek.

A mélységben az átalakulás igen lassú folyamat, még földtani időtávlatokban is, mert itt csak a repedésekben van – a kőzet térfogatához mérten – csekély vízmozgás, és mert a reakcióképes anyagok csak kis koncentrációban találhatóak meg a vízben. Ezért a kőzet kémiaiilag nagyon stabil és a tároló mélységében napjainkban megfigyelhető viszonyok várhatóan lényegében változatlanok maradnak a hosszú életű radioaktív hulladékok számára készített tároló szempontjából érdekes idő alatt. Mindazonáltal a működési értékelések során gondosan kell

elemezni ezt az előfeltevést, különösen, ha a tároló jelenléte olyan fejlődési forgatókönyvet mutat, mely az elhelyezési zóna viszonyainak változásával járhat.

22.3.5. Szállítódás felszín alatti vizekkel

22.3.5.1. Advekcio és diszperzió

Az oldatokat a mozgó víz továbbítja a különböző vízvezető útvonalak mentén, melyek a kőzetben megtalálhatók. A repedezetlen porózus kőzetekben az áramlás a pórusokban zajlik, de a víz még ezekben a kőzetekben sem mozog szükségszerűen azonos sebességgel minden útvonalon. Repedezett kőzetek esetében a víz sebességében az útvonalak közt fennálló eltérések és a megtett távolságok különbözősége sokkal nagyobb különbségeket okoz az advekcio sebességében. Ez azt eredményezi, hogy a különböző útvonalak mentén az oldatvándorlás ideje széles tartományban ingadozik, melyet általában diszperzióknak neveznek.

22.3.5.2. Anyagátvitel víz és kőzet között

Az áramlási útvonalak mentén a víz által szállított oldatok utat találnak a környező kőzetmátrix pórusaiba, véletlenszerű mozgás vagy molekuláris diffúzió révén. Ezt nevezik mátrixdiffúzióknak. A mátrixban a teljes víztérfogat rendszerint nagyobb, mint az áramló víz térfogata. Sok alacsony porozitású kőzetben a víz gyakorlatilag stagnál a pórusokban. Az oldott anyag, mely elérte a mátrix pórusaiban stagnáló vizet, viszonylag nagy térfogatú vízbe fog diffundálni, és így átmenetileg elhagyja az áramló oldatot. Ez a tisztán fizikai hatás jelentősen közreműködik a radionuklidok vándorlási idejének meghosszabbításában.

22.3.5.3. Szorpció és késleltetés

A radionuklidok a vízben ionos formában vagy töltetlen komplexekként vannak jelen. A potenciális befogadó kőzetek többségében a kőzetalkotó ásványok negatív felszíni töltésűek a mélységben uralkodó kémiai viszonyok között. A pozitív töltésű anyagok az ellentétes révén hozzákötődnek a felszínhez és az ásványszemcséket körülvevő strukturált vízmolekulák nagyon vékony rétegében koncentrálnak. A megkötött vízrétegben lévő radionuklidok mennyisége nagyságrendekkel nagyobb lehet, mint a szabad pórusvízben tartózkodóké. Ezt a szorpció folyamatot ioncsereként lehet elképzelni és így várhatóan erősen befolyásolni fogja a felszín alatti víz sótartalma, azaz a nagyobb sótartalom gyengíti a hatást.

A fent leírt, diffúzió elektrosztatikus erők által megkötött anyagok esetében gyakran azt találták, hogy nagyon kicsi a mobilitásuk a felületek mentén. Így, bár ezek összegyűlnek a felületeken és kivonódnak a valóban mobilis pórusvízből, mégis képesek a migrációra, csak sokkal alacsonyabb sebességgel. A cézium és a stroncium mutat ilyen szorpció és migráció mechanizmust.

Az ásványfelszíneken a reakcióképes vegyületcsoportok is nagy számban találhatóak. A szilícium-, alumínium- és vas-oxidok, amelyek hidroxil-csoportokként vannak jelen, sok radionukliddal tudnak felületi komplexeket alkotni, különösen az aktinidákkal. Sok esetben a semleges töltésű, feloldódott komplexekben található radionuklidok is megkötődnek a felületeken. Ezt a folyamatot felületi komplexképződésnek hívják. Mindkét szorpció mechanizmus megfordítható, és ha a radionuklidok koncentrációja lecsökken a vízben, akkor a megkötött anyagok leválnak, a konkurens hatások függvényében. A szorpció képességben más ásványok is közrejátszhatnak, például karbonátok és foszfátok. A jelek szerint a felületi komplexképződéssel létrejött szorpció kevésbé érzékeny a felszín alatti víz sótartalmára, mint a valódi ioncserés szorpció. Az aktinidák többsége felületi komplexképződéssel szorbeálódik.

Így a szorpció számára rendelkezésre álló ásványfelszínnek mennyisége kulcsfontosságú tényező és meg fogja szabni, hogy milyen mértékben vonódnak ki a radionuklidok a repedésekben mozgó és a stagnáló pórusvízből, ahová molekuláris diffúzióval jutottak be. Ezek a szorpciós folyamatok különösen fontosak, minthogy jelentősen késleltetik a radionuklidok mozgását a repedésekben szabadon mozgó víz esetében. Minél nagyobb az „áramlás által nedvesített felület” a víz és a kőzet között, annál hatékonyabb lesz a radionuklidok visszatartása.

22.3.5.4. *Kolloidszállítás*

Vannak arra utaló jelek, hogy a kolloid részecskék a víz sebességével képesek mozogni és így a hozzájuk csatlakozó radionuklidokat nem tartják vissza a fent leírt késleltetési mechanizmusok. A kolloid részecskéknek három típusával lehet számolni:

- a) *A vízáramban szállított kőzettörmelék*; az ilyen folyamatok jól ismertek a felszíni vizekben vagy a gyorsan áramló vizekben, mely nem jellemző arra a földtani környezetre, melyre a lerakásnál szükség van.
- b) *Természetes kolloid részecskék, amelyek a szilícium, alumínium, vas vagy egyéb anyagok természetes polimereiből állnak*; az ilyen kolloidok az átalakulási folyamatok korai fázisában képződhetnek, de mélységi földtani környezetben egyensúly áll fenn a víz és a jól fejlett ásványfázisok között. A természetes kolloidok jelenléte utalhat a víz rövid tartózkodási idejére is, amely nem jellemző arra a földtani környezetre, amelyre a lerakásnál szükség van.
- c) *Kolloid részecskék, amelyek a radionuklidokból és a hulladékcsomagokból kiszabadult egyéb anyagokból képződhetnek*; ezek a kolloidok megszökhetnek, bár a műszaki gát vagy a kőzetmátrix megszűri őket.

Sok munkát végeztek a kolloidok mintázása és lehetséges szerepük elemzése érdekében, de még mindig vannak alapvető tisztázatlan kérdések e transzportmechanizmus lehetséges jelentőségével kapcsolatban.

23. A kiégett nukleáris fűtőanyagok és nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú hulladékok kezelése és elhelyezésük hazai vonatkozásai (Dr. Szűcs István)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

Nagy aktivitású és/vagy hosszú élettartamú radioaktív hulladékok elsősorban az energetikai nukleáris reaktorok üzemeltetése és leszerelése során keletkeznek, de az előzőekben hivatkozott ajánlások és szabványok határértékei szerint ide kell sorolni — hangsúlyozva, hogy ezek nem tekinthetők radioaktív hulladéknak — a kiégett fűtőelemeket, illetve azok újrafeldolgozásából (reprocessálásából) származó maradvány-anyagok egy részét is. Kisebb mennyiségben keletkeznek ilyen anyagok még a nem-energetikai (pl. oktató-, kutató-) reaktorok működése és néhány egyéb izotópalkalmazás kapcsán is.

23.1. Hulladékformák

A geológiai elhelyezésre szánt, hosszú élettartamú hulladékok nagyon sokféle módon csomagolt és kondicionált, változatos összetételű anyagokat tartalmazhatnak [5-9]. A fontosabb csoportok az alábbiak:

- d) *Kiégett nukleáris fűtőelem*** (teljes vagy szétszedett fűtőanyag nyalábok vagy elemek, amelyek az eredeti fémurán, urán-dioxid vagy kevert oxid fűtőanyag-mátrixot, továbbá a reaktorban a fűtőanyagból képződött hasadási termékeket és transzurán elemeket tartalmaznak).
- e) *Vitriifikált nagyaktivitású hulladék***, mely hasadási termékeket és a kiégett fűtőanyag újrafeldolgozásából származó transzurán maradékokat tartalmaz (egy sor kerámiai hulladékformával, melyeket már kifejlesztettek, de ipari méretekben még nem állítják elő).
- f) *Hosszú élettartamú, kis- és közepes aktivitású hulladékok***, amihez változatos anyagok tartoznak, mint például a reaktor karbantartásakor vagy lebontásakor kikerülő belső részek, fűtőelemek és fűtőanyag-burkolat darabok, egyéb, alfa-sugárzókkal különböző mértékben szennyezett olyan anyagok, mint a plutónium (nukleáris fűtőanyagból vagy fegyverekből), egyéb hasadóanyagok és kimerült uránium.

Egyes geológiai elhelyezési koncepcióknál a rövid élettartamú, kis- és közepes aktivitású hulladékkal is számolnak, amihez fémek, beton, szerves gyanták, műanyagok és más vegyületek változatos keverékei tartoznak.

Hosszú idő elteltével a szilárd hulladékformában tárolt radionuklidok mobilizálódhatnak, kiszabadulhatnak, majd elmigrálhatnak a műszaki gátakon és a környező földtani közegen keresztül.

23.1.1. Kiégett fűtőelem

A kiégett fűtőelemek leggyakoribb, az elhelyezésnél szóba jövő formája az urán-oxid kerámia pellet. A kiégett fűtőelemek több, mint 95%-ban urán-dioxidból állnak; a reaktor működése során keletkezett hasadási termékek és aktinidák többsége megtalálható a kiégett fűtőelemben. Az urán-dioxid kicsiny, tíztől száz mikrométerig terjedő méretű kristályok formájában van jelen, melyeket kb. 1 cm átmérőjű pelletekbe fognak össze. A fűtőanyag-pelleteket rendszerint cirkónium, alumínium ötvözet vagy rozsdamentes acél rudakban tartják, amelyek néhány méter hosszúak lehetnek, a reaktor típusától függően. Ezek az ötvözetek stabilak vízben és csak nagyon lassan korrodálódnak, de végül is mikroszkopikus repedések alakulhatnak ki rajtuk, melyek átjárót jelentenek a hengerfalon.

Az urán-dioxid is stabil a vízben és csak rendkívül lassan oldódik. Bármilyen, a pelleték kristályos mátrixában található radionuklid kibocsátása így lassú lesz. Mindazonáltal egyes radionuklidok, ahogy a reaktor működése közben képződnek, a szemcsék határain halmozódnak fel vagy a pelleték külső felülete felé mozognak. Ebbe a kategóriába a jód, a cézium és a nemesgázok tartoznak. Rendszerint ezeknek az anyagoknak a 15%-a kívül van a kristályos mátrixon és sokkal könnyebben mobilizálhatók, ha a fűtőelem vízzel kerül érintkezésbe.

A kiégett fűtőelemek könnyen ellenállnak a tárolás korai szakaszában jelentkező magasabb hőmérsékletnek, mivel a reaktorban mutatkozó hőmérséklet ennél sokkal magasabb. Mindazonáltal a tároló műszaki gátrendszere jóval érzékenyebb a magasabb hőmérsékletre, ezért gondosan meg kell becsülni a hosszú távú viselkedését a tároló termikus fejlődésének függvényében. Ebből a szempontból a kevert oxid fűtőelemek több hőt termelnek és hosszabb ideig, mint a rendes urán-oxid fűtőanyag.

23.1.2. Nagyaktivitású hulladék

A nagyaktivitású hulladék szilárdításának megszokott eljárása az üvegmátrixban történő elosztás. Mindemellett vizsgálták és vizsgálják alternatív eljárások használatát is. Ezek közül nagyon ígéretesnek tűnik a kerámia mátrixba történő bezárás. Mind az üveg, mind pedig a kerámia nagyaktivitású hulladék mátrixok ellenállnak a hő- és sugárhatásoknak, illetve rendkívül lassan oldódnak vízben. A radionuklidok erősen megkötődnek az üvegben vagy az olyan kerámia hulladékformák kristályszerkezetében, mint a Synroc. A kiégett fűtőelemektől eltérően, a radionuklidok nem mobilizálhatók könnyen, ha a hulladék vízzel érintkezik a tárolóban, viszont – mivel ezek a nagyaktivitású hulladékfajták a kiégett fűtőelemek feloldásával, majd ezt követően magas hőmérsékletű gyártással készülnek – az eredetileg a kiégett fűtőelemben található illékony radionuklidok, mint a jód vagy a ruténium, elválnak a nagyaktivitású hulladéktól az újrafeldolgozás és szilárdítás során. További különbség a kiégett fűtőelemekhez képest, hogy az újrafeldolgozás szinte minden uránt és plutóniumot eltávolít ezekből a hulladékokból. A szétválasztással elkülönülnek a kisebb rendszámú aktinidák is.

A legfontosabb vitrifikációs közeg a borszilikát üveg. A radionuklidokat az eredetileg folyékony nagyaktivitású hulladék szárítási maradékaként adják az üveghez, vegyületeket formálva, majd magas hőmérsékleten megolvasztják és a képződött homogenizált olvadékot acéltartályokba öntik. Ezeket lezárják, de a megszilárdult üveg felett még lehet üres tér. Ahogy az üveg kihűl és ahogy mozgatják, repedések keletkezhetnek, melyek megnövelik a felületét. Napjainkban az új üvegolvasztók kifejlesztésével (hideg tégely) vizsgálják a foszfátüveg alkalmazását, mely nagyobb flexibilitást ad a kondicionált hulladék kémiai összetételének.

A vizsgált és kifejlesztett kerámia nagyaktivitású hulladékoknak sokféle összetétele lehet. Ezeket például úgy lehet előállítani, hogy a kiszáritott nagyaktivitású maradékot együtt zsugorítják vagy forrón préselik különböző kerámia-előanyagokkal, majd kis tömböket készítenek, melyeket nyalábokban fémtartályokba lehet csomagolni. Egyes eljárásoknál a forrón préselés során egy fémtartályt használnak, így egységes szilárd termék jön létre a hulladékból és a tartályból. A kerámiagyártás technológiája fejlett, és sokféle, változatos hulladék-összetétel és specifikáció áll rendelkezésre.

Mindkét technikát alkalmazni lehet a fegyverekből kikerült, csökkentett koncentrációjú plutónium lerakást megelőző immobilizálására [14]. Ezeknél a fejlesztés alatt álló hulladékformáknál, az alacsony koncentrációjú plutóniumot tartalmazó üveget vagy kerámiát nagyobb tartályokba csomagolják, így azt nagyaktivitású hulladék üveggel vagy hasadási termékekkel tartalmazó üveggel lehet körülvenni, hogy a csomagok radioaktivitása ugyanazon az általános szinten legyen, mint a rendes kiégett fűtőelem vagy nagyaktivitású hulladék csomagoknál. A cél az, hogy a plutóniumhoz ugyanolyan nehéz legyen hozzáférni, mint amikor

a kiégett fűtőelemben volt, melyből eredetileg kivonták, így segítve a nukleáris védelem megőrzését.

23.2. A hulladékkezelés és elhelyezés főbb nemzetközi stratégiai kérdései

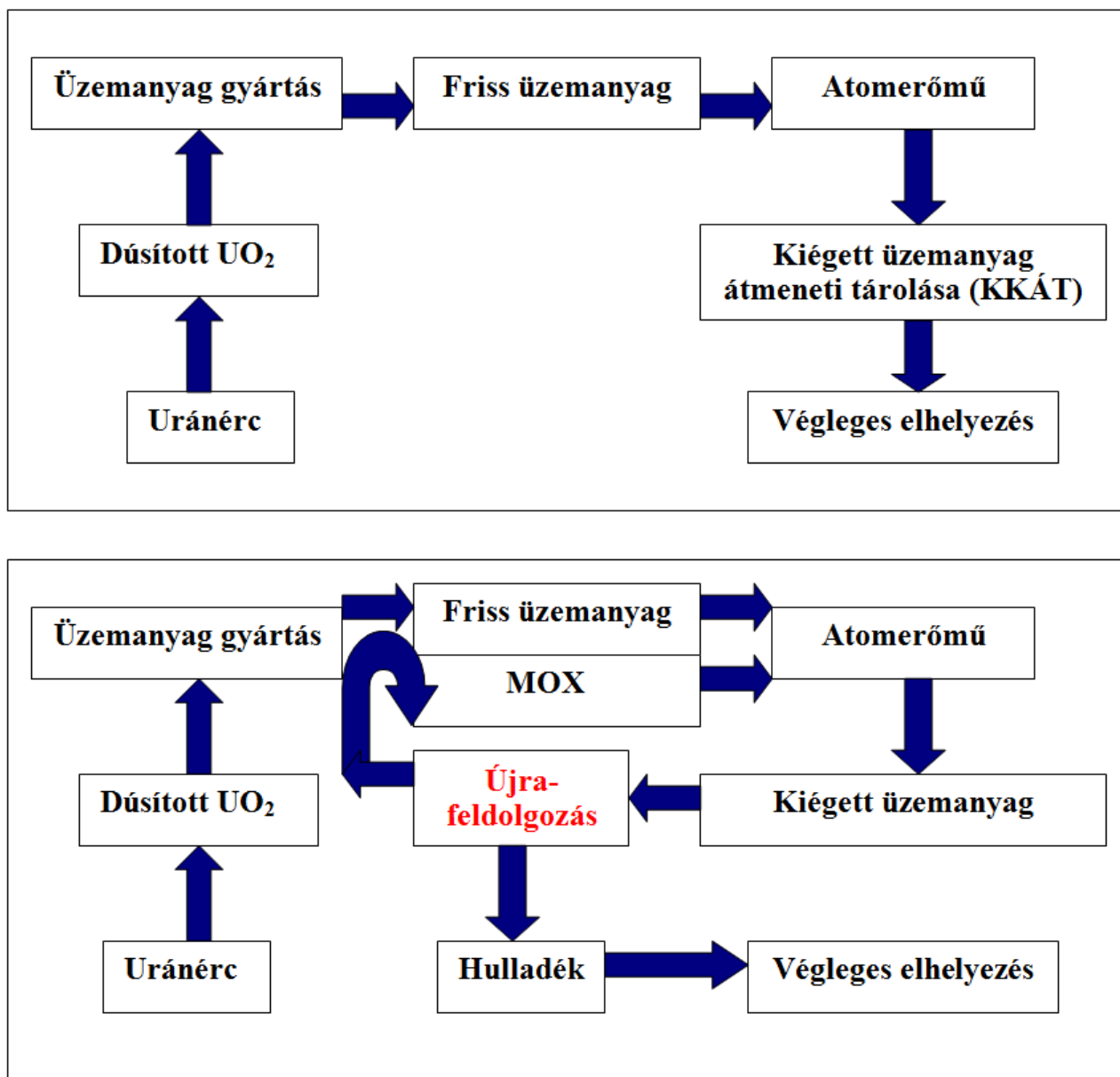
23.2.1. A kiégett fűtőanyag kezelés stratégiái

A kiégett nukleáris fűtőelemek teljes körű kezelésének, a fűtőelem ciklus végleges lezárásához vezető lépések stratégiájának („back-end” stratégia) jelenleg négy általánosan elfogadott lehetősége van. Ezek a következők:

- a) *Nyílt üzemanyagciklus*, amely során a kiégett fűtőelemeket feldolgozás nélkül (de megfelelően előkészítve) véglegesen (a visszanyerés szándéka nélkül) helyezik el egy erre a célra kialakított geológiai tárolóban. (Lásd: **182. ábra** felső része)
- b) *Hagyományos, zárt üzemanyagciklus*, amely során a még hasadóképes anyagokat (uránt és plutóniumot) tartalmazó kiégett nukleáris üzemanyagot nyersanyagként újra fel lehet használni fűtőanyag gyártásához. E reprocesszálnak nevezett folyamat eredményeként (kisebb mennyiségben) visszamaradó nagy aktivitású, hosszú élettartamú hulladékok végső elhelyezéséről továbbra is gondoskodni kell. (Lásd: **182. ábra** alsó része)
- c) *Továbbfejlesztett, zárt üzemanyagciklus*, amely során a kiégett fűtőanyagot reprocesszálják és a keletkező termékeket szétválasztási és transzmutációs eljárásnak (Partitioning and Transmutation, P&T) vetik alá. A folyamatban az aktinidák és a hosszú felezési idejű hasadási termékek egy részét átalakítják. A visszamaradó nagy aktivitású hulladékot végleges elhelyezését itt is meg kell oldani.
- d) *A késleltetés stratégiáját* alkalmazva a kiégett fűtőelemeket átmeneti tárolóban helyezik el, ahol a tárolás elméletileg meghatározatlan ideig fenntartható, megfelelő ellenőrzéssel és karbantartással. Ez a stratégia végleges megoldásnak semmiképpen nem tekinthető.

Kiégett fűtőelem-kezelési stratégiájuk alapján az országok három fő csoportba sorolhatók:

- *A nyitott fűtőelemciklust választók*, amelyek az átmeneti tárolást követő közvetlen fűtőelem-elhelyezésre összpontosítanak. (pl. Kanada, Spanyolország, Svédország, USA);
- *A fűtőelem újrafeldolgozását (zárt ciklus) választók*, amelyek vagy reprocesszáló üzemet működtetnek, vagy pedig külföldön dolgoztatják fel az elhasznált üzemanyagot. (Pl. Japán, Kína, Franciaország, Németország, India, Oroszország, Nagy-Britannia);
- *A számukra elfogadható opciót még nyitva hagyó („wait and see”) országok*, amelyek még további megfontolások, vizsgálatok alapján kívánnak dönteni. (pl. Bulgária, Korea, Litvánia, Mexikó, Szlovénia, Ukrajna, Magyarország,).



182. ábra: A nyílt (felül) és hagyományos zárt (alul) üzemanyagciklusok összehasonlítása

23.2.2. A kiegészített fűtőanyag feldolgozási lehetőségei

Az előzőekben ismertetett négy lehetséges fűtőanyag kezelési stratégiából *jelenleg* két jól kiforrott koncepció létezik a fűtőelemciklus lezárására:

- Az egyik a **b)**, az *elhasznált fűtőelemek újrafeldolgozása* a hasznosítható anyagok kinyerésére, ezt követően pedig a radioaktív hulladékok üvegbe ágyazása, majd a kiegészített fűtőelemek közvetlen végleges elhelyezése.
- A másik az **a)**, a *közvetlen végleges elhelyezés*, amelyre eddig még sehol nem került sor, (ugyanakkor a **b)** szerinti koncepció ipari méretekben már évtizedek óta működik).

Annak ellenére, hogy a nagy aktivitású hulladékok mélygeológiai formációban történő végleges elhelyezésével szinte minden nukleáris iparral rendelkező ország foglalkozik, sok helyen kutatják azon alternatívák lehetőségét, amelyek segítségével csökkenthetők a jövő generációk terhei. Ezt [15] alapján a következőkben foglalhatjuk össze: „Az egyik ígéretesnek tartott

lehetőség a hulladékokban található hosszú élettartamú radionuklidok átalakítása oly módon, hogy a maradékok elhelyezését követően csak jóval rövidebb idejű intézményes ellenőrzésre legyen szükség [16]. Az eljárás, amelynek neve transzmutáció, olyan nukleáris folyamat, amellyel a hosszú élettartamú radioizotópokat stabil, vagy rövid élettartamú izotóppá lehet alakítani reaktorban, vagy az e célra kialakított részecskegyorsítókban [17]. Az elképzelések szerint az új technológia segítségével az emberiség úgy szabadulhat meg a hosszú életű radioaktív hulladékok elhelyezésének nyomasztó gondjától, hogy eközben még villamos energiát is termelhet. A transzmutáció valójában nem más, mint a reprocessálás továbbfejlesztése, amelynek célja kedvezőbb tulajdonságú radioaktív hulladék előállítás a járulékos előnyök (pl. energiatermelés) kihasználásával. Fontos aláhúzni, hogy a transzmutáció csak reprocessálást követően lehetséges, következésképpen ez az opció ellentétes azon országok stratégiájával, amelyek elvetették a fűtőelem újrafeldolgozás lehetőségét.

A hulladék elhelyezés során a potenciális veszélyt egyrészt az extrém hosszú életű radioizotópok, másrészt az élő szervezet leginkább roncsolni képes alfa-sugárzó izotópok jelentik. A transzurán csoport elemei közül a plutónium érdemel külön figyelmet, mivel ennek radiotoxicitása igen nagy. A transzmutáció iránti érdeklődés a 90-es évek elején élénkült meg. E technológia alkalmazása a nagy aktivitású hulladékokban lévő két fő izotópcsoport esetén jöhet szóba: az aktinidákra - melyek a jelenleg alkalmazott U, illetve U-Pu kevert üzemanyag alapuló energetikai reaktorokban számottevő mértékben fordulnak elő -, és a hasadási termékekre (pl. ^{99}Te , ^{129}I). A transzmutáció elvégzése neutronok, illetve töltött részecskék által kiváltott magreakciókkal lehetséges. A jelentős neutronfluxus maghasadáson alapuló atomreaktorokban (könnyűvízes, gyorsneutronos vagy folyékony fémhűtéses reaktorokban), illetve más típusú (pl. magfúziós) berendezések segítségével történhet. Ez utóbbinál töltött elemi részecske- vagy atommag-nyalábot gyorsítók segítségével nagy energiára (sebességre) gyorsítanak fel, és a részecskecsomagot valamilyen nehéz rendszámú elemből álló céltárgynak ütköztetik. Az ütközés hatására a céltárgy atommagjai több részre esnek szét, amit nagy mennyiségű neutron felszabadulása kísér. Ezek a neutronok többféle célra is felhasználhatóak. Amennyiben a céltárgy hasadóanyagból áll (vagy azt is tartalmaz), illetve, ha olyan anyag van jelen, amely a neutronokat elnyelve hasadóanyaggá alakul, akkor a folyamat a transzmutáción kívül energiatermelésre is alkalmas.

Felmerült a részleges transzmutáció lehetősége is, amikor is csak azokat az aktinidákat alakítanák át és vonnák ki a rendszerből, amelyek a legnagyobb sugárterhelési kockázatot jelentik a nagy aktivitású hulladék mélygeológiai formációban történő elhelyezését követően. Ennek meghatározásánál igen nagy a bizonytalanság, mivel az erősen függ a befoglaló közettől, a geokémiai viszonyoktól és más jellemzőktől. Becslés szerint a legveszélyesebb a ^{237}Np és a ^{241}Am . Amennyiben a transzmutáció nem 100%-os, akkor megnövekedett neutronaktivitással, és az ebből eredő manipulációs és sugárvédelmi problémákkal kell számolni. Fokozott figyelemmel kell lenni bizonyos transzurán izotópokat jellemző meglehetősen alacsony kritikus tömegre, mind a hulladékkezelési technológiáknál, mind pedig az elhelyezett hulladékok kioldódását követő esetleges bedúsulások miatt.

Mivel a mai technológiákkal a megkívánt szétválasztási hatékonyság nem érhető el, továbbá a szükséges reaktortechnika sem eléggé kiforrott, ezért a transzmutációs programokat tovább kell fejleszteni, mielőtt dönteni lehetne gyakorlati alkalmazásukról. Mai tudásunk szerint azonban nincsen olyan technológia melynek alkalmazásával teljesen kiválthatók lennének a geológiai tárolók. Ezért a transzmutáció nem is tekinthető önálló koncepciónak, sokkal inkább a reprocessálási változat finomításának. Az igazi kérdés, hogy érdemes-e, megéri-e a transzmutációt ipari mértékben alkalmazni.

A szétválasztás és transzmutáció lehetőségét jelenleg Japán, Franciaország, USA, Oroszország, Dél-Korea, Spanyolország és Németország vizsgálja. További országok, mint például India,

Kína, Belgium, Hollandia és Olaszország kormányfinanszírozású P&T projekteket indított, vagy az Európai Bizottság programjainak résztvevője. [18], [19],

Az USA Energiaügyi Minisztériumának (DOE) tanulmánya szerint sikeres kutatás-fejlesztést követően a békés célú alkalmazásból származó 87 000 t kiégett fűtőelem transzmutációs feldolgozása 117 évet venne igénybe és mintegy 280 milliárd USD-ba kerülne [20]. Ezért jelenleg egyetlen P&T-vel foglalkozó ország sem tekinti rövid távon reális hulladékkezelési alternatívának ezt a technológiát.

23.2.3. A kiégett fűtőanyag átmeneti tárolása

A kiégett fűtőanyagok átmeneti tárolása elkerülhetetlen lépés bármely korábban említett kiégett fűtőanyag-kezelési stratégiáról is legyen szó. A hulladék tárolása olyan elzárást és elszigetelést jelent - ellentétben a végleges elhelyezéssel - melynél szándék van a későbbi hozzáférésre. Műszaki okok miatt a kiégett üzemanyaggal kapcsolatos tevékenységek kezdeti időszakában mindig szükség van átmeneti tárolásra [21], Ezen idő alatt jelentősen lecsökken a kiégett fűtőelemek radioaktivitása és hőtermelése, ami megkönnyíti a későbbi műveletek elvégzését. A tárolás igen kicsi biztonsági kockázattal jár mindaddig, amíg az ellenőrzése hatékony. Ellenben, ha valamilyen okból elmarad az ellenőrzés és a felügyelet, akkor megnőhet az olyan események kockázata, amelyek súlyos következményekkel járhatnak. Ilyenek lehetnek például a hűtés kiesése, vagy a tárolt nukleáris anyag törvénytelen felhasználása.

A kiégett fűtőelemek tárolása történhet a reaktorok közelében (at reactor, AR), vagy attól távolabb létesített tárolókban (away from reactor, AFR). Egy másik kategorizálási rendszer szerint a létesítmények lehetnek száraz vagy nedves tárolók. Nedves tárolók esetében a kiégett fűtőelemeket vízzel telt medencékben tartják, míg a száraz tárolás során a fűtőelemkötegeket konténerekben vagy kamrákban, inert gáz vagy levegő környezetben helyezik el. A tartálytípusú tárolók olyan masszív konténerek, melyek lehetnek fix telepítésűek, ill. mozgathatóak [22]. Jelenleg is számos tárolótípus van használatban, illetve fejlesztés alatt. Fémkonténereket alkalmaznak Belgiumban, Csehországban, Németországban, Indiában, Japánban, Litvániában, Dél-Afrikában, Svájcban és az USA-ban. Többcélú konténereket, amint arra nevük is utal, több funkcióra – tárolásra és szállításra (kettős célú), vagy tárolásra, szállításra és elhelyezésre (többcélú) – használnak. Különböző betonfalú, kamrás tárolótípusok fejlesztettek ki, ill. tesztelnek jelenleg is, melyek lehetnek vízszintes vagy függőleges kialakításúak. A kamrás megoldások olyan felszíni vagy felszín alatti vasbeton épületek, melyek egy vagy több fűtőelemköteg elhelyezésére szolgáló tárolók rendszeréből épülnek fel. A hő elvezetését rendszerint levegő- vagy gázáramoltatással oldják meg. A száraz tárolási opciók közül a kamrás típust jelenleg Kanadában, Franciaországban, Nagy-Britanniában, az USA-ban és Magyarországon használják”. [23, 24]

23.2.4. A kiégett fűtőelemek és a nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezése

Az elmúlt évtizedekben a szakemberek már számos lehetőséget tanulmányoztak a nagy aktivitású hulladékok bioszférától történő hosszú idejű elszigetelésére. A tengerbe süllyesztés, a mélytengeri óceáni talapzatban való elhelyezés vagy a kontinentális jégsapka alá való hulladéklerakás egyrészt nemzetközi egyezményeket sértene, másrészt nagyon kockázatos, mivel a hulladékok az elhelyezést követően ellenőrizhetetlené válnak [25]. Az ürbe való kilövés rendkívül drága, és fennáll a visszaesés lehetősége, továbbá ennek végrehajtásához a kiégett fűtőelemeket reprocessálni kellene. A következő évtizedekben persze új lehetőségek is felmerülhetnek. Nyilvánvaló, hogy minden ésszerű alternatívát meg kell vizsgálni, annak ellenére, hogy mára már széles körű nemzetközi egyetértés alakult ki a hosszú élettartamú radioaktív hulladékok stabil mélygeológiai formációkban való elhelyezésének műszaki

előnyeiről. A természetes és műszaki gátak biztosította rendszer révén ez a stratégia megteremti annak lehetőségét, hogy a hulladékokat rendkívül hosszú időtartamon át - akár sok ezer évig - elzárják a bioszférától, ill. hogy a radioaktív izotópok csak elhanyagolható koncentrációban jelenhessenek meg az emberi környezetben. Ezzel a megoldással a véletlen emberi behatolásból származó kockázat is minimálisra szorítható. Ez a végleges elhelyezési megoldás lényegében egy passzív védelem, mely nem igényel további beavatkozást, vagy intézményes ellenőrzést, bár célszerű az elhelyezés helyét rögzíteni, és valamilyen rutinszerű ellenőrzést hosszabb időtartamon keresztül fenntartani. Ez az opció meghagyja a jövő nemzedékeknek azt a lehetőséget, hogy ha akarják, visszatermeljék a hulladékot.

Jelenleg a geológiai elhelyezésről bizonyítható be, hogy biztosítani tudja az elvárt szintű és időtartamú izolációt, ezen túlmenően visszafordíthatóvá is tehető, szemben más elhelyezési opciókkal.

A több száz méter mélységben történő elhelyezést ma a legbiztosabb megoldásnak tartják a hosszú élettartamú hulladékok tartós elszigetelésére. [26],

Az első geológiai tárolási kísérleteket még a 60-as évek közepén az Egyesült Államokban végezték só öslesztben. Később, Svédországban, a gránitban való elhelyezés koncepcióját dolgozták ki, ami már a robusztus műszaki gátaknak is fontos szerepet szán. Azóta sok más geológiai formációt is vizsgálnak, pl. agyagot, tufát, bazaltot. A geológiai elhelyezés alkalmazhatóságát és megbízhatóságát erősítette meg az OECD/NEA már korábban kiadott jelentése, mely foglalkozott az elkerülhetetlen bizonytalanságokkal is [27]. A NEA azóta is rendszeresen értékeli a geológiai elhelyezés kutatása területén elért eredményeket, és külön figyelmet szentel a hatósági szabályozással kapcsolatos kérdéseknek [28, 29].

A nagy aktivitású hulladékok tárolóinak létesítési folyamata jóval hosszabb, mint a kis és közepes aktivitású hulladékok esetén. Ennek a hosszú folyamatnak minden fázisa sok évig tart, vagy éppen évtizedeket vesz igénybe. Ez alatt lehetőség van a társadalmi vitára, továbbá a hatóságok szigorú ellenőrzésére, amelynek során minden feltételt ki kell elégíteni, mielőtt áttérnének a következő fázisra. Fontos megjegyezni, hogy a műszaki biztonság nem függ az előrehaladás ütemétől, mivel az ellenőrzött átmeneti tárolók - ha nem is fogadhatók el hosszú távú stratégiaként- biztonságos ideiglenes megoldást biztosítanak.

A lépésről lépésre haladó folyamat során a kiválasztott területen és annak környékén végzett vizsgálatok alapján összegyűjtik a szükséges információkat. Ez segít abban, hogy jobban megértsék a regionális és a helyi geológiát, és egyre pontosabbá tegyék a geológiai szerkezet várható viselkedésének értékelését. Ez a folyamat - amely kellően rugalmas kell, hogy legyen a kutatási programokból származó inputok befogadására, valamint a társadalmi konzultációk során jelentkező igények beépítésére - széles körű lehetőséget nyújt a folyamat rendszeres felülvizsgálatára.

A geológiai elhelyezés koncepciója nem igényli, hogy feltétlenül újra-hozzáférhetővé tegyék a hulladékokat a tároló lezárását követően. Elvben ilyen beavatkozásra nem lesz szükség, ha egyszer lezárták a tárolót, hiszen az egész koncepció arra épül, hogy a hulladék biztonságosan magára hagyható. Abban az extrém esetben, ha a véglegesen lezárt tárolóból a hulladékokat valamilyen oknál fogva vissza kellene nyerni, akkor ez a művelet ugyan költséges lehet, de műszakilag megoldható. A visszanyerhetőség igen fontos etikai szempont, mivel a mélygeológiai elhelyezés nem tekinthető feltétlenül teljesen irreverzibilis folyamatnak, amely teljesen kizárja a stratégiák jövőbeni megváltozását. Ebben az összefüggésben meg kell jegyezni, hogy magának a tárolónak, ill. az odavezető járatoknak a lezárása mindig külön döntést igényel, mely döntés kitolható jóval az elhelyezési műveletek befejezése utánra. Ez is a folyamat visszafordításának lehetőségét teremti meg. Ily módon a lépésről lépésre haladó folyamat beépíti az ideiglenes elhelyezés előnyeit anélkül, hogy azt meghatározatlan ideig fenn kellene tartani.

Azt el kell ismerni, hogy a jelen generációk által megvalósítható robusztus, passzív biztonságot nyújtó megoldás is végső soron sérülhet egy jövőbeli társadalomban, valamilyen szándékolatlan behatolás során. Az ilyen behatolás lehetőségét és következményeit azonban a gondosan megválasztott telephelyek révén minimálisra lehet csökkenteni.

23.3. A kezelés és elhelyezés főbb hazai vonatkozásai

A Paksi Atomerőmű Rt. (PA Rt.) négy darab szovjet tervezésű, VVER 440-V213 típusú reaktort üzemeltet. A sikeres kapacitásbővítés eredményeképpen a magyarországi villamos energiatermelésnek most már közel 40 %-a származik innen. Jelenleg előkészítés alatt áll a négy reaktorblokk üzemidejének meghosszabbítását célzó engedélyezési eljárás, valamint konszenzusos parlamenti jóváhagyással megkezdődött egy nukleáris bázison épülő új alaperőmű építésének feltételeit vizsgáló program is (Lévai-projekt).

A 4 blokk 30 éves üzemideje során összesen 15 316 db fűtőelem-kazetta kiegészével számoltak (ETV-ERŐTERV, 1994). Ezek az eredeti elképzelés szerint – kétoldalú magánjogi megállapodás alapján – a volt Szovjetunió területén kerültek volna kiszállításra, reprocesszálni célból. A szerződés további érvényesítési lehetősége a volt Szovjetunió széthullásával már a 90-es évek elején bizonytalanná vált. 1997-ig – erősen megnövekedett költségek és folyamatos diplomáciai erőfeszítések mellett – alig több mint 3200 kiegészített kazetta került visszaszállításra. Ezt követően azonban egyáltalán nem történt kiszállítás.

A megváltozott helyzet következtében már a 90-es évek elején felmerült annak szükségessége, hogy Magyarország újragondolja a fűtőelemciklus végleges lezárásához (back-end) vezető lépések stratégiáját. Az egyik legfontosabb alapelv az, hogy hazánkban – alkalmazkodva a nemzetközi normákhoz – az országhatárokon belül kell megoldania a nagyaktivitású radioaktív hulladékok problémáját. (Időről időre felvetődik ugyan az ötlet, hogy a végleges elhelyezésre közös, nemzetközi létesítményben kerüljön sor, de nemzetközi jogi, szociológiai és safeguards-megfontolások miatt ez belátható időn belül biztosan nem válik realitássá.)

A kiszállítások bizonytalanná válása az atomerőmű folyamatos üzemeltethetőségét is kétségessé tette volna. A reaktorok mellett létesített, az eredeti tervek szerint 3 éves (a későbbi átalakításokkal 5 éves) puffer-tárolásra alkalmas pihentető medencék megtelését követően ugyanis akár még a leállítás veszélye is felmerülhetett volna. Az országhatárokon belül történő megoldás első lépéseként a PA Rt – a szükséges tervek és hatósági engedélyek birtokában – a telephelyén belül megkezdte egy ideiglenes, száraz (léghűtéses) technológiájú moduláris fűtőelem-tároló létesítését (Kiegészített Kötegek Átmeneti Tárolója – KKÁT). Ennek első modulja 1997 szeptemberében működésbe is lépett; bővítése és feltöltése pedig azóta is a tervek szerint halad. A KKÁT működését 50 évre tervezték.

A felszínen történő átmeneti tárolás elsődleges célja (a végleges megoldás kifejlesztéséig szükséges idő biztosításán kívül) a kiegészített kötegek hőterhelésének és sugárzási szintjének kontrollált és biztonságos körülmények közötti csökkentése. A kiegészített fűtőelemek azonban az 50 éves időintervallumnál több nagyságrenddel hosszabb ideig jelentenek közvetlen veszélyforrást a bioszféra számára. Mivel a nemzetközileg elfogadott általános alapelv szerint „a radioaktív hulladékokat addig az időpontig kell elszigetelni a bioszférától, amíg azok – természetes lebomlásuk révén – már nem képviselnek elfogadhatatlan mértékű kockázatot a jövő generációk számára”, ezért egyértelműen kijelenthető, hogy a felszíni átmeneti tárolás – ahogy azt a neve is mutatja – nem oldja meg a problémát (bár technikailag mindenképpen egy szükséges lépés az oda vezető úton).

Az utóbbi években felerősödtek azok a szakmai vélemények, melyek szerint jelentős tudományos és technológiai erőfeszítések révén, belátható időn belül olyan továbbfejlesztett hulladékkezelési megoldásokat sikerül kialakítani (pl. a transzmutációval kiegészített zárt fűtőelemciklus), aminek eredményeként egyaránt jelentősen csökkenthető majd a véglegesen

elhelyezni kívánt nagyaktivitású radioaktív hulladékok mennyisége és eliminációs ideje is. Azt azonban senki sem vonja kétségbe, hogy bármilyen back-end opciót hajtunk is végre, mindenképp szükségessé válik a nagy aktivitású radioaktív hulladékok egy részének végleges elhelyezése, amihez alkalmas befogadó földtani képződményt kell keresni.

Az atomerőművi kiégett nukleáris üzemanyagok és nagyaktivitású hulladékok fizikai tulajdonságai mindenütt hasonlóak, így ezek környezettől való elszigetelésére világszerte közös megoldásokat irányoznak elő. Ebben a helyzetben az RHK Kft. – referencia-forgatókönyvként – jelenleg a nyílt üzemanyag ciklusú (közvetlen elhelyezést jelentő), késleltetés nélküli változatot tekinti a nagy aktivitású hulladékok és a kiégett üzemanyagok alapvető elhelyezési stratégiájának; azzal a megjegyzéssel, hogy az e stratégia alapján kiválasztott hazai geológiai tárolónak alkalmasnak kell lennie a kiégett üzemanyagok reprocesszálása (újrafeldolgozása) során keletkező hulladékok biztonságos befogadására is [30]. Az említett változat referencia-forgatókönyvként való megjelölése azt jelenti, hogy az RHK Kft. álláspontja szerint jelenleg ennek a legnagyobb a megvalósítási valószínűsége. Így a mindenkori kutatási terveket, műszaki terveket, gazdasági számításokat és időütemterveket erre a változatra kellett alapozni. A 2004-ben elkészült kutatási terv [31] és 2005 elején véglegesített műszaki megvalósítási koncepcióterv is [32] ennek megfelelően került kidolgozásra; figyelembe véve természetesen a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség és az OECD Nukleáris Energia Ügynöksége által kidolgozott módszertani ajánlásokat, valamint a jelenleg általánosan követett nemzetközi kutatási gyakorlatot is.

A kiégett fűtőelemek és a nagyaktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének munkálatai a jelenlegi tervek szerint legalább egy évszázadot ölelnek fel (még akkor is, ha az intézményes ellenőrzés minimálisan 50 éves időtartamától eltekintünk). Ilyen időtávon – gazdasági, engedélyeztetési és közelfogadtatási szempontból egyaránt – különös jelentősége van annak, hogy az elvégzett minősítő vizsgálatok eredményei lehetőség szerint ne (vagy csak minimális mértékben) avuljanak el, azokat később is fel tudják használni, illetve pontosan értelmezni tudják. A kutatási program tervezése, kivitelezése és dokumentálása során erre a szempontokra különös figyelmet kell fordítani.

23.4. A potenciális befogadó kőzet védelmi koncepciója

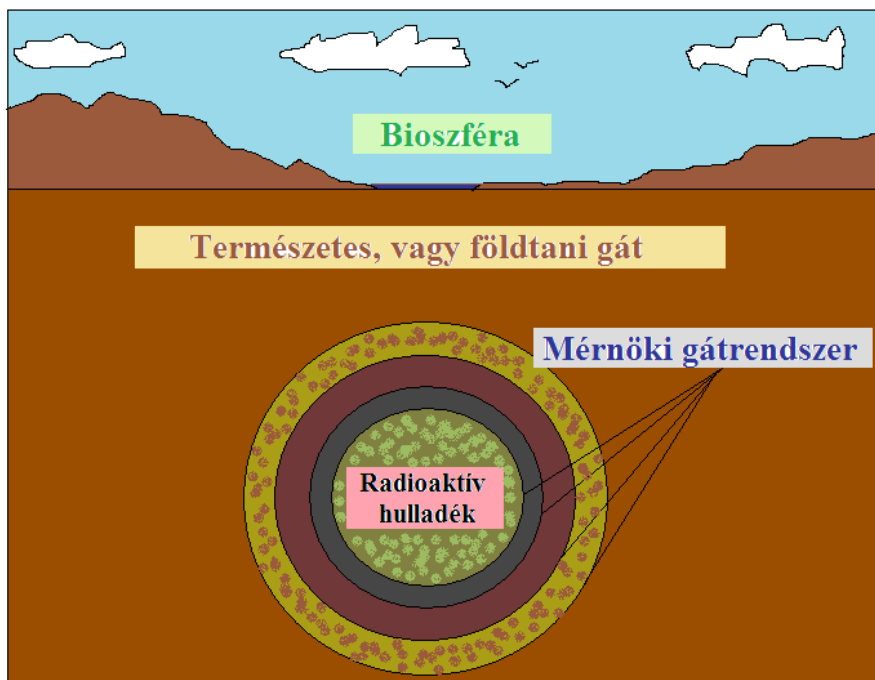
A Bodai Aleurolit Formáció korábban lezárt kutatási fázisainak eredményeként 2004-ben, a Felszíni I. fázis kutatási engedélyezési tervének összeállításakor megfogalmazhatók voltak a BAF-ban tervezett végleges elhelyezés védelmi (biztonsági) koncepciójának legfontosabb elemei: A végleges elhelyezés definíciójának megfelelően alapvető cél a bioszféra védelme a radionuklidok megfelelő hosszú időre történő elszigetelése (izoláció) és terjedésük korlátozása (retardáció) révén. *A végleges elhelyezés védelmi (biztonsági) koncepciójának nevezzük mindazon geometriai, izolációs, műszaki-technológiai sajátosságok illetve a tárolórendszerrel elvárt funkciók összességét, melyek befolyásolják az elhelyezett radionuklidok mobilitását, meghatározzák transzportjának sebességét, irányát, úthosszát; és amelyek végső soron lehetővé teszik a bioszféra megfelelő szintű és elégséges ideig tartó védelmét.*

A BAF esetében meghatározott védelmi koncepció egyaránt tartalmaz általános telephelyfüggetlen (a legtöbb nemzeti projektben alkalmazott) valamint szűken értelmezett, csak a magyar viszonyokra érvényes, illetve BAF-specifikus elemeket is. A legfontosabb általános elemek a következők:

- A radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének megkívánt biztonságát, robusztusságát többszörös gátrendszer alkalmazásával kell elérni (multibarrier system – ld. a **183. ábra**). A teljes rendszer (földtani gát, hulladékforma és hulladékcsoomag, mérnöki gátrendszer és elhelyezési rendszer, valamint a bioszféra)

működésének várható hatásait együttesen, összefüggéseiben kell vizsgálni. A végleges elhelyezésre csak akkor kerülhet sor, ha a megfelelően ellenőrzött adatokra épülő konzervatív és validált elemzések során a várható hatások kielégítik az előre deklarált dózis- illetve kockázati kritériumokat.

- A végleges elhelyezést megfelelően jellemezhető és modellezhető geológiai formációban (földtani gátban) tervezzük, ahol a földtani gát lehetővé teszi a kijutó radionuklidok geoszférában történő minél nagyobb mértékű megkötődését.
- A radioaktív hulladékok elhelyezése stabil földtani környezetben történik annak érdekében, hogy a természeti eredetű bolygató események az elemzésekben figyelembe veendő időtávon is csak elhanyagolható mértékű valószínűséggel következzenek be.
- A kvantitatív illetve a kvalitatív elemzések időtávjának megválasztása során a lehető legmagasabb szintű biztonságra kell törekedni. A rövid távú megfigyelésekből levonható következtetések megbízhatóságát természeti analógia-megfigyelésekkel kell fokozni.
- A végleges elhelyezésre olyan felszín alatti mélységben kerül sor, amely megnehezíti az elhelyezésre kerülő hulladékokhoz való hozzáférést (szándékolt behatolás), illetve amely megvédi a tárolót a felszíni hatásoktól (erózió, jégborítottság, árvíz stb.).
- A mélységi elhelyezéssel térben hosszú áramlási pályára helyezhetők az esetlegesen kiszabaduló radionuklidok.
- A megfelelően nagy mélység mellett az elhelyezésre alacsony gazdasági potenciálú területen kell sort keríteni, amely biztosítja, hogy az emberi gazdasági tevékenységből eredő szándékolatlan bolygató események csak elhanyagolható mértékű valószínűséggel következzenek be.
- A végleges elhelyezésre a telített zónában kerül sor, ahol az esetlegesen kijutó radionuklidok elsődleges migrációs közege a felszín alatti víz. A kőzetek és a felszín alatti vizek geokémiai viszonyai olyanok legyenek, hogy kedvezően befolyásolják a transzportfolyamatok sebességét és irányát.
- A tároló beszívárgási területen kerül elhelyezésre, amely – a nagy mélység mellett – biztosítja, hogy az esetlegesen kiszabaduló radionuklidok csak hosszú áramlási pályát befutva érhék el a bioszférát.
- Olyan mérnöki gátrendszert kell alkalmazni, amely fizikai gátlóhatása révén késlelteti a radionuklidok geoszférába való kijutását, illetve kémiai összetételénél fogva lehetővé teszi a radionuklidok minél nagyobb mértékű megkötődését.
- Olyan hulladékformát és csomagolást kell alkalmazni, amely az elemzésekben számításba vett ideig biztosítja a radioizotópok tökéletes izolációját, illetve a későbbiekben is késlelteti és gátolja a migrációs közegbe való beoldódást.
- A végleges elhelyezés olyan területen történjen, amely biztosítja, hogy a földtani gátból kikerülő radionuklidok a bioszféra határfelületén nagyfokú híguláson menjenek keresztül, biztosítva ezáltal az elfogadhatóan alacsony effektív dózist.
- A védelmi koncepció általános elemét képezi még a lezárás előtti, illetve az azt követő aktív (pl.: a területhasználat korlátozása, monitoring rendszer stb.) és passzív (irattári, adattári információs rendszerek kialakítása) intézményes kontroll fenntartása, valamint – az aktív kontroll-időszakon belül – szükség esetén az elhelyezett hulladékok visszatermelhetőségének biztosítása is.



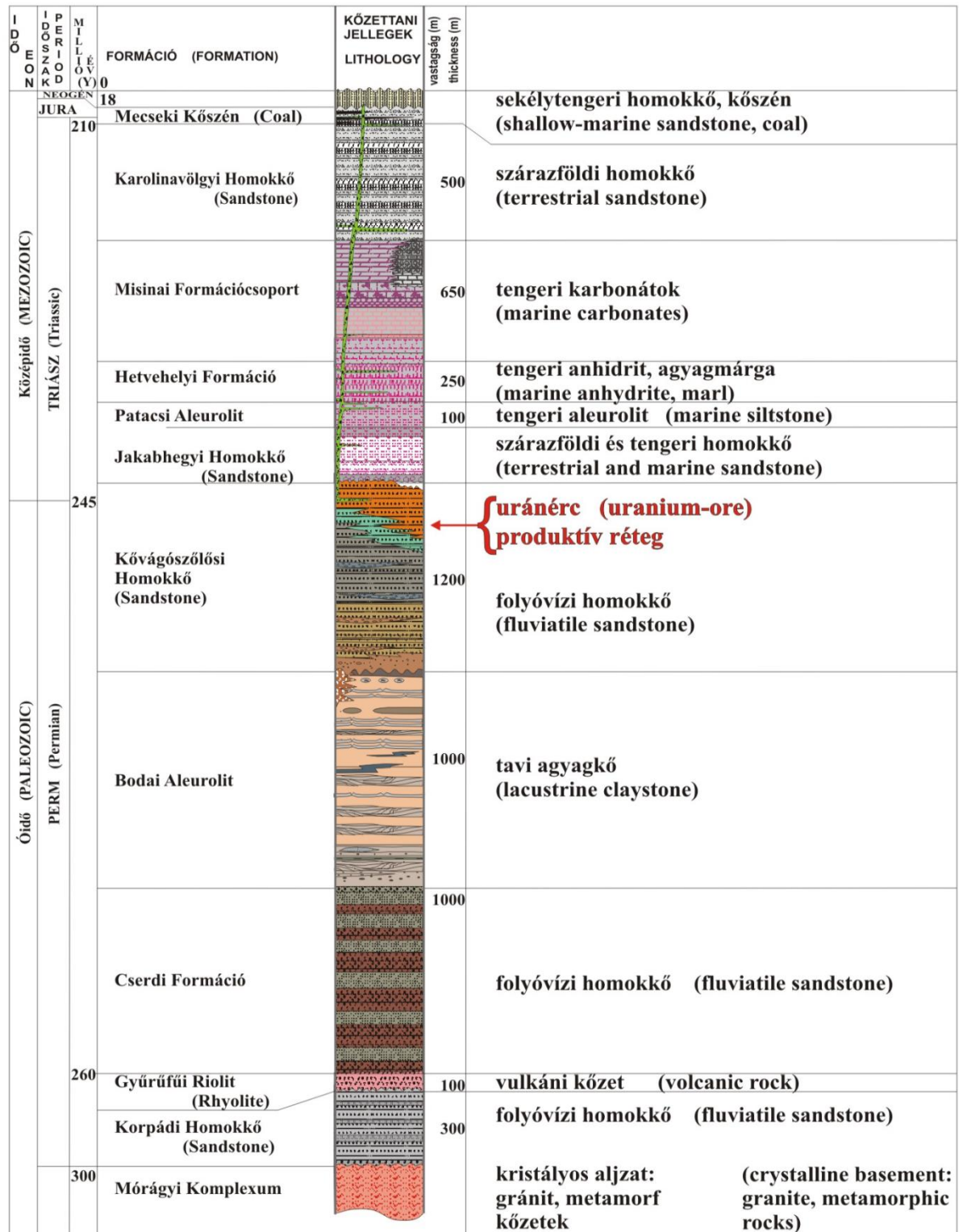
183. ábra: A többszörös gátrendszer (multibarrier system) elve

A vonatkozó hazai jogszabály, a 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet szerint a nagyaktivitású hulladékok esetében a végleges elhelyezés biztonságát meghatározó rendszerelemek közül kiemelt jelentőséget kell tulajdonítani a földtani gát alkalmasságának. Szűkebb értelmezésben a földtani gát fogalmát magával a potenciális befogadó képződménnyel azonosíthatjuk. Számos helyszín esetében ennél azonban korrektebb megoldás lehet, ha a földtani gáthoz soroljuk a potenciális befogadó képződmény földtani környezetének azon elemeit illetve részeit is, amelyek a szennyeződésterjedés folyamatában – akár az elérési úthossz növelésével, akár pedig a radioizotópok mobilitását gátló fizikai és geokémiai hatások révén – érdemben képesek hozzájárulni a bioszféra védelméhez. Egy átfogó elemzés eredményeként az a szakmai álláspont alakult ki, hogy a BAF-on kívül annak alaphegységi földtani környezete is a természetes földtani gát részét képezheti, egészen a Hetvehelyi Formáció Magyarürögi Anhidrit Tagozatáig bezárólag. Ez vertikálisan legalább 2500-3000 m vastagságú kőzetkörnyezetet jelent (lásd. **184. ábra**). Természetesen ennek „hasznos” része a lehetséges áramlási pályákon múlik. Mindez a feltáró létesítmények telepítésénél meglehetősen nagy szabadságot biztosít.

A földtani gát, fentiekben megfogalmazott, kiterjesztett értelmezésével összhangban földtani értelemben a következőképpen definiálhatók a bioszféra határait: *A bioszférához tartozik az embernek, illetve az őt körülvevő élő, bármilyen tápláléklánchoz bármilyen szinten és módon kapcsolódó környezetnek földfelszín fölötti élettere, valamint a földtani környezet (szilárd földkéreg vagy kőzetburok) azon része is, amely ezzel az élettérrel bármilyen gyors migrációs kapcsolatba kerül, vagy kerülhet.*

E definíció szerint a vizsgált területen D-i és Ny-i irányban a Mecsek-alja-árokig illetve a Mecsek-alja szerkezeti övig a kővágószőlősi antiklinális alaphegységi képződményeinek fedőjében települő miocén, pannon, negyedidőszaki kavicsos, homokos, agyagos kifejlődéseket, K-i irányban az uránércbánya üregrendszerét, illetve az általa létrehozott elsődleges hidraulikai hatásövezetet, míg É-i irányban a karsztosodásra hajlamos karbonátos képződményeket (pl. Magyarürögi Mészke Tagozat és a Misinai Formáció) kell a bioszféra részének tekinteni.

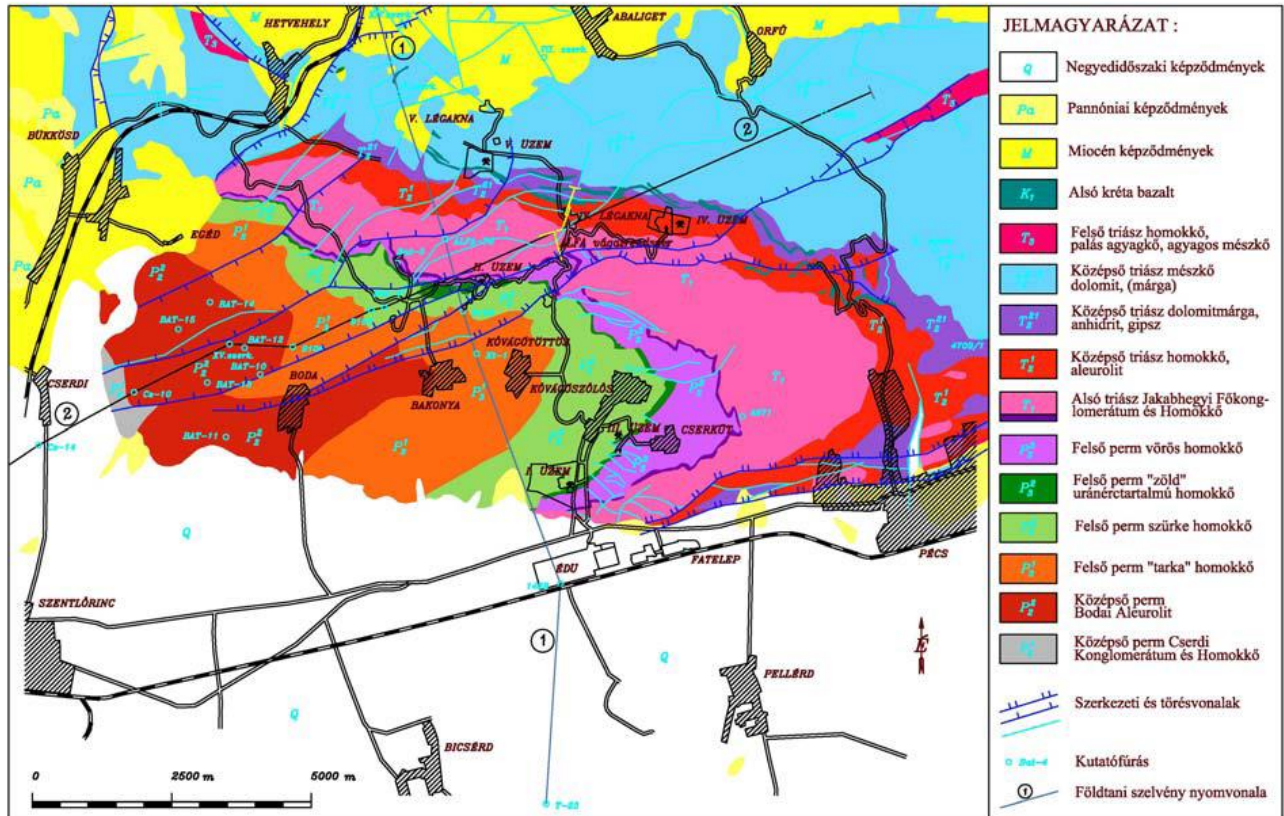
A Nyugat-Mecsek rétegoszlopa Geological column of West Mecsek



184. ábra: A Ny-Mecsek elvi földtani rétegoszlopa

További részletező vizsgálatok tárgyát kell képezze, hogy az egyes szerkezeti blokkokon belül húzódnak törések (pl. az ún. Búdöskúti szerkezeti zóna) illetve a Magyarország-Hetvehely

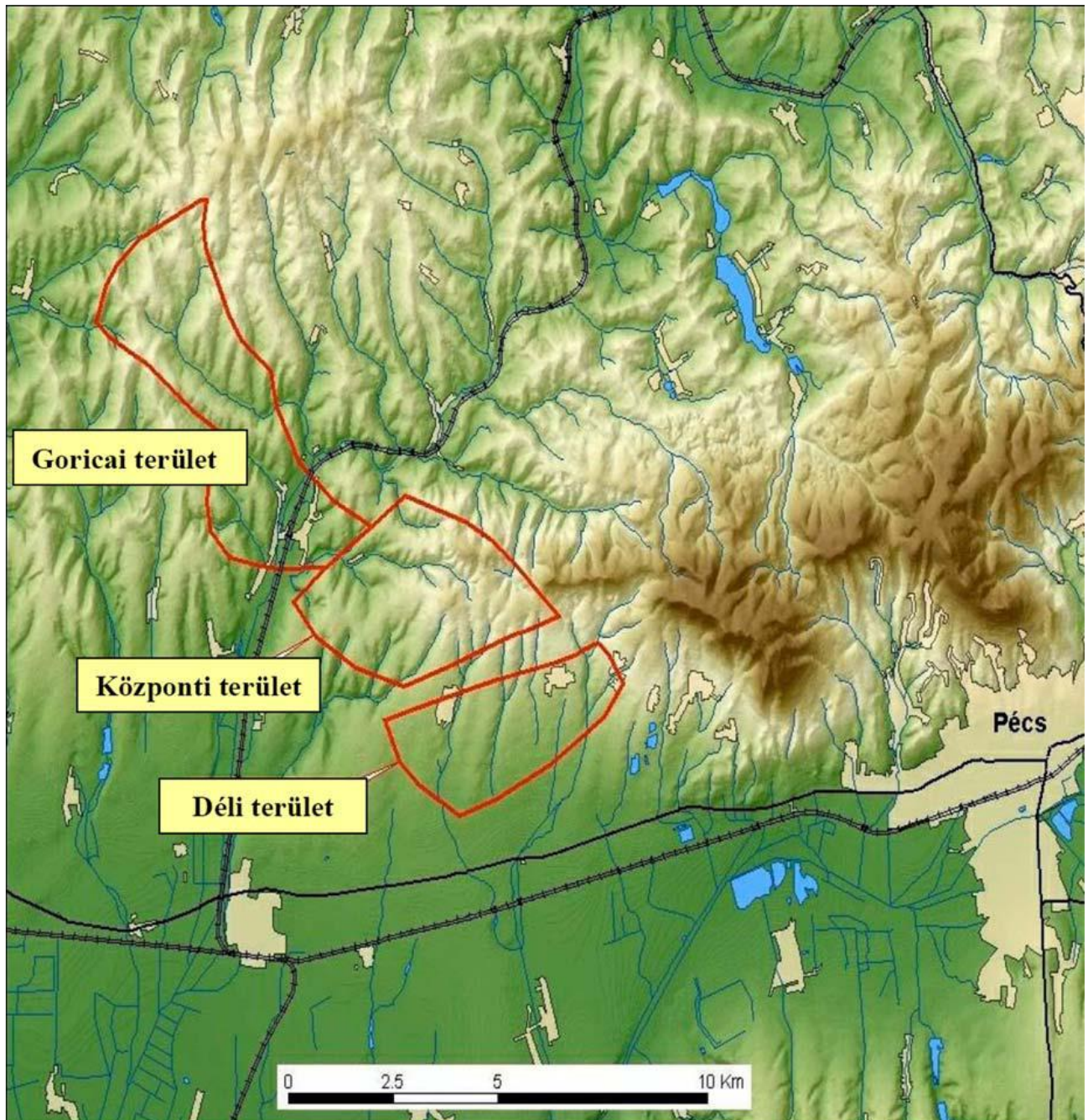
szerkezeti vonal egyes szakaszai bioszféra-határként értelmezhetőek-e (lásd a **185. ábra**). Amíg az elvégzett vizsgálatok alapján e kérdésekre esetleg pozitív válasz nem születik, a konzervatív megközelítés jegyében e töréseket a bioszféra részének kell tekinteni. A felsorolt képződményektől, tektonikai elemektől illetve zavaró objektumoktól való megfelelő távolság biztosítása a telephely kijelölésének egyik lényeges eleme.



185. ábra: A Ny-mecseki antiklinális földtani térképe

A végleges elhelyezés megvalósíthatóságának és biztonságának megítéléséhez a BAF, mint potenciális befogadó ösztlet teljes ismert elterjedési területét (>150 km²), illetve földtani és vízföldtani környezetét is részletesen vizsgálni kell. A potenciális telephely azonban ennél értelemszerűen kisebb térrészben képzelhető el. Az előzetes leszűkítést egyrészt geometriai, másrészt izolációs, biztonsági, környezetvédelmi és területhasználati okokból kellett elvégezni. Az elvégzett előszűrések után mintegy 40-45 km² horizontális, illetve 500-600 m vertikális kiterjedésű térrész áll rendelkezésre a végleges elhelyezés optimális helyszínének kijelöléséhez. Ezt a térrészt földtani-tektonikai-vízföldtani okok (részben a jelentősen eltérő földtani felépítés, részben pedig a bioszférához tartozónak feltételezett határoló törérendszerek jelenléte) miatt az alábbi három ún. potenciális célobjektumokra lehetett felosztani (**186. ábra**):

- a kövágószőlősi antiklinális területén lévő, a Búdöskúti-törérendszerrel D-re húzódó blokk (Déli terület),
- a kövágószőlősi antiklinális területén a Búdöskúti-törérendszerrel É-ra, a Hetvehely-Magyarország övön húzódó blokk (Központi terület),
- az ún. Gorica terület, amelyet Ny-ról az ún. Bükkösd-törés, míg É-ról a Bakócai szerkezeti vonal határol.



186. ábra: A BAF-ban kijelölhető három potenciális célobjektum

Mint ahogy a felszíni kutatás célkitűzése szerint a programfázis elsődleges feladata az, hogy a fenti blokkok között minőségi, továbbkutatási rangsort állapítson meg, a végleges elhelyezés feltételezett telephelye jelenleg megalapozottan tovább nem szűkíthető.

Éppen ezért a védelmi koncepció összeállításakor teljesen önkényesen került kijelölésre a Központi (centrális) blokk, mint az elhelyezési referenciavátozat helyszíne. A BAF-ban tervezett végleges elhelyezés mélységtartománya – illetve az ezzel részben összefüggő elhelyezési alapeometria egyelőre szintén nem lehet véglegesített. Ezzel kapcsolatban az 1999-ben lezárt, felszín alatti vizsgálati módszereket is bevető kutatási fázis (az ún. Rövidtávú Program) során került közlésre elemzés [33]. E szerint egy önkényesen kiválasztott geometriával és elhelyezési rendszerrel (a kiégett fűtőelemek esetében horizontális

tárolókamrák talpába fűrt nagy átmérőjű fűrólyukakba süllyesztett tokokkal, a nagyaktivitású hulladékok esetében a tárolókamrák szelvényében elhelyezett konténerekkel) számolva a végleges elhelyezés szükséges felszín alatti mélysége valószínűsíthetően 700-800 m lehet. Ezt a következő ismeretek támasztották alá: Az izolációs viszonyok alakulásában döntő kérdés az, hogy a potenciális befogadó összletben felismerhető-e olyan, a Darcy-törvénnyel leírható (repedés menti) vízáramlási mechanizmus, amely a nem tökéletes önzárásból fakad. A BAF, mint potenciális befogadó kőzet az agyagjellegű befogadó kőzetek kategóriájába tartozik. Jelenleg megismerhető izolációs tulajdonságait alapvetően speciális képződési környezete, viszonylag idős kora, valamint fejlődéstörténete határozza meg. A nemzetközi szakirodalom szerint éppen az ilyen, előrehaladott konszolidációs fokon álló, szilárd, de agyagtulajdonságaikat még megőrző aleurolitok, agyagkövek alkotják a nukleáris hulladékok végleges elhelyezése szempontjából értékelhető agyagjellegű képződmények skálájának egyik végpontját. (A másik végletet a fiatal, alulkonszolidált, plasztikus agyagok jelentik.) Az összehasonlító elemzések számos közös tulajdonságot mutattak ki a különböző agyagjellegű kőzetváltozatok között. Ezek közül a védelmi koncepciót leginkább meghatározó jellemzők a mátrixanyag alacsony permeabilitása és a kedvező izotópmigrációs tulajdonságok. Szintén közös, bár kevésbé kedvező sajátosság a komplex, mélységében nehezen megérthető szerkezet és viselkedés. A már kis mélységtartományban is viszkoplasztikus viselkedést mutató fiatal agyagokban (valamint a kősóban) tervezett elhelyezés alap gondolata a teljes mértékű és általános önzárás (öngyógyulás) érvényre jutása. E mechanizmus következtében nem kell számítani a törések, repedések mentén végbemenő advektív szennyeződésterjedésre. Így a befogadó kőzettest geometriáját a nagy koncentrációkülönbség hatására a pórusokban lejátszódó, igen lassú diffúzió nuklidszállításnak megfelelően kell "mérétezni". Ezért a végleges elhelyezés kisebb felszín alatti mélységben (esetleg 200-300 m), és viszonylag kisebb összletvastagság (100 m) mellett is reális cél lehet. (Erre szükség is van, mert nagyobb mélységben ezek a kőzetek technikailag általában nem alkalmasak a szükséges méretű tárolóüregek kialakítására.) A BAF esetében a kőzetmátrix extrém alacsony hidraulikai vezetőképességgel (<10-15 m/s) és porozitással (0,5-2,0 %) jellemezhető. Noha mérésekkel igazolható volt, hogy a tektonikai jelenségek szinte kivétel nélkül a nagyobb mélységű (2000-4000 m) eltemetettségi időszakában, a teljes önzárás állapotában keletkeztek, az is bebizonyosodott, hogy a különböző korú, jellegű, orientációjú és kitöltőanyagú tektonikai jelenségek egy része jelentősen befolyásolhatja – esetleg a kritikus határ fölé is emelheti – a hidraulikai vezetőképességet. Ezért helyenként a végleges elhelyezés reális mélységtartományának alsó határán (1000 m-es mélységben) is kimutathatók voltak olyan, kis volumenű, repedésmenti áramlási folyamatok is, amelyek a nem tökéletes önzárásból fakadnak. Így kizárhatjuk, hogy a BAF – a fiatal, plasztikus agyagokhoz hasonlóan – kis fedővastagság mellett is tökéletes izolációt biztosítsa.

A nagy kiterjedésű, konszolidált BAF védelmi koncepcióját éppen ezért úgy célszerű meghatározni, hogy abban ötvöződjene a fiatal agyagok, illetve az önzáróképességet általában szinte egyáltalán nem mutató kristályos befogadó kőzetek kedvező sajátosságai. A világszerte vizsgált gránit-helyszínek védelmi koncepciója éppen a nagy sebességű nuklidszállítást lehetővé tevő, összefüggő, a BAF-ban valaha mértnél lényegesen nagyobb hidraulikus vezetőképességű törésrendszerek elkerülésére épül; akár az elhelyezési mélység, vagy a tároló geometriai méreteinek növelése árán is. Ennek az a feltétele, hogy minden irányban megfelelő kiterjedésű, ép kőzettömb álljon rendelkezésre. A BAF vázolt geometriai mérete, illetve fő jellemzőinek nagyfokú homogenitása az ilyen megközelítést szintén lehetővé teszi. A BAF-ra jellemző, kiemelkedően kedvező geomechanikai viszonyok mellett az üregállékonyság kérdése nagyobb mélységben sem jelentkezik korlátként. Így a BAF esetében lehetőség van arra, hogy a gránitos koncepció alap gondolatával tovább fokozzuk a végleges elhelyezés biztonságát. A

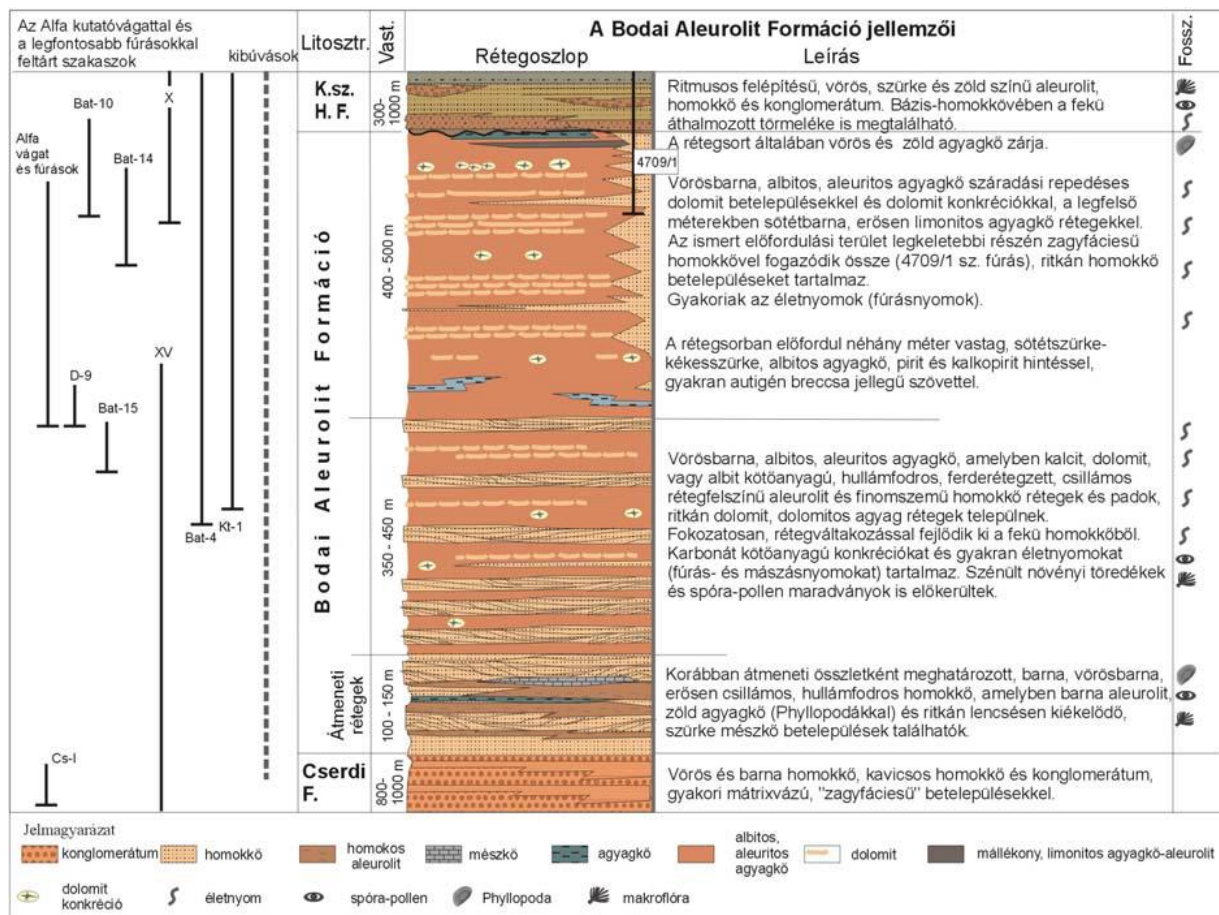
viszonylag nagyobb mélységű végleges elhelyezést egy további tény is szükségessé teheti: Ismeretes, hogy a Ny-Mecsek tömbje a geológiai közelmúltban viszonylag egyenletes, hozzávetőleg 0,4-0,5 mm/év sebességű emelkedést produkál. Bár az eróziósebesség ennél az értéknél valószínűsíthetően jóval kisebb, okkal feltételezhető, hogy az elhelyezendő hulladékok veszélytelenné válási idején belül a felső mintegy 100-200 m-es kőzetzóna leterhelődik, fellazul, és jelenleg megismerhető izolációs viszonyai alapvetően megváltoznak. Természetesen az izolációs képesség megítélése nem egyszerűsíthető le csupán a hidraulikus vezetőképesség, vagy más hidrodinamikai paraméterek vizsgálatára. A 2004. előtt elvégzett vizsgálatok számos olyan egyéb sajátosságot és folyamatot tártak fel a BAF-al kapcsolatban, amely közvetlen összefüggésben áll az izolációs potenciállal. Ezek egy részének vonatkozásában már korábban is részletes geomatematikai vizsgálatok kezdődtek, amelynek eredményei alapján előzetesen azt valószínűsíthetjük, hogy a BAF a Nyugat-Mecsekben tanulmányozott elterjedési területén belül a földtani kifejlődés, ásvány-kőzettani összetétel és geokémiai jellemzők tekintetében viszonylag egységesnek, kis változékonyságúnak tekinthető. Különösen szembeötlő a formáció laterális értelemben vett nagyfokú homogenitása. Ez a homogenitás a BAF egyes rétegszintjein belül is igaz, viszont a korábbi kutatások alapján elkülönített, a keletkezés időszakán belül kis mértékben megváltozó üledékképződési környezetet tükröző három rétegszint (lásd. a **187. ábra**) ilyen értelmű összehasonlításához eddig kevés információ gyűlt össze. Az eddigi kutatási eredmények alapján az valószínűsíthető, hogy a végleges elhelyezésre a BAF felső 500-600 m vastagságú része javasolható leginkább. Mivel az 1994 és 1999 között kiépített, illetve üzemeltetett kutatóvágat a fedőtől számított mintegy 250-350 m-re lévő rétegszintet tárta fel, az ott tapasztalt kedvező kutatási eredmények alapján [33] ezt tekinthetjük az elhelyező létesítményt majdan befogadó rétegszakasznak.

A műszaki megvalósítási koncepciótervben – a fenti elemzést elfogadva, és a BAF fedőszintvonalas térképének ismeretében (lásd. a **188. ábra**) – egy olyan elvi, előzetes telephely került kiválasztásra a centrális blokkon belül, ahol egyszerre érvényesülhet a 700-800 m felszín alatti mélység, illetve a fedőtől számított 250-350 m távolság követelménye. Hangsúlyozni kell azonban, hogy ez egyelőre nem végleges és egyáltalán nem teljeskörűen alátámasztott döntés.

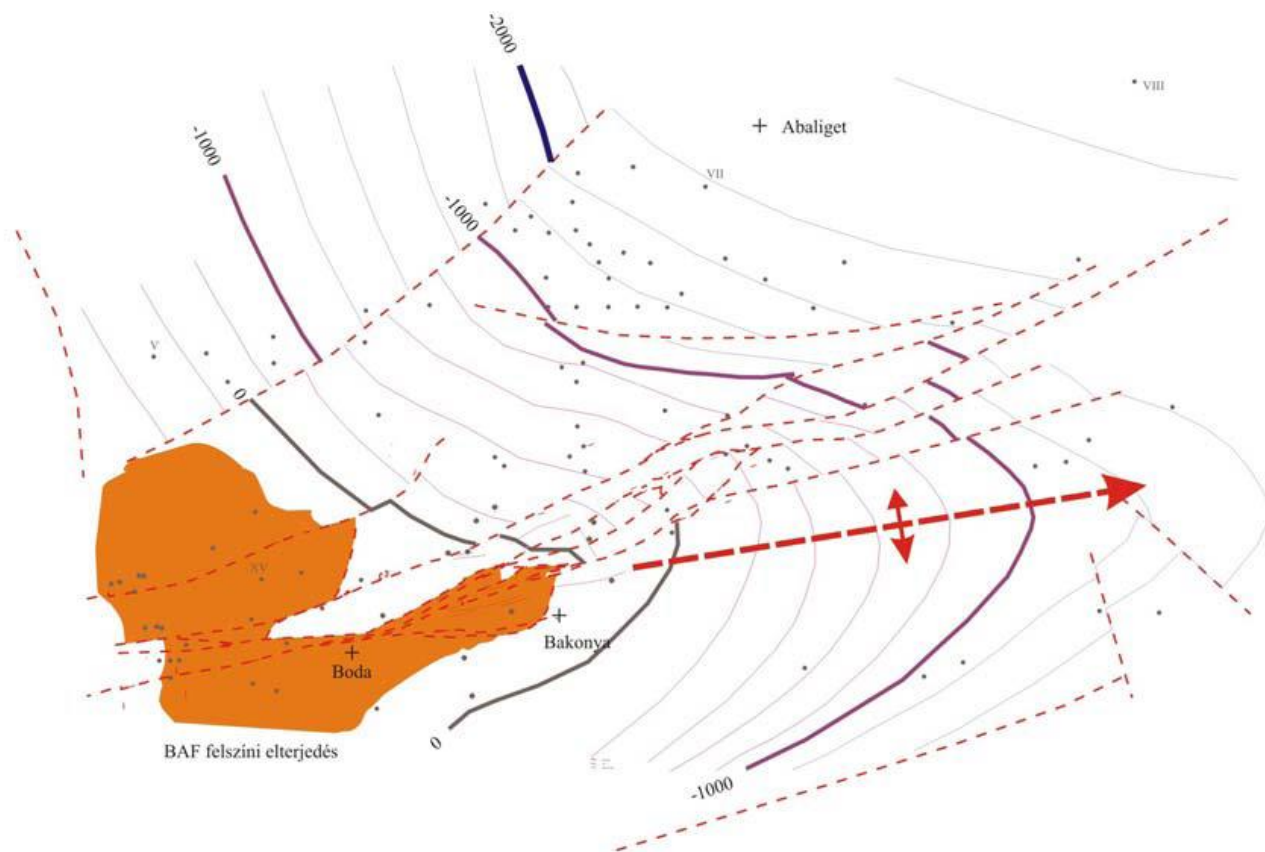
Az elhelyezési rendszer és az azzal szorosan összefüggő mérnöki gátrendszer tekintetében 2004 előtt egyáltalán nem folytak kutatási és tervezési munkálatok. Ezért az elhelyezési referenciaváltozat kiválasztásához is csak néhány, előzetes jellegű megfontolás vezethetett. Ezek a következők voltak: a nagy aktivitású hulladékok és a kiégett fűtőelemek közvetlen elhelyezésére a nemzetközi gyakorlatban általában mérlegelt megoldások közül:

- Alapvető biztonsági megfontolások miatt a felszínről mélyített hosszú fúrólukas elhelyezési rendszer egyáltalán nem jöhet szóba.
- A föld alatti kutatólaboratóriumban 1995 és 1999 között elvégzett vizsgálatok alapján az valószínűsíthető, hogy a BAF tulajdonságai nem illeszkednek jól a vágat oldalában, horizontális irányban mélyített furatokba történő elhelyezéshez.
- A szintes tárolóvágatok szelvényén belül történő elhelyezés elvileg ugyan nem zárható ki, ám e változat igazi előnye akkor domborodna ki, ha egy többcélú (szállító- és végleges elhelyező), robosztus konténer engedélyeztetésével és alkalmazásával feleslegessé válhatna a többszöri átrakodás. Amíg azonban erre még elvi lehetőség sincs, ezt a változatot érdemben nem célszerű vizsgálni.

- A vágat talpából függőlegesen (vagy nagy dőlésszöggel) lefelé mélyített, akár több száz m hosszú fúrólukokban történő elhelyezés (ahol a fúróluk teljes hosszát a potenciális befogadó képződményen belül kell kialakítani) egyelőre kísérleti jelleggel vizsgálják, de eddig egyetlen ország sem emelte a hivatalos koncepció szintjére. A későbbiekben elképzelhető, hogy a BAF kapcsán is elemezni kell ezt a változatot annak érdekében, hogy az elhelyezés tényleges mélységtartománya a teljes önzárás határmélysége felé tolódhasson.
- A fentiek miatt a vágat talpából mélyített rövidebb, függőleges furatokban való elhelyezést tekintettük elsődleges referencia-változatnak. E megoldás nagy előnye, hogy a nemzetközi szakirodalom szerint gazdaságos telepítést és könnyebben beépíthető mérnöki védelmet biztosít. Nem utolsósorban azért is esett erre a választás, mivel a nemzeti koncepciók többsége szintén ezzel az elhelyezési geometriával számol, így – akár az előzetes műszaki tervezésnél, akár pedig a költségbecslés során megalapozott és részletes információkból lehetett kiindulni.



187. ábra: A BAF három rétegszintje és azok legfontosabb jellemzői



188. ábra: A BAF fedőszintvonalas térképe

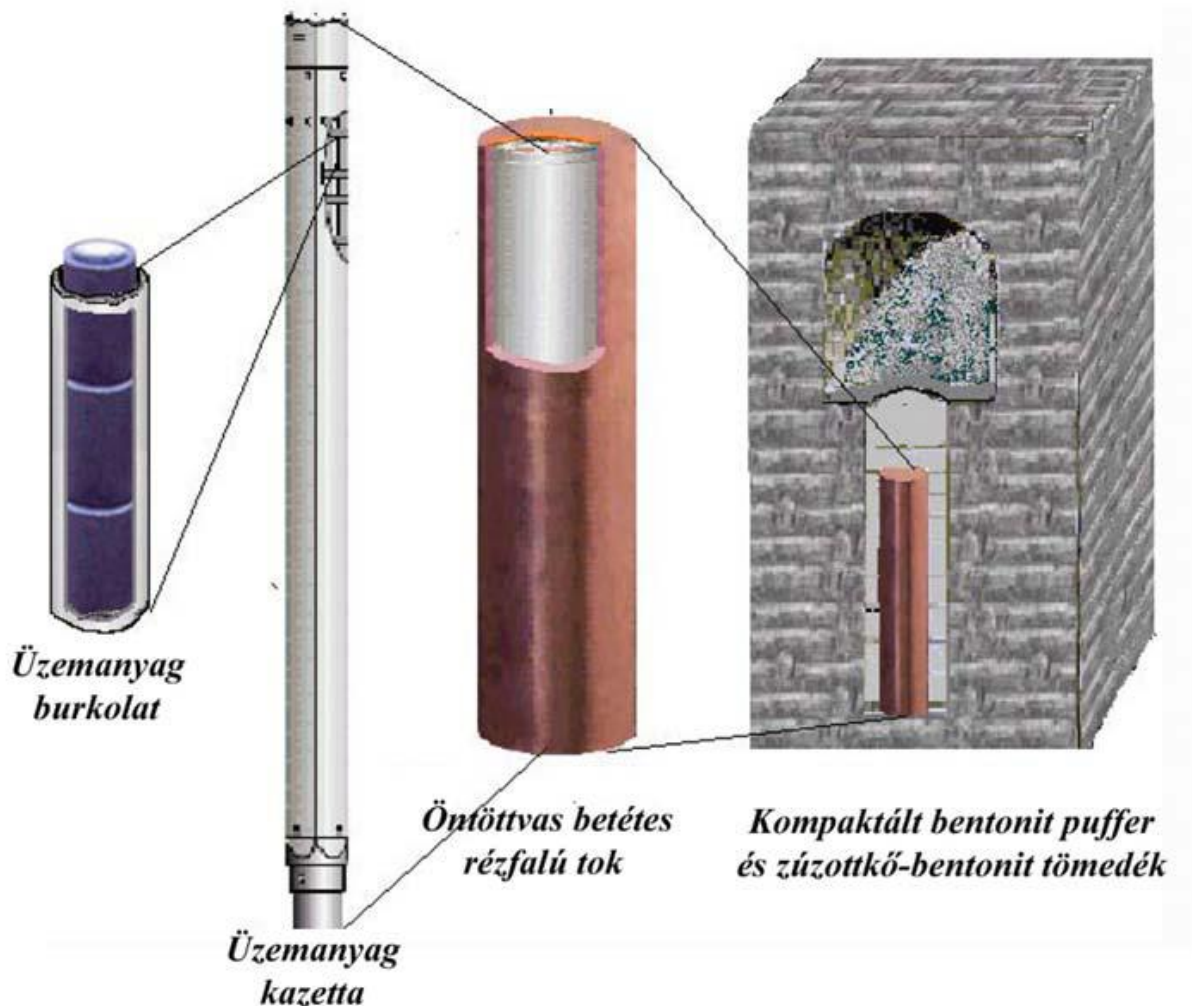
23.5. A műszaki megvalósítási koncepcióterv releváns elemei

Amint azt már említettük, a végleges elhelyezés műszaki megvalósításának jelenleg érvényes, hivatalos koncepciótervét 2005 év elején véglegesítette a TS Enercon Kft. [32]. Ezzel az évről-évre ismétlődően elkészítendő közép és hosszú távú tervekben referencia-forgatókönyvként bevezetett cikluszárási stratégia (a kiégett kazetták és a nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok hazai együttes, késleltetés nélküli és közvetlen elhelyezése) költségbecslését és tovább kiinduló adatait pontosítani lehetett. A korábbiakban a költségbecsléshez az RHK Kht. alapvetően a korai OECD/NEA anyagokból átvett 500 USD/kg nehézfém fajlagos költséget alkalmazta. A műszaki megvalósítási koncepcióterv elkészítésével elsősorban ezt az évről-évre egyre inkább megkérdőjelezett, és egyre elavultabb forrásból származó költségadatot kellett felváltani a hazai tapasztalatokra épülő, a magyarországi realitásokat figyelembe vevő becslésekkel.

A műszaki megvalósítási koncepcióterv legfontosabb eredményei, megállapításai:

- Elkészült a BAF-ban elhelyezésre szánt kiégett üzemanyag és nagy aktivitású/hosszú felezési idejű hulladékok leltára.
- Megvizsgálták a besugárzott üzemanyagok kirakásának, elszállításának és a végleges tárolásra történő előkészítésének menetét. E szerint meg kell valósítani a KKÁT telephelyén egy építményt (száraz átrakó létesítmény, vagy dokkoló létesítmény), amiben lehetőség nyílik a besugárzott kazetták átrakására a C30 konténerből egy telephelyen kívüli szállításra is alkalmas szállítókonténerbe. Erre azért van szükség, mert a KKÁT fogadó épületében a jelenlegi körülmények közt sem geometriailag, sem pedig technológiailag nem fogadhatók az engedéllyel rendelkező, világpiacon elérhető

nagyméretű, szállítókonténerek (pl. CASTOR-84M, ami kimondottan a VVER típusú üzemanyagra lett tervezve). Miután a kiégett kazettákat átrakták a nagyméretű szállítókonténerekbe, a konténereket átszállítják a mélygeológiai tároló telephelyén (Nyugat-Mecsek) kialakított tokozó üzembe. Itt megtörténik a besugárzott üzemanyagot tartalmazó szállítókonténerek fogadása, felnyitása és kiürítése. A besugárzott kazettákat az elhelyezési célokat szolgáló acél betétes réztokba helyezik. Miután lezárják az elhelyezési (réz) tokokat és befejeződik azok ellenőrzése, a megtöltött elhelyezési tokokat egy átmeneti tárolóba helyezik, és ezt követően sor kerülhet a besugárzott üzemanyag végleges mély geológiai formációban való elhelyezésére. A műszaki gátrendszer jelenlegi tervek szerinti elemeit a **189. ábra** mutatja be.



189. ábra: A BAF-ban tervezett végleges elhelyezés műszaki gátrendszere

A besugárzott üzemanyag kezelésének általános eljárási sémája a külföldi előképekre épült, és az alábbiak szerint jellemezhető:

- Az eljárási séma kialakításakor az RHK Kht. 4. közép- és hosszú távú terve volt érvényben. Ez a terv egy olyan hulladékkezelési koncepcióra épült, amelyben a KKÁT kiürítésére pontosan annyi idő volt előirányozva, mint amennyi idő alatt a tárolót feltöltötték. Így minden besugárzott üzemanyag köteg 50 éves pihentetés után került átszállításra a KKÁT-ból a mélygeológiai tárolóba, azaz a végleges elhelyezés helyszínére. A fentiek miatt a koncepcióterv sem a kiszállítás sebességére, sem pedig a besugárzott kazetták átvételére nem adott meg időbeli korlátot, vagy megszorítást, mivel az évi maximum 500 darab kazetta kiszállításának, illetve ezen kazetták végső elhelyezését előkészítő tevékenységnek műszaki akadályja nem merült fel.

- Az eljárási séma kész tényként kezelte, hogy a szállítás a C30 típusú konténerben nem megvalósítható. Ugyanúgy tényként könyvelték el, hogy a ma ismert, engedélyezett és a világban elérhető konténerek mérete sokkal nagyobb, mint a C30-é. Az is a feltételezések közt szerepelt, hogy a szállítás a jelenlegi 30 kazetta/konténer mennyiségnél nagyobb tételekben fog célszerűen megvalósulni.
- A besugárzott kazetták kiszállítását kiszolgáló létesítményre a koncepcióterv két módozatot vizsgált meg:
 - Az egyik megoldás az ott leírtak szerint a KKÁT fogadó épületéhez csatlakozik a keleti oldalon. Ebben a létesítményben a szállító konténerek feltöltését a KKÁT rendelkezésre álló berendezései valósítják meg. További változatként megemlítesre került a fogadó épülethez való csatlakoztatás déli irányban. Ebben a változatban a C30 szállító kocsis útvonala hosszabbodna meg, de ennek az alternatívának megvalósíthatósága nem került elemzésre.
 - A másik megoldást a telephelyen megvalósuló önálló száraz átrakó létesítmény testesíti meg. Az önálló átrakó létesítmény helyét a koncepcióterv nem jelölte ki. Ezzel a dokkoló létesítménnyel kapcsolatban belátható, hogy érzéketlen a későbbiekben kiválasztásra kerülő szállítókonténer méreteire, súlyára és egyéb igényeire, így a KKÁT-tól független dokkoló tervezése, engedélyeztetése és megvalósítása szabadon készíthető.
- A kiszállítási változatok költségbecslése konzervatívan történt, és az önálló száraz átrakó létesítmény költségeit vette figyelembe.
- A szállítás módjára a koncepcióterv közúti szállítást irányzott elő. Ezt a koncepciót három szállítási változat (közúti, vasúti, vegyes szállítás) összehasonlításával és elemzésével jelölte ki.
- A szállító konténer kijelölése a koncepcióterv szintjén abból indult ki, hogy ma a világon csak 2 konténer rendelkezik engedéllyel VVER 440 kazetták szállítására. A két szállítási engedéllyel rendelkező konténer közül az egyik a TK-6 (oroszl típus: 30 kazetta/konténer), a másik pedig a CASTOR 84M (német típus: 84 kazetta/konténer). A CASTOR 84M alkalmazásához előirányzásához hozzájárult, hogy a TK-6 már nagyon régi típus és kérdéses, hogy meddig lesz még engedélyezhető a használata. Ugyanakkor a CASTOR 84M egy modern termék, és a szállítási kapacitása nagyobb, tehát a teljes besugárzott kazetta mennyiség elszállítása kevesebb fuvarban valósítható meg. Tovább erősítette a koncepcióterv szintjén a német konténer kiválasztását, hogy a CASTOR használata nem ismeretlen a paksi atomerőműben.
- Az elhelyező konténer kiválasztásával kapcsolatban a koncepcióterv nem elemzett több változatot, hanem előzetes jelleggel a svéd konténerre kidolgozott finn megoldás bevezetését irányozta elő. Mivel a VVER-440 kazetták elhelyezésére vonatkozó, költségbecsléssel rendelkező konténerek egyedül a finn elképzelések között szerepelnek, ezért ezzel összefüggésben más reális alternatív megoldásokat akkoriban nem lehetett bemutatni. Ez viszont – a szakmai köztudatban elterjedt véleménnyel szemben – azt is jelenti, hogy az elhelyező konténer kiválasztása és a földtani, geokémiai körülményekhez történő illesztése egyáltalán nem lezárt folyamat.
- A megépítendő felszíni fogadó és tokozó épület helyszínét a koncepcióterv – minden különösebb megfontolás nélkül – a végleges elhelyező létesítmény felszíni telephelyén vette figyelembe. Ez a posztulátum a külföldi előképek automatikus átvételén alapult. Egy ilyen típusú megoldás nagyon kézenfekvő egy olyan országban, ahol több atomerőmű van üzemben, hiszen ilyenkor több beszállító küldi a besugárzott fűtőelemeket a kiválasztott közös mélygeológiai tároló telephelyére. Ugyanígy logisztikai szempontok szerint kézenfekvő ez a megoldás akkor is, ha a tároló az egyik, esetleg az egyetlen atomerőmű telephelyéhez kapcsolódik. Ha azonban csak egyetlen

(egy telephelyhez kapcsolódó) atomerőmű üzemét vesszük figyelembe, akkor a kiégett kazetták előkészítése megtörténhet az atomerőmű telephelyén is. Az időközben eltelt időszak egyes eseményei a közeljövőben amúgy is szükségessé tehetik a fentiekben vázolt séma felülvizsgálatát. Így pl. megalapozottan merülhet fel a tokozó üzemnek a KKÁT területén, a dokkoló egységgel összevontan történő kialakítása is. E kérdés eldöntése a kutatások szempontjából is igen fontos, mert ez erőteljesen befolyásolhatja a kialakítandó URL illetve végleges elhelyező létesítmény felszíni üzemterületének szükséges méretét.

A hazai mélygeológiai tároló létesítési programja azzal számol, hogy a felszíni földtani kutatás alapján kiválasztott, továbbkutatásra alkalmasnak minősített telephelyet megfelelő módon fel kell tární, és a befogadó kőzetben az alkalmasság végső eldöntése és a szükséges minősítő illetve demonstrációs tesztek lefolytatása érdekében egy föld alatti kutatólaboratóriumot kell működtetni. Mivel alkalmasság esetén az URL a végleges létesítmény részévé válhat, ezért a tárolót feltáró létesítmények helyét úgy kell kiválasztani, hogy azok megfeleljenek a mélygeológiai tároló funkcióinak is.

Az URL és a végleges elhelyező létesítmény koncepcionális tervei számos vonatkozásban támaszkodtak a BAF korábbi kutatások alapján kialakított védelmi koncepciójára.

Az URL feltárására – lényegi összehasonlító elemzések nélkül két darab, 8,5 m belső átmérőjű, a majdani hulladékszállításra is alkalmas kivitelű függőleges akna mélyítését irányozták elő. A centrális helyzetű aknák tervezett mélysége – a BAF védelmi koncepciója kapcsán ismertetettekkel összhangban 760 m. Az URL térségeit – annak prognosztizáltan hosszú távú működtetése miatt – az egymáshoz legközelebb eső két főfeltáró létesítmény környezetébe célszerű telepíteni. A mélységfüggő jelenségek vizsgálata érdekében a terv két főszint kialakítását irányozta elő. A koncepciótervben az URL és a végleges elhelyező objektum főbb létesítményeinek egy vázlatos elrendezése is megtalálható (**190. ábra**). E szerint az URL-t az aknákon kívül mintegy 3000 m összes hosszúságú horizontális föld alatti térség alkotja majd.

A laboratóriumi célú föld alatti fejlesztéseknek igazodni kell a tároló tervezett geometriájához, elrendezéséhez. Következésképpen a laboratórium tervezésével egy időben el kell készíteni a leendő tároló terveit is. Ennek alapelemeit a koncepcióterv a következők szerint adja meg:

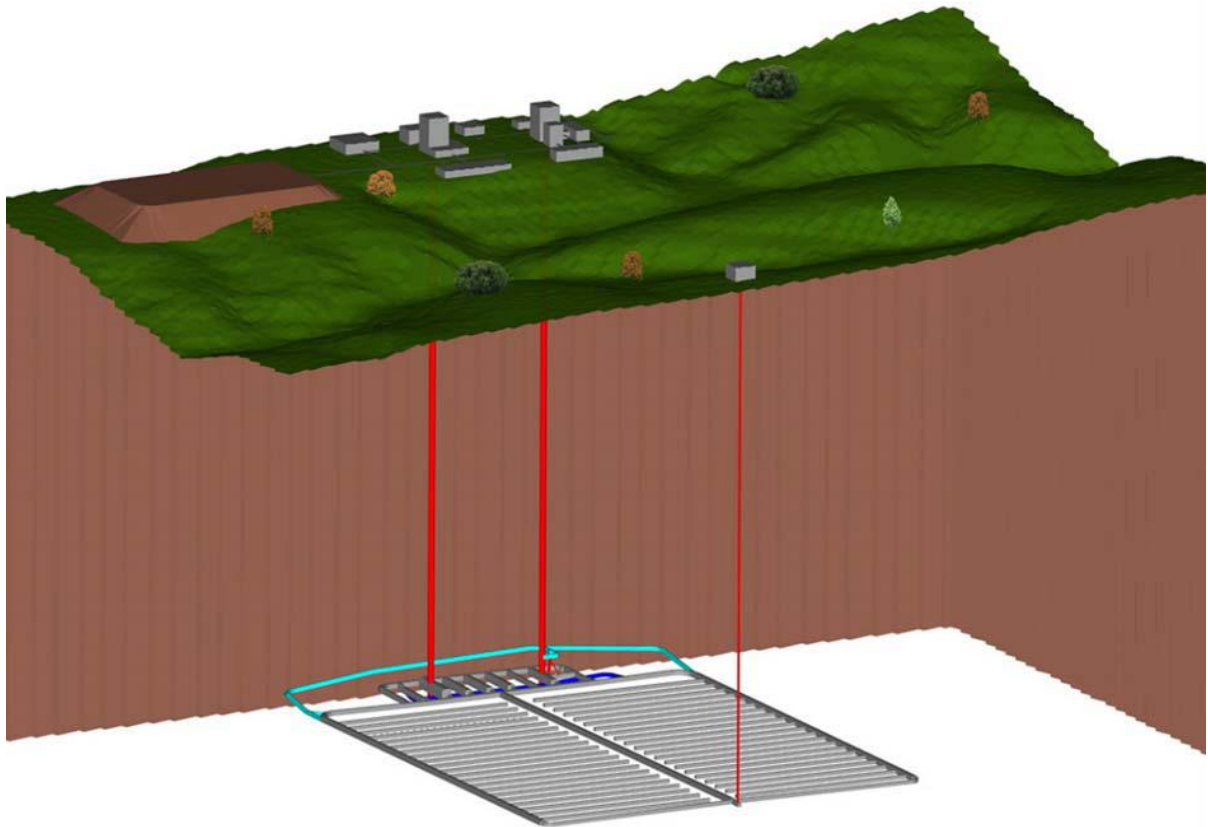
- A végleges elhelyező létesítményt egy harmadik, a már korábban kialakítottakhoz viszonyítva diagonális helyzetű aknával is fel kell tární (ld. a 190. ábra). Ez lesz a létesítmény főkihúzó aknája.
- Az elhelyező térrészt az URL térségéből kiindulva, mintegy 2600 m hosszúságú hurokvágattal kell majd feltárni és összekötni a harmadik aknával is.
- Az előzetesen tervezett lerakó tér – zavartalan földtani viszonyokat feltételezve – a svéd koncepció gépesítési tervére támaszkodó lerakóvágat-szelvényvel, egyszintes elrendezéssel, közel 700x700 m²-es befogadó mérettel számolva összesen mintegy 960 kiégett üzemanyagot tartalmazó tok befogadására alkalmas. (A valóságban a vágatok száma változhat az egyes lerakó területek geometriájától függően, ha kedvezőtlen földtani körülmények korlátozták az egyes vágatok hosszát, vagy növelik a köztük lévő pillérek méretét.) Az alapváltozat mintegy 11.000 fm lerakóvágat kialakításának igényével számol. A lerakó vágatokat egymással és a kiszolgáló területtel vágatok, közmű vezetékek és szellőztető rendszerek kötik össze.
- A Paksi Atomerőmű esetleges élettartam-hosszabbításának lehetősége miatt a koncepcióterv fenntartja a kialakított rendszer bővíthetőségét.
- A kiégett üzemanyagokat tartalmazó tokokat a lerakó vágatok talpába mélyített nagyatmérőlű fúrólyukak fogadják be. A fúrólyuk méreteit a lerakó tartály hossza, átmérője illetve a műszaki gát tervezett méretei határozzák meg. Egy-egy fúrólyuk mélysége kb. 7 m, átmérője 1,75 m. A fúrólyukakat a kiégett üzemanyag-tok lerakása

előtt a nagynyomáson kompaktált bentonit elemekből álló pufferrel bélelik ki. A bentonit elemeket a felszíni telephelyen gyártják.

- A lerakó vágatok közötti távolságot, valamint a lerakó aknák közötti osztás mértékét a kőzet és a hulladékcsomagok hőtechnikai adatai határozzák meg. A koncepcióterv a termikus paraméterek előzetes értékelése alapján 25 m-es vágatpillér mérettel és 10 m-es lerakó akna kiosztással számol.

A koncepcióterv azzal számolt, hogy a lerakó vágatba szállított árnyékolt hulladéktöket szállítójárműről átrakják a távvezérelt lerakó gépre, amely a szükséges műveletsorok elvégzésével a kibélelt lerakó aknába helyezi az árnyékolásból kikerülő tokot. Ezt követően az aknát bentonit tömbbel lezárják és védőfedéllel látják el. Egy-egy lerakó vágat tömedékelése a vágatban lévő összes lerakó akna betöltésének befejezését követően azonnal megkezdődik. Tömedékanyagként a zúzottkő és a bentonit egyelőre nem meghatározott arányú keveréke jöhet szóba. A tároló végső lezárásának technológiája megegyezik a lerakó vágatok tömedékelésénél előírányozottal.

Összhangban a jelenleg érvényes hazai előírásokkal, a tervezők abból a feltételezésből indultak ki, hogy a tárolóban elhelyezett hulladékok a lezárást követően is visszanyerhetőek lesznek – bár ennek konkrét műszaki és pénzügyi vonatkozásai nem kerültek kidolgozásra.

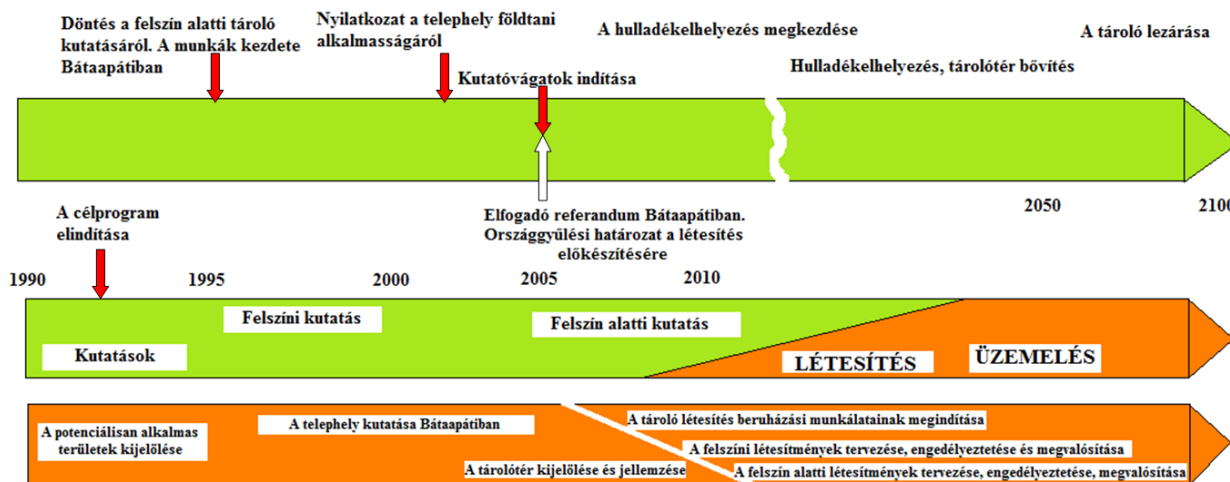


190. ábra: Az URL és a végleges elhelyező létesítmény vázlata

24. Szemelvények a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéktároló kutatás és létesítés hazai gyakorlatából (Dr. Szűcs István)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

Az atomerőművi radioaktív hulladékok kezelésének kérdését Magyarország kiemelt feladatnak tekinti. A radioaktív hulladékok végleges elhelyezését előkészítő munka 1992 óta nemzeti program keretében folyik, amelynek főbb állomásait az **191. ábra** mutatja be.



191. ábra: A hazai kis és közepes aktivitású atomerőművi radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének kutatási, létesítési és üzemeltetési folyamata az RHK Kft. prospektusa alapján

1993–1998. évek között a Paksi Atomerőmű Rt. irányította a munkákat, 1998-tól pedig az akkor megalakult Radioaktív hulladékokat Kezelő Kht. (RHK Kht.) koordinálta a 2001-től a Bátatom Kft., 2006-tól a Mecsekérc Zrt. fővállalkozásában (legfőbb alvállalkozóként a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) az Erőterv Zrt. és a Golder Associates (Hungary) Kft. közreműködésével) készülő munkákat. Az atomerőmű üzemeltetéséből és majdani leszereléséből származó kis és közepes aktivitású hulladék biztonságos elhelyezését felszín alatti, bányászati módszerekkel kialakított létesítményben tervezték megoldani. A további rövid szemelvények háttérben az ennek érdekében Bataapáti környezetében elvégzett kutatási és létesítési folyamatot dokumentáló több százezer oldalnyi anyag áll.

24.1. A földtani környezet megismerésének főbb fázisai és céljai

Az atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére 1992-ben Nemzeti Projekt indult. Országos, majd regionális szakirodalmi vizsgálat és szisztematikus kizáró szűrést követően — a lakossági vélemények figyelembevételével — három körzetben (Üveghuta mellett Udvariban és Diósberényben) folytattak részletesebb terepi vizsgálatokat, amelyek eredményeképpen telephely kijelölésére Bataapáti (Üveghuta) környéke bizonyult a legkedvezőbbnek. Az ide tervezett további kutatások három fázisa közül az első a *telephely kijelölésére*, a második a *telephely alkalmassági vizsgálatára*, a harmadik pedig a *telephely és környezetének értékelésére* irányult. Ez a felosztás megfelelt a nemzetközi gyakorlatban is szokásos szakaszolásnak (telephely-kijelölés, telephelyjellemezés és telephely-igazolás), amelyek közül itt is a második fázis volt hivatott a földtani alkalmasság kimondására.

A 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet (a továbbiakban: Rendelet) (földtani és bányászati követelmények a nukleáris létesítmények és a radioaktív hulladék elhelyezésére szolgáló létesítmények telepítéséhez és tervezéséhez) nem számol ezzel a hármas felosztással, a fázisok számát nem korlátozza, tartalmukat nem határozza meg. A fázisokkal szemben egyetlen követelményt támaszt, hogy minden egyes fázis önálló terv alapján induljon, önálló jelentéssel záruljon, s mindkettőre legyen hatósági engedély/jóváhagyás. Ugyanakkor a földtani alkalmasság követelményeit a nemzetközi gyakorlathoz [34] képest aprólékosan fogalmazza meg, s az alkalmasság kimondását a kutatás befejezésére rögzíti.

A **felszíni kutatás** 2002–2003-ban elvégzett munkái és zárójelentése [35] szerint, a **193. ábra** vázolt, megkutatott terület a Rendeletben „megfogalmazott valamennyi követelményt teljesíti, így földtani szempontból alkalmas kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére”. A megkutatott alkalmas telephely alapterülete 873 ezer m². Tőle É-ra helyezkedik el egy további 437 ezer m² alapterületű potenciális telephely. Ugyanakkor a jelentés kimondja, hogy „annak a közettérfogatnak a kijelöléséhez, amelyet »a hulladékártoló létesítmény és védőzónája« kitölt, felszín alatti kutatásra van szükség”.

A **felszín alatti földtani kutatásra** — ugyancsak a Rendelet előírásaival összhangban — terv [36] készült, amely alapján a kutatást a Magyar Geológiai Szolgálat Dél-dunántúli Területi Hivatala (MGSZ DDTH) engedélyezte a következő célkitűzésekkel:

- Konkrét közettérfogat(ok) kijelölése, amely(ek)ben tároló(k) kialakítása javasolható;
- E közettérfogat(ok) olyan mértékű megkutatása, hogy kedvező esetben létesítmény, kedvezőtlen esetben továbbkutatás tervezéséhez kellő alapot hozzon létre;
- Adatszolgáltatás biztonsági értékeléshez olyan mértékben, amelyet a tervezett tevékenység lehetővé tesz.
- A felszíni kutatás nyomán nem állt rendelkezésre elég információ ahhoz, hogy választani lehessen három, a tervezés során kijelölt perspektivikus objektum közül. Ezért az engedélyezett kutatásra szóló terv a feladatok alábbi két nagy csoportját körvonalazta:
 - két lejtősakna kihajtása és bennük vizsgálatok lefolytatása;
 - a telephely északi részének kiegészítő kutatása felszíni módszerekkel annak tisztázására, hogy a perspektivikus objektumok melyikét részesítsük előnyben.

24.2. A földtani környezet felszín alatti megismerésének főbb objektumai, szempontjai és eredményei

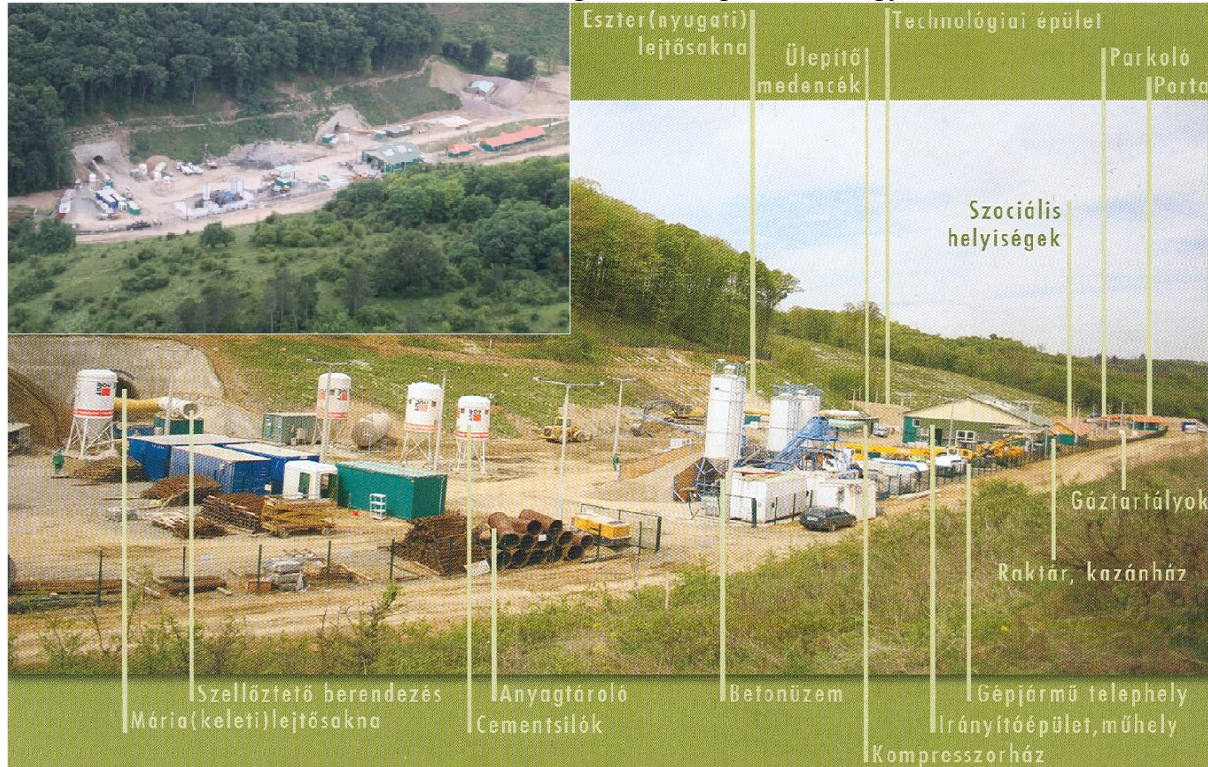
A kutatási és lejtősakna kihajtása az engedélyezési tervvel (a **193. ábra** lila színnel) összhangban 2004 végén megindult, és 2008 közepén (az ábra kinagyított részén feketével rajzolt módon) befejeződött, elérve a hulladékártoló konténerek elhelyezésére hivatott (16 tárolókamra kialakítására tervezett) É-i kamramezőt. Mivel a nyomvonalon nem állt rendelkezésre megfelelő geotechnikai információ, a lejtősaknák vonalvezetését a nemzetközi ajánlasként [34] szereplő, menet közbeni tervezés elve (design as you go) vezérelte. A kialakított főbb objektumok: a *felszín alatti térkiképzés* és *fúrások* során szerzett információk alapján menetközben véglegesedett a lejtősaknák nyomvonala.

24.2.1. Felszín alatti térkiképzés

A földtani kutatási és beruházás munkái során kialakított vágatok feladata volt:

- teret biztosítani a felszín alatti vizsgálatok számára, valamint
- kiszolgálni a lerakó építését, üzemeltetését és lezárását.

A Mórági Gránit Formációba mélyített két lejtősakna nyitópontjait a Bátaapátitól DK-re lévő Nagymórági-völgy D-i végén, a völgy Ny-i oldalában képezték ki. Az ezzel párhuzamosan, 2005-ben kialakított ideiglenes felszíni telephely (192. ábra) szolgálja ki a bányászati munkálatok erőforrás igényeit. A lejtősaknák tengelyeinek távolsága a nyitópontoknál 100 m, utána pedig 32 m. A lejtősaknák nagyrészt a terv szerinti 21 m² szabad szelvény mérettel létesültek, közel 250 m-enként összekötő vágatokkal kapcsolódva egymáshoz.



192. ábra: A Nagymórági-völgyben 2005-ben létesített felszíni telephely (az RHK Kht. prospektusa alapján)

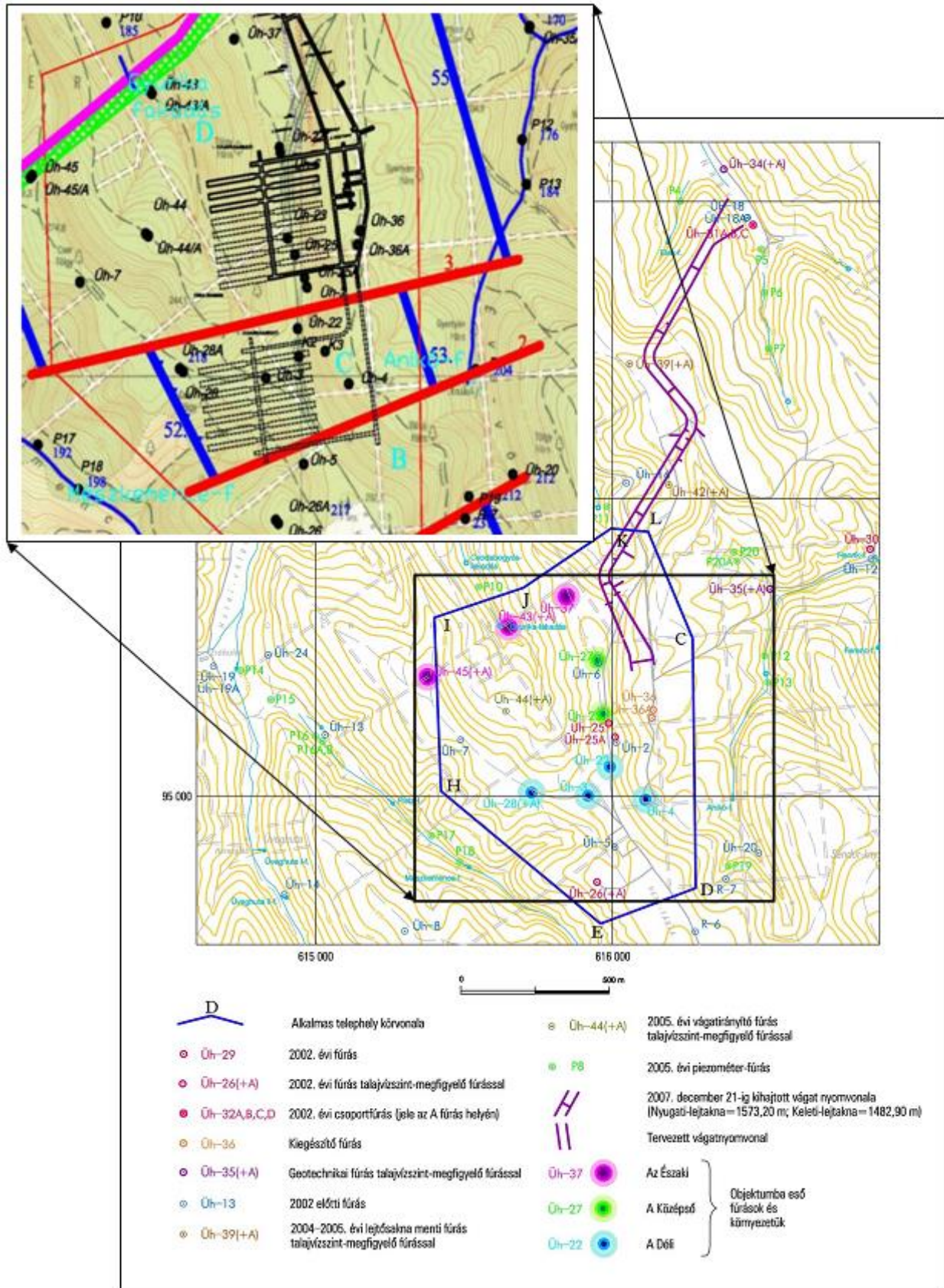
24.2.2. Felszín alatti fúrások

A felszín alatti földtani kutatási tervben [36] megfogalmazott felszín alatti kutatófúrások feladatai a következők voltak [37]:

- a vágathajtáshoz és vágatbiztosításhoz szükséges elsődleges földtani, tektonikai, geotechnikai és hidrogeológiai alapadatok biztosítása (előfúrások);
- az előinjektálást igénylő szakaszok kijelölése (előfúrások, szondafúrások);
- a vizsgált kőzettestek in situ hidrodinamikai jellemzőinek és azok időbeli változásainak megismerése (előfúrások, szondafúrások, vízföldtani célú [potenciál-, vágathajtás-, monitoring-, talajnedvességgyűjtő-] fúrások) a térkiképzés során;
- a vágathajtás hatására a vágatok körüli módosult állapotú zónák (EDZ) hidraulikai és közetfizikai vizsgálata (EDZ-fúrások);
- a vizsgált kőzettestek közetmechanikai tulajdonságainak vizsgálata, minősítése a további vágathajtás, a fúrási és a tárolókamrák kialakításának szempontjából (előfúrások, extenzométeres és közetfeszültség-fúrások).

A fenti célok elérése érdekében az alábbi fúrástípusok valósultak meg:

- előfúrások, szondafúrások, injektálást ellenőrző és injektáló fúrások;
- vízföldtani célú fúrások: potenciálfúrások, vágathajtásfúrás, monitoringfúrások; talajnedvességgyűjtő-fúrások;
- sugaras EDZ-fúrások; kis EDZ-fúrások;
- közetmechanikai fúrások (extenzométeres és közetfeszültség-fúrások).



193. ábra: A Bataapatiban lévő alkalmas telephely körvonala a felszíni és a felszín alatti kutatások-, valamint a tervezett bányászati objektumok Északi-, a Középső és a Déli Objektumokba eső részeinek kiemelésével

24.2.3. Vizsgálati és értékelési szempontok

A lejtősaknák utolsó szakaszának befejezésével egyidejűleg készített kutatási zárójelentések [38, 39] alapján elmondható, hogy a felszín alatti kutatás megerősítette, hogy:

- a természeti viszonyok nem zárják ki a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolójának kialakítását a Bábaapáti telephelyen;
- ez akár (a korábban már alkalmasnak ítélt telephelyen belül) mind a három elkülönített részen (Északi, Középső, Déli) lehetséges.

A három objektum összevetésének legfontosabb szempontjait a **72. táblázat** foglalja össze az alábbi csoportosításban:

- földtani-szerkezeti viszonyok,
- kőzetmechanikai tulajdonságok,
- vízföldtani-vízgeokémiai jellegek.

72. táblázat: A földtani objektumok összevetésének fontosabb szempontjai

Összevetési szempont	A 62/1997 (XI. 26.) IKIM rendelet (Rendelet) előírásai	Összesítő következtetések
Földtani és tektonikai változékonyság	A 11. § (5) a)-ban előírt homogenitási követelmény teljesítése	Nincs megfogalmazott konkrét paraméter, ezért csak rangsorról lehet szó
Kőzetmechanikai jellegek	A 3. melléklet, 3. pontjában előírt geomechanikai stabilitás	Nincs megfogalmazott konkrét paraméter, ezért csak rangsorról lehet szó
Transzmisszivitás	A 3. melléklet, 4. pontjában előírt „vízvezető képesség” jellemzése	Nagyobb térrészre vonatkoztatható vízvezető képességet inverz tranziens modellezéssel az interferenciás kútvizsgálatoknál jelentkező válaszokból és a vágathajtás által okozott depresszió alakulásából lehet megítélni. Mindezt a korjelző izotópokra készített inverz transzport modellezés alapján lehet ellenőrizni.
Hidraulikus potenciálszintek	A 3. melléklet, 4. pontja értelmében vett „lefelé mutató hidraulikus gradiens” követelmény teljesülésének vizsgálata	A potenciálszintek mélységgel való emelkedése kedvezőtlen kritériumként tekinthető, mivel ezeken a helyeken a felfelé áramlás lehetősége fennáll. (Ha azonban a potenciálszintek mélység felé való növekedése csak egy mélységintervallumra érvényes, s a rövidzár is csak ezen az intervallumon belül alakulhat ki, ez nem feltétlenül jelent döntően kedvezőtlenebb helyzetet.)
Vizkorok	A 3. melléklet, 3. pontja értelmében vett hidrogeológiai stabilitáshoz kapcsolható	A tároló mélységben előforduló holocén vizkor akár kedvező is lehet, amennyiben rendszerünk porózus ekvivalensként működik, vagy a megcsapolási helyektől elegendő távol van, vagyis a mélységtartománya és a felszínre lépési körzetek közötti rövidebb idejű kapcsolat kizárható.

Azok a rendszerek, amelyeket illetően a földtani kutatás nyomán véleményt kell alkotni, és amelyeket rangsorba kell állítani, két fázisból állnak: a szilárd kőzetvázból és az azt átitató folyadékból (vízből).

A **szilárd kőzetváz** alapvető feladata, hogy mechanikai védelmet nyújtson a tárolónak.

E védelem esetleges hiányosságai műszaki megoldásokkal pótolhatók.

- A mechanikai védelem kedvező volta azt jelenti, hogy viszonylag kis költségbefektetésre van szükség a megerősítéséhez, illetve kedvezőtlen volta nagyobb költségigényt jelent. Ebben a tekintetben mind földtani, mind tektonikai, mind kőzetmechanikai szempontból az Északi Objektum jóval kedvezőbb a másik kettőnél.

- A szilárd kőzetváz fontos tulajdonsága, hogy tartalmazza a folyadékfázist, és befolyásolja annak viselkedését. A befolyásolás legfontosabb paraméterei egyrészt a transzmisszivitás és a konnektivitás, másrészt a torlasztó-szigetelő és a vízvezető zónák. A két csoport között nem vonható éles határ, mert a második csoport elemei rész vesznek az első kettő alakításában:
 - A transzmisszivitás közvetlenül mérhető (a kútvizsgálatok során), értékében az egyes objektumok között nincs határozott különbség, rangsor nem állítható fel.
 - A konnektivitást illetően csak közvetett adatok és megfontolások állnak rendelkezésre, amelyet jellemző hidraulikai kapcsolatok az Északi Objektum területén jóval közvetlenebbek és gyorsabbak, mint a másik kettőén. Az ennek alapján felállítható rangsorban az Északi Objektum kapja a legkedvezőtlenebb minősítést.
 - A torlasztó-szigetelő zónák mennyisége a Déli Objektum környezetében jóval nagyobb, mint az Északi Objektumban. Szerepük általánosságban véve a vízáramlás lassítása, konkrét esetekben többé-kevésbé stabil potenciálmenetű vízföldtani blokkok elkülönítése. Mindkét tényező pozitívan értékelhető a tároló biztonsága szempontjából, így az e zónák alapján felállítható rangsorban az Északi Objektum leghátulra kerül.
 - A vízvezető zónák mennyisége az Északi Objektum területén a legnagyobb, a Déli és különösen a Középső Objektumban jóval kisebb. E zónák hozzájárulnak a rövidzárlatkockázatot a felszín felé, így ezek alapján az Északi Objektum mutatja a legkedvezőtlenebb képet.

A **folyadékfázis** önálló jellemzése a hidraulikus potenciálszintek és a vízkorok alapján adható meg:

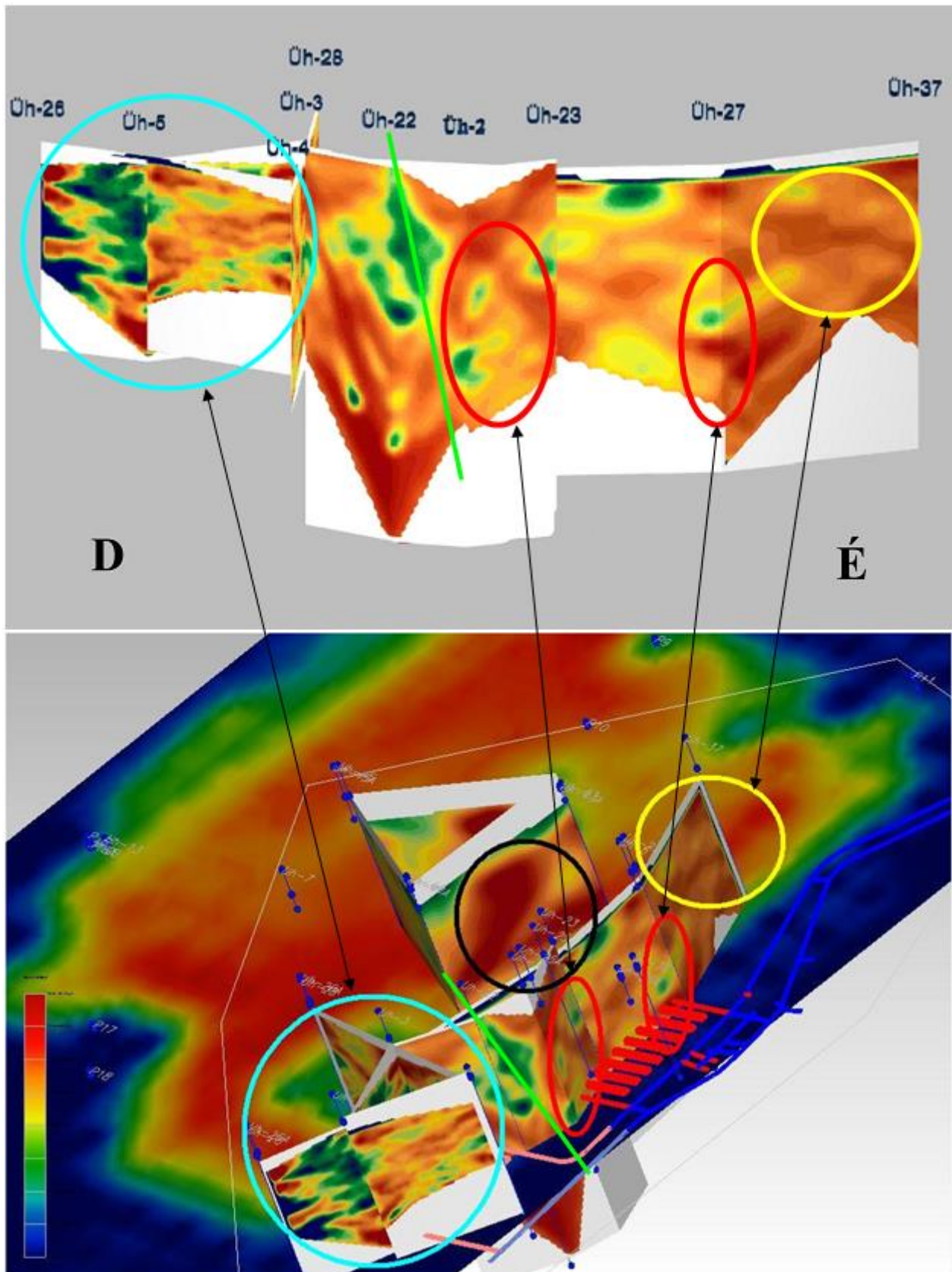
- A hidraulikus potenciálszintek szempontjából a:
 - Déli Objektum van a legkedvezőbb helyzetben — legközelebb a regionális vízváltóhoz, ahonnan a leghosszabb és legmélyebbre hatoló áramlási pályák kiindulhatnak, s itt egyértelműen lefelé mutató potenciálgadiens észlelhető. Az itteni potenciálszintek állnak legközelebb a homogén rendszerre jellemző értékekhez, azaz itt kell a legkevésbé helyi megcsapolással számolni.
 - Középső Objektum már távolabb van a regionális vízváltótól. Itt lefelé mutató gradiens jellemző. Az objektum közvetlen közelében lévő Üh-2 fúrás potenciálképe azonban kiegyenlített, alacsony, a közeli völgy felé hidraulikus kapcsolatot sejtet.
 - Északi Objektum területén a potenciáeloszlás igen kiegyenlített képet mutat mind vízszintes, mind függőleges irányban, ami jelentős konnektivitásra mutat az egész térrészben, s hidraulikai kapcsolat lehetőségét vázolja fel a szomszédos völgyekkel. Az Északi Objektum tehát a rangsorban az utolsó helyet foglalja el.
- A vízkorok eloszlásában az objektumok között markáns különbség mutatkozik: a 0 m Bf körüli szinten a Déli Objektum területén csak 10 000 évnél idősebb vizek vannak, míg az Északi Objektum területén — egy minta kivételével — 10 000 évnél fiatalabb vizeket mutathatók ki. A váltás igen hirtelen, a Középső Objektum területén megy végbe. A jelenség alapján felállítható rangsorban tehát az Északi Objektum szintén az utolsó helyet foglalja el.

24.2.4. A kutatás eredményei

A lefolytatott vizsgálatok nyomán az a kép alakult ki, hogy az Északi Objektum a kőzetkörnyezet nyújtotta mechanikai védelem szempontjából a legkedvezőbb, a vízföldtani paraméterek szemszögéből pedig a legkedvezőtlenebb paraméterekkel rendelkezik. A mechanikai védelem elsősorban gazdasági kérdés, a vízföldtani paraméterek meghatározott kombinációja azonban tároló létesítését kizáró körülmény lehet. Ehhez a kizáráshoz megalapozott áramlási és transzportmodellezési adatok birtokában lefolytatott biztonsági értékelésre van szükség. Ennek hiányában nem alkotható egyértelmű vélemény az Északi Objektum további sorsát illetően, ezért elsősorban a Középső és Déli objektumon belül javasolható tárolóterek kiképzése.

Az É-i kamramező vágathajtással történt feltárása alapján további alátámasztást kaptak egyes felszíni kutatási módszerek alkalmazásának eredményeként [40, 41, 42] felvázolt alábbi prognózisok: (Ezeket példaként a **194. ábra** bemutatott módon, a felszíni geofizika — azon belül is a szeizmikus tomográfia — eredményeit [41] megjelenítve demonstráljuk. A **193. ábra** felső részén a feltüntetett függőleges fúrólukak (pl. Üh-37 és Üh-27; Üh-27 és Üh-23 stb.) közötti szeizmikus átvilágítások a **193. ábra** kinagyított részén bejelölt, közel É-D-i irányú szelvényben készültek. A **194. ábra** felső részével összekapcsolt alsó része pedig ezen eredmények térbeli helyzetét kapcsolja össze az É-i kamramező tervezett pozíciójával. Az ábrán a melegebb színek a zavartalanabb kőzethomogenitást és a jobb kőzetmechanikai viszonyokat reprezentálják.)

- A potenciális elhelyezés két tervezett területét (É-i- és D-i kamramezők) kettéosztó torlasztó zóna (a **193. ábra** kinagyított részén a piros 3-as számú vonallal, a **194. ábra** pedig ugyanez zöld vonallal jelölve) két jól elkülöníthető területet választ el:
 - a kőzetmechanikailag kedvezőbb, hidrogeológiai viszont kevésbé előnyös Északit, és
 - a gyűrtebb kőzetstruktúrákkal-, ugyanakkor a repedések jobb kitöltöttsége folytán kedvezőbb vízzáró tulajdonságokkal jellemezhető (kékkkel bekarikázott) Délit (és a tulajdonságaiban hozzá kapcsolható, tőle É-ra lévő Középsőt).
- A tervezett szinten az É-i kamramezőt É-ról a Rozsdásserpenyői Alkálibazalt Formáció és egyéb monzonitos kőzetcsoportok által okozott inhomogenitások, D-ről pedig egy (Patrik-törésnek elnevezett) tektonikai zóna „szorítja be”, teszi lehatárolttá. (A felszíni fúrások információk térbeli kiterjesztése érdekében elvégzett tomográfiai mérések térképén mindkét beazonosítható zónát pirossal karikáztuk be.)
- A felszíni mérések és jelenlegi ismereteink alapján a tervezett kamramező É-i részétől É-ra (sárgával bekarikázva) és ÉNyNy-irányban (feketével bekarikázva) — magasabb szinten — javuló homogenitással jellemezhető, feltehetően az Északi területen is túlnyúló, nagyobb méretű kőzetösszetlet található.



194. ábra: A felszíni fúrások között végzett tomográfiai mérések eredményei és a tervezett bányászati létesítmények

24.3. A tároló létesítés főbb mérföldkövei és technológiai folyamatai

24.3.1. A létesítés főbb engedélyeztetési és kivitelezési mérföldkövei

A 2004 végén megkezdett felszíni és felszín alatti földtani kutatási tevékenység két kutató lejtősakna és az ahhoz kapcsolódó kutatási tevékenységek megvalósításán alapult, a kihajtásukhoz szükséges létesítési (építési) engedély kiadására csak az akkor hatályban lévő, bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény (Bányatörvény) adott lehetőséget, bányászati célú létesítményként.

2005. őszén a Magyar Országgyűlés a határozatában hozzájárult ahhoz, hogy az Atomtörvény 7. §. (2) bekezdése alapján Bábaapáti közigazgatási területén, a már földtanilag alkalmasnak minősített területen megkezdődjenek a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolására alkalmas hulladéktároló létesítését előkészítő tevékenységek.

2006 augusztusában megkezdődött a Nemzeti Radioaktívhulladék-tároló (NRHT) beruházás előkészítése, amely során a legfontosabb a Keleti és Nyugati lejtősaknák kutatási célú kihajtása és a tároló tervezett szintjének megközelítése volt. Ugyanekkor elkészült a teljes létesítményre vonatkozó Létesítést Megelőző Biztonsági Jelentés (LMBJ), amelyet az ÁNTSZ Dél-dunántúli Regionális Intézete a létesítési engedély kiadásával elfogadott.

2007 végén lezárult a földtani kutatás, a felszín alatti munkák folytatásához pedig 2007 októberére elkészült a NRHT felszín alatti létesítményeinek műszaki tervdokumentációja, amelyet a Pécsi Bányakapitánysági szakhatósági hozzájárulása mellett az ÁNTSZ hagyott jóvá. 2008-ra, a megkezdett bányászati tevékenységek eredményeként elérték a tároló tervezett szintjét (Keleti-lejtősakna: 1723,5 m, Nyugati-lejtősakna: 1772,5 m).

2009-ben és 2010-ben elkészültek a két lejtősaknához kapcsolódó, a **195. ábra** feltüntetett vágatrendszer, amelyek:

- a tároló-összekötő vágatból nyíló tárolókamrák építését,
- a betároláskori üzemeltetési, lezárási feladatokat, valamint
- a további kamrák építését szolgálják ki.

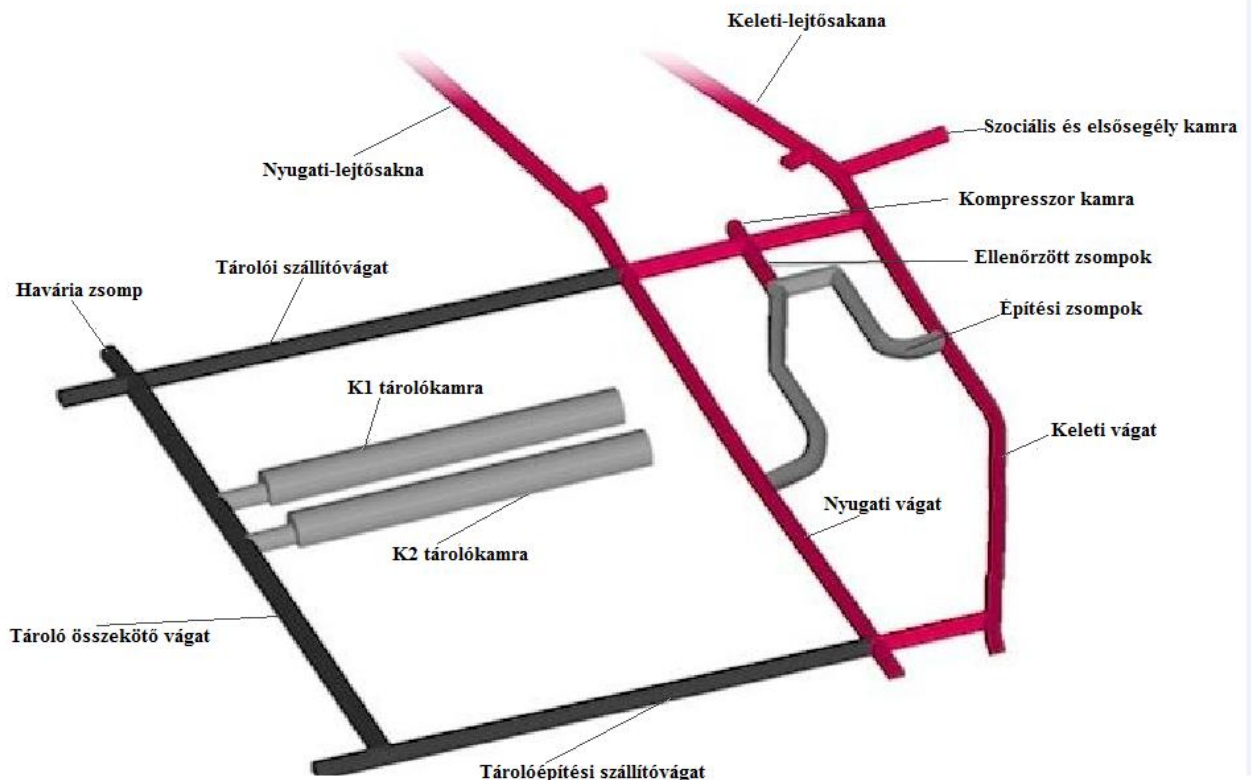
2011-ben pedig elindultak az első tárolókamrák (K1, K2) térkiképzési munkái.

24.3.2. Tervezési és kivitelezési alapelvek

Tekintve, hogy a felszín alatti létesítményeket 100 éves üzemidőre kellett méretezni, a statikai megbízhatóság (stabilitás, állékonyság, alaktartás) üzemelés teljes időtartama alatt alapkövetelmény. [45] Ennek érdekében:

- A tervek a maximális biztonság, az előírt bányabiztonsági, technológiai, munkavédelmi és egészségügyi szabályok figyelembe vételével készültek.
- A folyamatos vágathajtás feltételeinek biztosítása technológiai, munkaszervezési, gépkihasználási okokból mértékadó követelményként lett számításba véve.
- Az alkalmazott EDZ-minimalizáló (Excavation Damaged Zone, magyarul az üregképzés által károsított zóna) kőzetkímélő jövesztési technológiák tervei a kőzetköpeny teherviselő képességének megtartását és a földtani gát védelmi funkciójának megóvását (és annak részbeni méréses ellenőrzését) helyezték előtérbe [43, 44]. Robbantási Technológiai Előírás (RTE) is ezen követelmények figyelembe vételével készült.

- A biztosítási szerkezetek kialakítása nedves szálerősítés nélküli, illetve szálerősítéses löttbeton, előfeszítés nélküli közethorgony, esetenként erősítő borda, vagy rácsos tartó illetve ponthegeesztett acélháló használatára lett kidolgozva.
- A vágathajtási technológia rugalmassága érdekében (a kőzetviszonyok függvényében) gyorsan és egyszerűen megváltoztatható biztosítási rendszer elemek (pl. fogásmélység, a löttbetonos héjszerkezet minősége, vastagsága, a közethorgonyok hossza és beépítési sűrűsége) alkalmazása került a tervekbe.



195. ábra: A tárolószinten a két lejtősaknához kapcsolódóan kialakított bányászati objektumok (2009-2011)

24.3.3. Technológiai folyamatok

A térkiképzés az alábbi folyamatokkal történik [46, 47]:

- *Fő technológiai folyamatok:* jövesztés, rakodás-szállítás, vágatbiztosítás.
- *Kiegészítő technológiai folyamatok:* előinjektálás, vízmentesítés, szellőztetés.
- *Infrastrukturális folyamatok:* villamosenergia-ellátás, vízellátás, sűrítettlevegő-ellátás, hírközlés és informatika.

Ezek közül néhányat részletesebben is bemutatunk.

24.3.3.1. Jövesztés

A vágathajtási munkáknál alapvetően a kőzetviszonyok határozzák meg a jövesztés technológiáját, amely ennek megfelelően lehet: markolókanalas- és robbantásos jövesztés valamint ezek kombinált alkalmazása:

- A *markolókanalas* jövesztéshez Liebherr 900 típusú tunelbager állt rendelkezésre. Ez a berendezés a robbantásos jövesztésnél is fontos szerepet játszott, ezzel történt a robbantott felület kopogózása (a meglazult kőzetdarabok lefeszítése), illetve a betonlövés előtt, a talp és oldal találkozásánál, a kőzet eltakarítása.
- A *robbantásos* jövesztéshez két fúrókaros, szerelőkosaras Atlas Copco L2C típusú önjáró, elektrohidraulikus fúróalapácsokkal felszerelt fúrókocsival történt a robbantólyukak fúrása.

24.3.3.2. Kőzetkímélő robbantás

A vágatszelvény körüli kőzetkörnyezet minél kisebb roncsolódása miatt kőzetkímélő robbantást [46, 47] kell alkalmazni, ami az alábbi technológiai elemek megvalósításával történt:

- A vágatok kiképzéséhez szükséges robbantólyukak fúrását nagy teljesítményű, korszerű, elektrohidraulikus üzemű, önjáró fúróberendezés végezte, ez biztosította az előírt robbantólyuk-telepítés pontosságát, valamint a robbantólyukak párhuzamosságát.
- A kontúrlyukakba kis átmérőjű, töltetek kerültek (45 mm-es átmérőjű furatba 30 mm-es átmérőjű töltet).
- A kontúrlyukakban rövidebb volt a töltet hossza, mint a bővítő koszorúban.
- A kontúrlyukak melletti szélső töltetkoszorú robbantólyukai nem lehettek távolabb a kontúrtól 50 cm-nél.
- A kőzetkímélő robbantások egyik feltétele, hogy a töltetátmérő (d_{ra}) és a lyukátmérő (d_{ly}) hányadosa kisebb legyen, mint 0,5, amennyiben nagy detonációsebességű, nagy energiájú a robbanóanyag. A felhasznált LWC AL közepes detonációsebességű (4300 m/s) és energiájú Robbanóanyag, ezért az előbb leírt feltételtől kismértékű eltérés történt.
- A töltetekre fojtás került a robbanóanyaggal nem feltöltött teljes lyukszakaszon.
- Az alkalmazott robbanóanyag: Emulgit LWC-AL volt. A töltetek indítása lyuktalpról történt DeM és DeD típusú villamos gyutacsokkal (25 ms, illetve 250 ms késleltetésű lépcsőkben). A robbantás teljes időzítése 3 másodperc volt.
- Fojtásként polietilén fóliába csomagolt, 25 cm hosszúságú, zúzottkőből álló töltények szolgáltak. A robbantóhálózat sorosan kialakított, és fix robbantóvezeték közbeiktatásával történt az indítás.

24.3.3.3. Vágatbiztosítás

Az alkalmazott térkiképzési és biztosítási módszer az NMT-re (Norwegian Method of Tunneling — norvég alagútépítési módszer, alagutak és vágatok biztosítására, Barton et al. [48]) épül, és alapjaiban a NGI-Q kőzetosztályozási rendszert követi és használja. Ebben a módszerben kitüntetett fontosságú a harántolandó kőzettestek megfelelő geotechnikai minősítése és osztályozása. A kutatóvágatok által harántolt kőzettestek osztályozása elsődlegesen a kutatóvágatok előfúrásaiból, végleges formájában pedig a vágathajtás során a fogásonként elvégzett geotechnikai dokumentáláskor történt.

A beépített vágatbiztosításnak két fő eleme van: a kőzethorgonyok, és a löttbeton héj. A vágatpalástba a technológiai műveleti utasítás által meghatározott sűrűséggel és elrendezésben radiálisan kőzethorgonyokat építettünk be.

A lejtősaknákban 2,4 m-es, a beruházási vágatokban a szelvénymérettől, kőzetkategoriatól függően különböző hosszúságú (2,4 m-es, 3,0 m-es és 4,0 m-es) kőzethorgonyok lettek beépítve. A tárolói szállítóvágat – tároló-összekötő vágat – havária zompvágat elágazását (lásd: **195. ábra**) 5,0 m hosszú kőzethorgonyok biztosítják. A beépített kőzethorgonyok 10%-át a beépítést követő 24 óra után terhelésvizsgálat alá kell vetni. A kőzethorgony teherbírása akkor megfelelő, ha mállott kőzetben 50 kN, egyéb kőzetben 100 kN a terhelhetősége. A

vizsgálat alapján „nem megfelelő”-nek minősített közethorgonyok mellé póthorgonyokat kell beépíteni. Az alapvágatokban négy különböző közetkategóriájú helyen történtek közethorgony-kiszakításos mérések. Ezen mérések szerint a teljes hosszban beragasztott 2,4 m hosszú közethorgony 100 KN húzóerőnél sem szakadt ki a ragasztóhabarcsból. Az összekötő vágatok nagy szelvényű keresztveződésének jobb közetkörnyezetben való kialakítása miatt a lejtősaknában elkészült hat összekötő vágat közül háromnak a helyét az eredeti tervhez képest 5–10 m-rel át kellett helyezni. Néhány esetben e vágatkeresztveződések biztosításánál sűrűbben beépített, 3,5 m hosszú horgonyok alkalmazására volt szükség. A vágatpalást biztosításának része a löttbeton, amely — közetosztálytól függően — különböző (8–25 cm) vastagságban készült, nedves beton alapanyag felhasználásával. A beépített löttbeton vastagságának ellenőrzése még friss állapotban való átfúrással végezhető. A löttbetonozás minőségi megfelelőségének vizsgálatát és minősítését független vizsgáló laboratórium adta. Ennek során a betonlövés helyszínén ládába lött betonminta készült, amelyből a laboratórium készített mintatesteket nyomószilárdsági vizsgálat céljára. A minősítés a nyomószilárdság értéke alapján történt. A beépített beton in situ minősítésének alapját a Hilti-szögbelövéses módszer adta. A minősítés alapja a szög behatolási mélysége és a szög kihúzásához szükséges erő.

24.3.3.4. Előinjektálás

A lejtősaknák hajtása [46, 47] előtti vizsgálat az egyik lejtősaknában magfúrásos előfúrásokkal, illetve a másikon teljes szelvényű szondafúrásokkal történt. A további vágatokban mindenhol történt magfúrás és két szondafúrás. Ezek a fúrások harántoltak olyan zónákat, amelyek vízáteresztő képessége meghaladta az engedélyezési tervben megadott határértéket, vagy amelyekből jelentősebb vízbeáramlásra lehetett számítani. Ezen helyek előrejelzésére a fúrásokban végzett pakkeres kútvizsgálatok szolgáltak, amelyek eredményei alapján a szükséges műszaki beavatkozás (előinjektálás) tervezhető és elvégezhető volt.

A vízkizárás célja a kutatóvágatok izolálása a felszín alatti vízáramlási rendszertől. Ez részben a vágat víztelenítése miatt szükséges. Emellett nem kevésbé fontos szempont annak megakadályozása, hogy a tároló megvalósítása után, annak lezárását követően a tömedékelt vágatban mozgó, esetleg radioizotópokkal szennyezett víz egyes jó vízvezető képességű zónák mentén a felszín alatti áramlási rendszerbe jusson. A felszín alatti kutatás időszakában hajtott vágatoknál ott kellett előinjektálást végezni, ahol az előfúrásokban, szondafúrásokban mért transzmisszivitás meghaladta az 1×10^{-6} m²/s-ot, valamint a vágat 100 m-es szakaszán a beáramló víz mennyisége elérte a 10 liter/perc értéket. A beruházáshoz tartozó vágatokra [45] vonatkozóan 4×10^{-7} m²/s transzmisszivitás a határérték, valamint a vágatbeli vízbeszivárgás mértéke maximum 5 liter/perc/100 m lehet. Az előinjektálás a vágathomlokról legyezőszerűen előfúrt 16–25 db lyukban történt, egyre növekvő nyomással juttatva a cement alapú injektálóanyag-keveréket a vágat körüli repedéshálózatba. Közben lépésenként történt az anyag sűrűségének a növelése mindaddig, amíg le nem csökkent a lyuk nyelőképessége. A beruházási vágatoknál a szigorúbb határérték elérése miatt több esetben szükséges volt egy homlokról egymás után több injektáló ernyővel, néha különböző szemcseméretű anyaggal elvégezni az injektálást. Hosszabb injektálandó vágatszakaszon több, egymással átfedésben lévő injektálási ernyővel történt a besajtolás. Abban az esetben, amikor a vágathomlok repedezettsége olyan mértékű volt, hogy a cementalapú injektáláshoz használt technológiával nem volt megfelelő az injektálás hatásossága — az injektáló anyag visszafolyhatott a homlokon — a vágathomlokon poliuretán-gyanta alapú injektáló anyaggal úgynevezett pajzsinjektálás vált szükségessé. Ennek célja a homlok repedéseinek eltömítése és egy előtépajzs kialakítása, amely mögé már sikeresen bejuttatható a cementalapú injektáló anyag. (A kihajtott 5363,1 m vágathossz kb. 30%-án kellett előinjektálást végezni, amely során közel 600 m³ injektáló anyagot kellett besajtolni.

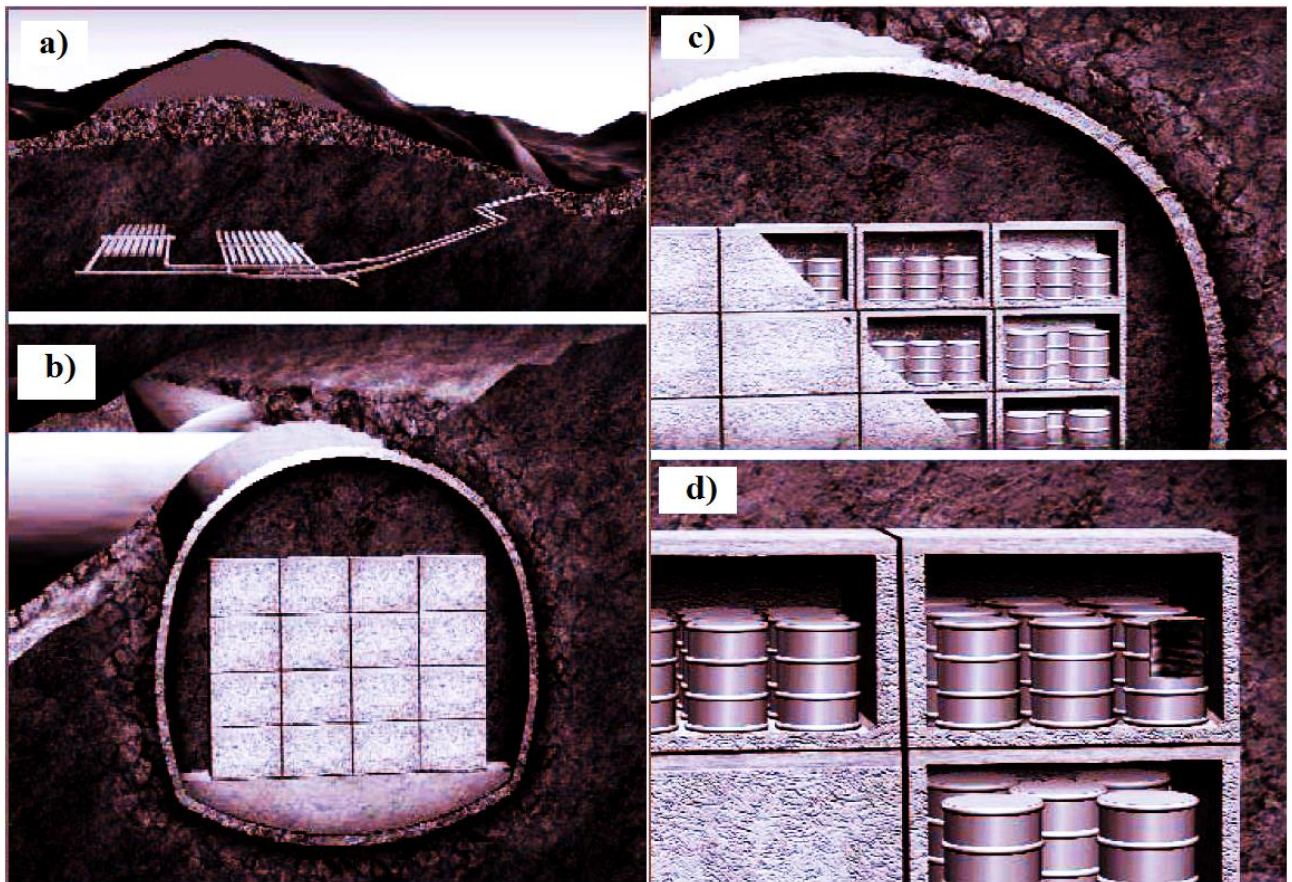
24.3.4. A hulladékelhelyezési rendszer

Bátaapátiban a tervek szerint a Paksi Atomerőmű üzemviteléből származó kis és közepes aktivitású szilárd, illetve szilárdított radioaktív hulladékokat helyezik el. A hulladékokat 200 literes szénacél hordóban szállítják a felszíni telephelyre, ahol azokat vasbeton konténerekbe csomagolják, és térkitöltés alkalmazásával monolit blokkokká alakítják [49]. A vasbeton konténerek képezik az elhelyezési egységeket. A konténereket szállítójárműveken szállítják le a megközelítő vágatokon keresztül a közel vízszintes tárolókamrákba, ahol azokat 4×4+3-as elrendezésben [50], maximálisan 44 szelvényben helyezik el a 100 méteres aktív kamrahosszon belül (**196. ábra**). A teljesen feltöltött kamrákat öntömörödő betonnal tömedékelik, majd végül a nyaktagban mindegyiket külön vízgát alkalmazásával választják el a tároló egyéb elemeitől. A tároló végleges lezárásakor a szintes vágatokat, valamint a megközelítő vágatokat zúzott gránittal tömedékelik, vízgátak kialakításával pedig szakaszolják. A nyitópontnál betondugót alakítanak ki a behatolás elleni védelem érdekében.

A lezárást követően a tervek szerint monitoringrendszert üzemeltetnek a tároló működésének ellenőrzéséhez (ezt aktív intézményes ellenőrzési időszaknak nevezzük, amelynek hosszát 100 évnek vesszük). Ennek befejezése után a terület intézményes ellenőrzését passzív módon folytatják (pl. területhasználat korlátozásával) az elhelyezési rendszer minél hosszabb ideig tartó védelme érdekében (a jelenlegi feltételezések szerint ez a passzív ellenőrzési időszak a 300 évet nem haladja meg). Azonban ez sem tartható fenn addig, amíg a radioaktív izotópok bomlásával a hulladék egésze eléri a mentességi határértéket, azaz további kockázatot a környezetre már nem jelent. Ez az időtartomány az elhelyezett teljes hulladékmennyiség vonatkozásában igen hosszú időszakot is igénybe vehet [51], a hosszú felezési idejű, de csak elenyésző mértékben jelenlévő izotópok miatt.

Az elhelyezési rendszer várható fejlődését leíró normál forgatókönyv [52] szerint a tároló lezárását, azaz az aktív vízmentesítést követően a tároló üregrendszerének visszatöltődése azonnal megkezdődik a felszín alatti vizekkel. Miután a visszatöltődés elérte azt a szintet, hogy a hulladékot tartalmazó hordók is vízzel telítődnek, elkezdődik a radioaktív izotópok kioldódása a hulladékformából. A pórusvízbe beoldódott izotópok a hordók közötti cementes alapú térkitöltésen, majd az elhelyezési konténer oldalfalán keresztül kijutnak az öntömörödő betonnal visszatömedékelt tárolókamrákba. Ott — várhatóan elsősorban a tömedék (beton) repedései mentén — advektív-diszperzív, illetve diffúzív folyamatokkal a kamrát körülvevő EDZ-be jutnak. Az EDZ-ben ugyan hígulnak, ugyanakkor azonban az ott jelentkező nagyobb vízforgalom miatt terjedésük is felgyorsul. Az, hogy a kamrákat a kijutott radioaktív izotópok hol és milyen irányban hagyják el, a helyi áramlási viszonytól függ.

A kiragadott szemelvények formájában bemutatott rövid esettanulmány vizsgálatai és értékelései a Bátaapáti térségében folyó, a Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló (NRHT) kutatásával és kialakításával kapcsolatos munkák keretein belül valósulhattak meg, amelyeket a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapból a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. (RHK) finanszírozott.



196. ábra: Az hulladékelhelyezési rendszer vázlatos felépítése (Bóthi Z. et al. 2009 nyomán) a) a telephely elvi keresztmetszete a felszín alatt kialakított kamramezőkkel és megközelítő vágatokkal, b) egy tárolókamra keresztmetszete a felhalmozott vasbe

25. A környezeti sugárzás anomáliái (Dr. Várhegyi András)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

25.1. A természetes radioaktivitás anomáliái a környezetben, NORM és TENORM anyagok

Sugárzási környezetünk összetevőit eredet szerint hagyományosan két kategóriába sorolják: természetes és mesterséges eredetű sugárzások. Előbbiekbe tartozik a terasztriális radionuklidok (^{40}K , valamint a ^{238}U , ^{235}U és ^{232}Th radioaktív bomlási sorok nuklidjainak) sugárzása, a kozmikus sugárzás és a kozmogén radioizotópok (^3H , ^{14}C stb.) sugárzása. Utóbbi kategóriába az ember által mesterségesen létrehozott radioizotópok és technikai eszközök sugárzását soroljuk, pl. az egykori léghő atomrobbantásokból, a csernobili nukleáris baleset radioaktív kihullásából eredő sugárzás, az orvosi alkalmazások, az atomerőművi kibocsátások stb.

Előfordulnak a környezetünkben olyan helyek, helyzetek, ahol az egyébként természetes eredetű sugárzások a szokásosnál lényegesen nagyobb intenzitással jelentkeznek, amit rendszerint olyan anyagok okoznak, amelyekben a természetes, terasztriális eredetű radioaktív nuklidok valamilyen természetes hatásra feldúsulnak. Ezeket nevezi a szakirodalom NORM anyagoknak, az (angol *Naturally Occurring Radioactive Materials* kifejezés alapján). Például ilyen helyek, ahol természetes kálium, urán vagy tórium feldúsulások jelentkeznek a felszíni kőzetekben, talajokban; itt a gamma-sugárzás dózisteljesítménye a szokásos (50–100 nGy/h) érték többszöröse lehet. Magyarországi példa ilyen feldúsulásokra Kővágószőlős térsége, ahol a felsőtriász homokkőben uránfeldúsulások (érclecsék) kibúvásai jelennek meg a felszínen, vagy a Nagykovácsi melletti Th feldúsulások. Földalatti térségekben pedig a radioaktív radon (^{222}Rn , a ^{238}U bomlási sorozat közbülső eleme) gáz feldúsulásai tipikusnak mondhatók: a normál, kültéri radonkoncentrációt (1–10 Bq/m³) több nagyságrenddel meghaladó értékeket (több 10 ezer Bq/m³-ig) mérhetünk pl. egyes barlangokban.

Amennyiben ez a koncentráció nem természetes folyamatok, hanem emberi beavatkozás hatására következik be, akkor ezeket TENORM (*Technically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*) anyagoknak nevezi a szakma.

25.2. Magyarországi TENORM szituációk

A TENORM anyagok által okozott sugárterhelések jelentkeznek az átlagosnál magasabb természetes radioaktivitású anyagok bányászatánál és a bányatermékek feldolgozásához, felhasználásához kapcsolódóan. Az uránbányászat és -ércfeldolgozás tipikus példája a bányászattal kapcsolatos többlet sugárterhelésnek, mind munkavállalói, mind lakossági oldalról; ezt a továbbiakban részletesen tárgyaljuk. Többlet sugárterhelést okozhat a szénbányászat és az ezt hasznosító energiatermelés (hőerőművek) is abban az esetben, ha a kitermelt szén anomális (a földkérgi átlagot meghaladó) radioaktivitású. Hazai viszonylatban az ajkai és egyes tatabányai (eocén) szenek (erősen urános karakterű) illetve a pécsi szén (közepesen urán-tóriumos, vegyes karakterű) tekinthetők radioaktivitás szempontjából anomálisnak; a nógrádi és borsodi szénfélések normál (alacsony) radioaktivitásúak. A szén felhasználása (elégetése) során a keletkező pernyében és salakban a szén eleve anomális radioaktivitása tovább dúsul: a környezetbe kihelyezve meddőhányók (pernye- és salakhányók)

formájában növelik a természetes háttérsugárzás szintjét. Pl. az ajkai (fedetlen) hányókon 600-800 nGy/h, a lerakott pécsi pernye nyílt felületein 300–400 nGy/h gamma dózisteljesítmény mérhető (vö. az OSSKI reprezentatív felmérése szerint gamma dózisteljesítmény országos átlagértéke nyílt téren 86 nGy/h). A probléma fokozottan jelentkezik, ha ezek az anyagokat építőanyagként hasznosítják. Az ipari léptékű felhasználás ma már kizárható (korábban ez is előfordult), de a magánfelhasználás nehezen korlátozható. Tipikus eset, mikor a radioaktív salakot hőszigetelő réteggént beépítik a lakóház födémjébe/aljzatába, aminek gamma sugárzása, illetve a belőle származó radon gáz folyamatosan terheli a bent lakókat.

26. Uránbányászat, uránérc feldolgozás technológiai vonatkozásai (Dr. Csóvári Mihály)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

26.1. Termelési módszerek

Az atomenergia termelése az utóbbi évtizedekben történt megtorpanása ellenére a következő évtizedekben megkerülhetetlennek látszik. Erre utalnak azok a közlemények, amelyek, amelyek szerint jelenleg működő 445 atomerőmű mellett 65 blokk építése van folyamatban. Magyarország energiatermelésében a jövőben is nagy szeret szánnak az atomerőműveknek, a következő évtizedben új atomerőműi blokkok építést kezdik meg. Nyilvánvaló, hogy az atomenergia növekvő termelése együtt jár az urántermelés várható bővítésével, ezért az uránérc bányászat és ércfeldolgozás a gazdasági tevékenység fontos része lesz azokban az országokban, amelyek rendelkeznek megfelelő geológia készletekkel

Az uránérc bányászatban mind a külfejtéses módot mind a mélybányászatot alkalmazzák. Magyarországon csak mélybányászat volt, mivel felszín-közeli érctelepekkel nem rendelkeztek.

A külszíni bányaművelés és a mélyszinti bányaművelés lényegében nem különbözik az egyéb ércek bányászatától (munkavédelmi szempontból azonban jelentős a különbség a radon gáz és a gamma-sugárzás miatt). Az urántermelés termelési módszerek szerinti megoszlását a **73. táblázat** közöljük (OECD-IAEA 2010). Látható, hogy mind nagyobb szerephez jut *az in-situ* fúrólukas perkoláció és visszaszorul a mélybányászat.

73. táblázat: Az urán világtermelésének %-os megoszlása termelési módszerek szerint

Termelési módszer	2005	2006	2007	2008	2009
Külszíni bányászat	28,10	24,20	24,4	27,3	25
Földalatti bányászat	39,4	39,8	36,5	32	28,9
<i>In-situ</i> lúgzás	20	25	27,2	29,5	36,3
Helyben való kioldás	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Melléktermékként való kinyerés	10,3	28,6	9,5	8,9	7,8
Perkoláció(halmos kioldás)	1,9	2,2	2,3	2,3	1,9
Egyéb módszerek	0,3	0,2	0,1	<0,1	0,1

26.2. Külszíni és mélyművelésű bányászat

Bármelyik bányaművelési módot is alkalmazzák, általában az alábbi bányatermelvényekhez jutnak:

- steril meddő,
- bánya-meddő,
- gyenge minőségű érc,
- üzemi feldolgozásra alkalmas minőségű érc.

Steril meddő alatt a külföldi szakirodalomban azt a meddőt értik, amelynek urántartalma közel áll a háttérértékhez (a magyar műszaki nyelvben kevésbé használatos).

Külszíni fejtés

Külszíni fejtést alkalmaznak minden olyan esetben, amikor az érc felszíni kibúvásként jelenik meg vagy viszonylag felszín-közeli rétegekben található. Ezzel a művelési móddal rendszerint nagyobb termelékenység, jobb érckihozatal érhető el és könnyebben biztosíthatók a megfelelő munkafeltételek is.



197. ábra: Külszíni fejtés Argentínában

A külszíni bányászat ugyanakkor a táj látványos sérülését vonja maga után a **nagy mennyiségű meddő szükségszerű kitermelése** és a gyakran óriási méretű **bányagödrök** létrehozása miatt. Az ábrán egy argentin külszíni uránbánya látható (San Rafael). A bányagödrök mérete gyakran meghaladja a 100 millió m³-t is. A bányagödröket a rekultiváció során a különböző meddő kőzettel, termelési hulladékkal, használhatatlanná vált szennyezett berendezésekkel töltik fel.

Mélyművelésű bányászat

A külszíni bányaművelés előnyei a mélység növekedésével egyre csökkennek és esetenként már 50 m-től kezdve, más esetekben 200 m mélység után a készletek kitermeléséhez mélyművelésű bányát kell nyitni.



198. ábra: Meddöhányó (MECSEK-ÖKO Zrt)

Az urán döntő részét üledékes vagy teléres érctelepekből termelték ki. Mivel ezek az érctelepek rendszerint nagy kiterjedésűek, **viszonylag könnyen mechanizálható** bányaművelési módok alkalmazhatók a művelés során. A szállító járművek kapacitása kisebb a külszíni termelés esetében alkalmazott szállító eszközök kapacitásánál és rendszerint **3,5-12 tonna** között változik.

A nagyfokú gépesítés a bányabezárás során jelenthet többletmunkát, mivel igen sokféle, veszélyes anyagot (elsősorban szénhidrogén származékokat) tartalmazó berendezés eltávolítását vagy megfelelő tisztítását kell megoldani. Számolni kell felszín-süllyedéssel is.

A földalatti bányászat nagy mennyiségű meddőkőzet kitermelésével járhat, amelyet a felszínen meddöhányókon helyeznek el (198. ábra).

Teléres típusú érctelepek leművelésére igen sok módszert fejlesztettek ki az uránbányászatban és az adott lelőhely körülményei döntik el az alkalmazandó fejtési módot. A bányaművelési technológia azonban rendszerint 3-4 m vastagságú szeletekben való fejtést és tömedékelést tételez fel. Az érc és a meddő viszonylag jól elkülöníthető ezért **alacsony meddő kihozattal**

lehet az ilyen ércelőfordulásokat kitermelni. A művelés gépesítése rendszerint kisebb fokú, mint az üledékes típusú ércek esetében.

Környezetvédelmi szempontból a bányászati tevékenység által okozott károk felszámolása illetve a helyreállítás a következő feladatok megoldását jelenti:

- * külszíni **fejtési gödrök, tájsebek** eltüntetése,
- * **bányameddők** rekultivációja,
- * **földalatti bányauregek veszélyes anyagoktól való megtisztítása** majd felhagyása tömedékeléssel vagy tömedékelés nélkül,
- * a felhagyott területek **vízföldtani** szempontokból környezetbe történő beillesztése, a bányauregek elárasztása után a felszínre kerülő **szennyezett vizek tisztításának megoldása**.

26.3. Ércfeldolgozási módszerek

Az urán érceiből való kinyerésével számos közlemény, könyvrészlet foglalkozik. Jelen összeállításban a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség kiadványait vesszük elsősorban alapul, amelyek nemzetközileg elismert szakértők közreműködésével készültek. Így nagymértékben támaszkodunk a "Uranium Extraction Technology", (IAEA 1993), és más NAÜ publikációkra (IAEA 1992, IAEA 1993).

A kitermelt érc urántartalmának kinyerése **hidrometallurgiai** módszerekkel történik, azaz az érc savas vagy alkalikus oldatokkal való kezelésével. A konkrét eljárás nagymértékben függ az uránt tartalmazó ásványok jellegétől, az érc minőségétől, az érc általános ásványi összetételétől, azonban az ipari méretben alkalmazott módszerek lényegében két csoportba sorolhatók:

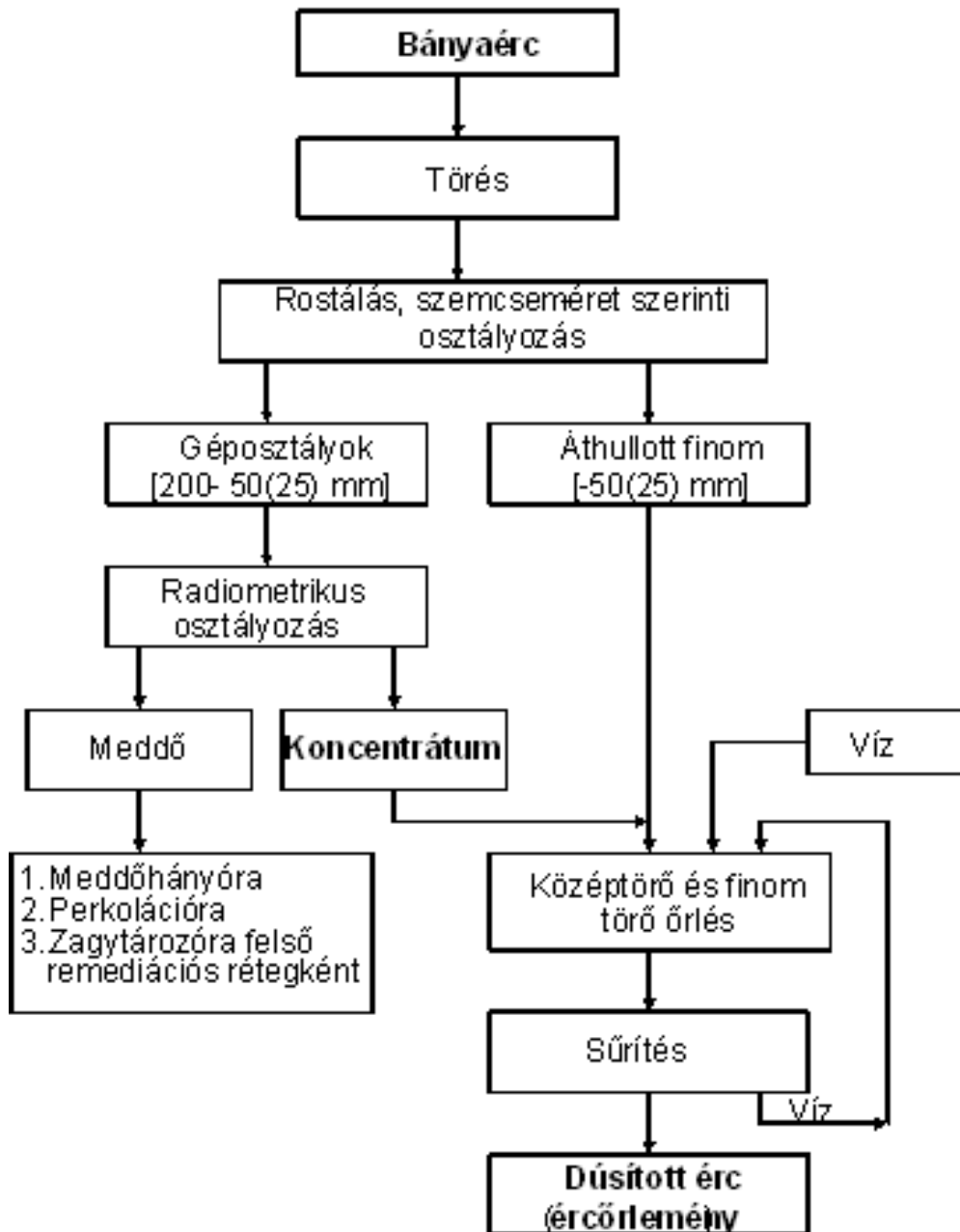
- az érc őrlésével egybekötött, **klasszikus** ércfeldolgozási módokra (ezt feldolgozási módot az angol nyelvű irodalom **mill process**-nek nevezi). Ezt a módszert a továbbiakban **klasszikus ércfeldolgozás** címszó alatt tárgyaljuk),
- halmos vagy perkolációs kilúgzásokra (**heap leaching**), amelynél az ércet törés után, az őrlés mellőzésével dolgozzák fel, tehát a folyamat lényegesen kisebb energiafelhasználással valósul meg.

26.3.1. Klasszikus ércfeldolgozás

A fenti módszerek közül a hagyományosnak tekinthető eljárások közös vonása, hogy azok az érc őrlésén alapulnak¹. A klasszikus eljárások általában az alábbi főbb lépésekből állnak:

- ércelőkészítés (törés, megfelelő finomságra való őrlés, gyakran radiometrikus dúsítás),
- feltárás (kénsavas vagy alkalikus feltárás),
- urán kinyerése savas vagy alkalikus feltárási oldatokból (anioncserélő gyanták vagy extraháló szerek segítségével),
- uránkoncentrátum lecsapása kémiai anyagokkal magas urántartalmú oldatokból, (ammónia, magnézium-oxid, nátrium-hidroxid, hidrogén-peroxid),
- az uránkoncentrátum szűrése,
- a koncentrátum szárítása és csomagolása,
- hulladékok kezelése (zagykezelés, zagyártározás, víztisztítás).

¹ Innen ered az angol *mill* elnevezés is. Az uránüzemeket az angol szakirodalom gyakran csak *mill*-nek nevezik).



199. ábra: Azt érc radiometrikus dúsítása és fizikai előkészítése

26.3.1.1. Ércelőkészítés, radiometrikus dúsítás

Mivel az uránásványok a legtöbb esetben finom eloszlásban találhatóak a kőzetben, ezeket a szemcséket a feltárás előtt szabaddá kell tenni töréssel és őrléssel. Az őrlési finomság függ az alkalmazott technológia típusától, a savas eljárások esetén általában 0,5-0,314 mm alá őrlik az ércötretet. Alkalikus feltárásnál általában az őrlést -0.2 mm szemcseméretűre végzik, míg savas feltárásnál a mérethatár -0.6 -0.4 mm. A porképződés kizárására nedves őrlést használnak tehát az őrlőkből az őrlemény zagy formájában távozik.

Egyes esetekben lehetőség van az érc **fizikai dúsításra** is, ha az érc eléggé kontrasztos, azaz az urán nem egyenletesen oszlik el a kőzetben. Leggyakrabban a radiometrikus dúsítást (osztályozást) alkalmazzák. Ilyen esetben e műveletre az érc törése után kerül sor, tehát a dúsítás a törés-örlés közé ékelődik, amikor is az ércötretet méret szerint vibrátorokkal frakciókra bontják (pl. 200-150, 150-120, 120-75, 75-50, -50 mm-es frakció-tartományok),

majd az 50 mm feletti mérettartományú frakciók kőzetdarabjait megfelelő sorba-állító berendezés segítségével darabonként sorba állítják, és szállítószalagon radiométerek felett vezetik át, amelyek **érzéklik az adott ércdarab radioaktivitását**. A mért értéktől függően a kiértékelő egység vagy koncentrátumnak ($U > 0,1\%$), vagy meddőnek ($U < 120 \text{ g/t}$) tekinti a kőzetdarabot és a szállító szalag végén található végrehajtó mechanizmus vagy a koncentrátumgyűjtő bunker vagy a meddő bunker felé irányítja azt.

Ez a dúsítási mód lehetővé teszi a kémiai feldolgozásra kerülő kőzettömeg jelentős csökkenését csak igen kismértékű uránvesztés mellett (pl. Magyarországon a kőzet 33 %-t választották ki meddőként radiometrikus osztályozással), ezzel együtt az ércfeltáráshoz felhasznált reagensek mennyiségének jelentős csökkentését érték el. A kiválasztott meddő uránban dúsabb része (amennyiben van ilyen) perkolációs feldolgozásra kerülhet a gyengeminőségű érccel együtt. A radiometrikus dúsítással egybekötött **ércelőkészítés elvi sémáját a Hiba! A hivatkozási forrás em található.** mutatjuk be.

Az ércelőkészítés tehát törésből, (radiometrikus osztályozásból) őrlésből az őrlő egységből távozó zagy sűrítéséből áll. A sűrítést rendszerint **Dorr-rendszerű** sűrítőkben végzik. A sűrítőkről távozó sűrített zagyban a szilárd-folyadék aránya 1:1, sűrűsége kb. $1,45 \text{ kg/dm}^3$ vagy ezt meghaladó érték.

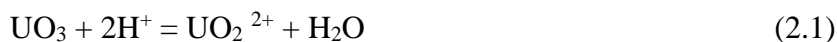
26.3.1.2. Ércfeltárás

Az ércek fizikai ércelőkészítése során kapott sűrített zagyhoz feltáró reagenst, kénsavat vagy nátrium-karbonátot adnak az urán kioldása céljából. A reagens típusát és mennyiségét az érc összetételétől függően választják meg.

A kémiai feltárás technológiai paramétereit (hőmérséklet, tartózkodási idő, őrlési finomság, reagens-koncentráció, stb.) az érc ásványtani összetételének figyelembe vételével kell megállapítani. Amíg, pl. az oxidált ércek esetében elegendő gyengén savas körülmények biztosítása a feltáráson ($\text{pH} \sim 1.5-2$), addig a nehezen feltárható ércek esetében (pl. brannerit uránásványt tartalmazó ércek esetében) a feltárás jó hatásfokkal csak 50-100 g/l szabad kénsav koncentráció mellett végezhető el. Mint minden kémiai folyamatban, a hőmérsékletnek fontos szerepe van a feltárásnál is, atmoszférikus nyomáson végzett feltárásnál a hőmérséklet $60-70^\circ\text{C}$, nagyobb hőmérséklet csak magasabb nyomáson tehát autoklávokban végzett feltárásnál biztosítható.

Uránásványok oldódásának mechanizmusa (IAEA 1993b).

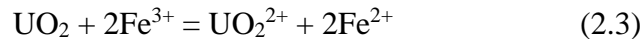
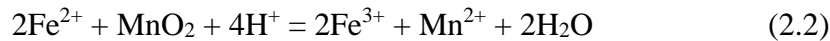
Az urán a természetben hat és négy vegyértékű formában található, leggyakrabban különböző oxidáltsági fokú oxidjai formájában (a két véglet: UO_3 és UO_2). A hat vegyértékű urán közvetlenül oldatba vihető szabad hidrogén-ionok jelenlétében:



Az oldódáshoz szükséges hidrogén-ionokat általában kénsavval vagy alkalikus feltárásnál hidrogén-karbonáttal biztosítják.

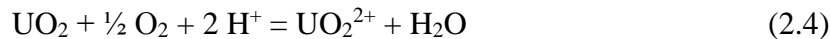
Ha az urán négy vegyértékű formában, azaz UO_2 formában van jelen az érccben, mint pl. az uraninit ásványban, az urán oldódása gyakorlatilag elfogadható sebességgel csak oxidáló szer jelenlétében megy végbe. Savas körülmények között vas(III)-ionok segítségével, (a vas(II)-ionok a feldolgozott ércből és a technológiai berendezésekből, őrlő golyókból stb. kerülnek az oldatba), alkalikus lúgzásnál pedig oxigén segítségével megy végbe az oxidáció:

Az oxidációhoz szükséges vas(III)-ionok megfelelő koncentrációja (1-2 g/l) oxidáló anyaggal, pl. piroluzittal, nátrium-perkloráttal, perkénsavval, stb. biztosítható úgy, hogy a redox-potenciál értékét kb. 510 mV-on tartják (telített kalomel elektródhoz képest):

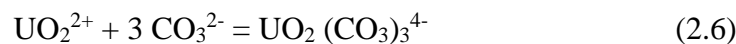
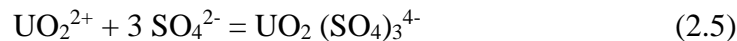


Mangán-dioxid (piroluzit) helyett nátrium-klorátot, Caró-féle savat is (H_2SO_5) használnak (Ring et al. 1985).

Alkalikus feltárás esetén az oxidációt nyomás alatt levegővel vagy oxigén betáplálásával végzik:



Az oldatba került uranil-ion az ugyancsak oldatban lévő szulfát-ionokkal (ezek a kénsavtól származnak) vagy karbonát-ionokkal (ezek alkalikus feltárás esetén kerülnek az oldatba) szulfátó komplexeket képez (a szulfát és karbonát anionok száma általában 2 vagy 3 lehet):



A feltárási oldatokban az urán tehát nem uranil-ionok, hanem döntően negatív töltésű komplex anionok formájában van jelen: savas oldatokban szulfátó-komplexek, míg karbonátos oldatokban karbonátó-komplexek formájában. Ezzel magyarázható, hogy az urán oldatokból való kinyerésére szinte kizárólag **anioncserélő** anyagokat (ioncserélő gyantákat, extraháló szereket) használnak.

Az uránércnek döntő részét savas eljárással dolgozzák fel, és néhány kivételtől eltekintve kénsavat használnak a feltáráshoz. Alkalikus feltárásnál pedig nátrium-karbonátot (amelynek jelentős része azonban a feltárás során az ércben jelenlévő pirit hatására nátrium-hidrogénkarbonáttá alakul, így a feltárást lényegében a hidrogén-karbonát disszociációja során képződő hidrogén ionok végzik). A nehezen feltáródó ásványokat tartalmazó ércet csak savas feltárással dolgozhatók fel, és általában magas szabadsav tartalom mellett. Ugyanakkor az érc magas karbonát-tartalma ($\text{CO}_2 > 5\%$) esetén célszerű lehet az alkalikus feltárás alkalmazása, mivel a reagens fogyás lényegesen alacsonyabb (~ 5 kg szóda/t), mint savas eljárás esetén (100-150 kg kénsav/t). A meddő ásványok oldódását részletesen a tárgyalja az IAEA kiadvány (IAEA 1980).

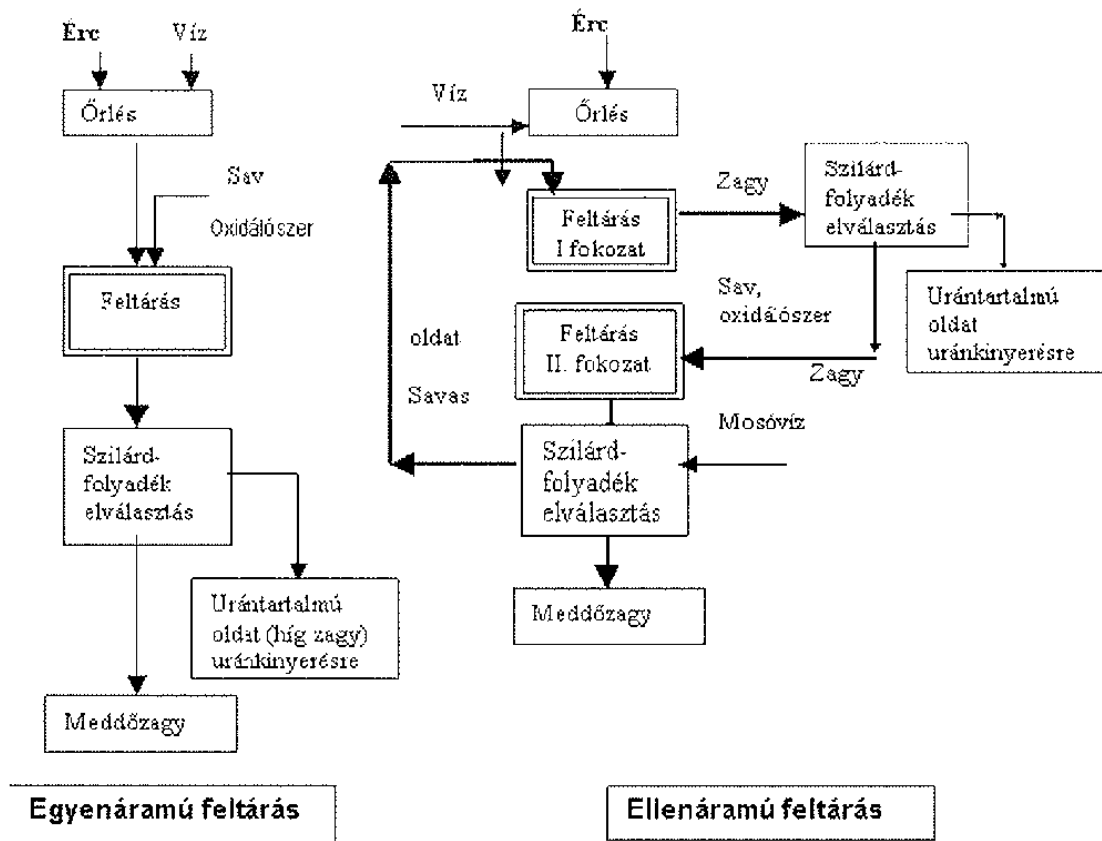
Feltárás gyakorlata

Az ércfeltárás megvalósulhat egyenáramú és ellenáramú műveletben. A nehezen feltáródó ércet esetében az egyenáramú eljárás nem alkalmazható. Bonyolultsága ellenére a megfelelő feltárási hatásfok (>95%) elérése céljából (elsősorban branneritet tartalmazó ércekre), **ellenáramú** feltárási eljárást alkalmaznak. Ezzel biztosítható, hogy a feltárás végén (Feltárás II fokozat) az oldat szabadsav tartalma 50-60 g/l legyen. Dél-afrikai kutatók megállapították, hogy a brannerite 60 °C mellett és magasabb szabadsav oldódik (Smits 1984), ezt a tényt a feltárási paraméterek tervezésénél figyelembe kell venni.

Az egyenáramú és ellenáramú eljárás elve a **200. ábra** látható. Esetenként (pl. Kanada, magas urántartalmú ércet) ezt az elvet alkalmazva, a feltárási hatásfok növelése céljából még autoklávot is beiktatnak a feltárási rendszerbe.

Az alkalikus feltárást általában nagyobb hőmérsékleten, nyomás alatt végzik, álló vagy fekvő hengeres autoklávokban, az elérhető uránkihozatal 80-85% között van. Ezért az urán kinyerési

hatásfok kisebb: pl. Romániában autoklávós feltárást alkalmaznak és az átlagos feltárási hatásfok 81% volt (Bragadireanu et al 2004). Savas technológiák esetében az uránkihozatal általában a gyengébb minőségű ércek (U~0,1-0,2%) esetében is meghaladja a 90%-ot, magasabb urántartalmú ércek esetében a 98%-ot is. Megjegyezzük, hogy savas feltárást is használhatnak autoklávokat a feltárásnál, ebben az esetben a feltárási idő néhány órára csökken.



200. ábra: Ércfeltárási sémák

Alkalikus feltárásnál a feltáró ágensek koncentrációja: 40-50 g/l Na_2CO_3 and 10 - 20 g/l NaHCO_3 , pH 9-10.5, hőmérséklet: 70-80°C. A feltárási idő hosszú, gyakran eléri a 100 órát is (Bell 1979).

A feltárási idő csökkentése és a magasabb uránkihozatal elérése érdekében a már említett autoklávós feltárást alkalmazzák gyakran, amelynél a hőmérséklet 120-140 °C.

26.3.1.3. Szilárd-oldat elválasztás

A feltárást követően a feltárt uránt a feltárási oldatokból ki kell vonni. Ezt a műveletet általában megelőzi a feltárási oldat elválasztása a szilárd feltárási maradéktól vagy annak nagyobb szemcseméretű részétől (>0,1 mm) szűréssel vagy ülepitéssel és az elválasztott feltárási maradék mosásával. Ez a művelet ellenáramú mosást biztosító szilárd-folyadék elválasztó berendezésekben pl. **spirális mosókkal** történik. Ilyen előkészítéssel tiszta oldatot nyernek és a további uránkinyerés tiszta oldatból történhet szorpcióval vagy extrakcióval (lásd később). Ellenáramú mosást biztosító csigás osztályozó sorok alkalmazása esetén a feltárási maradéknak csak a durvább részét (> 0,1 mm, homok) választják ki a feltárási zagyból, a finom iszap az

oldattal együtt híg zagy formájában marad vissza. Ebben az esetben „**gyanta-a-zagyban**” (**RIP**) folyamat szerint vonják ki az oldott uránt. ennek a módszernek nagy előnye, hogy nem kell sorba kötött oldat-szilárd elválasztó egységeket (Dorr-sűrítők) alkalmazni, így egyszerűbb a technológiai rendszer. Ugyancsak előnye a RIP-folyamrtnak, hogy könnyen feldolgozhatók magas agyag tartalmú ércek is, mivel nem kell az oldatot a magas agyagtartalmú feltárási maradéktól elválasztani.

26.3.1.4. Oldott urán kinyerése a feltárási oldatokból

Az uránipar kialakulásának első időszakában az urán kinyerését a feltárási maradéktól elválasztott oldatból egyszerűen kémiai lecsapással végezték, jelenleg a sokkal hatékonyabb és gazdaságosabb ioncserélő módszerrel végzik.

Anioncserélő gyantával való uránkivonás

1949. elején **Rom & Haas Co.** felfedezte, hogy az urán kénsavas oldatokban anionként van jelen, és könnyen kötődik meg *kvaterner ammónium bázisú* anioncserélő gyantán. Az anioncserélő gyanták első ipari alkalmazására Dél-Afrikában került sor 1952-ben. Azóta az anioncserélő gyantákat széles körben alkalmazzák az urán vizes oldatokból való kinyerésére. A szelektívebb módszerek kifejlesztését többek között az uránnak a már említett azon tulajdonsága tette lehetővé, hogy ez az elem igen hajlamos komplex anionok képzésére. Ugyanakkor egy sor fémion ilyen tulajdonságokkal nem rendelkezik, ezért az anioncserés elválasztás nagyfokú szelektivitást biztosít az urán tekintetében.

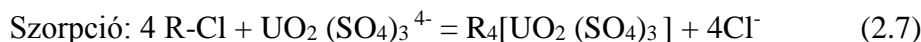
Extrakciós kivonás

Az urán kinyerésére 1955-től kezdve alkalmazzák az extrakciót, amikor is di-2-etil-hexil-foszforsavval (DEHPA) végezték ezt a műveletet. Ez az extraháló szer azonban nem elég szelektív. 1957 óta a tercier aminok a leggyakoribb extraháló szerek az urán kivonásánál, amelyek igen szelektívek az uránra.

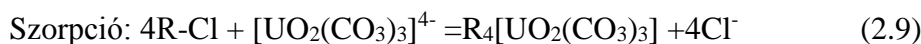
Az extrakció egyik kellemetlen mellékfolyamata az u.n. harmadik fázis képződése, ami lényegében egy stabil emulzió formájában oldószert, extraháló szert és az extraháló szerbe került fémet tartalmaz. Ez a folyamat szerves anyag veszteséghez vezet. A harmadik fázisban lévő anyag nagy része a zagyterekre kerül, szerves anyaggal szennyezve a zagyteri vizeket (Ritsey 1979). A harmadik fázis elkerülése bizonyos adalékanyagok felhasználásával csökkenthető.

Anioncserélővel való uránkinyerés, majd az anioncserélő gyantáról való deszorpció (elúció) mechanizmusa:

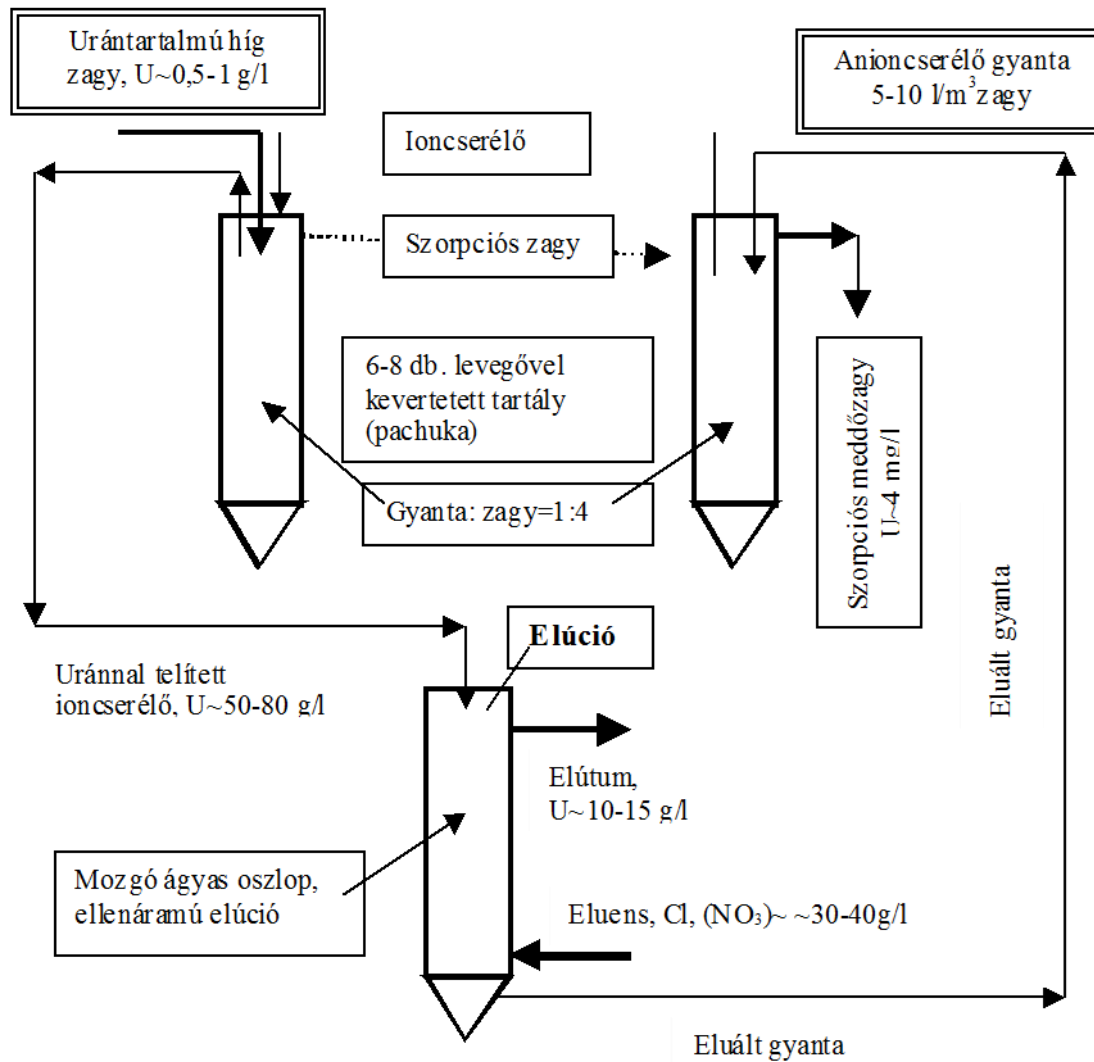
Szulfátos közegben:



Karbonátos (alkalikus) közeg:



ahol: **R- Cl** klorid formájú anioncserélő.



201. ábra: Az oldott urán híg zagyból való kinyerésének elvi folyamata

Az anioncserélő gyanták kapacitása általában 1,5 g-ekvivalens/l, amelynek természetesen csak egy részét kötik le az urán-komplexek. Ezért a szorpcióról távozó telített ioncserélő gyanta kapacitása uránra csak 50-80 gU/l (egyébként ennek többszörösét érne el). Műveletileg a folyamatot rendszerint sorba kötött oszlopokkal végzik, amelyekben ellenáramban mozog a szorpcióra kerülő oldat (vagy híg zagy) és a gyanta.

A savas technológiai folyamatból az anioncserélő gyantán megkötött uránt általában savas kémhatású klorid vagy nitrát (30-40 g/l), esetleg kénsav tartalmú oldatokkal eluálják, azaz vizik ismét vizes oldatba. Alkalikus feldolgozásból származó gyantát nátrium-karbonátot (5 g/l) tartalmazó nátrium-kloriddal (70-80 g/l) vagy nátrium-nitráttal eluálják.

Műszakilag az ioncserélő folyamatot álló ágyas vagy ún. mozgó ágyas rendszerekben valósíthatják meg, ellenáramban mozgatva az oldatot és az ioncserélőt. De megvalósítható kevert tartályokban is, amelyeket sorba kapcsolva biztosítják a megfelelő anyagátviteli lépcsőszámot. Igen gyakran az u.n. „Gyanta a zagyban „ módszert alkalmazzák, amikor is levegővel vagy mechanikus keverővel kevertetett reaktorba adagolják az oldott uránt tartalmazó híg zagyot és az ioncserélő gyantát. A zagy:gyanta arány általában 3:1-4:1. Az

ioncserélő gyanta felhasználása nagy mértékben függ a oldat vagy zagy koptató homokszemcsék mennyiségétől. A fajlagos ioncserélő gyanta-felhasználás 50-100 g/t .

A zagyból való ioncserés uránkinyerés legfontosabb műveleti egységeit a Hiba! A hivatkozási orrás nem található. mutatjuk be. A feltárási zagyból a szilárd anyag durvább részét (+0,1 mm-es frakció, homok) csigás osztályozókon elválasztják az iszapot tartalmazó folyékony fázistól (híg zagytól) a kiválasztott homok ellenáramú mosásával egybekötve. A csigás osztályozókról távozó fejjagyot, amelynek szilárdanyag tartalma kb. 250-300 g/l, a szorpcióra irányítják, ez tartalmazza a kioldódott urán több mint 99%-át. A szorpciót levegővel kevertetett tartályokban (60-100 m³), pachukákban végzik anioncserélő gyantával, a zagy és a gyanta ellenáramban mozog a szorpciós tartályok között. A szorpciós rendszerből távozó, uránnal telített gyantát az elúciós oszlopokba juttatják és kloridot vagy nitrátot tartalmazó savas oldattal az uránt deszorbeálják, azaz ismét oldatba viszik. Az eluált gyanta visszajut a szorpcióra.

Ha a feltárási oldat szilárdanyag tartalma elhanyagolható (pl. ha az oldatot szűrővel választották el a feltárási maradéktól), akkor anion cserélő gyanta helyett előnyösebb lehet anion-típusú extraháló szerek felhasználása az urán oldatból való kivonására. Az extrakciót az ioncseréhez hasonlóan ellenáramú rendszerekben, *mixer-settler* (keverő-ülepítő) egységekben végzik.

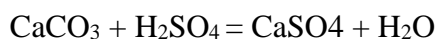
26.3.1.5. Meddőzagy kezelés

Savas feltárás

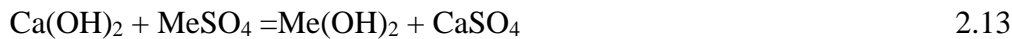
A szorpcióról távozó meddőzagy vagy az extrakcióról távozó meddő oldat általában 2-10 g/l szabad kénsavat tartalmaz.

A spirális osztályozókról távozó mosott meddő homokot ismét egyesítik a szorpciós uránkinyerésről távozó szorpciós meddőzaggal vagy az extrakció után visszamaradt meddő oldattal és egyéb folyékony hulladékokkal, majd semlegesítik. (Megjegyezzük, hogy korábbi években a meddőzagyot néhány üzemben –amelyek lakott területtől távoli területeken létesültek, semlegesítés nélkül helyezték el, a megjelent publikációk szerint elsősorban az USA-ban és Ausztráliában). A semlegesítés célja elsősorban a **felszínalatti vizek védelme** azoktól az anyagoktól, amelyek az ércfeldolgozás során a folyékony fázisba kerülnek. A semlegesítés során leválik a szorpció vagy extrakció után még visszamarad urán, csökken az oldott anyag tartalom egy sor fémhidroxid leválása miatt, ugyancsak leválik a nehézfémek nagy része is. A meddő oldatok rádium koncentrációját a semlegesítés csak kisebb mértékben csökkenti, a meddő radioaktivitására lényegében nincs hatással. A semlegesítés egy lépésben és két lépésben végezhető: a két lépésben való semlegesítés célja a költségcsökkentés, mivel ebben az esetben a szabad kénsavat, a Fe(III) ionokat mészkő-örleménnyel semlegesítik, illetve választják le (pH~3-3.5). A második fokozatban mésztejet kell alkalmazni, mivel a szennyező ionok egy része, csak pH>9 válik le, tehát a mészkőzagyos semlegesítés ezekre az ionokra hatástalan. Az egy lépésben való semlegesítés esetén a szabad savat is és a vas(III)-at is mésztejjel semlegesítik, illetve választják le. Fontos megjegyezni, hogy a mésztejes kezelést, **semlegesítést pH>10 értékig** kell elvégezni ahhoz, hogy a feltárási oldatokba került magnézium is leváljon. Ez a felszínalatti víz minőségvédelme érdekében különösen akkor nagyon fontos, amikor a meddőzagyot nem megfelelő mértékben szigetelt zagytereken helyezik el (pl. MECSEK-ÖKO Zrt).

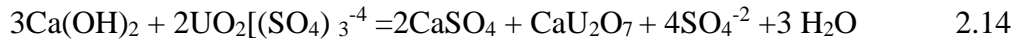
A semlegesítés során lejátszódó kémiai reakciók (2.11-2.14):



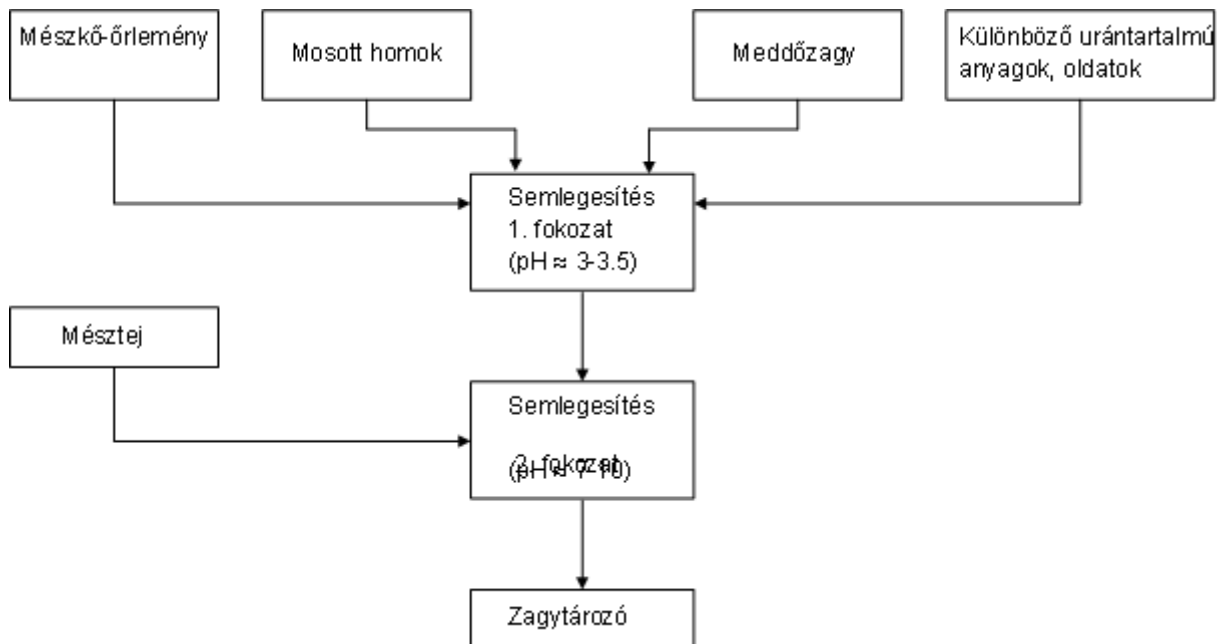
2.11



ahol: Me- Mn, Mg, Fe(II), (Cu, Ni, Zn)



Az urán (és néhány nehézfém) azonban coprecipitáció révén részben a Fe(III)-mal is leválik a meddő oldatokból, ezért a meddőzagy pH~7-8 értéknél is lecsökken az oldott urán koncentrációja 0,1 mg/l alá. A két lépésben való meddőzagy semlegesítés folyamatábráját a Hiba! A hivatkozási forrás nem található. láthatjuk. A savas feltárási sémákból származó eddőzagyok (meddőoldatok) semlegesítésével csökken a zagytereken elhelyezett oldatok oldott anyag tartalma és urántartalma.



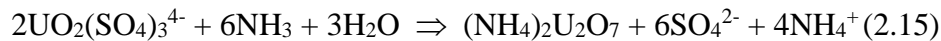
202. ábra: A meddőzagy kétfokozatú semlegesítése

Alkalikus feltárás

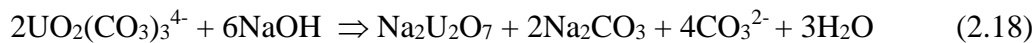
Az alkalikus feltárásból származó oldatfázis fő komponensei: Na_2CO_3 , NaHCO_3 és a pirit oxidációjából képződő kénsav semlegesítéséből eredő Na_2SO_4 . Az oldatok összetétele miatt egyszerű semlegesítéssel lényegében nem érhető el az oldatok tisztítása, ezért arra törekednek, hogy a meddő oldatokban minél kisebb koncentrációban maradjon vissza urán. Mivel a szódás feltárás során a feltárási oldatok gyakran tartalmaznak molibdént, ezért a meddő oldatok kezelése a molibdén kinyerésére irányult (Lodeve, Franciaország). Amennyiben a zagy tározóról a többletvizet ki kell bocsátani, akkor a kibocsátásra kerülő oldatokat nátrium-szulfáttól tisztítják, közben megtörténik az oldatok urántól és rádiumtól való tisztítása is (Dolny Rózsinka, Csehország).

26.3.1.6. Uránkoncentrátum leválasztása

Akár ioncserélő gyantával, akár extrakciós eljárással történik az urán kivonása a feltárási oldatokból, a folyamatok végén az elútumban vagy a reextraktumban az urán koncentrációja 10-20 g/l között van. Az elútumokból az uránt két semlegesítő lépésben választják le: első lépésben 3-3,5 pH-értéknél leválasztják a vas(III) és egyéb a szennyezők nagy részét CaO-dal, majd a második lépésben az uránt megfelelő lúgos kémhatású reagensekkel (ammónia, magnézium-oxid, mésztej, nátrium-hidroxid) vagy hidrogén-peroxiddal:



Alkalikus (szódás) elútumokból vagy feltárási oldatokból az urán nátrium-hidroxiddal választható le:



A koncentrátum víztelenítése történhet centrifugákkal vagy szűrőkkel.

26.3.1.7. Az uránkoncentrátum szárítása, izzítása

A víztelenített uránkoncentrátum szárításra vagy izzításra kerül. A szárítást urán-peroxid esetében 150-200 °C-nál végzik, ammónium-diuranát esetében 120-400 °C-nál. Magyarországon a kalcium-diuranátot 500-550 °C-on szárították.

Az izzítást sokszor az illékony szennyezők eltávolítása végett is végzik (pl. nátrium-klorid tartalom csökkentése). További cél lehet a koncentrátum stabil és nagy sűrűségű U₃O₈-dá történő átalakítása (különösen hosszabb szállítás esetén, kisebb térfogatban szállítható nagyobb tömegű urán).

Ezek a műveletek környezetvédelmi szempontból nagy körültekintést igényelnek, mivel a szárító-izzító egységekből urán távozhat a légtérbe. A környezetszennyezés megakadályozására nagyon hatékony légtisztító rendszert kell üzemeltetni az uránkoncentrátum-szárító üzemszekben.

26.3.1.8. Zagyatározás

A meddőzagy tárolására az első években nem fordítottak különösebb figyelmet: a zagyot kinyomatták a legközelebbi topográfilag legmegfelelőbb helyre, völgybe. Külszíni bányagödörbe való elhelyezés igen gyakori volt, különösen akkor, ha az adott bányagödör éppen uránérc bányászat eredményeként jött létre.

Ez az elhelyezés biztonságos, ha a bányagödör szigeteléssel is rendelkezik (kanadai, francia, német) gyakorlat. Néhány földalatti bánya tömedékelésénél is felhasználták(ják) a homokot tartalmazó frakciót.

A felszínalatti vízszennyezéssel összefüggő problémák miatt napjainkban kiemelt figyelmet fordítanak a hidrometallurgiai üzemekből távozó meddőzagyok elhelyezésére.

Zagyterek kialakítása, üzemeltetése

A zagyterek kialakítása rendkívül alapos műszaki és biztonság-elemzési munka elvégzését igényli. Egy sor gátszakadási tragikus eset, amely az utóbbi évtizedekben a világban bekövetkezett, bizonyítja a meddőtározók szerepét az ércfeldolgozási folyamat egészének biztonsága tekintetében. A nagy vízhangot kapott balesetek ugyan nem uránipari zagy tározókkal következtek be, szerencsére. Uránérc feldolgozási maradékainak elhelyezésére, végleges tárolására szolgáló zagy tározók baleset esetén lényegesen nagyobb környezeti katasztrófát jelentenének, mint akár a színes fémipari flotációs meddőzagyok akár a vörös iszap zagy tározói. Ez a meddők radioaktivitásából adódik: a zagy tározókra kikerült meddő az eredetileg feldolgozott érc radioaktivitásának 80-85%-t tartalmazza, így esetleges szétterülése mezőgazdasági területen lényegében elképzelhetetlen hosszú időre lehetetlenné tenné e terület mezőgazdasági művelését.

A zagyterek üzemeltetésének különböző módjait részletesen taglalják az irodalomban (Robertson et al. 1987, TAILS SAFE 2002). Ezek alapján a gyakorlatban négy módszer terjedt el az uránbányászatban:

- Vízalatti meddő elhelyezés;
- Felszíni elhelyezés zagy formájában;
- Fél-száraz meddő elhelyezési módszerek;
- Száraz meddő elhelyezés (Pasztaszerű meddő elhelyezés).

Vízalatti elhelyezés

Kanadában gyakran alkalmazzák a víz alatti elhelyezést. A meddőt 40% körüli szilárdanyag tartalommal nyomatják ki a közeli tó víztükrébe. A víz alatti meddő elhelyezés különösen a piritet is tartalmazó meddők esetében előnyös, ilyen zagy tárolási móddal megakadályozható a **pirit oxidációja** minden következményével együtt. A meddőzagyot ilyen elhelyezés esetén a zagyot a vízfelszínén úszó bárkán keresztül juttatják a tározóba. Ez lehetőséget ad a meddő egyenletesen elterítésére bárka helyzetének változtatásával. A bárkát a partról kötélén vontatják egyik helyről a másikra. Mivel a meddő szegregálódása minimális az így kialakított meddőréteg vízáteresztő képessége is alacsonyabb a más zagy elhelyezési módokkal kapott struktúrák vízáteresztő képességénél. Kanadában gyakori, hogy létező tavakba helyeznek el meddőzagyot, de a módszer alkalmazható mesterségesen épült gátak között kialakított tározók esetében is.

Meddőelhelyezés híg zagy formájában

Ebben az esetben a zagyterületének nagy része ugyan vízzel fedett, azonban jelentős része, a gáttest közeli részen félig-meddig száraz állapotban van. A zagyot ilyen módszernél a zagyter körül kialakított körvezetékéből juttatják a zagyterre, időről-időre a körvezeték más-más helyéről történik. A zagyter ilyen esetben a kitáplálási ponttól befelé alakul ki a felszín, a durvább rész a gáttesthez közeli részen, a finomabb pedig távolabb ülepedik ki a zagyból. Ilyen zagyter-felület széleróziója jelentős lehet. A szivárgás mértéke jelentős lehet, ha a zagyter szigetelése hiányos. Gátstabilitás szempontjából a magas víztartalom előnytelen, mivel hozzájárulhat a gát sérüléséhez, ami katasztrófhhoz is vezethet. A zagyterre nyomtatott zagy szilárdanyag tartalma 40% alatt van.



203. ábra: A meddő zagy formájában való elhelyezése a zagytéren (Magyarország, MECSEK-ÖKO Zrt I. zagyártározó. 1993., szabad víz a központi részen, homokos parti rész a gát-közeli részen, az iszap döntő része a víz alatti iszapmagban)

Fél-száraz meddő-elhelyezési módszer

Fél-száraz módszernek tekintik azt a módszert, amikor a meddőt rétegesen helyezik el, (50-150 mm) nem folyamatosan, hanem szakaszosan helyezik ki sűrített zagy formában. A következő réteg építése csak akkor kezdődik, amikor az előző meddőréteg már megszikkadt. Ezt a módszert nagyon gyakran alkalmazzák jelenleg is. A meddő kisebb mértékben ugyancsak szegregálódik.

Száraz meddő-elhelyezési módszer (Pasztaszerű meddő-elhelyezés)

E módszer esetében a kihelyezett meddő nem tekinthető zagnak, mivel víztartalma túl alacsony. A víztelenítés függ az eredeti zagy tulajdonságaitól és a használt víztelenítő berendezéstől.

A száraz meddőt vagy légszárítással készítik elő, vagy külön berendezésben magában a hidrómetallurgiai üzemben végzik a mechanikai víztelenítést. A “száraznak” tekintett meddő víztartalma **maximum 20%**. Az ilyen meddő szállítása természetesen nehezebb, mint a

zagyformájúé. Néhány uránüzemben szalagszűrőket alkalmaznak, a szállítás megkönnyítése végett ezt az anyagot kisé felzagyolják és így végeredményben fél-száras állapotban juttatják szivattyúk segítségével a zagy tározókba. Az egykori szlovén üzemben (Zirovski vrh) szalagszűrőn történt a meddő víztelenítése és a zagyterre a szállítást gépkocsikkal végezték. Franciaországban a *Bessine*-i üzemben a szalagszűrőn víztelenített meddőt szállítószalagokon juttatták az ideiglenes tározó tere, ahonnan vasúton szállították a végleges meddőtározóba az 5 km-re lévő külszíni bányagödörbe. Indiában a meddőzagy durva részét (a semlegesített meddőzagy hidrociklonozásának aljzagyát) bányatömedékelésre használták (OECD-IAEA 1999), míg a hidrociklon fejjagyát a külszíni zagy tározóban helyezték el. Svédországban a meddőzagy durvább szemcseméretű részét (80% > 0.8 mm) 17% víztartalommal a tározó helyre szállították gépkocsikkal, majd rétegekben tömörítették.

26.3.2. Halmos (perkolációs) uránérc kilúgzás

Halmos kilúgzás alatt azt az uránkinyerési folyamatot értik, amelynél a bányából kikerülő ércet közvetlenül, vagy megfelelő méretre való törés után, oldatgyűjtő rendszerrel ellátott medencékben prizmák vagy halmok formájában helyezik el és azokon az uránásvánnyal reagáló oldatot cirkuláltatnak.

A lúgzó oldatot a halmok tetejére juttatják, ahonnan az oldat az kőzeten átszivároghatva az oldatgyűjtő térben gyűlik össze, miközben az érc urán tartalmának egy részét kioldja. Ezután az uránt az urántartalmú oldatból rendszerint anioncserélő gyantával vonják ki, majd az uránmentesített oldat - esetleg reagens hozzáadása után - visszakerül ismét a prizma tetejére.

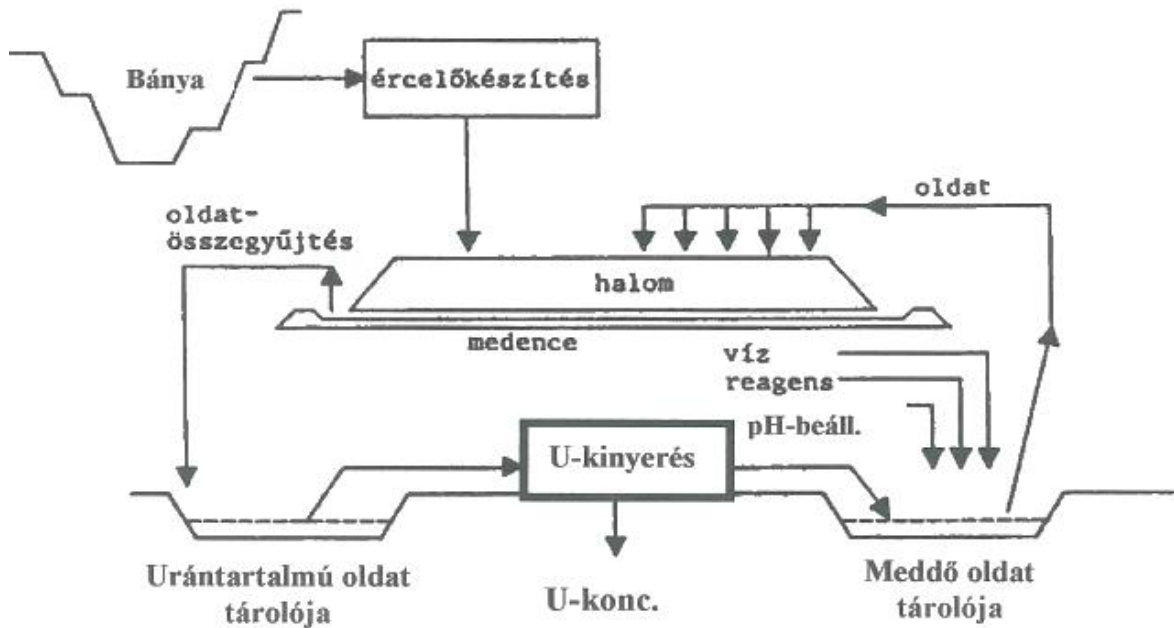
A halmos kilúgzás szinonimájaként gyakran használják a perkoláció kifejezést is, bár az irodalomban a **perkoláció** alatt általában nagyméretű tartályokban elhelyezett érc töreten való oldat-átszivárogtatást értik. Az angol nyelvű irodalomban **heap leaching**- nek nevezik ezt az ércfeldolgozási módot

A **perkolációs** kilúgzás a hidrómetallurgia egyik legrégebbi eljárása, eredetileg rézérc feldolgozására fejlesztették ki. Az urániparban elsőként Portugáliában alkalmazták ezt a módszert az 50-es évek elején, azonban magyar kutatók is beszámoltak perkolációs uránkinyerési kísérletekről már 1958-ban. A legkorábbi perkolációs uránérc feldolgozásra Portugáliában került sor az 1950-es évek elején (Cameron 1980). Ugyancsak az 50-es években végzett kutatások alapján dolgozták ki a Mecseki Ércbányászati Vállalatnál is a perkolációs kilúgzási eljárást az alacsony minőségű érc feldolgozására. Egyes országok (pl. Argentína) kizárólag ezt a módszert alkalmazták uránkinyerésre.

Kilúgzó ágensként **leggyakrabban kénsavat használnak**, de esetenként, pl. a **magyar urániparban** - gazdaságossági megfontolásokból - **szódát használtak**.

E kilúgzási folyamatokban jelentős szerepe lehet a mikrobiológiai folyamatoknak is (különösen szulfidos érc esetében), amelyek hatásmechanizmusával számos tudományos munka foglalkozik.

A perkolációs módszert ugyan alacsony minőségű érc hasznosítására fejlesztették ki, azonban alkalmazásának környezetvédelmi szerepe is van, mivel segítségével feldolgoztak olyan radiometrikus dúsítási meddőt is, amelyek urántartalma egyébként közvetlenül a környezetbe jutott volna.



204. ábra: A perkolációs ércfeldolgozás általános sémája (Hutchison, Ellison után, 1992)

A perkolációs eljárás elvi sémája a Hiba! A hivatkozási forrás nem található. látható. Argentínai erkolációs üzem látható a Hiba! A hivatkozási forrás nem található..



205. ábra: Perkolációs dombok Argentínában (San Rafael)

Az érc töreten kénsavas oldatot perkoláltatnak kb. egy éven keresztül, majd vízzel mossák a kimosott meddőt, végleges tároló helyre szállítják, a medencébe új ércötret kerül.

A módszer abban áll, hogy előre elkészített szigetelt és a szivárgó oldatok összegyűjtésére alkalmas drenázssal ellátott területre elhelyezik az urántartalmú töretet, 5-10 m magas halmokat alakítva ki. A halmok tetejére ezután kénsavat (15-50 g/l) vagy szódát (20-25 g/l) tartalmazó oldatot nyomtatnak, amely átszivárog a töreten és fokozatosan kioldja az uránt. Az urántartalmú oldat a drenázsba kerül és onnan a szorpciós uránkinyerő oszlopokra jut. Az uránmentesített oldatot ezután visszanyomatják a perkolációs dombokra, szükség esetén a reagens koncentrációt korrigálják.

Az uránnal telített gyantát az előző fejezetben már leírtak szerint eluálják és az elútumot uránkoncentrátummá dolgozzák fel.

Technikailag a perkolációt alapvetően kétféle módon lehet megvalósítani:

- A kilúgzó medencék ismételt felhasználásával; ebben az esetben a töretet elhelyezik a szigetelt műveleti medencébe, ahol megtörténik a töret kilúgzása, majd vízzel való átmosása, ezt követően pedig (kb. 18 hónap múlva) a végleges tároló térre való átszállítása (pl. Argentína, Hiba! A hivatkozási forrás nem található.).
- Folyamatosan bővülő perkolációs terület kialakításával, amelynél a kilúgzott töret helyben marad a rekultivációig. Ilyen esetben időről-időre szükség szerint újabb tereket hoznak létre, amelyek egymáshoz kapcsolódnak (pl. Magyarország). A medencék kialakításának folyamata a Hiba! A hivatkozási forrás nem található., a perkolációs dombok elhelyezkedése a Hiba! A hivatkozási forrás nem található. látható. Folyamatosan bővülő perkolációs tér módszernél tehát minden medence csak az eredetileg elhelyezett érc feldolgozására szolgál és minden újabb ércporció számára új medencét képeznek ki. Magyarországon ezt a perkolációs feldolgozási módszert alkalmazták.

A perkolációs ércfeldolgozás várhatóan a jövőben egyre nagyobb szerephez jut, mivel egyrészt nagy tapasztalatok gyűltek össze a rézérc és az aranyérc perkolációs feldolgozása során, továbbá mert gyakran található olyan készletek, amelyre klasszikus üzemet építeni nem lenne gazdaságos. Ugyanakkor azonban a viszonylag kis költséggel létesíthető perkolációs ércfeldolgozás már kifizetődő lehet.

26.3.3. Földalatti, in-situ uránkioldás

A fentiekben tárgyalt urántermelési módszerek jellemzője, hogy a felszínre hozott, kibányászott aprított vagy őrölt kőzetből történik az urán kivonása. Ez a termelési mód természetesen óriási tömegű bányameddő és kémiai ércfeldolgozási meddő képződésével jár, amelynek hosszú távú környezetvédelmi következményei nem elhanyagolhatóak. Az 1960-as évek végén merült fel, hogy a hagyományos uránbányászat helyett nem alkalmazható-e ún. fűrőlyukas perkoláció (angol nevén **in-situ leaching, ISL, solution mining, leach mining**). Ennek során az uránt közvetlenül a lelőhelyen lévő kőzetből oldják ki megfelelő reagenst tartalmazó oldat fűrőlyukon keresztül a hordozó kőzetbe való juttatásával. Ugyancsak fűrőlyukon keresztül a felszínre hozzák az urántartalmú oldatot, amelyből az uránt a szokásos módon kinyerik. Ilyen megoldás megvalósítása egy sor előnnyel jár, mind közvetlen gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból.



206. ábra: Perkolációs medencék kialakítása



207. ábra: Perkolációs prizmák összefüggő elhelyezkedése (Perkoláció-II)

A kilúgzó reagensek természetesen azonosak a klasszikus ércfeltárásnál alkalmazott reagensekkel (kénsavas oldat, nátrium-karbonát, oxidálószerként oxigén, hidrogén-peroxid). A módszert igen gyorsan kezdték alkalmazni, gyakran az adott terület vízföldtani tulajdonságainak kellő ismerete nélkül is. Ennek következményeként több esetben (pl. Csehország) rendkívüli mértékben elszennyeződött rétegvizek alakultak ki. Napjainkban természetesen a fűrőlyukas perkoláció alkalmazását igen alapos geológiai-vízföldtani vizsgálatok előzik meg.

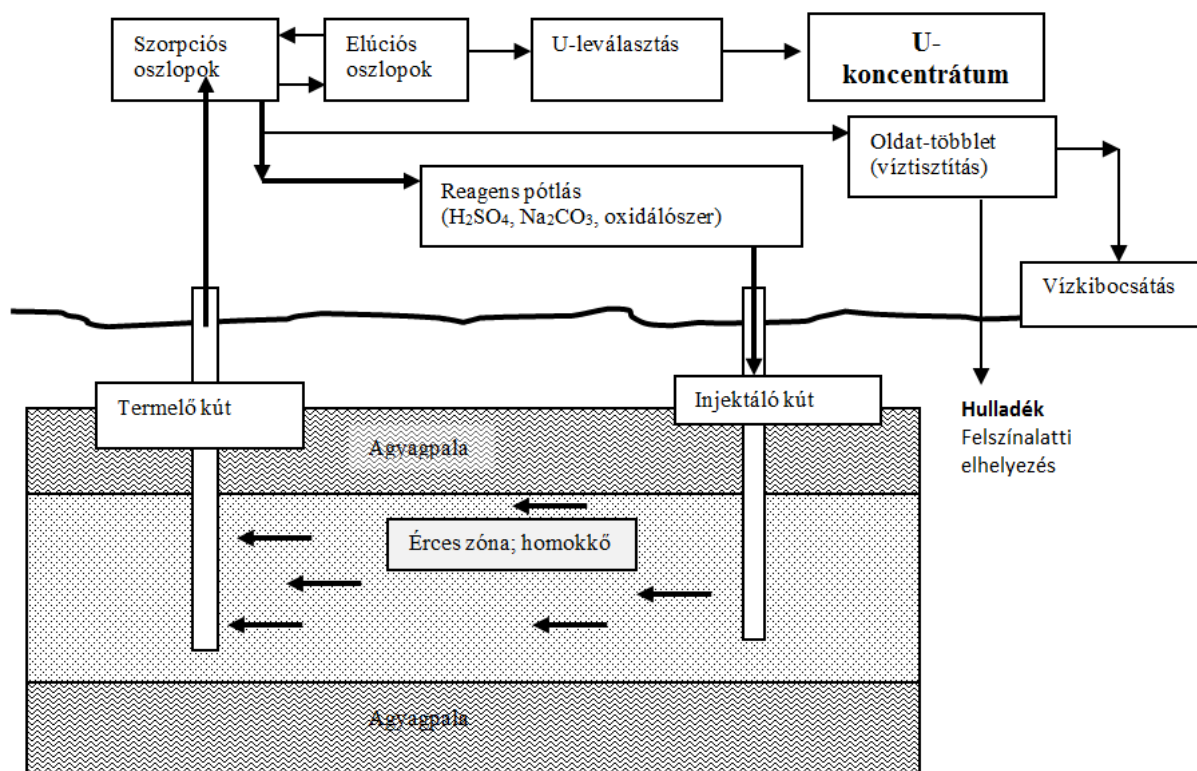
Az fűrőlyukas perkoláció alkalmazásának több kritériuma is van: egyrészt nyilvánvalóan csak megfelelő porozitású kőzetekből való uránkinyerésre használható, másrészt a kőzet jól szigetelt képződmények között kell, hogy helyezkedjen el. Ellenkező esetben vagy nagyfokú szennyeződés alakulhat ki a talajvízben vagy igen nagy mennyiségű plusz vizet kell kiszivattyúzni megfelelő depressziós tölcsér fenntartása végett.

Mindazonáltal jelenleg az urántermelés 35-40%-a származik ISL területekről, Ausztrália, Kazahsztán, Üzbegisztán, USA, Kanada, Oroszország termel ilyen módszerrel uránt. Reagensként kénsavat vagy nátrium-karbonátot és oxidálószer alkalmaznak, de esetenként egyszerű szóda vizet (CO_2 -vel telített víz) kioldásról is van információ (nagyon oxidált száraz területeken). Európában a legnagyobb kiterjedésű ISL terület Csehországban (Hamr) található, ahol **4,9 millió t kénsavat** juttattak a földalatti uránérc tartalmú kőzetbe. A területen jelenleg is

jelentős mennyiségű kénsavat tartalmaz az érces kőzet, a terület rekultivációja folyamatban van (OECD-IAEA 2002a).

Természetesen el kell oszlatni egy gyakori tévhitet: ez a módszer is reagenseket igényel és ugyancsak kell számolni hulladék képződésével is. E hulladékok pl. az Ausztrál **Honeymoon projekt** esetén nem jelentenek különösebb gondot, mivel az ércetestben található pórus víz oldott anyag tartalma eleve **18-20 g/l**, tehát ilyen közegbe a szennyezett hulladékoldat különösebb környezeti probléma nélkül visszacsajtolható. Ha azonban az adott víztartó rétegből ivóvizet vagy mezőgazdasági célra is felhasználásra kerülő vizet termelnek ki, a termelés befejező fázisában nagyon körültekintő vízminőség-helyreállító munkát kell végezni (**Smith-Range Project**, Wyoming) a talajréteg vizes átmosásával. A módszer előnye többek között az, hogy művelésbe vonhatók a bányászati módszerekkel való feldolgozásra gazdaságtalan érckészletek is.

Magyarországon nem volt földalatti perkoláció: egy kísérleti területet ugyan létesítettek **Dinnyeberki** környékén. Azonban a hordozó kőzet agyagos volta miatt az uránkioldás rendkívül lassú volt. Ezért a területet alkalmatlannak találták ipari művelésre.



208. ábra: Fúrólukas perkoláció elvi sémája

Bell, D.H. (1979): Some operating concerns in carbonate leaching. CIM Bull., 177-180.

Bodu, R. (1984): The Lodève plant: A complex alkaline process for a complex uranium ore. Mintek 50 (Proc. Conf. Sandton, 1984), The Council for Mineral Technology, Randburg, South Africa, 707.

Bragadireanu, M., Popa, N., Filip, L., Nica L.(2004): Comparative procedures for uranium solubilisation from ores using the leaching method. IAEA-TECHDOC-1396, p.254.

Cameron, J. (1980): History of the evaluation and exploitation of a group of small uranium mines in Portugal. Uranium Evaluation and Mining Techniques (Proc. Symp. Buenos Aires 1979), IAEA, Vienna, 179-205.

- Czeglédi, B. (1986): Uranium production by ion exchange method. Ion Exchange Technology in the Nuclear Fuel Cycle, IAEA TECDOC 365, Vienna, 85-130.
- Fisher, J.R. (1966): Bacterial leaching of Elliot Lake uranium ore, Can. Min. Met. Bull. 59,
- Himsley, A. (1986): Application of ion exchange to uranium recovery. Ion Exchange Technology in the Nuclear Fuel Cycle, IAEA TECDOC 365, Vienna, 53-84.
- Hutchison, I.P.G. & Richard Ellison, D.(1992): Mine waste management Lewis Publishers, Michigan 48118 Printed in the USA, 1992.
- International Atomic Energy Agency (IAEA, 1993): Uranium Extraction Technology. Technical Report Series, No. 359, IAEA, Vienna, 81 p.
- International Atomic Energy Agency (IAEA, 1980): Significance in of mineralogy in the development of flow sheets for processing uranium ores. Technical Reports Series, N 196, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA, 1992a): Measurement and Calculation of Radon Releases from Uranium Mill Tailings. Technical Report Series No. 333, IAEA, Vienna.
- International Atomic Energy Agency (IAEA, 1993A): Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Closeout of Residues, Technical Reports Series, No 362
- International Atomic Energy Agency (IAEA, 1993b): Uranium Extraction Technology. Technical Report Series, No. 359, IAEA, Vienna, p.78-80
- OECD-IAEA (1990): Uranium Resources, Production and Demand. OECD, Paris.
- OECD-IAEA (2002a): Environmental Remediation of Uranium Production Facilities. OECD, Paris.
- OECD-IAEA (2002b): Uranium 2001 - Resources, Production and Demand. OECD, Paris.
- OECD-IAEA (2010): Uranium 2009 - Resources, Production and Demand. OECD, Paris, p.53.
- Preuss, A., Kunin, R. (1956): A general survey of types and characteristics of ion exchange resins used in uranium recovery. Peaceful Uses of Atomic Energy (Proc. Int. Conf. Geneva, 1955) Vol. 8, United Nation, New York, 45-48.
- Ring, R.J., Vautier, F.E., Lucas, G., Fulton, E., Waters, D. J. (1985): Performance of Caro's acid as an oxidant at the Nabarleck mill. Advances in Uranium Ore Processing and Recovery from Non- Conventional Resources, Proc. IAEA Techn. Committee Meeting, Vienna.
- Ritsey, G.M., Ashbrook, A.W. (1979): Solvent extraction. In: Principles and Applications to Process Metallurgy, Vol. 2, Elsevier, Amsterdam and New York (Remediation of Nuclear Facilities. Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. OECD 2002 Paris)
- Robertson, A. MacG., Knapp, R.A., Melis, L.A., Skermer, N.A. (1987): Canadian Uranium Mill Waste Disposal Technology. Manual prepared for National Uranium Tailings Program, Department of Energy, Mines and Resources, CANMET, Ottawa, Ontario, Canada.

Smits, G. (1984): Uranium-bearing minerals in Witwatersrand rocks, and their behaviour during leaching. Mintek 50 (Proc. Conf. Sandton, 1984), The Council for Mineral Technology, Randburg, South Africa, 527-538.

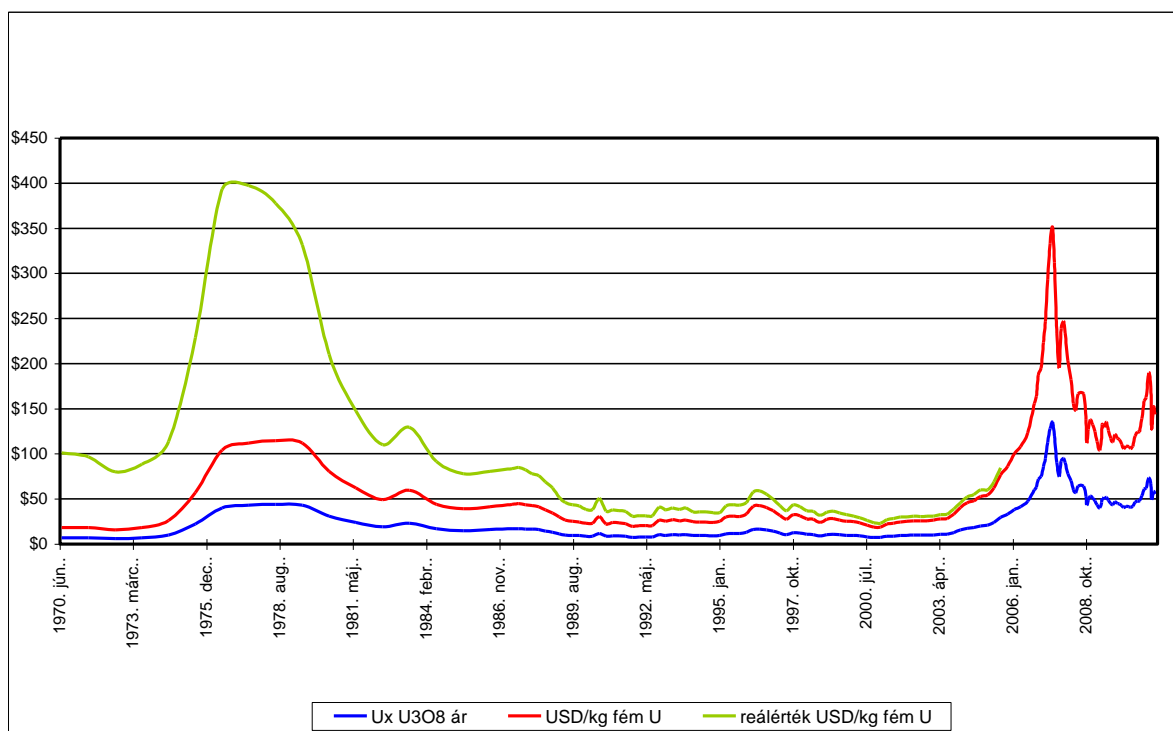
TAILSAFE (2002) Sustainable Improvement in Safety of Tailings Facilities TAILSAFE

ContractNumber:EVG1-CT-2002-00066Website: <http://www.tailsafe.com/>

27. Uránbányászat környezetszennyező objektumai (Dr. Várhegyi András)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

Az urán bányászata viszonylag „fiatal” iparág, azonban a kezdetektől eltelt kb. 100 évben a kitermelt mennyiség nagyságrendekkel nőtt. Az urán iránti keresletet Hahn és Strassman nagy jelentőségű tudományos felfedezése, az urán hasadásának, a láncreakció megvalósíthatóságának felismerése alapozta meg. Az uránnak ez a magfizikai tulajdonsága tette keresetté e fémeket előbb katonai megfontolásokból, az 1960-as évektől pedig energiatermelés céljából is. Mindezek következtében az urán termelése és felhasználása az 1950-es évek elején elérte a 10.000 tonnát, majd a '60-as években a 40–50 ezer tonnát évente. A '80-as évektől kezdődően, a hidegháború enyhülésével, és különösen a Csernobili atomerőmű katasztrófát követően az urán iránti kereslet csökkent, ami az urán világpiacon is tükröződött. Napjainkban a nukleáris energiatermelés iránti igény újra fokozódott, az uránpiacon átmeneti hiány alakult ki, a világpiacon az ár újra 100 USD fölé került. Az urán világpiacon az ár alakulását a **209. ábra** szemlélteti.



209. ábra: Az urán világpiacon az ár alakulása (USD, 1970–2010).

Az urán iránti igények kielégítésére új iparág, az uránipar jött létre, amelynek környezeti kockázatát az iparág kialakulásának idején nem ismerték eléggé annak ellenére, hogy a radioaktív sugárzások élő szervezetekre gyakorolt hatása az 1920-as évektől többé-kevésbé ismert volt. A rádium tartalmú világító festékek gyártásával, az orvosi célú alkalmazásokkal kapcsolatos egészségügyi problémák kezelésére hozták létre 1928-ban a mai *ICRP* (*International Commission on Radiation Protection, Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság*) elődjét. Az uránérc feldolgozása is egészségügyi, környezetvédelmi problémákkal járt, a feldolgozási maradékok által képviselt kockázat csak jóval az ipari méretű termelés beindítása után, az 1960-as évektől vált nyilvánvalóvá. Lényegében ettől az időszakától kezdve foglalkoznak (hazánkban is) az uránbányászat és -ércfeldolgozás környezeti ártalmaival.

Magyarországon az uránérccek felkutatása az 1950-es években szovjet érdekeltségből eredményre vezetett a Nyugat-Mecsek térségében, 1957-től indult az uránbányászat. A bányászat mintegy 40 éves időszaka alatt összesen 5 mélybánya (I-V. számú bányaüzemek) létesült. 1964-ig a kitermelt uránércet vasúton szállították a Szovjetunióba, majd 1964-ben megkezdte működését az ércdúsító üzem.

27.1. Bányászati technológiák

Az ércetek kialakulása (ércgenetika) szempontjából az uránfeldúsulások két nagy csoportra oszthatók: üledékes ércekre (ezek vastagsága a 10 cm–10 m nagyságrendbe esik, és leggyakrabban (de nem mindig) a vízszinteshez közel álló rétegekben fordul elő. A másik a teléres típusú ércesedés, több tíz cm – több 10 m közötti vastagság-tartományban fordul elő, a vízszintestől leggyakrabban erősen eltérő vagy közel vertikális irányítottágú telepkifejlődésben. Az érc geológiai kifejlődéséhez, települési viszonyaihoz, mélységéhez, geometriai méreteihez igazítják a kitermelésének bányászati módszereit.

A bányászat hagyományos módszerei közé soroljuk a mélybányászatot és a külszíni fejtést, míg jelenleg egyre inkább az ISL (in situ leaching, helyszíni kioldás) technológia alkalmazása kerül előtérbe. A mélybányászat függőleges aknákon keresztül hozza felszínre az ércet, a külszíni fejtés során pedig az érctelep fedő meddőközet eltávolítása után a fejtés szabad légtérben történik. Az ISL technológia pedig fúrólukakon keresztül, vegyi reagensek alkalmazásával, oldat formájában hozza felszínre az uránt. Mindegyik bányászati forma sajátos környezetvédelmi problémákat vet fel.

A hagyományos bányászati módszerek alapvető sajátossága, hogy a hasznosítható nyersanyagokon kívül gazdaságosan nem hasznosítható, azaz meddő kőzeteket is kitermel, ami leggyakrabban meddőhányók formájában a környezetbe kerül. Uránbányászat esetén keletkezik inaktív (radionuklidokat a természeteshez közeli koncentrációban tartalmazó) meddő és anomális radioaktivitású meddő (vagyis olyan, alacsony koncentrációjú, de mégis anomális radioaktivitású „gyenge minőségű” uránérc, amelynek ipari feldolgozása nem gazdaságos); így általában ez is a meddőhányóra kerül.

A bányászati tevékenységgel egyidejűleg jelentős mennyiségű felszín alatti víz kiemelését is folyamatosan végezni kell, ami szintén a környezetet terheli (bányavíz).

A külszíni fejtést mind az üledékes, mind a teléres ércelőfordulás bányászatánál alkalmazzák abban az esetben, ha annak költsége alacsonyabb, mint a mélybányászaté (értelemszerűen: kisebb mélységű ércetek lefejtésére). A külszíni bányaműveléssel – a mélybányászattal összehasonlítva – rendszerint nagyobb termelékenység, jobb kihozatal érhető el, és könnyebben biztosíthatók a megfelelő munkafeltételek is. Ugyanakkor ez e művelési forma a táj jelentős sérülését eredményezi, mivel rendszerint nagy mennyiségű meddőt (az ércestet fedő rétegeket) kell kitermelni, és gyakran óriási méretű bányagödrök jönnek létre. Hazánk uránbányászatában külfajti módszert nem alkalmaztak.

Nagyságrendileg 100 m mélységet meghaladó ércelőfordulások kitermelésére mélyművelésű bánya létesítése gazdaságosabb a külszíni fejtésnél. Ilyenkor a felszínről induló aknákon keresztül történik a kitermelt kőzet felszínre hozása, a dolgozók lejutása a munkahelyekre és a megfelelő szellőztetéshez a levegő lejuttatása. Az akna lehet vertikális vagy lejtős, bányauzemenként legalább két akna kialakítása (szállítóakna, légakna) feltétlenül szükséges

(bányatörvény előírja) a menekülés és az áthúzó szellőztetés biztosítása okán. Az aknák mélyítése, továbbá a művelés során keletkező meddő kőzet elhelyezése tipikusan az aknákhöz viszonylag közeli meddőhányókon történik.

27.2. Ércfeldolgozás

A kitermelt érc urántartalmának kinyerése vizes oldatokon keresztül, azaz hidrometallurgiai módszerekkel történik. A konkrét eljárás nagymértékben függ az uránt tartalmazó ásványok jellegétől, az érc minőségétől (urántartalom), az érc általános ásványi összetételétől. Az ipari méretekben alkalmazott módszerek az alábbi csoportokba sorolhatók:

- Az érc megőrlését kövöző klasszikus vegyi ércfeldolgozás (angol terminológiával: mill process)
- Az érc kültéri felhalmozását követő perkolációs kilúgzás (heap leaching)
- Fúrólukakon keresztül végzett kitermelés, kilúgzás (in situ leaching)

Az érc feldolgozása az ércosztályozással kezdődik. Már a bányából kijövő csilléket is minősítik radioaktivitásuk alapján: gamma sugárzásmérés alapján a határértéket el nem érő radioaktivitású kőzetet tartalmazó egységek közvetlenül a meddőhányóra irányítják. Az ércnek minősülő kőzetet (ami közé a bányaműveletek során meddő is keveredhetett, vagyis az érc „felhígult”) az ércosztályozóban radioaktivitásuk (gamma-sugárzásuk) alapján tovább csoportosítják: a meddőnek minősülő visszakerül a meddőhányóra, a „jó” minőségű érc vegyi dúsításra, míg a „gyenge” minőségű nyílttéri kitermelésre (perkoláció) kerül.

A klasszikus vegyi ércfeldolgozás első lépéseként az uránt ásványaikból savas vagy alkalikus karakterű oldatokkal kioldják. A gyakorlatban ezt előbbi esetben ezt kénsav, utóbbinál pedig hidrogén karbonát adagolásával valósítják meg. Az urán a természetben hat és négy vegyértékű oxidált formában található: UO_3 illetve UO_2 . A hat vegyértékű urán közvetlenül oldatba vihető, a négy vegyértékű formát ehhez oxidálni kell. Ez további reagensek, oxidálószer és katalizátor bevitelével valósítható meg a gyakorlatban, savas technológia esetén pl. mangánérc (piroluzit) adagolásával.

27.3. Az uránbányászat során képződött környezetszennyező objektumok

Az uránbányászat által okozott környezetvédelmi problémák abban különböznek az egyéb (pl. érc-, szén-, kőbányászat) bányászatétól, hogy a környezet radioaktív terhelésével, szennyezésével is jár. A nyugat-mecseki uránbányászat és a kapcsolódó ércfeldolgozás (ércdúsító üzem) által létrehozott legfontosabb környezetszennyező objektumok illetve objektum-csoportok az alábbiak:

- Földalatti bányaüregek
- Vertikális aknák (légaknák, szállítóaknák) és táróbejáratok
- Bányászati és egyéb ipari területek
- Érc- és bányameddő szállítási útvonalak, zagyvezetékek
- Meddőhányók
- Külszíni perkolációs meddők
- Zagytározók

Ezek mindegyike eltérő, egyedi módon terheli környezetét, rekultivációjuk módja is különböző.

27.3.1. Bányászati területek és légaknák

A földalatti bányáiregek például a bányabezárást követően, a vízkiemelés beszüntetését követően fokozatosan feltelnek vízzel, és az ott (esetlegesen) visszamaradt szennyezéseket, feltárt és le nem termelt ércesedéseket oldva elszennyeződhetnek. A mindenkori vízszint feletti üregrendszer légterében pedig igen magas radonkoncentráció alakulhat ki, amely a felszínre áramolva jelentős munkahelyi vagy lakóhelyi sugárterhelést okozhat.

A bánya üzemelésének időszakában a földalatti bányatérsegeket szellőztetni kell. A szellőztetés célja a friss levegő biztosítása a földalatti munkahelyeken, ezzel egyidejűleg az elhasznált levegő eltávolítása, kibocsátása a légkörbe. Az uránbányákban a fejtések, földalatti robbantások során keletkező nitrózus gázok, por, az ércetestekből kilépő radon eltávolítása mellett a munkahelyek hűtése is fontos feladat. A mecseki mélyebb bányákban, 1000 m-t is meghaladó mélységben a primer közethőmérséklet elérhette, meghaladhatta az 50 °C-ot. Az alkalmazott áthúzó szellőztetés kibocsátási pontjai tipikusan a bányászati légaknák. A Mecseki Ércbányászati Vállalat (MÉV) IV. számú bányászati légaknáját mutatja a **Hiba! A ivatkozási forrás nem található..**



210. ábra: A MÉV IV. számú légaknája

A MÉV légaknáinak emisszióját, környezetterhelését, üzemelésük időszakában, a **74. táblázat** foglaltuk össze:

74. táblázat: A MÉV egykori légaknáinak radiológiai paramétereit

^{222}Rn emisszió	$1,5 \cdot 10^{13}$ Bq/év
Porkibocsátás (U_{nat} , ^{226}Ra)	$2 \cdot 10^9$ Bq/év
Az aknától 100 m távolságban:	
^{222}Rn koncentráció	10 – 150 Bq/m ³
Gamma dózisteljesítmény	150 – 250 nGy/h

A monitoring adatok szerint a légaknából kilépő aktivitás jelentősen felhígul, az aknától távolabb (100 m) a radiológiai paraméterek alig haladják meg a természetes háttér értékét. A légaknák környezetében viszonylag nagyobb távolságokra (több 100 m, uralkodó szélirányban néhány km) megfigyelhető jelenség továbbá, hogy a növényzeten, talajban a ^{210}Pb aktivitáskoncentrációja anomális, tipikusan nagyságrenddel meghaladja az egyensúlyi értéket. Ennek oka a radon bomlástermékek fokozott kihullása a levegőből, amelynek a ^{210}Pb hosszú élettartamú ($T_{1/2} = 22,3$ év) komponense.

27.3.2. Meddőhányók

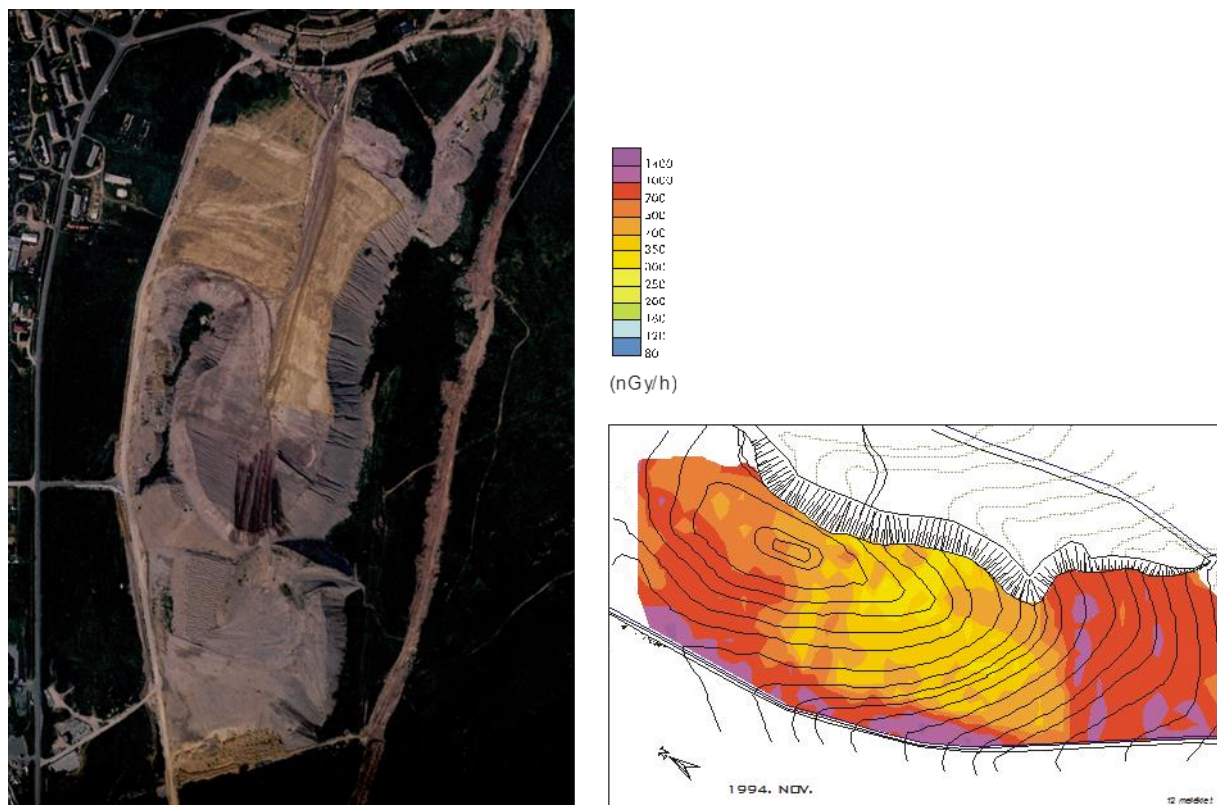
A meddőhányókra ugyan – elnevezésük is erre utal – a műrevalósági határ alatti érc- (urán) tartalmú kőzetek kerülnek, ezek radioaktivitása jellemzően anomális, többszörösen meghaladja a háttér értéket. Kivételt képezne ez alól az olyan meddőhányók, ahol csak inaktív kőzet elhelyezése történt, ilyenek például az aknamélyítési meddők. Tipikusan azonban az inaktív bányameddő és a műrevalósági határ alatti, ércosztályozási meddő keverten kerül a meddőhányókra. A MÉV legnagyobb, központi III. számú meddőhányójának légi felvételét, valamint a meddő még fedetlen felületén mért gamma dózisteljesítmény izovonalas térképét mutatja a Hiba! A hivatkozási forrás nem található..

A MÉV meddőhányóinak legfontosabb mennyiségi és radiológiai paramétereit, környezetterhelését, még a rekultivációt megelőző időszakban, a **75. táblázat** foglaltuk össze:

75. táblázat: A MÉV egykori meddőhányóinak radiológiai paramétereit:

Alapterület	900 000 m ²
Összes mennyiség	25 millió tonna
Átlagos U_{nat} koncentráció	50 g/t
Átlagos ^{226}Ra koncentráció	0,7 Bq/g
Felszín ^{222}Rn exhaláció:	
Fluxus	0,1 – 0,5 Bq/m ² s
Összesen:	$6 \cdot 10^{12}$ Bq/év
Gamma dózisteljesítmény	0,5 – 1,2 $\mu\text{Gy/h}$
A meddőhányótól 100 m távolságban:	
^{222}Rn koncentráció	10 – 50 Bq/m ³
Gamma dózisteljesítmény	150 – 250 nGy/h

A táblázat adataiból látható, hogy a meddőhányókon mérhető radiológiai paraméterek kb. egy nagyságrenddel haladják meg a természetes háttér értékeket. Az objektumtól távolabb (100 m) viszont már közel háttérszintű értékeket mérhetünk.



211. ábra: A MÉV III. számú központi meddőhányója és gamma dózisteljesítmény térképe (áthalmozás után, fedés előtt)

27.3.3. Külszíni urántermelés („perkoláció”) területei

A „gyenge” minőségű ércet (tipikusan 100–300 g/t urántartalom között) a MÉV-nél ún. perkolációs technológiával dolgozták fel. A cm-es nagyságú darabokra összetört ércet a külszínen felhalmozták, szódás (NaHCO_3) oldattal kezelték. A perkolációs halmok alatt elhelyezett fólián összegyűlt oldatból vonták ki az uránt a helyszínen elhelyezett ioncserélő gyanta oszlopokon. A termelés befejezésével a meddőt először tiszta vízzel kezelték, hogy a vegyi szennyezettségét csökkentsék, mindazonáltal a visszamaradt perkolációs meddőhányók mind kémiai, mind radiológiai szempontból potenciális szennyező források. A MÉV II. számú perkolációs területét, meddőhányóit mutatja a Hiba! A hivatkozási forrás nem található.., a rekultivációt megelőzően.

A MÉV perkolációs meddőinek legfontosabb mennyiségi és radiológiai paramétereit, környezetterhelését, még a rekultivációt megelőző időszakban, a **76. táblázat** foglaltuk össze:

76. táblázat: A MÉV egykori perkolációs területeinek radiológiai jellemzői

Alapterület	470 000 m ²
Összes mennyiség	3,4 millió tonna
Átlagos U _{nat} koncentráció	60 – 70 g/t
Átlagos ²²⁶ Ra koncentráció	1,5 – 2 Bq/g
Felszín ²²² Rn exhaláció:	
Fluxus	0,5 – 1 Bq/m ² s
Összesen:	1,2 · 10 ¹³ Bq/év
Gamma dózisteljesítmény	0,8 – 1,5 µGy/h
A meddőhányótól 100 m távolságban:	
²²² Rn koncentráció	10 – 50 Bq/m ³
Gamma dózisteljesítmény	150 – 250 nGy/h



212. ábra: a MÉV egykori II. számú perkolációs területe

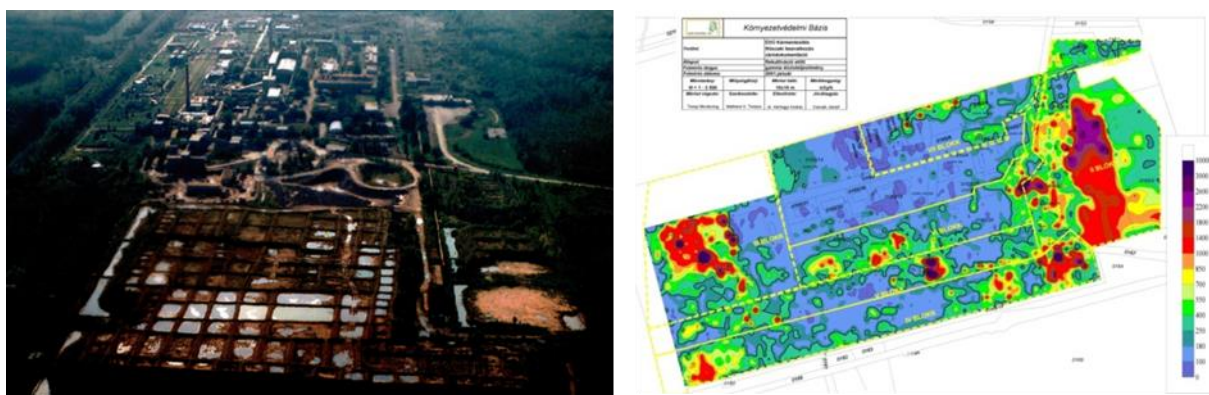
Az adatokból megállapítható, hogy a perkolációs meddők radioaktív paraméterei a „normál” meddőhányókénál valamivel magasabbak, legalább egy nagyságrenddel meghaladva a természetes háttér értékeket. Az objektumtól távolabb (100 m) viszont itt is közel háttérszintű értékeket mérhetünk.

27.3.4. Ércdúsító üzem (ÉDÜ)

Az érc vegyi feldolgozása, az urán kinyerése az ércből, majd U koncentrátum (angolul: *yellow cake*, „sárga por”) előállítása ércdúsító üzemben történik. A MÉV-nél az urán feldolgozása az

alábbi legfontosabb munkafolyamatok, technológiai lépések szerint történt: az érc felszíni tárolása → törés → ércosztályozás → őrlés → feltárás kénsavas (H_2SO_4) technológiával → szorpció (az urán megkötése mügyanta oszlopokon) → elúció (az urán leoldása a gyantáról sósavval) → kicsapás (mésztej hozzáadásával) → szárítás → csomagolás. A technológia végeredményeként közel 60 % U-tartalmú koncentrátum, és radioaktív, vegyileg szennyezett gyártási maradék, zagy keletkezett, amelyet csővezetéken juttattak ki a zagyártározókra.

A MÉV Ércdúsító üzemét és a közvetlen szomszédságában kialakított I. számú perkolációs területet mutatja a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** A terület radiológiai szennyezettségét (rekultiváció előtt) illusztrálja a terület gamma dózisteljesítmény térképe. A jelentősebb radioaktív anomáliák az érc felszíni tárolásához, mechanikai feldolgozásához, a vegyi technológia központi épületéhez és az egykori hulladék depóhoz kapcsolódnak. A talaj radioaktív szennyezése mellett olaj-, sav- és nehézfém-szennyezések is kialakultak, a talajvíz is szennyeződött (urán, sav, olaj).



213. ábra: A MÉV egykori ércdúsító üzeme és I. számú perkolációs területe (balra). A terület radioaktív talajszennyezését illusztráló gamma dózisteljesítmény térképe (jobbra)

A MÉV ércdúsító üzemi terület legfontosabb radiológiai paramétereit, környezetterhelését, a rekultivációt megelőző időszakban a **77. táblázat** foglaltuk össze:

77. táblázat: A MÉV egykori ércdúsító üzemének radiológiai paramétereit

Alapterület	400 000 m ²
²²² Rn emisszió	$2 \cdot 10^{12}$ Bq/év
Radioaktív porkibocsátás ($U_{nat} + ^{226}Ra$)	$2 \cdot 10^9$ Bq/év
Gamma dózisteljesítmény	0,2 – 3 μ Gy/h
A kerítéstől 100 m távolságban:	
²²² Rn koncentráció	10 – 30 Bq/m ³
Gamma dózisteljesítmény	140 – 180 nGy/h

A táblázat adatai azt mutatják, hogy a talaj radioaktív szennyezettségét jelző gamma dózisteljesítmény paraméter igen szélsőséges értéktartományban ingadozik, a háttérszint-közeli értékektől (szennyezés-mentes területrészekben) egészen a primer ércet jellemző, μ Gy/h-ás nagyságrendű értéktartományig. A területtől távolabb (100 m) viszont már gyakorlatilag a háttérsugárzás értékeit mérhetjük.

27.3.5. Zagyártározók

A zagyártározókon elhelyezett urándúsítási maradék, zagy radioaktivitása alig marad el a kiindulási érc örlemény aktivitásától, hiszen az urán bomlási sorozata mindössze egyetlen elemének, az uránnak a kivonása történt meg a folyamat során, az összes többi radionuklid, köztük a fő gamma-sugárzók (^{214}Bi , ^{214}Pb) és a ^{222}Rn -ná bomló ^{226}Ra , a zagyban maradt. Ehhez járul a technológiai folyamat során adagolt összes kémiai komponens, a kénsav és sósav mésztejjel közömbösített maradéka, a katalizátorként adagolt mangánérc stb. Mennyiségét tekintve pedig gyakorlatilag a teljes feldolgozott uránérc anyaga jelen van (az érc átlagos urántartalma kb. 0,1 %), plusz a technológia során hozzáadott oldatok és adalékanyagok. A MÉV zagyártározóinak légi fotója látható a Hiba! A hivatkozási forrás nem található..

I. zagyártározó →



← II. zagyártározó

214. ábra: A MÉV egykori zagyártározóinak látképe

A MÉV zagyártározóinak legfontosabb mennyiségi és radiológiai paramétereit, környezetterhelését, még a rekultivációt megelőző időszakban, a **78. táblázat** foglaltuk össze:

78. táblázat: A MÉV egykori zagyártározóinak mennyiségi és radiológiai jellemzői

Alapterület	1 630 000 m ²
Összes mennyiség:	
Szilárd fázis	20,4 millió tonna
Oldatban:	32 millió m ³
U _{nat} koncentráció:	
Szilárd fázis	70 g/t
Oldatban:	0,1 mg/dm ³
²²⁶ Ra koncentráció:	
Szilárd fázis	13 Bq/g
Oldatban:	5 Bq/dm ³
²²² Rn exhaláció:	
Fluxus	4 Bq/m ² s
Összesen	2,5 · 10 ¹⁴ Bq/év
Gamma dózisteljesítmény	2,5 – 3,5 μGy/h
Az objektumtól 100 m távolságban:	
²²² Rn koncentráció	10 – 100 Bq/m ³
Gamma dózisteljesítmény	200 – 300 nGy/h

Az ércdúsító üzemelésének időszakában a zagyártározó felületén nyílt vízfelület, „tó” található, amelynek vizét visszaforgatják az üzembe. A rekultiváció során, első lépésként a zagyó vizének a lecsapolása történik meg, szabaddá válik a rendkívül anomális radioaktivitású zagyfelület, amelynek fokozatos kiszáradásával a radioaktív emisszió tovább fokozódik (kiporzás, radon exhaláció). A zagyártározók szilárd felületén a radioaktív szintek mintegy 2

nagyságrenddel haladják meg a természetes háttérsugárzás értéktartományát; a tározóktól eltávolodva (100 m) viszont a háttérnél csak kissé magasabb értékeket mérhetünk.

28. Uránipari objektumok rekultivációjának technológiai kérdései (Dr. Csóvári Mihály)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

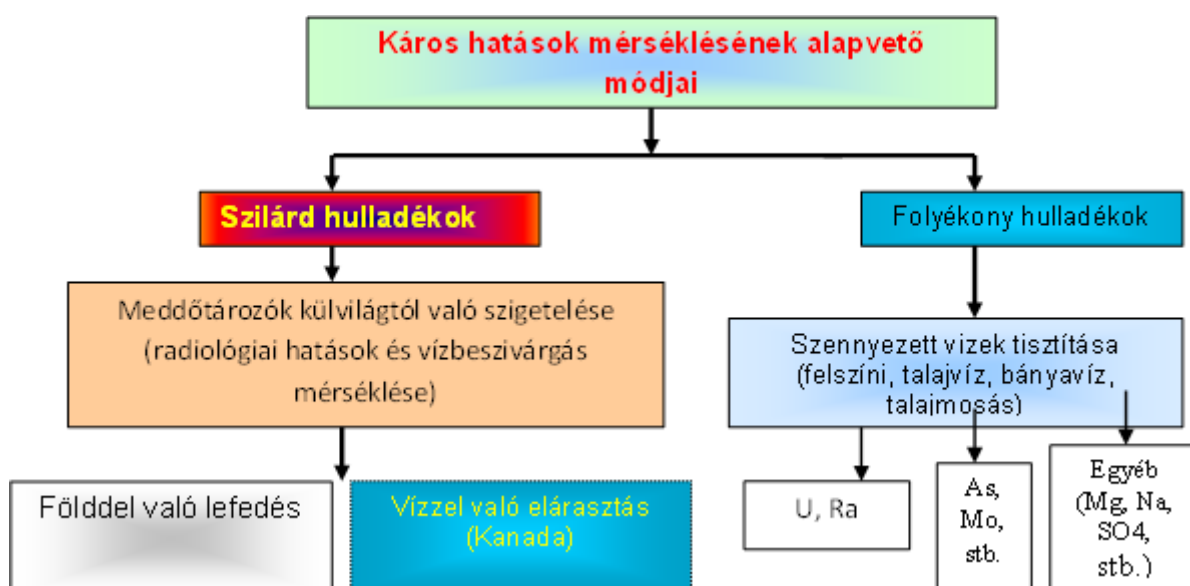
A szennyezések jellege

Az uránbányászat rekultivációval kapcsolatos problémái részben azonosak más ércek bányászata és kémiai feldolgozása során jelentkező problémákkal, részben különböznek azoktól. A különbség elsősorban a bányatermelvény radioaktivitása miatt jelentkezik. A rekultiváció sokrétű feladatainak csak kis részét tudjuk érinteni, de a tárgyalt módszerek áttekintést adnak a munkák jellegéről.

Az uránbányászat rekultivációja radiológiai szempontból azért fontos, mivel az ércfeldolgozási maradékok radioaktivitása alig kisebb az eredeti érc radioaktivitásánál, lévén, hogy feldolgozás során csak az urán döntő részét vonják ki, és a bomlástermékek nagy része a feldolgozási meddőben marad. E meddők rádium tartalmuknál fogva radon-222 gázt emittálnak a környezetbe, amely sugár-egészségügyi hatásai miatt igen ártalmas anyag. Több egyéb kockázat mellett az urániparban képződő hulladékokat, elsősorban az ércfeldolgozási meddőket, a radon gáz légtérbe jutásának mérséklése céljából izolálni kell a légtértől, ami csak hatékony rekultivációval érhető el. Hangsúlyozni kell azonban, hogy a rekultiváció nemcsak a meddők felszínén mérhető radiológia hatások csökkentése céljából fontosak, hanem azért is, hogy az illetéktelen személyeket figyelmeztessék a veszélyes anyagra, ami a fedőréteg alatt található. Ezzel csökkenteni lehet a radioaktív anyag emberi beavatkozással történő széthordását, ami a múltban gyakorta előfordult a felhagyott zagytározókkal.

A környezeti hatásokat az emberi szervezetre gyakorolt hatásuk alapján két fő csoportra oszthatjuk: radiológiai és nem-radiológiai hatásokra.

Ennek megfelelően környezetvédelmi feladatok egyrészt a radiológiai hatások, másrészt a nem-radiológiai hatások mérséklésére vagy határesetben megszüntetésére irányulnak. A következőkben a környezeti károk mérséklésére alkalmazott módszereket tekintjük át. A káros hatások mérséklési lehetőségeit a Hiba! A hivatkozási forrás nem található. szemlélteti. Az uránbányászat környezetre gyakorolt hatásait mérsékelni lehet megfelelő kárelhárítási intézkedésekkel.



215. ábra: Az uránérc feldolgozás káros környezeti hatásai mérséklésének módjai

A Hiba! A hivatkozási forrás nem található. összefoglalt hulladékkezelési módok észletesebb kifejtését a következő fejezetekben végezzük el. Szilárd hulladékok esetében elsősorban a környezettől való teljes vagy részleges szigeteléssel lehet mérsékelni azok radiológiai és vízszennyezési hatásait. Ebben a tekintetben a feladat az, hogy:

- egyrészt csökkenteni kell a radioaktív hulladékokat magukba foglaló objektumokból kiáramló radioaktív és nem radioaktív komponensek mennyiségét,
- másrészt kárelhárítást kell végezni a már a környezetbe jutott szennyezők egészségkárosító hatásának mérséklése céljából. Ez utóbbiak közül az egyik legfontosabb az objektumok közelében elszennyeződött felszínalatti víz minőségének helyreállítása.

Ebbe a kategóriába tehető a kármentesítési munkák során összegyűjtött szennyezett talaj és az épületek, ipari létesítmények lebontásánál képződő törmelék is. A folyékony hulladékok esetében általában célirányos vízkezelési eljárások alkalmazása jelenti a megoldást akár bányavizekről akár a meddőkről szivárgó vizekről van szó.

Az uránipari remediációról magyar nyelvű összefoglaló anyagot 1994-ben publikáltak (Csóvári, M., Lendvainé-Koleszár Zs. 1994).

28.1. Szilárd hulladékok kezelése

A szilárd hulladékok közül a zagyatározókon elhelyezett ércfeldolgozási meddőzagy jelenti a legnagyobb problémát egyrészt a meddő radioaktivitása miatt másrészt a meddőben és a zagy oldatfázisában található kémiai anyagok miatt. Ebben a fejezetben elsősorban e hulladékok (zagyteri meddők, bányászati meddők) kezelését tárgyaljuk, és mindenek előtt a radiológiai hatások mérséklésével foglalkozunk. A kémiai szennyezőktől eredő vízkezelési módszereket a későbbiekben tárgyaljuk.

28.1.1. Radiológiai hatások mérséklése

A rekultiváció során a radiológiai hatások mérséklésének mértékét megengedett határértékek formájában általában a Környezetvédelmi Engedély írja elő a nemzetközi ajánlások figyelembe vételével. Ezekben szerepel az egyes objektumokon és azok közelében megengedett gamma-dózis intenzitás szint, a radon aktivitás koncentrációjának megengedett értéke, a talajok szennyezettségére megengedett értékek, stb.

Az előírt határértékek teljesítéséhez általában elkerülhetetlen a szennyező forrásokon (meddőhányók, zagyatározók) és azok közelében érvényesülő gamma-sugárzás és a levegő útján terjedő radioaktív por és radon gáz valamint ennek alfa-aktív bomlástermékei kiáramlásának jelentős mérséklése.

28.1.1.1. Gamma-sugárzás intenzitásának csökkentése

Gamma-sugárzás csak a radioaktív meddő közvetlen közelében észlelhető, mivel a sugárzás levegőben viszonylag gyorsan elnyelődik. Problémaként a gamma-sugárzás tehát elsősorban a meddők tárolási helyén, a meddődombokon jelentkezik, kivéve azt az esetet, amikor a radioaktív anyagot általában tudatlanságból széthordják (a múltban erre gyakran sor került). Természetesen a bányatermelvény tárolási helyei, a feldolgozó üzemekben az érc vagy meddő egy része szétszóródott a talajon. Ezért az uránbányászat által használt területeken igen sok esetben a háttérnél lényegesen magasabb gamma-dózis intenzitás mérhető. Ilyen esetekben célszerűnek látszik a szennyezett föld eltávolítása és kijelölt gyűjtő helyre való átszállítása.

A levegőben elnyelt gamma-dózis intenzitás a meddő rádium tartalmától függ (4.1) és fedetlen zagyterek esetére az alábbi közelítő képlet szerint számítható ki (IAEA 1992):

$$D = 0,48 \times C_{Ra} \quad (4.1)$$

ahol: **D**-a levegőben elnyelt gamma-dózisintenzitás 1 m-re a fedetlen zagyter felett, $\mu\text{Gy/h}$

C_{Ra}- a meddő rádium tartalma aktivitás-koncentrációban kifejezve, Bq/g

Példa.

Számítsuk ki, hogy milyen gamma-dózis intenzitás várható olyan zagyter felszínén (a felszíntől 1m-re), amelynek szilárd anyaga 10 Bq/g rádiumot tartalmaz.

Megoldás

$$D = 0,48 \times C_{Ra} = 0,48 \times 10 = 4,8 \mu\text{Gy/h}$$

Természetesen a zagytereken lévő meddő rádium tartalma alapvetően a feldolgozott érc minőségétől függ. A példában a 10 Bq/g rádium kb. 0,08-0,1 % urántartalmú érc meddőjének rádium tartalma; a múltban képződött meddők nagy része világviszonylatban is 0,1-0,5 % uránt tartalmazó ércből származik, tehát nagyságrendben közel áll a példában vett értékhez.

A példában kiszámított gamma-dózisintenzitás 20-30 szorosa a háttérértéknek, tehát azt csökkenteni kell, még akkor is, ha a területet korlátozott hasznosításra szánják.

Az anyag és a nagyenergiájú gamma-sugárzás kölcsönhatása során a sugárzás intenzitása exponenciálisan csökken a sugárzást elnyelő anyag **rétegvastagságának** és **tömegabszorpciós együtthatójának** függvényében. Az elnyelés mértéke ugyan több tényező függvénye (pl. a sugárzás energiája), azonban közelítően az alábbi egyenlettel írható le (4.2):

$$I \sim I_0 e^{-\mu \cdot h} \quad (4.2)$$

ahol: **I₀**- a sugárzás eredeti intenzitása,

μ-tömegabszorpciós együttható,

h- az elnyelő anyag rétegvastagsága,

I- az anyagon áthaladt sugárzás intenzitása.

Mint látható a gamma-sugárzás intenzitása adott elnyelő anyag (adott μ) esetén az anyag rétegvastagságától függ. Mivel μ a sugárzás **energiáján kívül** elsősorban a **rendszám függvénye**, ezért minél nagyobb rendszámú elemet tartalmaz az árnyékoló anyag, annál nagyobb annak sugárzásintenzitás-csökkentő hatása. Ezért használnak, pl. a röntgenkészülékeknél ólomból készült védő eszközöket (az ólom nagy rendszámú elem) és ezért alkalmaznak a radiológiai méréseknél is ólom árnyékolást. Természetesen az uránércnek bányászata és feldolgozása során képződő óriási anyagmennyiségű szilárd hulladékok lefedésénél nem jöhetnek szóba különleges anyagok. Ezekben az esetekben csak a legolcsóbb anyagok, a természetes föld és esetenként a víz jöhet számításba.

A föld, különböző abszorpciós együtthatójú anyagok keverékének tekinthető. Bár anyagi összetétel ismeretében kiszámítható a jellemző átlagos abszorpciós tényező értéke, azonban a gyakorlatban tapasztalati, kísérleti adatokból indulnak ki a fedőréteg szükséges vastagságának megállapításánál.

Tapasztalatok alapján általában mondható, hogy az uránsortól eredő gamma-sugárzás intenzitása kb. a felére csökken, ha az 10 cm-es földrétegen hatol át, a következő 10 cm ugyancsak a felére csökkenti (tehát az eredeti $\frac{1}{4}$ -re) a sugárzás intenzitását. Ezért a gamma-sugárzás által okozott sugárzás-intenzitás háttérértékhez közeli értékre való csökkentéséhez néhányszor 10 cm-es földréteg takaró elégséges, azonban a várható eróziós hatások miatt ennél vastagabb takaróra van szükség.

A takaró réteg vastagságát a fentiekén túl még a tervezett növénytakaró által igényelt víztározó kapacitás is befolyásolja. Ennek és az eróziós hatásoknak a rétegvastagság megállapításában gyakran nagyobb szerepe van, mint a magának sugárzás mérséklésének.

28.1.1.2. Radon gáz exhalációjának csökkentése

A radon gáz a rádiumot tartalmazó meddőből, annak felületéből lép ki a környezetbe, így érthető, hogy a környezet radonnal való szennyeződése a meddőt magába foglaló geometriai test, (rendszerint domb) felület-egységéből időegység alatt kilépő radon gáz mennyiségétől, azaz **fluxusától, más néven exhalációjától** függ. A fluxus dimenziója a **Bq/m²s, ami az egységnyi felületről egységnyi idő alatt kiáramló radon aktivitás koncentrációját adja meg.** Mivel a radon szülőeleme a rádium, ugyancsak érthető, hogy - természetes körülmények között, tehát uránnal vagy tóriummal nem szennyezett területen is a radon-fluxus értéke a talaj rádium tartalmától függ. Magyarországon, ahol a talajok átlagos rádium tartalma viszonylag alacsony (pl. a franciaországi viszonyokhoz képest, ahol a felszín-közeli geológiai képződmények, gránitok, rádium tartalma magasabb) a radon-exhaláció értéke 20-40 mBq/m²s érték között változik.

A radon zagyatározókból meddőhányókból való kiáramlására általában az **USA törvényhozása által az amerikai objektumokra előírt 0,74 Bq/m²s fluxus** értéket tekintik nemzetközileg is elfogadott határértéknek. A zagytereken általában 5-20 Bq/m²s az exhaláció számszerű értéke². Mivel a radon nemesgáz, a radon koncentrációjának csökkentésére kémiai megkötő anyagok nem jöhetnek szóba, ezért a radon gáz kibocsátásának csökkentése csak diffúzió-gátlás révén oldható meg, figyelemmel arra, hogy a diffúzió időtartama alatt a meddőből kiáramló radon egy része a takaró rétegben elbomlik. Mivel vízrétegen való áthaladás során, a többi, vízzel reakcióba nem lépő gáz diffúziójához hasonlóan, a radon diffúziója igen lassú, ezért legcélszerűbb lenne a meddők víz alatti elhelyezése. Sajnos, ilyen lehetőség csak egyes esetekben (pl. Kanadában) áll fenn, ezért csak földdel való lefedés jöhet szóba. A föld (homok, az agyag, a lösz stb.) porózusos anyagnak tekintendő, amelyen a radon-diffúziójára a nagyságrendekkel nagyobb érték adódik ugyan, de a gyakorlatban mégis elfogadható mértékű. A radon porózuson anyagokon való áthaladására kidolgozott számítási módszerek mindegyikében a diffúziós állandó ismerete elengedhetetlen. A diffúziós állandó zagyteri meddőkben kialakuló értékének számítására Kanadában végeztek átfogó vizsgálatokat egy sor zagyteri anyag vizsgálatával. (Rogers and Kirsten, 1987). Az ábrán közöljük a radon diffúziójára általuk kapott görbéket és a szerzők által a diffúziós állandó kiszámítására javasolt képletet (Hiba! A hivatkozási forrás nem található., 4.3 egyenlet).

$$D=0,07\exp[-4(m-mp^2+m^5)] \quad (4.3)$$

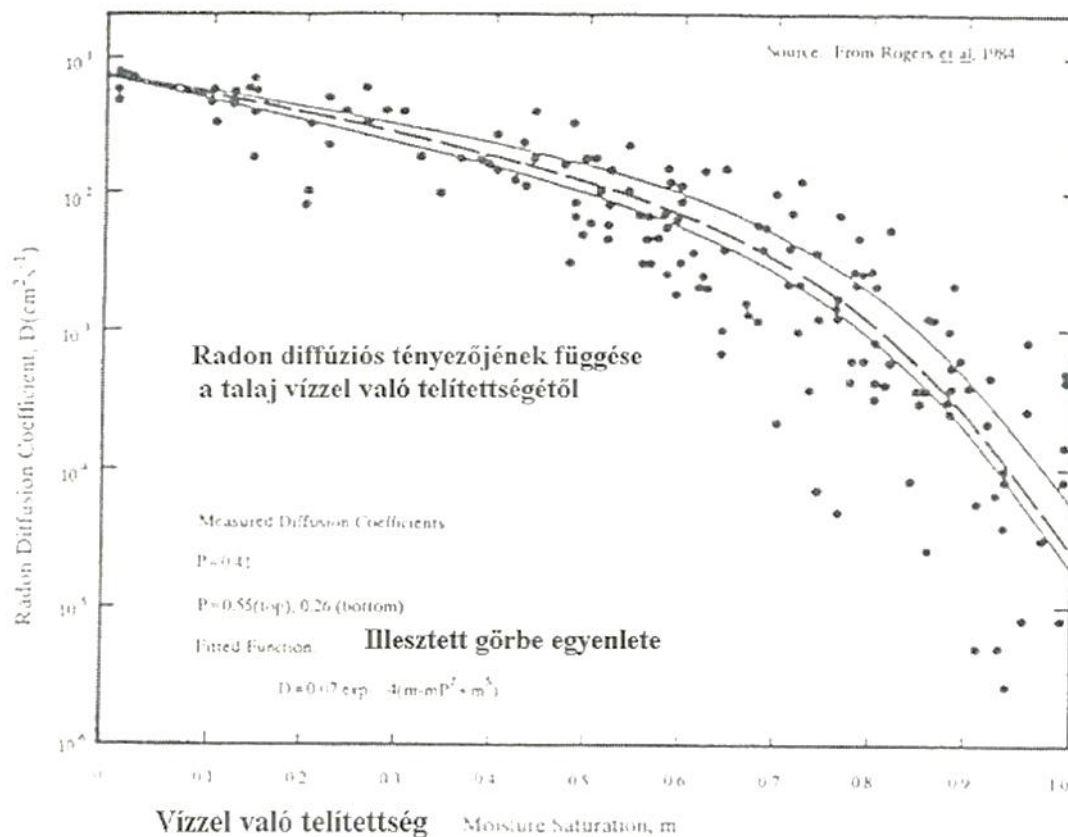
ahol: **D_t** a zagyterekről kiáramló radon diffúziós állandója, cm²/s
m-a tárolt meddő vízzel való telítettség mértékét jelenti (0-1 értékhatárok között)
p- a tárolt meddő porozitása.

A fenti tapasztalati képletből is és a közölt kísérleti adatokból is látható, hogy a diffúziós állandó értékét elsősorban a réteg relatív nedvességtartalma (**m**) határozza meg, a porozitásnak (**p**) kisebb szerepe van.

Hasonló összefüggést vezettek le (4.4) a nagymértékben tömörített anyagra is (porozitás <0,34) (Nuclear Regulatory Commission 1984):

² Az érték nagymértékben függ a feldolgozott érc minőségétől

$$D(\text{tömörített anyag}) = 3.5 \times 10^{-6} \exp[-5/4m - 7m^5] \quad (4.4)$$



216. ábra: Radon diffúziós tényezőjének függése a talaj vízzel való telítettségétől

Radon-fluxus a fedetlen meddőből (IAEA 1993)

A fenti képletekből is és a közölt kísérleti adatokból is látható, hogy a diffúziós állandó értékét elsősorban a réteg relatív nedvességtartalma (m) határozza meg, kisebb mértékben annak porozitása. Másfelől a radon-fluxus értékére (**konkrétan a zagyártározók esetére!**) az alábbi közelítő képletet vezették le (4.5):

$$F_t = R * \rho * E * (\lambda D)^{1/2} \quad (4.5)$$

ahol: R a meddő rádium tartalma, Bq/kg;

ρ - a meddő testsűrűsége, kg/m³;

E - a radon emanációs tényezője (dimenzió nélküli szám);

λ - a radon bomlási állandója, $2,1 \cdot 10^{-6}$ 1/s;

D - a radon diffúziós állandója, m²/s.

A közelítő képlet olyan zagyártározók esetében használható, amelyeknek vastagsága meghaladja a néhány métert. Ilyen esetben a zagyaréteg vastagságával nem kell számolni, mivel a rétegen átdiffundáló radon egy bizonyos rétegvastagságnál vastagabb rétegből áramló radon elbomlik, mielőtt az a felszínre érne.

Mint látható, fedetlen zagyártározók felületén mérhető radon-fluxus értéke a meddő **rádium tartalmától, térfogatsűrűségétől és a radon gáz emanációs koefficiensétől** függ.

Példa.

Számítsuk ki a fedetlen zagyter felületén mérhető radon-fluxus értékét az alábbi esetre. A meddő rádium tartalma 10 Bq/g, a tárolt szilárd meddő testsűrűsége 1600 kg/m³, a radon emanációs koefficiense 0,15 és a radon diffúziós állandója az adott viszonyok mellett 8*10⁻⁷ m²/s.

Megoldás

A számítást a fenti képlettel végezzük el.

$$F_t = R \cdot \rho \cdot E \cdot (\lambda D)^{1/2} = 1 \cdot 10^4 \text{ Bq/kg} \cdot 1,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,15 \cdot (2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \cdot 8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s})^{1/2} = 2,4 \cdot 10^6 \cdot 1,29 \cdot 10^{-6} = 3,09 \text{ Bq/m}^2\text{s}$$

Tehát a fedetlen zagyter felszínén kb. 3,1 Bq/m²s radon-fluxussal kell számolni.

Fedőrétegek hatása a radon-fluxusra

Mivel a fedetlen zagytereken az előírtnál magasabb radon-fluxus mérhető (a megengedett radon-fluxus értéke általában a nemzetközi gyakorlatban 0,74 Bq/m²s), a radon-fluxust csökkenteni kell. A csökkentés inert anyaggal, földdel való lefedéssel biztosítható.

Radon-fluxus az egyrétegű, homogén lefedés esetén

A zagyterek felszínén kialakuló radon-fluxus értéke homogén földréteg esetén az alábbi közelítő képlettel számítható ki (3.6):

$$F_c = F_t \exp(-\lambda D_c)^{1/2} \cdot x_c \quad (4.6)$$

ahol:

F_c a lefedett zagyter felületén mérhető radon-fluxus értéke, Bq/m²s

F_t a fedetlen zagyter felületén mérhető radon-fluxus értéke, Bq/m²s

x_c a takaró réteg vastagsága, m

D_c az adott rétegben kialakuló radon-fluxus értéke, m²/s

A radon-fluxus értéke tehát a takaró rétegben kialakuló radon diffúziós állandótól és a takaró réteg vastagságától függ.

Számítási példa.

Számítsuk ki, hogy egy zagyteret lefedve, milyen értékű radon-fluxusra lehet számítani az alábbi feltételek esetén.

A fedetlen zagyter felszínén mérhető radon-fluxus 3,1 Bq/m²s, a takaró réteg vastagsága 1 m, a radon diffúziós állandója a takaró rétegben (pl. lösz) 4*10⁻⁷ m²/s.

Megoldás.

A számítást a fenti képlet segítségével végezzük el.

$$F_c = F_t \exp(-(\lambda D_c)^{1/2} \cdot x_c) = 3,1 \exp(-(2,1 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot 10^{-7})^{1/2} \cdot 1) = 3,1 \exp(-5,25^{1/2} \cdot 1) = 3,1 \exp(-2,29) = 3,1 \cdot 0,101 = 0,313 \text{ Bq/m}^2\text{s}$$

Tehát a lefedett zagyter felszínén mérhető radon-fluxus várhatóan 0,31 Bq/m²s lesz, tehát a hatóságok által megengedett maximális érték alatt marad.

A réteg vastagságának növelésével a fluxus értéke tovább csökkenthető, pl. 2 m vastag réteg esetén:

$$F_c = F_t \exp(-(\lambda D_c)^{1/2} \cdot x_c) = 3,1 \exp(-(2,1 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot 10^{-7})^{1/2} \cdot 2) = 3,1 \exp(-5,25^{1/2} \cdot 2) =$$

$$=3,1 \exp(-4,58) = 3,1 * 0,0102 = \mathbf{0,031 \text{ Bq/m}^2\text{s}}$$

azaz a fedőréteg vastagságának növelésével a zagyterek felszínéről kiáramló radon mennyisége igen jelentősen csökkenthető.

Ennek a megoldásnak a hátránya, hogy az agyag megrepedezhet és a rétegen jelentős mennyiségű víz szivároghat a zagyter belsejébe. Lényegében a beszivárgás csökkentésére fejlesztették tovább a fedési gyakorlatot és határozta meg az USA környezetvédelmi hivatala azt a standard fedőréteget, amelyben különböző funkciójú rétegek találhatók.

28.1.2. Takaró rétegek és azok jellemzői

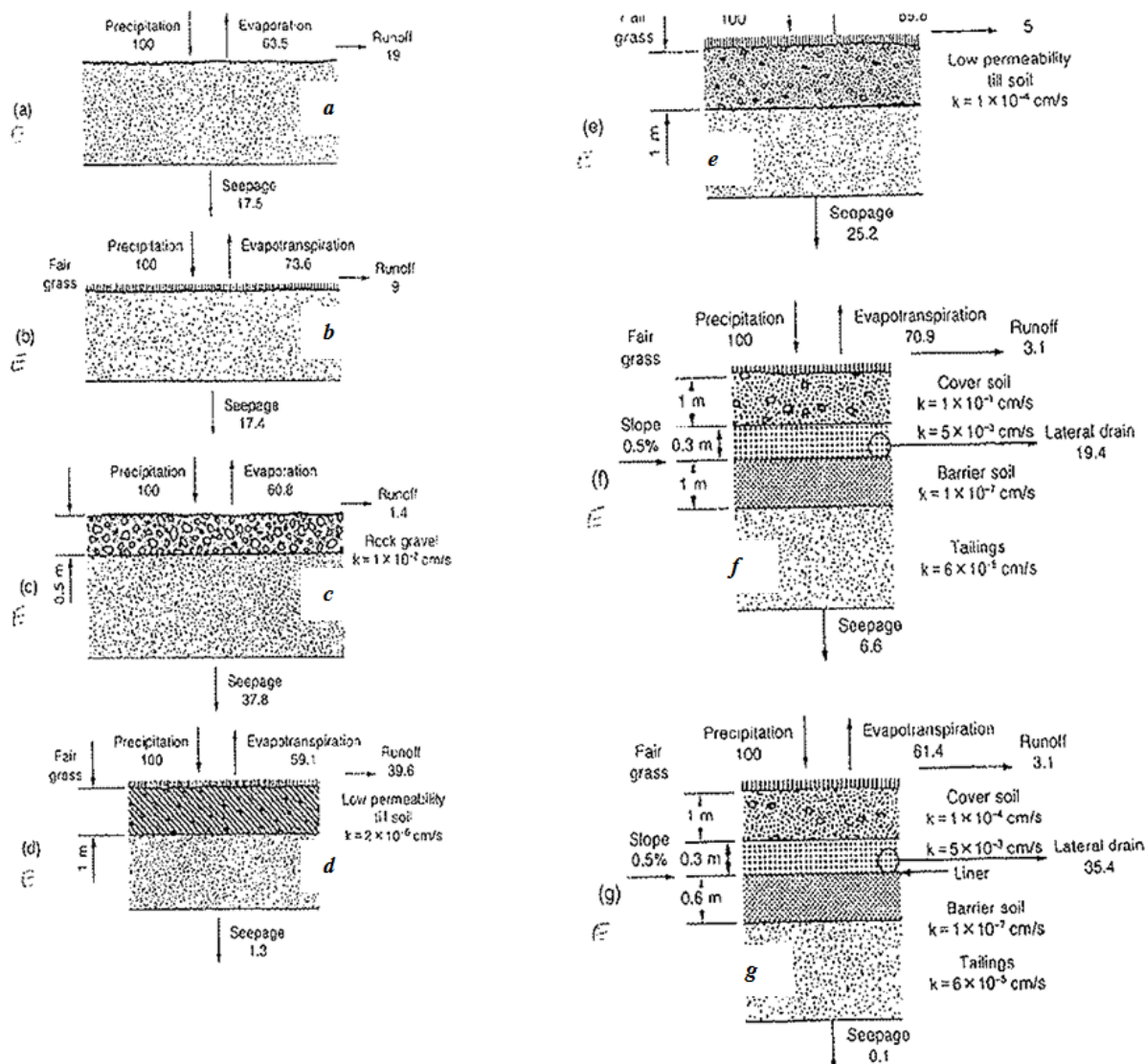
Az első időszakban az uránbányászati meddők kezelésénél lényegében csak a radiológiai jellegeket vették figyelembe. Csakhamar azonban kiderült, hogy a meddők, különösen a zagyteri meddők (mill tailings) jelentős mértékű felszíni és felszínalatti vízszennyezést is okozhatnak. Ezért a radon-hatás mérséklése mellett elengedhetetlen, hogy a rekultiváció során tekintettel legyenek a meddők által okozható vízminőség romlásra illetve annak lehetőség szerinti kiküszöbölését is biztosítsák a rekultiváció során. Történetesen a radon-gát kialakítása során felhasználásra ajánlott természetes anyagok (agyag, bentonit, bentonittal dúsított lösz, stb.) egyben alacsony vízáteresztő képességgel rendelkeznek, tehát a két probléma megoldása egyazon anyaggal megoldható. A beszivárgás csökkentése azonban különböző fizikai és hidraulikai tulajdonságú réteg-elemekből álló fedőréteg kialakítását indokolja.

28.1.3. Takaró rétegek fő típusai

A fentiek szerint a radiológiai hatások mérséklése legegyszerűbben a hulladékok lefedésével érhető el. A meddők azonban nemcsak a légköri terjedés révén jelentenek környezeti problémát, hanem a bennük található anyagok szivárgó vizek által történő kioldása és a talajvízbe, felszíni vízbe való kijutása révén is. A radon mellett tehát feladat a vízbeszivárgás, az infiltráció lehető legkisebb értékre való csökkentése. A fedőrétegek az említetteken túlmenően egyéb funkcióknak is meg kell felelniük, így:

- el kell látniuk az erózió védelmet,
- a növényzet számára megfelelő tápanyag ellátást kell biztosítaniuk,
- az átszivárgó víz elvezetésére célszerűen drenázssal kell rendelkezniük,
- biztosítaniuk kell a radon gát integritását a fagyvédett földalatti helyet kereső állatoktól, ami biológiai gáttal érhető el.

E célkitűzések elérésére gazdasági okokból az esetek túlnyomó részében a steril, nem szennyezett földel való fedést alkalmazzák. A gyakorlatban a több fedőréteg típust alkalmazzák: legegyszerűbb az ún. egy rétegű, de vastagabb fedés (elérheti a 3-4m vastagságot is). Leggyakrabban azonban a réteges lefedést alkalmazzák, amelynek néhány példája a vízszivárgási értékekkel együtt a **217. ábra** látható.



217. ábra: Réteges lefedés (IAEA 1992) (az ábrán az e opcióban nem low, hanem high jelző értendő)

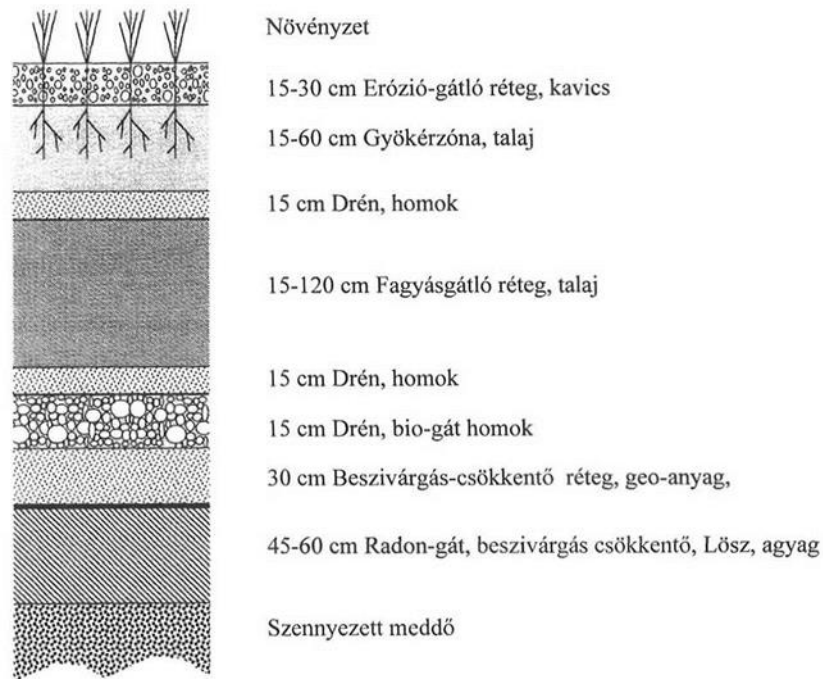
A fenti ábrán látható, hogyan lehet a szivárgási sebességet befolyásolni a fedőréteg összetevőinek változtatásával (5). A közölt szivárgási értékek a fedőréteg elemeinek kiszáradása következtében bekövetkező repedések miatt növekedhet. A zagyteri meddő permeabilitása $k=6.5 \times 10^{-7}$ m/s, a vízforgalmi adatok a csapaék %-ban vannak megadva. (a) – pusztá meddő, (b)–füvel benőtt állapot, (c)–kő/kavics fedés, (d)–fü és alacsony permeabilitású talaj, (e)–fü és nagy permeabilitású talaj, (f)– több rétegű fedés laterális drénnel, (g)– több rétegű fedés műanyag szigetelővel kiegészítve.

Összetettebbek a többrétegű fedési opciók, amelyek mind vízháztartási szempontból mind pedig radon-gát szempontjából előnyösebbek, de természetesen költségesebb létesítmények. Mint látható, a fedetlen zagyatározón átszivárgó víz a csapadék 17,4%-át teszi ki (a-opció). Lényeges szivárgás-csökkenés csak agyagszigetelés beépítése esetén következik be (f-opció), ebben az esetben a szivárgás mértéke 6,6%-ra csökkent az adott példában szereplő rétegrend és anyagi jellemzők mellett. További jelentősebb szivárgás csökkenés (<1%) szigetelő műanyag (HDP-fólia) beépítésével érhető el (g-opció).

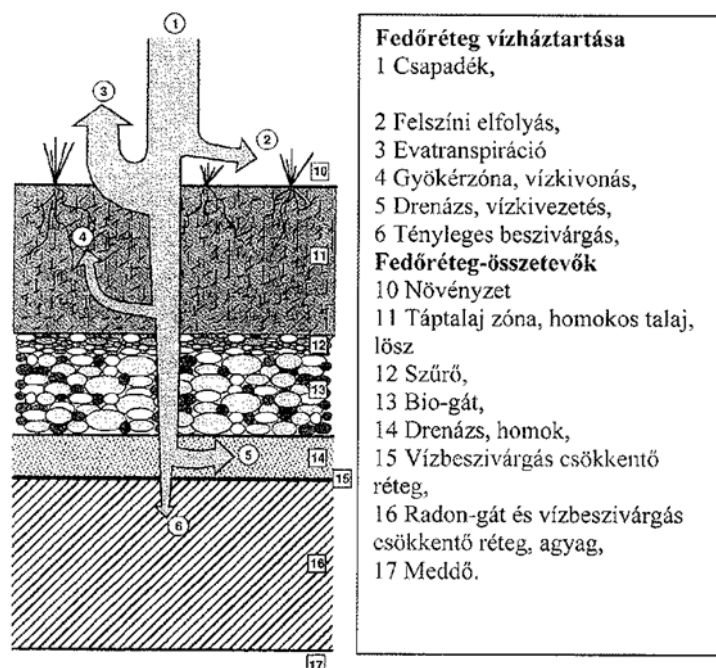
A legegyszerűbb megoldáson kívül, a rétegek között szerepelnie kell tehát **agyagrétegnek** (vagy bentonittal dúsított lösznek, min.30 cm) a radon-gát funkció és a vízáteresztő-képesség minimalizálása céljából. Ugyancsak majd minden esetben **homokból álló dréنت** is (min. 30 cm)

beépítenek a növényi gyökérzónán átszivárgó víz részleges kivezetésére. A kivezetett víz részaránya elérheti a 20-30%-ot is, szerepe tehát jelentős a fedőréteg vízháztartása szempontjából.

Ideális fedési rétegsort mutat be a Hiba! A hivatkozási forrás nem található., amelynek alkalmazása esetén az átszivárgó víz sebessége néhány mm/év értéket tesz ki csupán és tartalmaz, un. bio-gátat is a rágcásalók ellen, ami elsősorban a radongát védelme szempontjából fontos.



218. ábra: Multi funkciójú réteges fedési opció (Caldwell and Reith, 1993a)



219. ábra: Fedőréteg vízháztartása (Caldwell and Reith, 1993a)

Erózió védelem

A víz és a szél az elsődleges eróziót okozó tényezők. Az erózió védelem szempontjából a legfontosabb a takaró réteg rendszer. Meglehetősen sok megoldást dolgoztak ki a feladat megoldására. Gyakran alkalmazzák a kőtöretet, a mély gyökérzetű növények meghonosítását a védendő területen, a gátfületek védelmére alkalmazzák a padkarendszert, amely megtöri a víz áramlását, meggátolva az eróziós árkok kialakulását. A Hiba! A hivatkozási forrás nem alálható. bemutatott megoldás valamint a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** kavicsos vagy kötőréteggel való fedés hatékony erózióvédelmet biztosít (Rifle, Colorado). A nemzetközi gyakorlatban a kialakított fedőrétegeknek minimum 200 évig kell biztosítani a fedőréteg integritását.



220. ábra: Rekultivált zagyterület erózió védelme (növényzet+kavics, Monticello, USA)

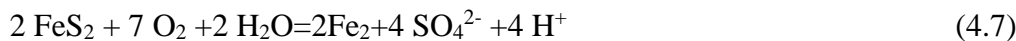


221. ábra: Rézsű és a teljes felszín letakarása osztályozott kavicsos (Monticello, Rifle, USA) vagy darabos kötőréteggel

Vízminőség-védelem

A szilárd hulladékokból a csapadékvíz kisebb-nagyobb mértékben kioldja a kőzetalkotókat és azokkal együtt a radioaktív komponensek egy részét is. Amennyiben a meddő kémiai kezelés maradéka, akkor a meddő oldott komponenseket is tartalmaz, amelyek vízzel ugyancsak kimosódnak és a szivárgó vízzel a talajba kerülhetnek, szennyezve a talajvizet.

A meddőkön átszivárgó víz különösen akkor okoz környezeti problémát, ha a meddő piritet vagy egyéb szulfidásványt tartalmaz, amelyből a csapadékvízben oldott oxigén hatására kénsav képződik az alábbi egyenlet szerint:



Ennek megakadályozására, és a vízi úton terjedő szennyezők visszatartása céljából, a meddőket a lehetőséghez képest jó vízzáró réteggel is le kell fedni, ami egyben biztosítja levegővel való érintkezés mérséklését is.

A fedet meddők vízháztartás számítása meglehetősen bonyolult feladat és ezt általában speciális programok segítségével végzik (pl. HELP-moddellel vagy légtér/talaj vízháztartás modell csomagok). Mindazonáltal elmondható, hogy általában a 10^{-9} m/s szivárgási tényezőjű anyag (agyag vagy bentonittal dúsított lösz) beépítésére törekednek, amelyet **min. 30-60 cm** vastagságban javasolnak alkalmazni. Ilyen esetben általában biztosítható, hogy a fedőn az átszivárgó víz mennyisége 40-60 mm/év közelében maradjon. Vízzáró réteg nélkül a szivárgás értéke a mi éghajlati viszonyaink mellett elérheti az évi 120-150 mm-t is.

Az előző ábrákból látható, hogy felszínre kerülő csapadék egy része a felületről elfolyik, másik része a talajba kerül, amelynek egy részét a növényzet elpárologtatja. A beépített drenázs ugyancsak elvezeti a víz egy részét, és csak az ezután megmaradó víz szivárog a meddőbe (a 4.6 ábrán a 6-os számmal jelölt rész). Ennek mennyiségét alapvetően a szigetelő (vízzáró) réteg vízáteresztő képességi tényezője (**k**) határozza meg ($k < 1 \text{E-}9$ m/s).

A vízáteresztő képesség csökkentése céljából gyakran alkalmaznak **önállóan vagy agyagszigeteléssel együtt geo-membránt** is, ennek azonban hosszú távú élettartama nem ismert.

A növénytakarónak igen nagy szerepe van a párolgás elősegítésében, ezzel együtt az átszivárgó víz mennyiségének a csökkentésében.

Az utóbbi időszakban ismét felvetődött a drenázs elhagyásának lehetősége. A HELP-moddellel végzett számítások azt mutatják, hogy ilyen esetben a növénytakaróval kell elvonni az egyébként drenázzsal elvezetett víz nagy részét is, ami úgy érhető el, hogy vastagabb víztározó réteget és mélyebb gyökérszónájú növénytakarót alakítanak ki.

Takaró réteg tervezésének további szempontjai

A fentiekben láttuk, hogy a mind a radiológiai szennyezők mind az egyéb kémiai szennyezők kiáramlásának mérséklése a meddők lefedésével oldható meg. A meddők a takaró réteggel való lefedése bizonyos védelmet nyújt az emberi szándékos behatolás ellen is, amennyiben részben hozzáférhetetlenné teszi a meddő széthordását tudatlanságból vagy felületességből ilyen vagy olyan célra.

Mivel a meddők radioaktivitása több százezer évig fennmarad, gondoskodni kell a fedőréteg hosszú idejű stabilitásáról. A nemzetközi ajánlások szerint a hosszú idejű stabilitást **minimum 200 évre** biztosítani kell. Ez mindenekelőtt a takaró réteg eróziójának lehető legkisebb értékre való csökkentését jelenti megfelelő feőréteg kialakításával. Ennek biztosítására a legfelső rétegre gyakran kötörmeléket, vagy az USA-ban rendszerint kavicsot helyeznek el, ha erre lehetőség kínálkozik. Ez látható a Hiba! A hivatkozási forrás nem található., amely **Colorado** olyó medréről származó kavicsal fedett zagyatározót ábrázol (*Rifl-i* tározó cella, USA).

28.1.3.1. Uránipari meddők rekultivációja

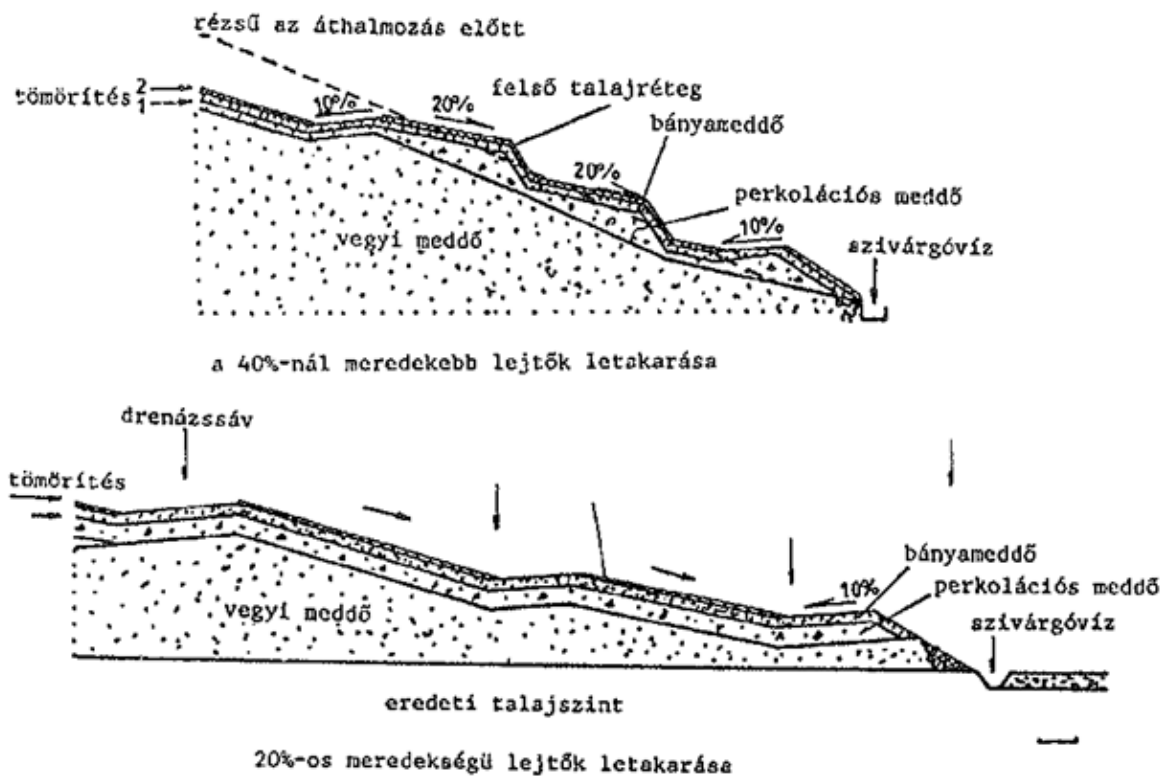
Az uránbányászattal összefüggésben három meddő típust kell megkülönböztetni:

- **bánya meddők**, (mine wastes)

- alacsony minőségű ércek feldolgozásából képződő **perkolációs meddők**, (heap leaching residues)
- hidrometallurgiai ércfeldolgozásból képződő **zagyártározói meddők (mill tailings)**

Bányameddők rekultivációja

A meddők e kategóriája alacsony urántartalmú ($U \sim 0,01-0,05\%$), azonban lényegesen háttérfeletti. Gyakran jelentős pirittartalommal rendelkeznek, tehát nettó savtermelő potenciállal rendelkeznek. Radiológiai paramétereik alapján elegendő az 1 m vastagságú földréteggel való lefedés. A gyakorlatban, ha erre lehetőség van, akkor átszállítják a meddókat korábban megnyitott bányá gödörbe, vagy zagyterei meddő felszínére helyezik el. Ez utóbbi megoldást alkalmazták pl. a francia Escarpier-i zagyártározó rekultivációjánál is.



222. ábra: Az ecarpieri (Franciaország) zagyártározó részűje fedőrétegének kialakítása

Úttest-alapokban való felhasználásukat gátolja a háttérértékeknél magasabb radioaktivitásuk.

Perkolációs meddők rekultivációja

A perkolációs meddők rekultivációja történhet helyben is, különösen akkor, ha a kilúgzott anyag eredeti helyén maradt. Azonban rendszerint már az üzemelés során a kilúgzás befejezésével (~2 év) a meddókat végleges tároló helyre szállítják, ahol kémiai kezelésben részesülnek (mészköves, méshidrátos kezelés) további uránkioldódás és az oldott urán (10-30 mg/l) migrációjának csökkentése céljából.

Ugyancsak gyakori, hogy e meddókat a rekultiválandó zagyártározói meddőre szállítják át, amivel csökken a takarandó teljes felszín területe, ami a rekultiváció steril föld igényét is csökkenti. Ezt a megoldást választották a már említett franciaországi Escarpier-i zagyteretében. Ha a meddők felszínén szabad víz található, akkor azt kezeléssel urán-mentesíteni és rádium-mentesíteni kell kibocsátás előtt.

Átszállítás esetén az eredeti tároló hely illetve a perkolációs medencék alatti terület rekultivációja természetesen felmerülhet a szennyezettségtől függően. Természetes törekvés a meddők együttes elhelyezése akár jelentős átszállítási költséget is vállalva, mivel az utógondozás ilyen esetben egyszerűsödhet: a gondozandó objektumok száma csökken. Így nemcsak a zagyatározók jelenthetnek központi gyűjtő helyet a hulladékok számára, hanem pl. a meddőhányók is.

Zagyteri meddők rekultivációja

A meddők rekultivációja történhet helyben vagy környezetvédelmi szempontból biztonságosabb helyre való átszállítással és kapszulába zárással. Az átszállítás meglehetősen költséges megoldás, több millió vagy több tízmillió tonna zagy átszállítása merülhet fel, ami műszaki szempontból sem egyszerű feladat. mindazonáltal ilyen megoldásokkal találkozunk, elsősorban az USA-ban, ahol UMTRA program keretében (Uranium mill Tailings Action) 10 államban található 24 zagyatározón tárolt meddőt szállítottak át központilag kijelölt és megfelelően kialakított lerakóba. A leggyakoribb azonban a helyben történő rekultiváció, az alábbiakban mi ezzel a megoldással foglalkozunk.

Az erózió különösen a rekultiváció kezdeti időszakában jelent gondot, nemcsak a helytelen tervezés miatt, hanem a gyér vagy még meg nem telepedett növényzet miatt is. Vannak zagyatározók, amelyek rekultivált felszínét gabonával vetik be és meghatározott sűrűséggel kavicsot is szétszórnak a felületen az erózió mérséklése céljából. Gyakori a kötőrmelékkel való rézsű lefedés is, amit a *Monticello*-i zagyatározó esetében is alkalmaztak. A *Rifl*-i meddő elhelyezési területen a meddőt kapszulába zárták és kavicsal fedték le. A zagyatározók és a meddőhányók lejtői különösen ki vannak téve a hirtelen lezúduló esők okozta erózióknak. Ilyen helyzetek elkerülése céljából a lejtős gátfelületen vízáramlás csökkentő szakaszokat kell beiktatni.

A Hiba! A hivatkozási forrás nem található. egy francia zagyatározó tervezésénél alkalmazott megoldást mutatunk be. A zagyatározó tetejére szállították át az alacsonyabb rádium tartalmú perkolációs meddőt, majd erre a meddőre hordták át a még alacsonyabb rádium tartalmú bányameddőt. Ezzel a módszerrel jelentősen csökkenteni lehet a felszínen kialakuló radon fluxust, mivel a magas rádium tartalmú ércfeldolgozási meddőt leárnýékolja a felette elhelyezkedő lényegesen kisebb rádium tartalmú perkolációs meddő illetve bányameddő. Az átszállítás során a lejtők meredekségét csökkentették és a vízerózió mértékének csökkentése végett a gát lejtős részén a fedőrétegen ellentétes dőlési irányú (-10%, ez néhány m széles) vágásokat alakítottak ki. Bármilyen körültekintő tervezést is végeznek, elkerülhetetlen, hogy a lefedett meddőn időnként ne kelljen utógondozási munkát végezni. Ezért az a gyakorlat alakult ki (pl. az USA-ban), hogy a rekultivált meddőket időszakonként szemrevételezik, és ha szükséges megfelelő karbantartási munkákat végeznek. Ez tehát azt jelenti, hogy a zagytereket lefedésük után sem szabad magukra hagyni, azokat gondozni kell.

Kavicsréteggel, kötőrmelékkel való lefedés esetén természetesen az utógondozás kisebb feladatot jelent, eróziós károk kiküszöbölődnek.

28.2. Folyékony hulladékok kezelése, víztisztítás

28.2.1. Rádium kivonása szennyezett vizekből

A természetes vizek 0,04-0,06 Bq/l körüli koncentrációban tartalmaznak rádiumot, tehát ez a rádiumkoncentráció tekinthető háttérértéknek. Ipari szennyezett vizekben Magyarországon a kibocsátható maximális rádiumkoncentráció 1,1 Bq/l. Ez az érték országonként változik, és esetenként függ a befogadóba való kijutás esetén várható hígulás mértékétől is. Mindenesetre az uránipari szennyezett vizek egy részében **(elsősorban a zagyteri vizekben de gyakran a**

bányavizekben is) rádiumkoncentráció meghaladja ezt az értéket, ezért a kibocsátásra kerülő vizet rádium-mentesíteni kell.

Fontos megemlíteni, hogy a talajvizekben a rádium tartalom alacsony még akkor is, ha azok a magas rádium tartalmú zagyteri vizektől erednek. Ennek az a magyarázata, hogy a rádiumot a talajalkotó ásványai megkötik, elsősorban kalciummal való ioncsere révén:



vagy egyszerűen a talajban található egyéb ásványok. Így a szennyezett talajvíznek a talajrétegeken való átszűrődése egyben annak rádium tartalma igen jelentős mértékű csökkenésével jár együtt.

Rádium-mentesítésre elsősorban zagyteri vizek, esetenként bányavizek és bánya meddők alól elszivárgó vizek kerülhetnek.

A módszerek áttekintése előtt meg kell jegyezni, hogy a rádium még a gyakorlatban adódó extrém magas koncentrációk esetén sincs jelen az oldatban olyan koncentrációban, hogy azt valamilyen kémiai reakció segítségével mint tiszta rádium vegyületet távolíthatnánk el a vízből. Pl. még 1000 Bq/l aktivitás koncentráció esetén is (ilyen magas aktivitás-koncentrációk a gyakorlatban nem fordulnak elő) a rádium tömegegységekben, mondjuk **mikrógramm/l** egységekben kifejezett koncentrációja csupán **$2,78 \times 10^{-2} \mu\text{g/l}^3$** , tehát **nehezen oldódó vegyületei oldhatósága alatti koncentráció⁴**.

Éppen ezért a rádiummentesítést a szokásos kémiai víztisztítási módszerektől eltérő módon és elvek alapján kell megoldani. Ezek a módszerek az ioncsere, a szorbció és az együtt-leválás (co-precipitáció) elveinek alkalmazásával oldhatók meg az alábbi módszerekkel:

- aktív mangán-dioxiddal vagy mangán- (III-IV)-hidroxiddal,
- bárium-kloriddal (bárium-szulfáttal való co-precipitáció).

Az említett módszerek közül ipari méretben a **bárium-klorid** alkalmazásán alapuló rádium-mentesítési módszer terjedt el, ezért itt ezt a módszert ismertetjük.

A rádium bárium-kloriddal való kivonása azon alapul, hogy a bárium-kloridot ipari szennyezett vízbe juttatva az a vízben lévő szulfáttal reagálva igen nehezen oldódó bárium-szulfát formájában kiválik a vízből (oldhatósága 2 mg/l 18 C⁰-nál). Mivel a rádium-ionok kristálytani tulajdonságai és kémiai tulajdonságai igen hasonlóak a bárium tulajdonságaihoz (szulfátja ugyancsak oldhatatlan), ezért a rádium könnyen beépül a bárium-szulfát kristályrácsba és így az oldhatatlan bárium-szulfáttal együtt kiválik az oldatból (4.9, 4.10).



Ismeretes, hogy **Maria Curie** is ezzel a módszerrel választotta ki a rádiumot az uránszurokérből, tehát az általa alkalmazott rádium-kiválasztási módszer még száz év után is szinte az egyedüli iparilag alkalmazott módszer a rádium oldatokból való kivonására. A fenti módszerrel általában **0,3 Bq/l** maradék aktivitás koncentrációig tisztítható a rádiummal szennyezett víz.

³ 1g rádium aktivitás-koncentrációja $3,6 \times 10^{10}$ Bq

⁴ A rádium legoldhatatlanabb vegyülete a rádium-szulfát, amelynek oldhatósága 20 C⁰-nál 2,1 mg/l.

28.2.2. Szennyezett vizek uránmentesítése

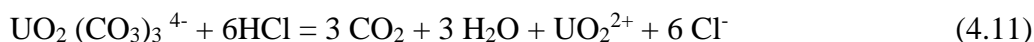
Az uránipari szennyezett vizek természetesen oldott uránnal is szennyezettek. Különböző országokban a kibocsátott vízben az urán megengedett koncentrációjára különböző értékeket szabnak meg a hatóságok. Ezek az értékek 15-20 mikró gramm/l értéktől (USA, Románia) 2,5 mg/l értékig változnak (Kanada), Magyarországon 2 mgU/l a kibocsátható maximális uránkoncentráció. A különböző értékek közötti nagy különbség oka elsősorban az, hogy a kibocsátási értékek is hely-specifikusak, a befogadó vízhozamát is figyelembe veszik valamint azt, hogy az adott befogadóból történik-e ivóvíz céljára vízkivétel vagy sem. Mindazonáltal elég nagy ellentmondás van a különböző országok által megszabott határértékek között.

Bármilyen értéket is szab meg az illetékes hatóság a kibocsátásra, az uránipari eredetű vizek általában 1 mg/l feletti koncentrációban tartalmazznak uránt, és ezeket a vizeket általában tisztítani kell.

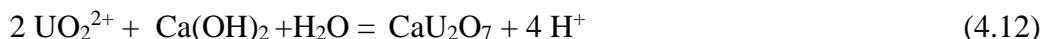
Az urán, a rádiummal ellentétben olyan kémiai koncentrációban fordul elő az uránipari szennyezett vizekben, hogy az oldhatatlan vegyületek formájában is kiválasztható, tehát eltávolítható az vízből. Így a szennyezett vizek tisztítására kémiai lecsapáson (általában együtt leváláson) és ioncserés eljárásokon alapuló módszereket alkalmaznak (IAEA, 1992a).

28.2.2.1. Kémiai lecsapáson alapuló módszerek

Mivel az urán a természetes vizekben általában karbonát-komplexek⁵ formájában van jelen, amelyek lúggal nehezen bonthatók meg, ezért az urán teljesebb leválasztása céljából az urán komplexeit savval, pl. sósavval előzetesen meg kell bontani (4.11).



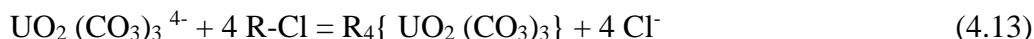
Ezután már az urán könnyen csapadékba vihető. pl. mésztejjel (3.12):



Mésztejjel leválnak egyéb kationok is, pl. a vas(III)-ionok is, gyakran külön is adagolnak a vízbe vas(III)-kloridot hordozó fázisként. A csapadékot sűrítik, majd víztelenítik, esetleg cement hozzáadásával stabilizálják, majd hulladéktározóban helyezik el (Németország, Schlema-Aue, Helmsdorf).

28.2.2.2. Ioncsere segítségével történő uránkivonás

Az urán a természetes vizekben általában anion komplexei formájában van jelen, ezért anioncserélő gyantákkal kivonható a vízből (3.13):



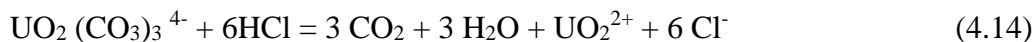
ahol: **R-Cl** a klorid formájú anioncserélő gyantát jelenti.

Az ioncserélő gyantán megkötődött urán ismét oldatba vihető elúcióval nagyobb klorid tartalmú oldattal való kezeléssel.

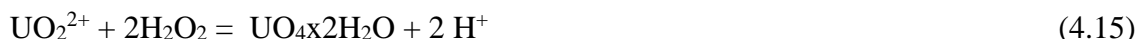
⁵ Az urán hat vegyértékű formában uranil-ionként vagy ennek komplexei formájában van jelen a vízben

Az oldatba került uránt kémiai reagensekkel, lúgos kémhatású anyagokkal vagy hidrogén-peroxiddal csapadékba vihető, és így lényegében uránkoncentrátumhoz jutnak, amely értékesíthető és nem kell hulladékként kezelni.

Első lépésben az elútumhoz sósavat kell adni a karbonát-komplexek megbontása céljából (4.14):



majd az oldatból az uránt le lehet választani, pl. hidrogén-peroxiddal (3.15; Mecsek-ÖKO Zrt-nél ezt az eljárást használják, más esetekben ammóniával választják le az uránt):



28.2.2.3. Nem-radioaktív kémiai szennyezéstől eredő hatások mérséklése

Az 1 ábrán láthatjuk, hogy a radiológiai szennyezés által okozott hatások mellett ott szerepel a nem-radiológiai szennyezés- okozta hatás is. Jellegét tekintve ez a hatás azonos bármely egyéb kémiai üzem által okozott hatással, és azt a tényt takarja, hogy az uránérczek feldolgozása során különböző kémiai komponensek is kikerülnek a környezetbe. E komponensek egy része a feldolgozás során alkalmazott anyagoktól ered, más része az ércből kerül a technológiai oldatokba az urán kioldása során.

Az általános kémiai szennyezőket két nagyobb csoportra oszthatjuk:

- Nehézfémek és toxikus fémek
- Egyéb szerves kémiai szennyezők

Leggyakrabban az arzén jelenik meg a szennyezett vizekben. Az arzén elsősorban a piritben és egyéb szulfid ásványokban van jelen, és ezek megbontásával kerül a technológiai oldatokba vagy a meddők alól szivárgó vizekbe, ahol általában arsenát-ionok formájában van jelen.

Az arzén koncentrációja mg/l nagyságrendű, egyes esetekben azonban eléri a 100 mg/l értéket is (pl. egyes németországi zagyteri vizek).

Az arzén a vízből vas-(III)-ionokkal vihető csapadékba semleges vagy lúgos pH-tartományban, ugyanis az arzén a vas-(III)-mal oldhatatlan csapadékot képez (4.16):



Az arzén vízből való megkötésére kifejlesztettek speciális szerves anyagokat, amelyek más nehézfémek mellett az arzént is csapadékba viszik.

Egyes esetekben a nikkelt jelent problémát, pl. a kanadai zagyterőzők és meddőhányók esetében. A nikkelt a halakra jelent veszélyt még 10 mikró gramm/l koncentráció esetén is. Ezért e vizeket tisztítani kell a nikkeltől. Erre a célra a kémiai lecsapás vagy a még hatékonyabb fordított ozmózis jöhet szóba az alacsony koncentráció miatt.

Magnézium-szulfát eltávolítása a szennyezett vizekből

A kénsavval történő ércfeltárási folyamatok tárgyalásánál láttuk, hogy a technológiai oldatokba makró komponensként magnézium, kalcium, vas(II) és vas(III), alumínium, oldott urán, rádium, (az ércből), mangán (az oxidálószerként használt piroluzitból), nátrium és klorid vagy nitrát (az eluáló szerből), szulfát (a feltáráshoz használt kénsavból) kerülhet. Ezeknek a komponenseknek a teljes koncentrációja több tényező, elsősorban az érc összetételének, a technológiai vízforgalomnak függvénye, azonban elérheti a 20-40 g/l értéket is a technológiai

oldatokban. E komponensek közül a magnézium a vas, a mangán, az alumínium az urán kivonása után visszamaradó technológiai oldatok mésztejes semlegesítésével oldhatósági viszonyaiknak megfelelő alacsony koncentrációra csökkenthetők, amennyiben a mésztejes kezelést megfelelően magas pH-érték mellett végezték (pH>10,5).

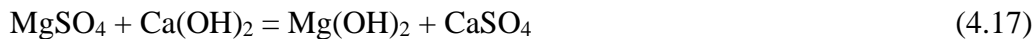
Ha a mésztejes kezelésnél a pH-értéket 10,5-11 értéken tartották, akkor a meddő oldat oldott anyag tartalma gipszre telített és csak a nátriummal egyenértékű kloridot, és kisebb mennyiségű egyéb kloridot tartalmaz. Ilyen összetételű oldatok további kémiai kezelése nem indokolt, azokat ilyen összetétel mellett kell a befogadóba kijuttatni. Ilyen oldatok oldott anyag tartalma általában 4-6 g/l lehet.

Mivel a pH-értéket igen gyakran csak 7 körüli értéken tartották, ezért a fenti komponensek közül, a magnézium döntő része nem vált le a semlegesítési folyamatban, hanem oldatban maradt és a zagyterekre került. Ilyen esetben a zagytereken található vagy azokról elszivárgott oldat oldott anyag tartalma elérheti a 20-30 g/l értéket is. Az urán általában nem jelentős, mivel annak döntő része leválik pH=7 -nél (a rádium a zagyteri oldatokban jelen van, azonban a talajon átszivárgott vizekből a talaj megköti, így azok rádiumot alig tartalmaznak)

A fentieket összefoglalva azt mondhatjuk, hogy savas technológiát alkalmazó üzemekben csak olyan esetekben jelentkezik vízkezelési probléma, amikor az uránkinyerő rendszerből távozó meddő zagyot vagy oldatot **nem semlegesítették kellő mértékben**. Ilyen esetekben alapvetően a magnézium magasabb koncentrációjával kell számolni és a vízkezelés ennek csökkentésére irányul.

A magnézium kivonása vízből legegyszerűbben mésztejes semlegesítéssel oldható meg, tehát be kell fejezni azt a műveletet, amelyet az ércfeldolgozás során nem végeztek el.

A mésztejes oldott anyag- csökkentés fő reakció egyenlete az alábbi (4.17):



Az oldott anyag csökkenés tehát azért következik be, mert egyrészt a magnézium magnézium-hidroxid formájában, a szulfát pedig gipsz formájában leválik a vízből. A víztisztítás ilyen esetben tehát abból áll, hogy a magas sótartalmú vizet, amelynek sótartalma elsősorban magnézium-szulfáttól ered, mésztejjel kezelik. A képződő csapadékot kiülepítik, a víztől elválasztják. Így a víztisztítás eredményeként tisztított vizet kapnak, amely befogadóba engedhető. Természetesen a víztisztítási csapadékot külön lerakóban kell elhelyezni vagy esetleg magnézium-vegyületekké, és gipszre feldolgozni.

A mennyiben további tisztítás szükséges, akkor azt fizikai módszerek alkalmazásával célszerű folytatni (pl. fordított ozmózis). Ilyen mértékű víztisztítást azonban általában nem alkalmaznak.

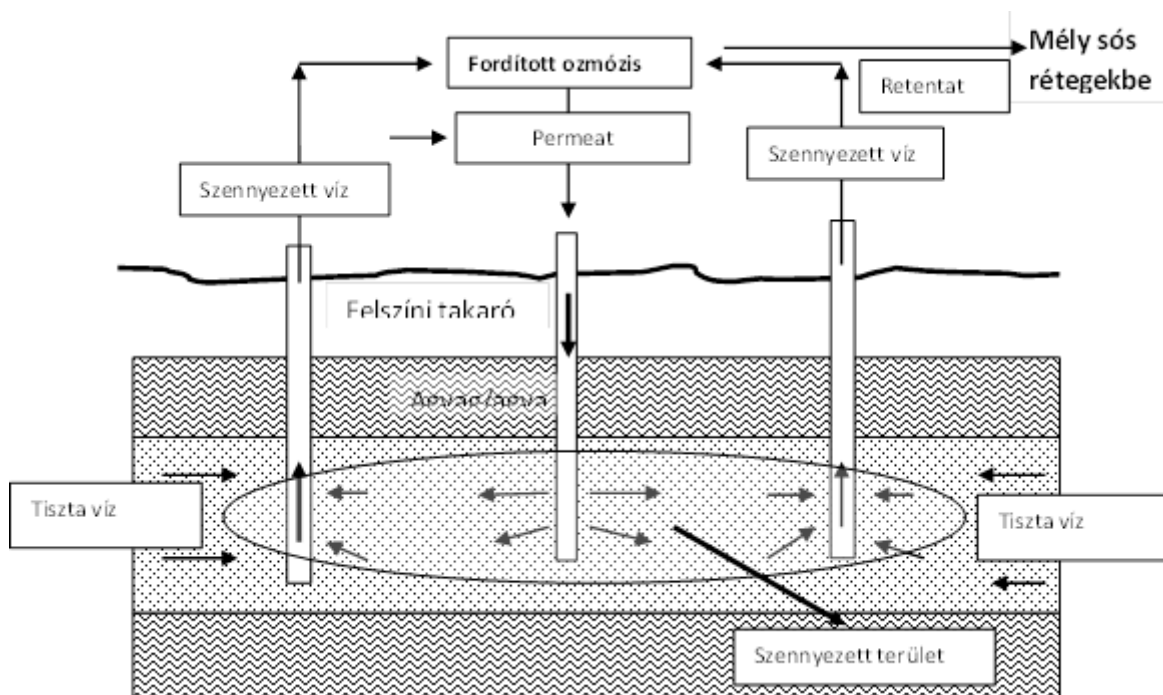
Nátrium-vegyületek kivonása

Lúgos eljárások esetén a visszamaradó technológiai oldatok általában szódát, nátrium-hidrogénkarbonátot és nátrium-szulfátot tartalmaznak néhány g/l koncentrációban, és rendszerint néhány mg/l koncentrációban uránt, 1-2 Bq/l koncentrációban rádiumot.

A talajvíz különösen az in-situ kilúgzásnál szennyeződhet el nagy mennyiségben. E módszernél ugyanis az ércet is tartalmazó összlet átítatódik az alkalmazott reagensekkel és a kioldódott uránnal. A termelés befejezése után ilyen területeket általában tiszta vízzel vagy tisztított vízzel át kell mosni a vízminőség helyreállítása céljából (Hiba! A hivatkozási forrás em található.). A kitermelt vizet ilyen esetben fordított ozmózis berendezésen engedik át, a kapott tiszta vizet (permeát) a talaj átmosására használják fel, a koncentrátumból (retentátból) pedig bepárlással választják ki a szennyező anyagokat (szódát, nátrium-szulfátot, stb.) Esetenként a retentátot egyszerűen csak egyébként is szennyezett vizet tartalmazó mély geológiai rétegekbe sajtolják (Texas, USA). A szennyező anyag koncentrálására elektrodialízis

is használható (Csehország), koncentrátumokból bepárlással a értékes szilárd nátrium-szulfát nyerhető melléktermékként.

Kisebb víztisztítási igény esetén a vizet desztillációval tisztítják (USA, indiánok- lakta vidékeken).



223. ábra: ISL által elszennyezett terület vízminőségének helyreállítása

28.3. Ipari létesítmények sugármentesítése

A korábban használt épületek dekontaminálásával esetenként elérhető a sugárvédelmi normák betartása (y-sugárszint, radon-222 aktivitás koncentráció), de gyakran adott objektum belátható időn belül hasznos létesítményként nem használható, ezért nincs értelme a dekontaminációnak. Ezért az uránipari létesítmények nagy részét a világon mindenütt felszámolják, lebontják, területüket rekultiválják.

Ennek egyik példája az amerikai Monticello-i volt uránüzem területének rekultivációja. A rekultivált területet vízrendezéssel együtt a Hiba! A hivatkozási forrás nem található. láthatjuk. szennyezett földet, épületbontási törmelékét külön tárolóban helyezték el, a talajfelszínről a szennyezett talajréteget kármentesítés során felszedik, a területre nem szennyezett un. steril földet terítnek.

A terület további hasznosítása a radiológiai és egyéb feltételektől függ. Természetesen értékesebb műszaki berendezések (malmok, törők, vibrátorok, stb.) dekontaminálás után értékesítésre kerülhetnek.



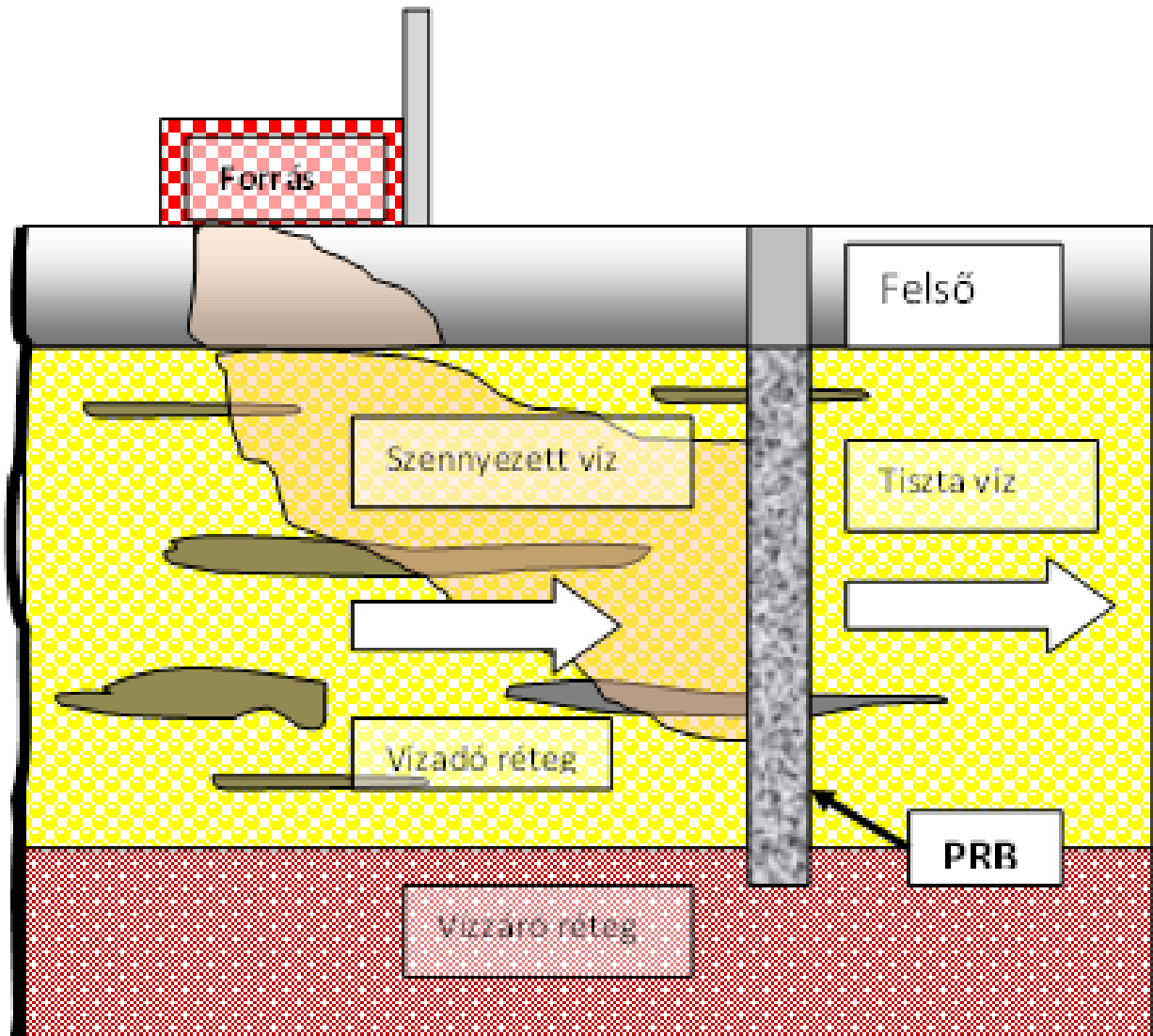
224. ábra: Rekultivált uránüzemi terület (Monticello, USA)

28.4. In-situ talajvíz-tisztítás. Permeábilis reaktív gátak alkalmazása

A szerves kémiai gyakorlatban régóta ismertek a fémek és a halogénezett szénhidrogének közötti reakciók. **Victor Grignard** 1912-ben a magnézium szerves vegyületek szintézisében való felhasználásáért részesült Nobel-díjban. **Glen Reynolds** kanadai Waterloo Egyetem PhD-s kutatója észlelte először, hogy acél és alumínium alkilkloriddal (CHBr_3) való érintkezése az alkilklorid bomlásához vezet. lényegében e munka alapján indultak el a 1980-as évek végén az intenzív kutatások a szennyezett talajvizek fémekkel, így a fém vassal (amelyet zéró vegyértékű vasnak, $\text{Fe}(0)$, illet a szakmai irodalom) való kezelésére.

Ezeknek a kutatásoknak az eredménye lett a fémvas alapú reaktív gátak széleskörű alkalmazása a halogénezett szerves anyagokkal szennyezett talajvizek tisztításánál. A kutatások során egyben megállapítást nyert az is, hogy a fémvas alapú reaktív gátak kiválóan alkalmasak uránnal, krómmal, arzénnel, molibdénnel és egy sor más fémmel szennyezett vizek tisztítására is. A témakörben megjelent számos publikáció közül néhányat ajánlunk az olvasó figyelmébe (Röhl, et al. 2005; Morrison and Spangler, 1992; Tratnyek, 1996; Johnson, et al, 1996)

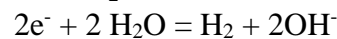
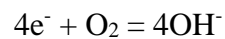
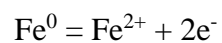
A reaktív gátak olyan műszaki létesítmények, amelyekben az áramló víz irányába megfelelő kémiai anyagot helyeznek el. A kémiai anyag reakcióba lép a szennyező anyagokkal, és azokat elbontja vagy más kémiai állapotra hozza, amelyek az adott körülmények között a gátban akkumulálódnak vagy elbomlanak. Természetesen a gátnak permeábilisnak kell lennie, hogy a víz átszivároghasson a rendszeren keresztül. Ilyen permeábilis reaktív (PRB) gát sémája látható a Hiba! A hivatkozási forrás nem található..



225. ábra: A reaktív gátak működési elve

28.4.1. Alapreakciók

A talajba helyezett fémvas oxigén és víz jelenlétében oxidálódik, korrodálódik (3.18):



A korróziós termék tovább oxidálódhat Fe^{3+} -ionokká és hidroxidot képez a természetes pH-viszonyok mellett (3.19, 3.20):



A fenti folyamatokkal párhuzamosan végbe mennek a vízben jelenlévő egyes szennyezőkkel is a redukációs folyamatok és amennyiben az alacsonyabb vegyértékű fémion oldhatósága kisebb az oxidált formánál az illető fémek csapadékba kerülnek, tehát immobilissá válnak. A reakcióban képződött nagyfelületű és közismerten kiváló szorpciós tulajdonságokkal rendelkező vas(III)-hidroxidon (4.20) a mikro-szennyezők megkötődhetnek. A két folyamat és még további nem kellően tisztázott folyamatok együttes eredményeként csökken az adott komponensek koncentrációja a vízben.

Urán leválasztása

Tapasztalati adatok mutatják, hogy az urán vízből igen jó hatásfokkal leválasztható fém vas hatására. Bár a leválasztás mechanizmusa még nem teljesen tisztázott, általában azt tartják, hogy a leválasztás döntően a **vas redukáló hatása** miatt megy végbe az alábbi egyenlet alapján (4.21):

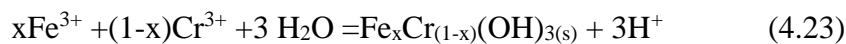
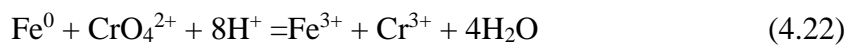


(s- index a szilárd fázist jelenti)

Az urán tehát redukálódik és U(IV)-oxidok, hidroxidok (amelyek oldhatósága sokkal kisebb, mint a vízben eredetileg jelenlévő U(VI)-ionoké) formájában kiválik a vízből.

Króm leválasztása

A króm a talajvízben rendszerint Cr(VI) formájában van jelen. Leválasztása ugyancsak redukációs folyamattal magyarázható (4.22, 4.23):



A redukált króm króm(III)-hidroxid formájában a vas(III)-mal együtt kiválik a kezelt vízből.

Más toxikus elemeket és nehézfémeket (pl. As, Mo, Pb, stb.) ugyancsak redukációs/és vagy szorpciós folyamatok révén lehet a vízből eltávolítani fémvas alapú reaktív gáttal. Az arzén kivonását a folyamat során képződő vas (III)-hidroxid is nagymértékben elősegíti.

Klórozott szénhidrogének megbontása fémvassal

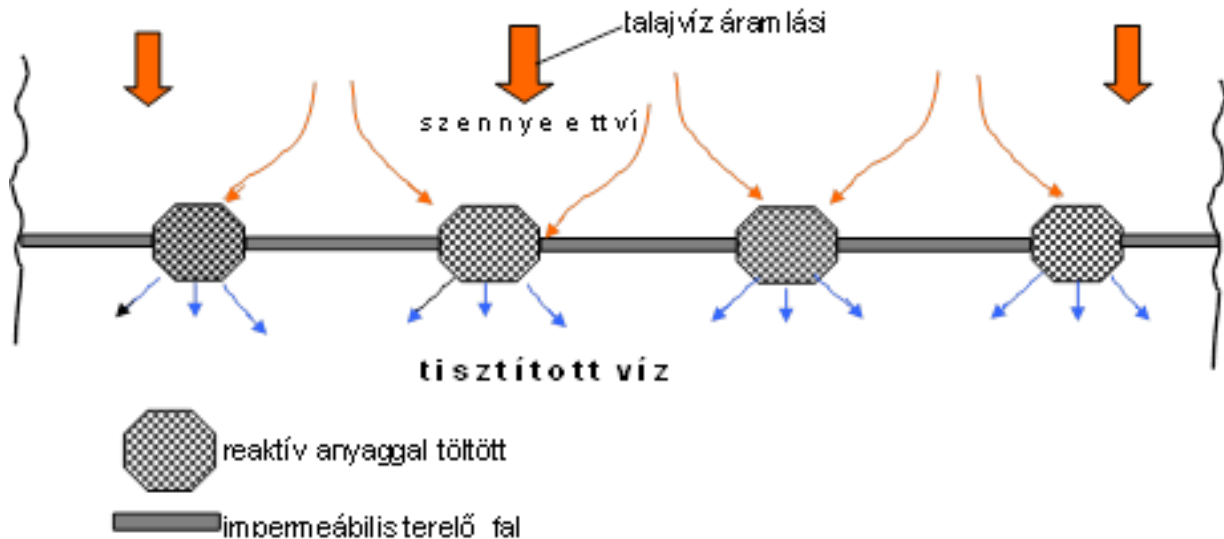
A fémvas az alkil-kloridot szénhidrogénre és klorid-ionra bontja, közben vas(II)-ionok kerülnek az oldatba és a szénhidrogének képződése közben (ezek általában mikroorganizmusok hatására lebomlanak a reaktív gátban illetve az azt befogadó talajban (3.24):



A vízben megjelenhetnek vas(II)-ionok, a pH kis mértékben növekszik. Ennek következtében természetes vízből CaCO_3 és $\text{Mg}(\text{OH})_2$ válhat ki.

28.4.2. Permeábilis reaktív gátak típusai

A gátakat rendszerint akkor alkalmazzák, amikor a szennyezett talajvizet tartalmazó réteg alatt 5-6 m mélységben szigetelő agyagréteg vagy egyéb gyenge vízvezető tulajdonságú kőzet található. Ilyen esetben a reaktív gátat a vízzáró rétegbe süllyesztik. Mivel a reaktív gát létesítésének költsége viszonylag magas, gyakran terelő falak létesítésével irányítják a vizet a reaktív gát felé, amelynek hossza így rövidülhet.



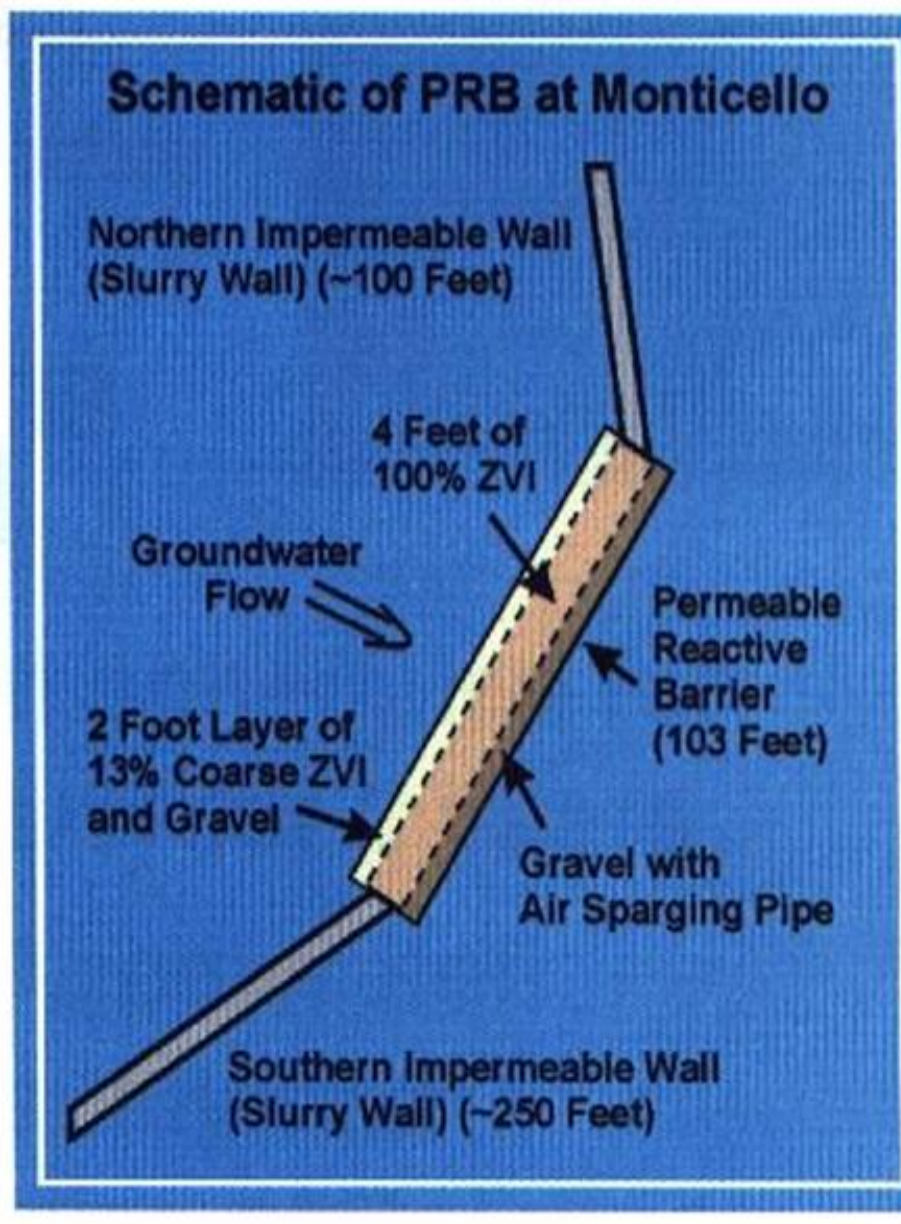
226. ábra: Tölcsér-kapu elrendezésű reaktív gát elvi vázlata

A reaktív gátak elhelyezésének egy lehetséges módját mutatja be az Hiba! A hivatkozási forrás em található., amikor is a szennyezett talajvizet impermeábilis terelő fallal terelik a reaktív anyagot tartalmazó reaktorok felé (**tölcsér-kapu rendszer kialakítása**).

ilyen terelőfalas permeábilis reaktív gát létesült pl. Monticelloban (UTAH, USA) az uránnal és vanádiummal szennyezett talajvíz tisztítására korábbi uránérc feldolgozó üzem területének kármentesítése során (Hiba! A hivatkozási forrás nem található.).

A reaktív gátakba 0,2-2 mm szemcseméretű vastörmelékot helyeznek el. Az reaktív gátak nagy előnye, hogy a szennyezett víz kiemelése nélkül végezhető el a talajvíz tisztítása. A statisztikai adatok szerint a legtöbb PRB az USA-ban épült, ahol elsősorban klórozott szénhidrogénekkel (trikloretilén TCE, perklóretilén, PCE, stb.) szennyezett talajvíz tisztítására terjedtek el, de néhány PRB uránnal és krómmal szennyezett talajvizek tisztítására is létesült.

Összességében minden bizonnyal a reaktív gátak alkalmazása egyre szélesebb körűvé válik a mikro szennyezők eltávolítására. Elterjedésüket azonban bizonyos mértékben gátolja, hogy nincs elegendő tapasztalat élettartamukra vonatkozóan.



227. ábra: Permeábilis reaktív gát Monticelloban (USA)

28.5. Irodalom

Caldwell J.A., Reith C. Ch.: Principles and Practice of Waste Encapsulation. Lewis Publishers Michigan, 1993; pp.75-78; p.168

Csővári, M., Lendvainé-Koleszár Zs.(1994): Uránipar okozta környezeti károk helyreállítása. OMIKK 1994/15, Budapest

Gillham R.W. and O'Hannesin, S.F.(1994): Enhanced Degradation of Halogenated Aliphatics by Zero-valent Iron, Vol. 32, GROUND WATER-November-December 1994.

Hutchison, I.P.G. & Richard Ellison, D.(1992): Mine waste management Lewis Publishers, Michigan 48118 Printed in the USA, 1992.

IAEA (1992): Technical Reports Series No 335. Vienna 1992. pp.90-91

IAEA (1992a): Technical Reports Series No 335. Vienna 1992. p. 93

IAEA (1992b): Technical Reports Series No 333. Vienna 1992. p. 19

IAEA (1992c): Technical Reports Series No 335. Vienna 1992. pp. 90-91

IAEA (1992d): Technical Reports Series No 335. Vienna 1992. pp. 84-85

Morison, S.J. Spangler, R.R. Morris, S.A.(1996): Subsurface Injection of dissolved Ferric chloride to Form a Chemical Barrier: Laboratory Investigation. GROUND WATER, vol. 34, No.1 January-February 1996.

Nuclear Regulatory Commission (1984), Radon Attenuation Handbook for uranium mill tailings cover design, Rep. NUREG/CR-3533, USNRC, Washington, DC

Roberston, S. and Kirsten (1987): Canadian Uranium mill Waste disposal Technology, p.204 Vancouver, B.C. Canada 1987 also in: IAEA(1992b): Technical Reports Series, No 333. p. 18

Roehl, K.E., Meggyes, T., Simon, F.- G., Stewart D.I.(2005): Long-term Performance of Permeable Reactive Barriers, 2005

Tratnyek, P.G., Timothy L. J., Schattaue, A.: INTERFACIAL PHENOMENA AFFECTING CONTAMINANT REMEDIATION WITH ZERO-VALENT IRON METAL I&EC Special

Timothy, L. Johnson, Michelle M. Scherer, and Paul G. Tratnyek (1996) Kinetics of Halogenated Organic Compound Degradation by Iron Metal

U.S. EPA (2002a): Field Applications of In situ Remediation Technologies: Permeable Reactive Barriers. January 2002.

U.S. EPA (2002b): Cost and Performance Report. Interim Summary Report. May 2002.

Virginia Fairweather: When Toxics Meet Metal Vol. 32, GROUND WATER-November-December 1994.

Wilson, E. K.: Zero-Valent Metals Provide Possible Solution to Groundwater Problems. Chemical & Engineering News JULY 3 1995.

(<http://www.eti.ca/Construction.html>).

29. A rekultiváció sugárvédelmi vonatkozásai (Dr. Várhegyi András)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

A hagyományos bányászati technológiák által okozott környezeti károk (bányakárok) helyreállítását (bánya)rekultivációnak nevezzük (az angol szaknyelvben a *remediation*, *restoration*, *rehabilitation* kifejezések használatosak). Ez magában foglalja a keletkezett tájsebek (fejtési gödrök, meddőhányók) „eltüntetését” visszatömedékeléssel és/vagy takarással, a földalatti bányáüregek szennyező, veszélyes anyagoktól való megtisztítását majd felhagyását (tömedékeléssel vagy tömedékelés nélkül; a felszínre nyíló aknákat, vágatokat mindenképpen tömedékelni kell), végül a hidrogeológiai viszonyok helyreállítását, a szennyezett vizek tisztítását.

A rekultiváció a bányászati tevékenység által megváltoztatott környezeti állapot helyreállítását is jelenti. Magyarországon a bányatörvény kötelezi a bányavállalkozót a rekultivációra, jelenleg ennek forrása, felelőse törvényileg biztosított. Némiképpen bonyolultabb a helyzet régebbi, a jelenlegi szabályozás előtti bányakárok helyreállítása esetén; ilyenkor, ha a az egykori tulajdonos vagy annak jogutódja nem lelhető fel, az állam végzi el a szükséges helyreállítást. Szintén az állam áll helyt az egykori/jelenlegi állami tulajdonú bányák rekultivációjáért (ez utóbbira példák a mecseki uránbányászati vagy a mátrai réz/színesfém-bányászat környezeti kárai helyreállításának állami beruházási programjai).

29.1. A rekultiváció célkitűzése

A rekultiváció célkitűzését illetve végeredményét tekintve lehet részleges vagy teljes körű. Az utóbbi az eredeti természeti környezet teljes körű helyreállítását jelenti mind vizuális, mind funkcionális tekintetben; itt alapkövetelmény, hogy a területen semmilyen mesterséges, bányászati/pari eredetű szennyezőanyag nem maradhat vissza, pl. a radioaktív paraméterek tekintetében az eredeti háttérsugárzási szintek helyreállítása történik meg. Ebben az esetben, a rekultivációt követően a terület semmiféle korlátozás alá nem esik, azt a jövőbeli tulajdonos tetszése szerinti célra újra hasznosíthatja.

A teljes körű rekultiváció a legtöbb esetben nem valósítható meg, vagy a megvalósítás túlzottan magas költségekkel járna. Például, egy több millió tonna kőzetet tartalmazó meddőhányó visszatömedékelése az eredeti bányáüregekbe vagy már nem lehetséges (a bányáüregek már összeomlottak), vagy a költségek irreálisan magasak. Ilyenkor a rekultiváció csak részlegesen történik meg. Ennek alapvető követelménye, hogy a környezet terhelése csak olyan mértékben maradhat fenn, ami összhangban áll a mindenkor hatályos környezetvédelmi, sugárvédelmi szabályozással, az aktuális határértékekkel. Nem (feltétlenül) történik meg továbbá a szennyező anyagok teljes körű eltávolítása a területről, hanem a rekultiváció ezek megfelelő környezeti izolációja útján valósul meg. Utóbbira tipikus példák a bányászati meddőhányók vagy ércfeldolgozási zagyártározók rekultivációja, amelynek során a környezeti izolációt megfelelő tulajdonságokkal rendelkező (vastagság, szerkezet stb.) fedőréteg biztosítja.

A részleges rekultiváció megvalósítása után a terület újrahasznosítása csak bizonyos feltételekkel, korlátozásokkal lehetséges. Ilyen korlátozás tipikusan a felület megbontásának tilalma (pl. letakart meddőhányók esetén), a lakóhelyek létesítésének tilalma, bizonyos „érzékeny” tevékenységek végzésének korlátozása (pl. élelmiszertermelés, egészségügyi- és gyermekintézmények stb.). Ipari és kereskedelmi tevékenység folytatható, a meglévő vagy

felújított infrastruktúra használatával. Biztosítani kell a korlátozások hosszú távú érvényesítését, a „társadalmi emlékezet” fenntartását. Ez történhet pl. a korlátozások megtartásáért felelős tulajdonos, vagy a korlátozások tulajdoni lapra történő bejegyzése útján.

Általában a bányavállalkozó rekultiváció tekintetében a korlátozott területhasználat kritériumainak teljesítésére kötelezhető, de törekedni kell minél több bányászati objektum, részterület teljes körű (korlátlanul hasznosítható) helyreállítására. A radioaktív sugárzások tekintetében ezt a törekvést az *ALARA elv* (az angol „*As Low As Reasonably Achievable*” kifejezés rövidítése) fogalmazza meg. Ennek értelmében, a sugárzási szintek csökkentése olyan mértékig történik meg, ameddig az ésszerűen megtehető. Az ésszerűség kritériuma költség-hason elemzéssel adható meg: a helyreállítás költségei, illetve a többlet ionizáló sugárzásból adódó egészségügyi költségek összege minimális kell legyen; ugyanakkor a mindenkori lakossági dóziskorlátoknak teljesülniük kell.

29.2. Sugárvédelmi szabályozás Magyarországon

Magyarországon a sugárvédelmi kérdéseket alapvetően az egészségügyi miniszter 16/2000 (VI. 8) számú rendelete szabályozza, amely a 1996 CXVI számú Magyar Atomtörvény egyik végrehajtási utasítása. A rendelet összhangban van az ICRP legújabb ajánlásaival (ICRP-60 és ICRP-65 a radon vonatkozásában), és az EU országok (beleértve Németországot is) szabályozási gyakorlatával.

A legfontosabb szabály a népesség két különböző csoportjára vonatkozó dózishatárérték: A népesség kritikus csoportjára a mesterséges sugárforrásoktól származó effektív dózis nem haladhatja meg az 5 mSv-et 5 egymás után következő évben, és ezen belül egyetlen évben sem lépheti túl a 2 mSv-et. Az ionizáló sugárzásokkal dolgozóakra a foglalkozási effektív dózishatárérték 100 mSv 5 egymás utáni év alatt, és egyetlen évben sem lépheti túl az 50 mSv-et. Következésképpen, hosszabb időszakokra vonatkozóan a követelmények: 1 mSv/év a „normál” lakosságra és 20 mSv/év a sugárveszélyes munkahelyen foglalkoztatottakra. Ezeket az értékeket kell alapul venni a hosszú távú tervezésnél (beleértve az uránbányászati rekultivációt is). Fontos hangsúlyozni, hogy ezek a dózishatárértékek a természetes sugárzási háttér fölött értendők. A sugárvédelmi kérdések felsőbb hatósága az Országos “Frédéric Joliot-Curie” Sugáregészségügyi és Sugárbiológiai Kutató Intézet (OSSKI). Az OSSKI által végzett legújabb (2002) felmérés szerint Magyarországon a népesség átlagos effektív dózisterhelése a háttérsugárzástól 3,1 mSv/év. E felmérést megelőzően a “hivatalos” háttérteret 2,4 mSv/évnek tekintették; a növekményt pedig az épületek javuló szigeteléséből adódó magasabb beltéri radonkoncentrációnak tulajdonítják.

A legtöbb ország gyakorlatához hasonlóan, a radonnal kapcsolatos kérdéseket ettől eltérően szabályozzák. A munkahelyi radonkoncentrációra 1000 Bq/m³ (éves átlagban) beavatkozási határértéket írtak elő. Ebben a tekintetben nincsen megkülönböztetés a “normál” és “sugárveszélyes” munkahelyek között (2000 óra éves munkaidőt feltételezve ez a koncentráció kb. 6 mSv/év dolgozói sugárterhelésnek felel meg).

29.3. A rekultiváció sugárvédelmi követelményrendszere

A hazánkban jelenleg hatályos sugárvédelmi követelményeket az *egészségügyi miniszter 16/2000 (VI.8.) számú rendelete* (a CXVI 1996 Atomtörvény végrehajtási utasítása) fogalmazza

meg. Ennek alapján, hosszú távon, az 1 mSv/év lakossági effektív dóziskorlátnak kell teljesülnie, az összes besugárzási komponens összegére vonatkozóan. Ez a követelmény az alábbiakban fogalmazható meg:

$$H_{\gamma} + H_{Rn} + H_{\alpha} + H_{in} < 1 \text{ mSv/év} \quad (5.1.)$$

ahol H_{γ} a külső foton (gamma-) sugárzás, H_{Rn} a radon és rövid élettartamú bomlástermékeinek belégzéséből, H_{α} a levegőben lévő szállópor és aeroszol hosszú élettartamú alfa-radioaktivitásából H_{in} pedig a tápláléklánc (étel, ital) útján lenyelt („ingestion”) radioaktivitástól eredő effektív dózisösszetevő. A számításoknál 2000 órás expozíciós idő (éves munkaidő konzervatív becslése) és 1,2 m³/h légzési teljesítmény (könnyű fizikai munkavégzésre becsült érték) veendő figyelembe.

A rekultiváció követelménye csak az egykori bányászat és a kapcsolódó feldolgozási műveletek által okozott környezeti károkra terjed ki. Az érintett területen előfordulhatnak (uránbányászat esetén tipikusan elő is fordulnak) természetes eredetű radioaktív, *NORM* (ld. fentebb) anomáliák (pl. természetes érc kibúvások, magas lakóterei radon). Mivel ezek jelenléte nem köthető az egykori bányászati, ipari tevékenységhez, ezért kezelésük a rekultiváció feladatkörén kívül eső, általános közegészségügyi feladat.

A természetes háttérsugárzás értékeit pontosan meg kell határozni, mert a korlátozások az ehhez adódó bányászati/ipari eredetű (többlet) dóziszárulékra vonatkoznak. A rekultivációs program Környezetvédelmi Engedélye rögzíti ezeket a háttér értékeket (amelyek megegyeznek a teljes körű rekultiváció, a korlátlan hasznosíthatóság radiológiai kritériumával). Néhány alapvető fontosságú radiológiai paraméternek a mecseki uránbányászati rekultivációnál megállapított háttér értéke a **79. táblázat** található:

79. táblázat: Mecseki rekultivációnál megállapított háttérsugárzási szintek

Radioaktív jellemző	Déli terület (ÉDÜ, zagyatározók)	Északi terület (bányák, perkolációs terek)	Összes terület (2007. évi felülvizsgálat után)
²²² Rn koncentráció (kültér)	8 Bq/m ³	12 Bq/m ³	12 Bq/m ³
²²² Rn koncentráció (beltér)	100 Bq/m ³	150 Bq/m ³	.*
Gamma dózisteljesítmény	180 nGy/h	250 nGy/h	250 nGy/h
Talaj fajlagos aktivitása**	125 Bq/kg	180 Bq/kg	180 Bq/kg

Megjegyzések: * az ICRP-65 ajánlásai veendő figyelembe
** ²²⁶Ra ekvivalensben kifejezve

A rekultivált uránbányászati és ércfeldolgozási meddőhányókra (bányameddő, perkolációs meddő, zagyatározó) az 1 mSv/év dóziskritériumból levezethetőek az egyes radioaktív paraméterekre vonatkozó határértékek, ld. az 80. táblázat:

80. táblázat: Uránbányászati meddőkre vonatkozó radiológiai határértékek

Felszín ²²² Rn exhalációs sebesség	0,74 Bq/m ² s
Levegő ²²² Rn koncentráció kültéren	Háttér + 20 Bq/m ³
Gamma dózisteljesítmény	Háttér + 200 mGy/h

Talaj ^{226}Ra -ekv. fajlagos aktivitása
– a felső 15 cm rétegben
– a következő 15 cm rétegekben

Háttér + 180 Bq/kg
Háttér + 550 Bq/kg

Fentiekhez járul a felszín megbontásának a tilalma, hiszen az előírt paramétereket a meddőhányóra felhordott fedőtakaró integritása biztosítja. A MECSEK-ÖKO Zrt. rekultivált, központi III. számú meddőhányójának látképét mutatja a Hiba! A hivatkozási forrás nem alálható., tetején a vízkezelési iszap és radioaktívan szennyezett talaj elhelyezésére szolgáló hulladéktárolóval.



228. ábra: Az egykori MÉV rekultivált központi meddőhányója

Általános gyakorlat, hogy a bányüzemek felszámolásakor a továbbra is életképes részlegek, műhelyek stb. folytatják gazdasági tevékenységüket az egykori bányüzem területén, a bányavállalkozás jogutódjától megvásárolva vagy bérelve telephelyüket. Ilyenkor az egykori üzemudvar rekultivációját legalább a korlátozott területhasználat kritérium-rendszere szerint el kell végezni (nem maradhat sugárveszélyes munkahely). Az 1 mSv/éves effektív

dózishatárértékből levezethető radiológiai követelményeket az ilyen típusú telephelyekre nézve a **81. táblázat** összesíti:

81. táblázat: Korlátozottan hasznosítható területek radiológiai követelményei:

<i>B e l t é r</i>	
^{222}Rn koncentráció (éves átlagban)*	1000 Bq/m ³
Gamma dózisteljesítmény	Háttér + 200 nGy/h
Kötött felületi α -szennyezettség	0,5 Bq/cm ²
<i>K ü l t é r</i>	
Felszín ^{222}Rn exhalációs sebesség	0,74 Bq/m ² s
Levegő ^{222}Rn koncentráció kültéren	Háttér + 30 Bq/m ³
Gamma dózisteljesítmény	Háttér + 200 nGy/h
Talaj ^{226}Ra -ekv. fajlagos aktivitása	Háttér + 180 Bq/kg

*: A 16/2000 EüM rendelet alapján az 1 mSv éves korlát átléphető

Biztosítani kell továbbá, hogy a felszíntől számított 1 m-es mélységig nem maradhat vissza radioaktív talajszennyezés. A MÉV egykori I. számú bányauzemének rekultivált területét (ahol számos vállalkozás folytatja tevékenységét) mutatja a Hiba! A hivatkozási forrás nem alálható..



229. ábra: az egykori MÉV I. számú bányauzemének rekultivált telephelye

A rekultiváció (az egykori üzemek leszerelése, az épületek bontása) során nagy mennyiségű hulladék keletkezik, amelyek egy része, elsősorban a fémhulladékok újrahasznosíthatók. A MÉV rekultivációs gyakorlatában a keletkező fémhulladékok átmenti deponálására

betonmedencét létesítettek, ahol el lehetett végezni a hulladék nagynyomású vízszugárral történő lemosását anélkül, hogy a környezet elszennyeznék (a mosóvíz kezelésre, a lemosott radioaktív üledék megfelelő hulladéktárolóba került). A dekontaminálás után a felületeken visszamaradt, kötött radioaktív szennyeződést felületi α -szennyezettség mérésekkel ellenőrizték (Hiba! A hivatkozási forrás nem található.), aminek alapján a hulladékdarabokat 3 csoportba osztották (**82. táblázat**):

82. táblázat: Hulladékok osztályozása felületi radioaktív szennyezettségük szerint

Inaktív, korlátozás nélkül újrahasznosítható	α -szennyezettség $< 0,05 \text{ Bq/cm}^2$
Kohászati, bányászati újrahasznosításra	$0,05 - 0,5 \text{ Bq/cm}^2$ között
Radioaktív hulladékként kezelendő	$0,5 \text{ Bq/cm}^2$ fölött



230. ábra: Fémhulladékok radiometriai ellenőrzése

A rekultivációs, bontási munkálatok során keletkező építési törmelék 200 Bq/kg ^{226}Ra -ekvivalens fajlagos aktivitás alatt „normál” hulladékként elhelyezhető. 200 Bq/kg fölött radioaktívan szennyezett hulladéknak kell tekinteni (elhelyezése praktikusán valamelyik korábbi meddőhányón történhet).

A rekultiváció során törekedni kell arra, hogy minél több területet korlátozás nélkül lehessen újrahasznosítani, ami egyenértékű azzal a követelménnyel, hogy az eredeti, az ipari-bányászati tevékenység megkezdése előtti sugárzási szinteket (háttér) kell helyreállítani, és a területen 2 m-es talajmélységig semmiféle radioaktív szennyezés nem maradhat vissza. Az ilyen területek visszakerülhetnek az önkormányzatok kezelésébe, korlátozás nélkül értékesíthetők, újrahasznosíthatók.

A mecseki rekultivációra a tevékenység környezetvédelmi engedélyében megadott határértékek a vizek radioaktív tartalmára (**83. táblázat**: Vizekre vonatkozó radiológiai határértékek):

83. táblázat: Vizekre vonatkozó radiológiai határértékek

	Víz kibocsátás a felszíni vízfolyásba (Pécsi víz)	Talaj-/rétegvízre megengedett koncentráció (ivóvíz korlát)
U_{nat} (természetes urán) koncentráció	2 mg/dm ³	0,4 mg/dm ³
²²⁶ Ra aktivitáskoncentráció	1,1 Bq/dm ³	0,63 Bq/dm ³

30. Esettanulmányok az uránipari rekultiváció gyakorlatából (Dr. Csóvári Mihály)

Pécsi Tudományegyetem, Pécs

30.1. Bevezetés

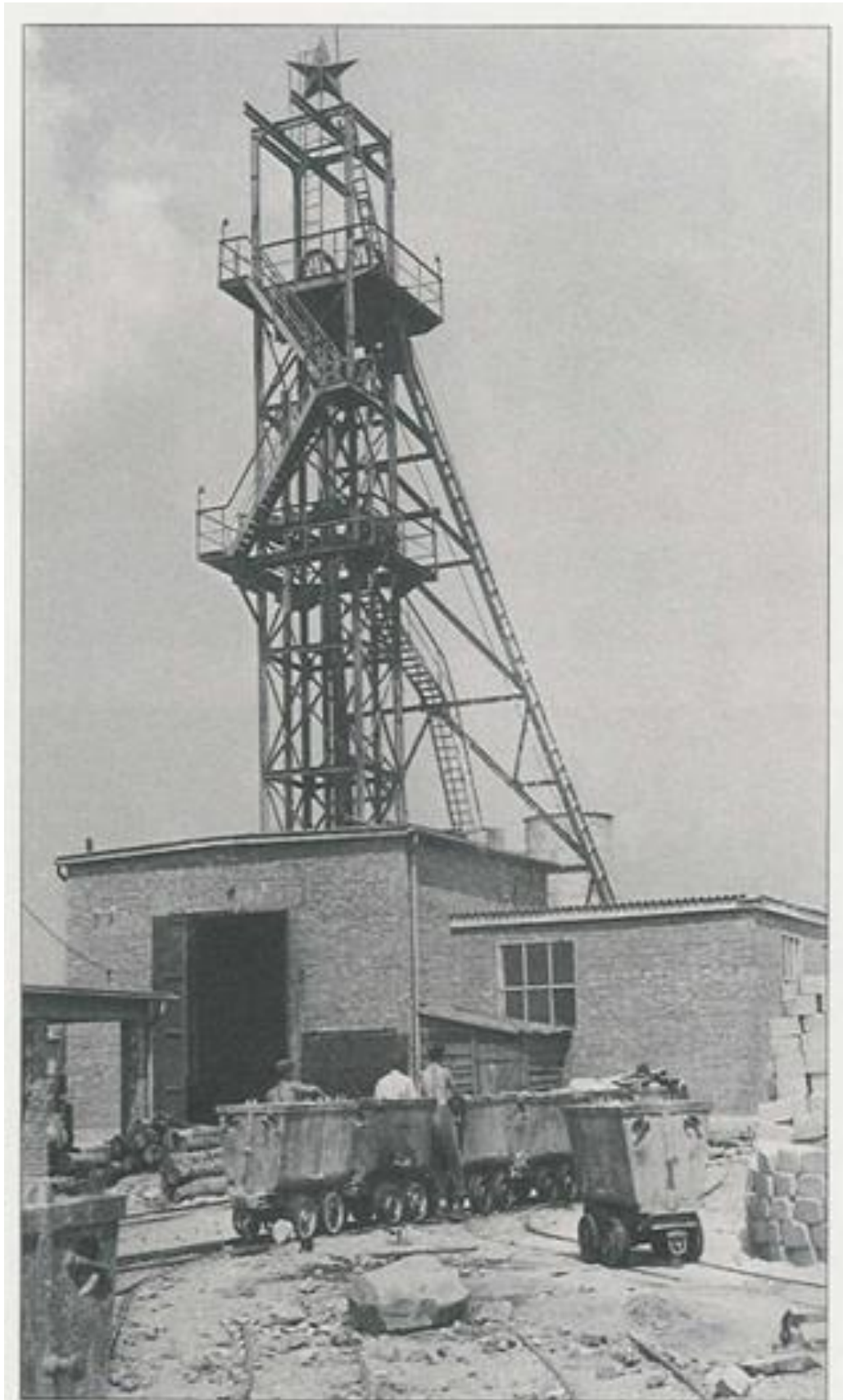
Magyarországon uránbányászati tevékenység a Mecsek Hegységben folyt. A geológiai kutatások 1953-ban kezdődtek. A lelőhely felfedezése *Puharszkij és Csuprova* orosz geofizikusok nevéhez fűződik, akik jelentős aktivitást észleltek a Jakab-hegy D-i előterében permkori összletben. Az ezt követő kutatások eredményeként 1955-ben megkezdődött az I.sz. bányauzem szállító aknájának (106 m mély) és a II. sz. bányauzem aknájának (149 m) mélyítése is, amelyek 1956 őszén illetve 1958-ban készültek el.

Háttér értékek	Egység	Érték
Szabadtéri Rn-koncentráció	Bq/m ³	12
Radon koncentráció zárt térben	Bq/m ³	150
Gamma-dózis intenzitás	nGy/h	250
Talaj fajlagos aktivitása (Ra)	Bq/kg	180
Bányameddők perk. meddő, zagytéri meddők		
Radon exhaláció	Bq/m ² /s	0,74
Radon koncentráció a levegőben	Bq/m ³	Háttér + 20
Gamma-dózis intenzitás	nGy/h	Háttér + 200
Talaj fajlagos aktivitása (Ra)	Bq/kg	
Felső 15 cm		Háttér + 180
Következő 15 cm		Háttér + 500
Felszíni létesítmények, épületek, közv. körny. Épületen belül		
Radon koncentráció a levegőben	Bq/m ³	Háttér + 30
Gamma-dózis intenzitás	nGy/h	Háttér + 200
Kötött alfa-aktivitás	Bq/cm ²	0,5
Kibocsátási határértékek		
Urán	mg/l	2
Rádium	Bq/l	1,1

84. táblázat: Sugárvédelmi követelmények a rekultiváció során

A későbbiekben még további három bányauzem létesült, az utolsó V. sz. bányauzem szállító aknája (1118 m) 1978-ban készült el.

A bányászati tevékenység és ércfeldolgozási 1997-ben szűnt meg, elsősorban gazdaságossági okok miatt. A tevékenységgel érintett terület rekultivációja kisebb mértékben a 90-es évek elejétől folyt, de lényegi munka csak a rekultivációra kormány határozat alapján rendelkezésre bocsátott pénzügyi források után 1998-ban indult meg.



I. számú bányaiüzem 0/6 szállítóakna

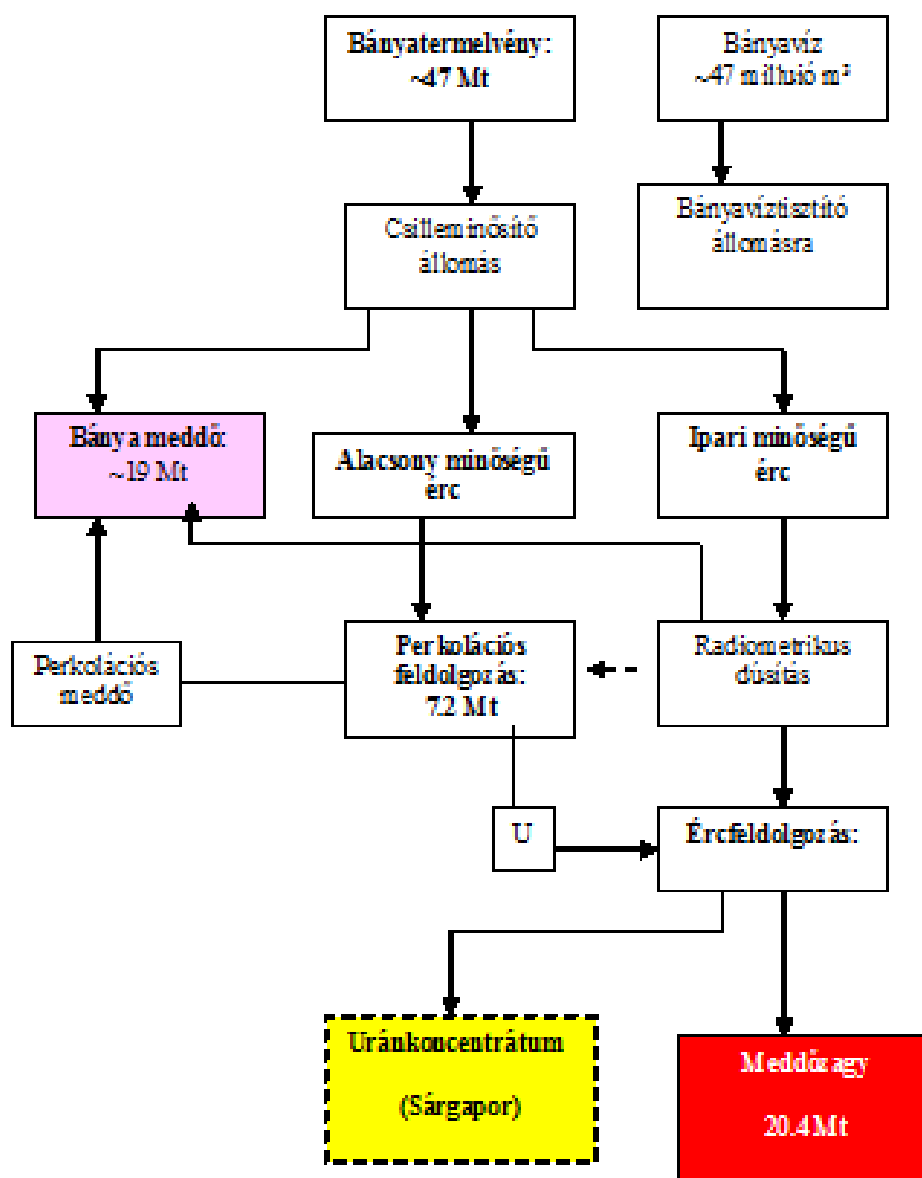
231. ábra: I. bányaiüzemi aknatorony (MECSEK-ÖKO Zrt)

Az első fázisban elkészült a **Környezeti Hatástanulmány**, majd kiadásra került a **Környezetvédelmi Engedély**. Ezek alapján összeállították a **Beruházási Programot**, megindult az egyes objektumok részletes rekultivációs terveinek kidolgozása, majd a tényleges munka az érintett területeken.

A bányatermelvény feldolgozása

A kitermelt 47 millió t körüli mennyiségű kőzet csillékbe rakva került a felszínre, ahol a csillémérő állomáson a kőzetet urántartalom szerint minőségi osztályokba sorolták. A 100 gU/t minőségű kőzetet bányameddőnek minősítették és meddőhányóra irányították. A 100-300 (230) gU/t minőségű kőzet alacsony urántartalmú ércként kezelték és perkolációs feldolgozásra irányították, a nagyobb urántartalmú kőzetet ipari minőségű ércként kezelték, de a kémiai feldolgozás előtt radiometrikus dúsításnak vetették alá.

A radiometrikus dúsítás után kapott kőzetet, 18,8 Mt-t, amelynek átlagos urántartalma 0,1 % körül volt, hidrometallurgiai feldolgozásnak vetették alá. Ennek folyamán, egy sor művelet után, kinyertek **18,1 kt uránt** sárga por (kalcium-diuranát) formájában.



232. ábra: A bányatermelvény feldolgozásának általános folyamata (MECSEK-ÖKO Zrt)

A feldolgozás után visszamaradt ún. meddőzagyot mésztejes semlegesítés után zagyártározóra juttatták. A zagyártározókra került meddőzagy **20,4 Mt szilárdanyagot** tartalmazott a feldolgozás során hozzáadott különböző segédanyagokkal együtt. A felhasznált legfontosabb segédanyagokat az **85. táblázat**: Anyagfelhasználás az ércfeldolgozásnál összesítettük.

A kénsav az urán kioldását, a piroluzit a magasabb urán-kihozatali hatásfok elérését biztosító oxidációt, az égetett mész pedig a folyamatból távozó savas meddőzagy semlegesítését volt hivatott biztosítani. A sósav és az ipari só az ioncserés folyamatoknál az urán elúciójához került felhasználásra.

85. táblázat: Anyagfelhasználás az ércfeldolgozásnál

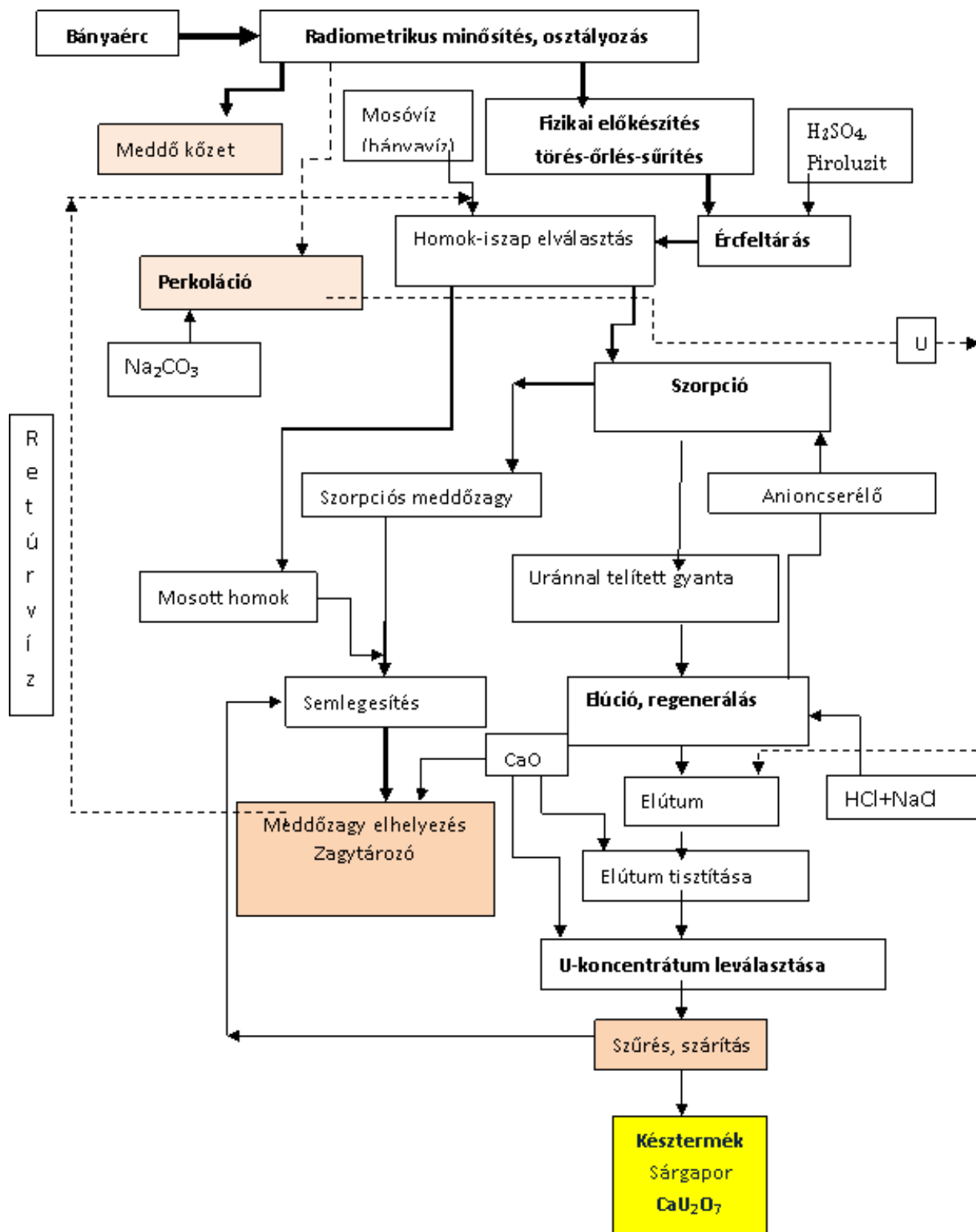
Egység	Kénsav	Piroluzit	Sósav	Égetett mész	Ipari só	Víz*	Vill. energia	Őrlőgolyó felh.	Anion-cserélő
kt	1939	623	100	480	83	32 Mm ³			
kg/t	102.8	30	5.3	25.4	4.4	1.7 m ³ /t	~30 kwh/t	~1kg/t	0,06 kg/t

* Gyakorlatilag bányavíz

A szilárdanyaggal együtt **32 millió m³-nyi technológiai oldat** (magnézium-szulfáttal és nátrium-kloriddal szennyezett) is kikerült, amelyből kb. 20 millió m³-nyi a talajba szivárgott, nagymértékű talajvízszennyezést okozva a két zagyter környezetében.

Az alábbiakban a fentiekben vázolt tevékenységek során létrejött környezeti károk felszámolásának gyakorlati módjait mutatjuk be. Ennek keretében ismertetjük a: **bánya meddők, perkolációs meddők, zagyártározók és az ipari létesítmények felszámolása után visszamarad területek helyreállításához kapcsolódó** rekultivációs munkákat, valamint a vízminőség-védelem terén tett intézkedéseket.

Az ércfeldolgozás legfontosabb fizikai és kémiai műveleteit a **233. ábra** mutatjuk be.



233. ábra: Az uránérc feldolgozás elvi folyamatábrája a legfontosabb fizikai és kémiai műveletekkel.

30.2. Bányabezárás

A bányabezárás első lépéseként letermelték a fejtési üregek környezetében található magas urántartalmú kőzetet. Ennek az volt az elsődleges célja, hogy a majdani vízelárasztás során lehetőleg minél kisebb urántartalmú kőzet kerüljön közvetlen érintkezésbe az elárasztó bányavízzel, ezzel csökkentve a víz jövőbeni szennyezettségét. Ez a módszer természetesen a

bányák működésének utolsó fázisában egyben a bányatermelvény magasabb minőségében is megnyilvánult: a bányászat időtartama alatt kitermelt érc urántartalma ~0,08% volt, míg a bezárást megelőző években a minőség 0,123% fölé is emelkedett.

A bányászati munkák befejezése után a bányákból eltávolították a szerves anyaggal (elsősorban dieselolajjal) szennyezett kőzetet. E munka során mintegy 3500 m³-nyi kőzet került a felszínre, amelyet külön e célra kialakított helyen, prizmákba rakva biológiai úton kezeltek.

Fontos szempont volt az aknákkal harántolt vízáadó rétegek egymástól való elválasztása. Ez különösen az V. légakna esetében a vízföldtani körülmények miatt volt fontos. Ezzel a mélyebb szintek esetlegesen szennyezett vizei karsztba való bejutásának kockázatát csökkentették, illetve kizárták. Ezért a két összlet érintkezési síkja környezetében cement-injektálást végeztek és záró réteggel kialakításával zárták el egymástól a két víztározó réteget.

A szerves szennyezéstől megtisztított bányauregékből természetesen a csilléket és egyéb könnyebben mozgatható eszközöket a felszínre hozták, az aknákat, a részben a létesítésük során képződött meddővel, másrészt darabos mészkővel tömedékelték be majd berobbantották. Az aknákat a korábbi termelő helyekkel összekötő vágatokat az aknák közelében zárógáttal választották el a tömedék stabilitásának biztosítása céljából.

A bányaudvarok és a megszüntetett aknatornyok környezetét a szükséges mértékben kármentesítették, a szennyezett talajt a központi hulladéklerakóba (III. meddőre) szállították. Jelenleg a mélybányák vízzel való természetes elárasztása folyik, várhatóan a III. üzemi térség **2015-ben**, a II-IV-V üzemi térség **2019-ben** telik fel vízzel. Ezt követően e térségekből a víz a korábban ércszállításra használt táron keresztül jut a felszínre és szennyezettségétől függően tisztításra kerül.

30.3. Meddőhányók rekultivációja

A bányászat során mintegy 47 millió t kőzetet hoztak a felszínre. Ebből a mennyiségből a bánya meddő az összesen létesített 9 db meddőhányó valamelyikére, döntően a II. vagy a III. sz. meddőhányóra került. A III. sz. meddőhányón helyezték le az Ércdúsító üzemben működő radiometrikus osztályozás során kiválasztott meddőnek azt a részét, amelyet a perkolációnál nem dolgozták fel. A rekultiváció során az uránnal szennyezett hulladékok elhelyezésére ki kellett jelölni **központi hulladék** tárolót. Kezdetől fogva a III. sz. meddőhányó központi hulladéklerakóként is működött elsősorban azon körülmény folytán, hogy a hányó az I. bányauzem üregrendszere felett helyezkedik el, és ezért a meddőhányón átszivárgó szennyezett víz jelentős része a bányauregékben gyűlik össze. Mivel a I. sz. bányauzemből a bányavíz kiemelésre kerül (hatósági előírás alapján, védendő a tortyogói vízbázis), ezért ez a meddőhányó vízföldtani szempontból viszonylag védettebb más meddőhányókkal összevetve. Ez a magyarázata annak, hogy a rekultiváció során képződött hulladékok túlnyomó részét a III. sz. meddőhányóra szállították. E meddőhányóra szállították át a perkolációs feldolgozás maradékát, meddőjét is **mintegy 7.2 millió t-át**. Ugyancsak ide került néhány kisebb meddőhányó, valamint az épületek bontása során előállt törmelék is, beleértve a hidrometallurgiai üzem felszámolása során kapott valamennyi nem értékesített anyag és berendezés is. Így a meddőhányón a bányászati időszakban elhelyezett eredeti **12,2 millió t** bánya meddő mellett a rekultiváció során további **7,5 millió t** hulladék került. A hulladékokban a meddőhányón összesen mintegy **1400 t urán** is található. **A Hiba! A hivatkozási forrás nem alálható.** a III. sz. meddőhányó látható a bánya működésének időszakában.

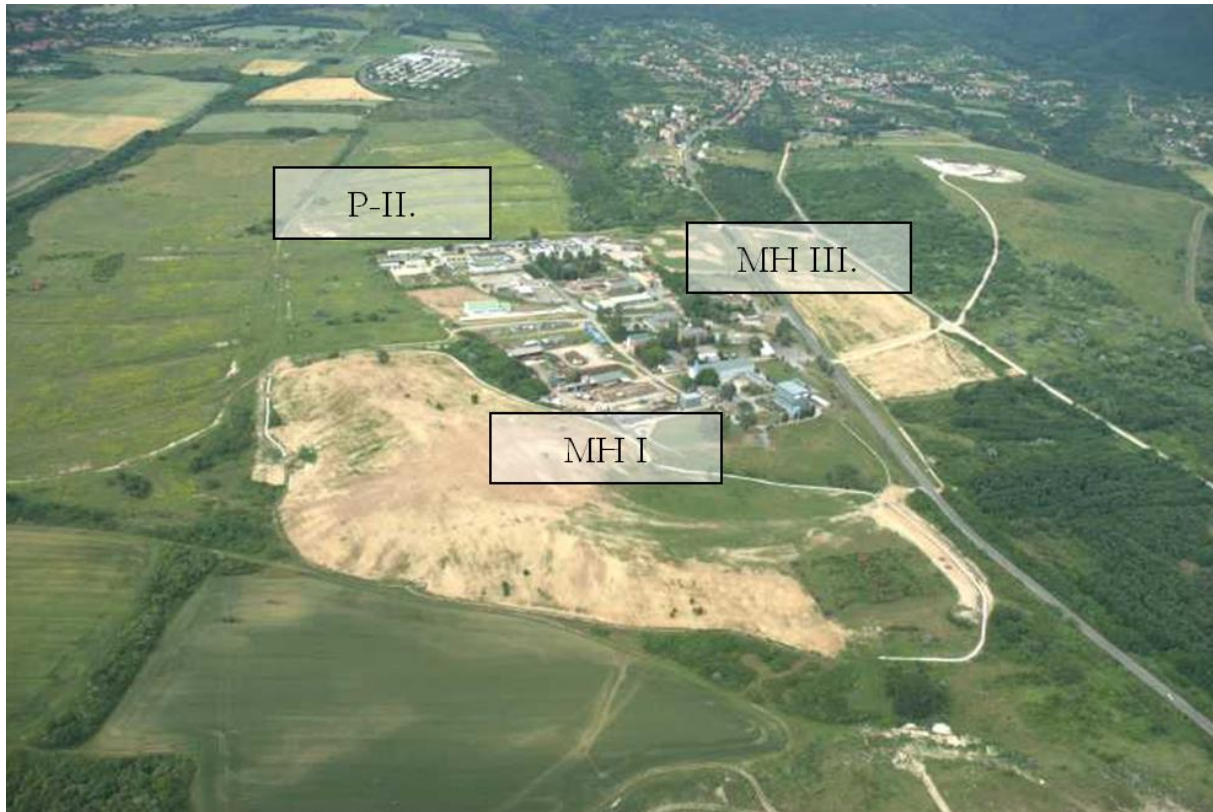


234. ábra: A III.sz. meddőhányó,1987 (MECSEK-ÖKO Zrt)



235. ábra: Rekultivált III. sz. meddőhányó víztisztítási csapadék tárolóval, 2009 (MECSEK-ÖKO Zrt)

A meddőhányók hosszú távú fizikai integritását, stabilizálását megfelelő lejtőszög kialakításával, a meddő egy részének áthalmazásával érték el. A meddőket 1 m vastag föld réteggel szigetelték a légtértől, csökkentve a γ -dózis intenzitást és a **radon exhalációját** is. Elvégezték a vízrendezést, amelynek során a felszíni nem szennyezett vízfolyásokat elválasztották a meddők alól kifolyó szennyezett szivárgó vizektől. Ez utóbbi vizek a víztisztító üzembe kerülnek illetve egy esetben a **Frici –taró környéki** meddők alól elfolyó vizet helyben tisztítják ioncserélő oszlopokon. A meddőhányókon az eróziót növényesítés is mérsékli. A rekultivált III. sz. meddőhányó a **235. ábr**alátható. A III. sz. meddőhányón alakították ki a víztisztítás során képződő alacsony urántartalmú, döntően gipszet és $Mg(OH)_2$ -t tartalmazó víztisztítási csapadéktároló helyét. A fotón fehér foltként ez a tároló rész látható.



236. ábra: A rekultivált Perkoláció-II valamint a I.és III. sz. meddőhányó,2009 (MECSEK-ÖKO Zrt)

30.4. Perkolációs ércfeldolgozási terület rekultivációja

Perkolációs módszerrel 7.2 millió t alacsony minőségű ércet dolgoztak fel két különálló területen. Az ércosztályozó közvetlen közelében 2,2 millió t került feldolgozásra, míg az I. sz. bányauzemhez közeli területen további közel 5 millió t.

A feldolgozott kőzet átlagos urántartalma 136 g/t volt. A perkolációs technológia lényegét az előzőekben ismertettük. Magyarországon a perkoláció sajátossága abban állt, hogy kilúgzó ágensként szódát használtak. A műanyag fóliával szigetelt területen elhelyezett töretet 20-25 g/l Na_2CO_3 tartalmú oldattal kezelték. A kezelés során az uránnak kb 55-60 %-a oldódott ki, amelyet a recirkuláltatott oldatokból ioncserével vonták ki.

A Perkoláció-I területen kialakított domb-együttes a **237. ábr**alátható. Egyes dombokat az oldattároló medencerészekkel együtt a **238. ábr**aláthatjuk.



237. ábra: Perkoláció-I területen létesített perkolációs domb-együttes (MECSEK-ÖKO Zrt)



238. ábra: Perkolációs dombok oldat tároló medencékkel, 1997

A Perkoláció-II területen feldolgozott mintegy 4,9 millió tonna alacsony minőségű érc prizmái három külön álló területen helyezkedtek el (Hiba! A hivatkozási forrás nem található.).

Az uránbányászat megszüntetésével a perkolációs medencék is felszámolásra kerültek. A perkolációs területek rekultivációjának fontosabb műveletei az alábbiak voltak:

- állapotfelvétel,
- szabad víz eltávolítása,
- a meddő átmosása bányavízzel,
- a meddő átszállítása a központi hulladéktározóba (III. sz. meddőhányó),
- a terület szennyezettségének ellenőrzése,
- felszíni kármentesítés a szennyezett talaj felszedésével és hulladéktárolóba való átszállításával.



239. ábra: Alacsony minőségű ércek feldolgozása perkolációval, Perkoláció-II terület (MECSEK-ŐKO Zrt)

30.4.1. Állapotfelmérés

Az állapotfelmérés alapján megállapították, hogy a:

- meddő U-tartalma 57-70 g/t, Ra-tartalma 1,5-2 Bq/g,
- a szabad víz és a pórusvíz U-tartalma 10-20 mg/l, rádium aktivitás-koncentrációja 1-2 Bq/l,
- a szabad víz térfogata 310 ezer m³,
- a szabad víz oldott anyag tartalma 10-15 g/l (Na₂SO₄, NaHCO₃, NaCl)
- meddő γ -dózis intenzitása 0,8-1,2 μ Gy/h,
- a meddő Rn-fluxus értéke 0,8-1,2 Bq/m²s.

A felmérésből levont legfontosabb következtetések:

- a szabadvíz urántartalma és rádiumtartalma egyaránt magas, közvetlenül nem bocsátható ki, ezért **tisztítani kell**;
- a meddő γ -dózisintenzitása és radonfluxusa ugyancsak határérték feletti, ezért a **meddőt inaktív anyaggal le kell fedni**.

30.4.2. Szabad víz kezelése

A területekről a szabad vizet az akkor még működő Ércdúsító Üzembe juttatták, ahol azt a zagyteri vízzel együtt kezelték mésszel (U-leválasztás, oldott anyagtartalom csökkentés) és

bárium-kloriddal (Ra-leválasztás).

A szabadvíz leürítése után a perkolációs dombokra bányavizet juttattak az oldott urán kimosása céljából. A mosás során kapott vizet ugyancsak az Ércdúsító Üzem technológiai rendszerében kezelték tovább a szennyezők kivonása céljából.

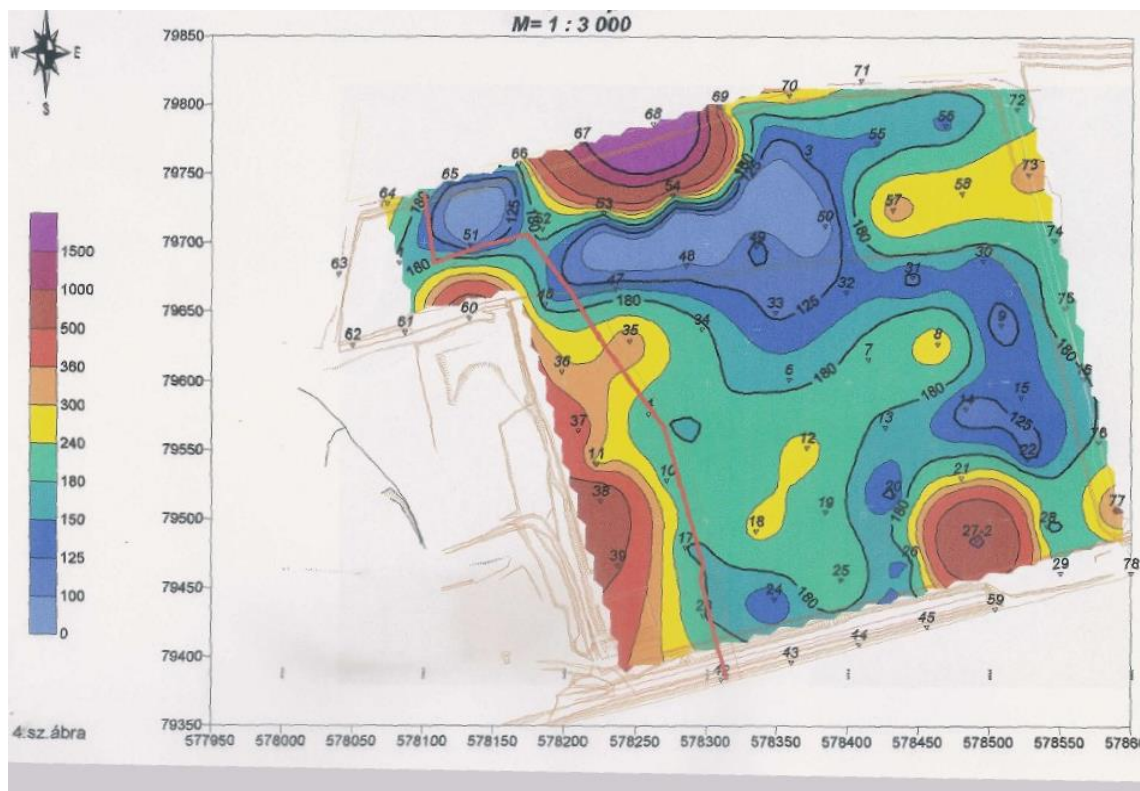
30.4.3. A meddő átszállítása végleges tároló helyre

Az így kezelt perkolációs meddőben mintegy **390 t urán maradt vissza**. Az ivóvízbázis védelme érdekében a meddő nem kerülhetett át a zagytározóra (a nemzetközi gyakorlattal ellentétben), és helyben sem volt rekultiválható, hanem a III. sz. meddőhányóra kellett átszállítani.

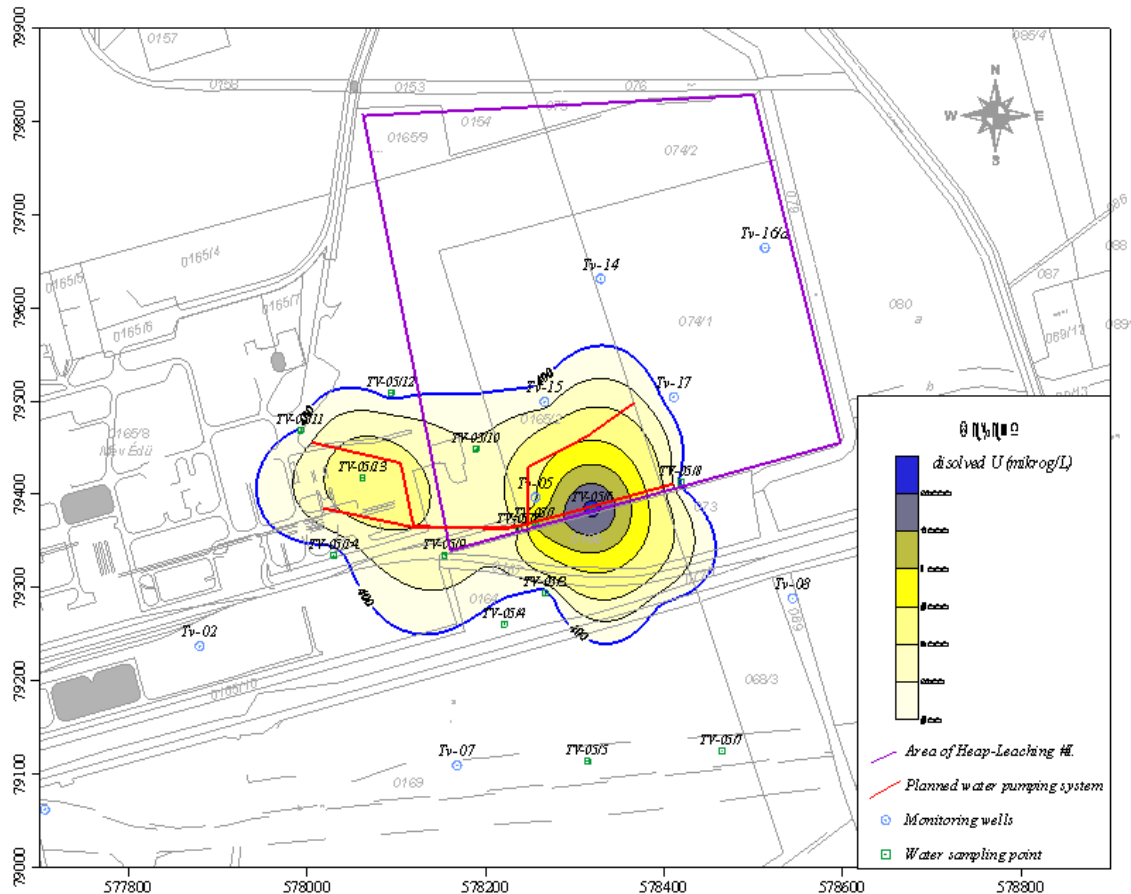
30.4.4. Radiológiai állapotfelvétel a perkolációs területeken a meddő átszállítása után

A γ -dózis térképet a **240. ábra** mutatja pl. a P-I területre. Látható hogy egyes helyeken magas szennyezettség található. Ezek a lokális helyek elsősorban a **szivattyúházak, ioncserélő oszlopok** és **csővezetékek** közelében alakultak ki, nyilvánvalóan az üzemelés során bekövetkezett oldatkiömlések miatt.

Ennek következtében a területről ki kellett termelni a felső 10-20 cm-es réteget is. Helyenként a szennyező anyag mélyebbre hatolt le, ezért a kármentesítés során, különösen a Perkoláció-I terület és a korábbi Ércosztályozó közötti területen (amelyen ércet is tároltak a 60-as években) nagyobb mélységből is el kellett távolítani a földet. Ilyen módon a felszíni γ -dózis értékek a határérték alá csökkentek. Azonban helyenként talajvízszennyezést észleltek. A P-I terület talajvíz szennyezettség-térképét a **241. ábra** láthatjuk. Ilyen helyeken post-remediációs munkák keretében kell talajvíz-tisztítást végezni.



240. ábra: A perkolációs meddő elszállítása utáni γ -dózis-intenzitás térképe (MECSEK-ÖKO Zrt)



241. ábra: Talajvíz szennyezettsége a Perkoláció-I területen (MECSEK-ÖKO Zrt)

30.5. A zagyártározók rekultivációja

A remedáció legkritikusabb és legnagyobb költségigényű feladata a világon mindenütt a zagyártározók hosszú távú stabilitásának biztosítása és környezeti hatásainak elfogadható szintre való csökkentése. Egy sor katasztrófa a zagyártározókkal bizonyítja, hogy ezek az objektumok nagy veszélyt jelenthetnek a környező lakosságra a bennük tárolt anyagok tulajdonságai révén. Az uránipari zagyártározók különös figyelmet kell fordítani radioaktivitásuknál fogva is. A megfelelő hosszú távú stabilitás biztosítása és a közel 40 éves üzemelés során képződött 20,4 Mt szilárdanyagot tartalmazó feldolgozási maradék és a maradékhoz kapcsolódó ~9 millió m³-nyi technológiai víz biztonságba való helyezése költséges feladat: az uránbányászati objektumok rekultivációjára fordított teljes költség kb. 40%-t a zagyártározók rekultivációjára költötte a MECSEK-ÖKO Zrt. A zagyártározással közvetlenül érintett terület mintegy **153 ha**. A zagyártározók rekultivációjának sok kérdésével részletesen foglalkozik több közlemény is (Bánik et al. 2005, Csóvari et al. 2005, Milona et al. 2007).

Az ércfeldolgozásnál képződött meddőzagy tározására két zagyártározó létesült. Ezek légi felvétele (1997) a **242. ábr**alátható.



242. ábra: A Mecsek-ÖKO két zagyártározója, 1997 (MECSEK-ÖKO Zrt)

A zagyártározók rekultivációjának legfontosabb fázisai a következők voltak:

- a zagyártározók talajmechanikai tulajdonságainak vizsgálata (n , e , τ , k , w , stb.),
- a szabad víz kémiai kezelés utáni eltávolítása,
- a lágy iszapmag stabilizálása,
- szivárgó rendszer felújítása és kiegészítése,
- felületrendezés,
- a zagyatér lefedése a radon kiáramlás és a vízbeszivárgás csökkentése céljából.

30.5.1. Talajmechanikai vizsgálatok

A talajmechanikai vizsgálatok többek között a következő paraméterek meghatározására terjedtek ki:

- sűrűség (ρ),
- víztartalom (w),

- hézagtenyező (ϵ),
- szemcseméret,
- nyírószilárdság (τ),
- szivárgási tényező, k -tényező (m/s).

A mérések azt mutatták, hogy a zagyatározók anyaga inhomogén és feltételesen három zónára osztható:

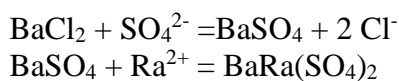
- homokos parti zónára,
- átmeneti finom homokos iszap-beépüléssel zónára,
- alacsony nyíró szilárdságú iszapmagból álló zónára.

30.5.2. Szabad víz eltávolítása

Működés alatt a zagytereken szabad víz formájában összegyűlt víz 0,4-1 millió m³ között változott. A termelés lezálló ágában az évenként feldolgozott érc tömege fokozatosan csökkent és csökkent természetesen a szabad víz térfogata is a zagytereken. Mindazonáltal a zagyfelszín szikkadásának elősegítése céljából minél előbb meg kellett szabadulni a zagytereken, mindenekelőtt az I. sz. zagyteren található mintegy 200 ezer m³-nyi szabad víztől. Mivel a víz rádiumtartalma 5-20 Bq/l között változott (kibocsátási határérték 1.1 Bq/l), a vizet a befogadó **Pécsi-vízbe** való kibocsátás előtt *rádium-mentesíteni* kellett. Csökkenteni kellett a víz oldott anyag tartalmát is, mivel ez lényegesen meghaladta a kibocsátási határértéket.

A két műveletet együtt hajtották végre úgy, hogy a zagyterekről az Ércdúsító Üzem technológiai rendszerébe visszajuttatott zagyteri vízhez bárium-klorid oldatot adagoltak (5 mgBa/l fajlagos mennyiségben) és mésztejet is adagoltak pH>10 értékig a magnézium leválasztása céljából. A bárium-kloriddal való rádiummentesítés hatékony, ilyen módon a rádium aktivitás koncentrációja **0,3 Bq/l** alá csökkenthető. A kémiai kezelésen átesett szabad víz a befogadó Pécsi-vízbe került.

A rádium bárium-kloriddal való kivonása azon alapul, hogy a bárium-kloridot ipari szennyezett vízbe juttatva az a vízben lévő szulfáttal reagálva igen nehezen oldódó bárium-szulfát formájában kiválik a vízből (oldhatósága 2 mg/l 18 C⁰-nál). Mivel a rádium-ionok kristálytani tulajdonságai és kémiai tulajdonságai igen hasonlóak a bárium tulajdonságaihoz (szulfátja ugyancsak oldhatatlan), ezért a rádium könnyen beépül a bárium-szulfát kristályrácsba és így az oldhatatlan bárium-szulfáttal együtt kiválik az oldatból.



Ismeretes, hogy **Maria Curie** is ezzel a módszerrel választotta ki a rádiumot az uránszurokércből, tehát az általa alkalmazott rádium-kiválasztási módszer még jelenleg is szinte az egyedüli iparilag alkalmazott módszer a rádium oldatokból való kivonására.

Iparilag a víz rádium-mentesítését úgy végzik, hogy elkészítenek kb. 100 gBa/l koncentrációjú oldatot kristályos bárium-klorid oldásával (BaCl₂·6H₂O). Ebből az oldatból kb. 0,1 l-nyi mennyiségű oldatot adagolnak m³-enként a rádium-mentesítendő vízhez állandó keverés mellett. A kivált bárium-szulfát magával ragadja co-precipitáció révén a rádiumot is, és így a rádium nagy része csapadékba kerül. A kivált bárium-szulfát csapadékot ülepítik, esetenként vas-(III)-hidroxiddal együtt, (amelyet vas -(III)-kloridból állítanak elő magában a tisztítandó vízben). A kivált és sűrített csapadékot elválasztják a víztől és hulladéktárolóba helyezik, a tisztított víz pedig a befogadóba kerülhet.

A fenti módszerrel általában **0,3 Bq/l** maradék aktivitás koncentrációig tisztítható a rádiummal szennyezett víz.

Meg kell jegyezni, hogy a rádium kisebb mértékben a kalcium-szulfáttal is leválik, azonban a leválás mértéke általában nem elegendő a rádium-mentesítés végrehajtásához.

A zagyteri víz rádium-mentesítését sorba kötött folyamatos üzemmódban üzemelő keverős tartályokban hajtották végre úgy, hogy az első keverős tartályba adagolták folyamatosan a 100 g/l báriumot tartalmazó bárium-klorid oldatot. Ugyancsak ebbe a tartályba adagoltak mésztejet is a magnézium leválasztása céljából. A sűrítő fejtermékét (a rádiummentesített és csökkentett sótartalmú oldatot) a befogadó Pécsi-vízbe vezették, az aljzagyot pedig (Ra, Mg(OH)₂, gipsz) visszajuttatták a zagyterre.

30.5.3. Az iszapmag stabilizálása

A zagyártározó szabad vizének leengedése után (ezt hatósági engedély alapján szakaszosan bocsátották a befogadóba) az iszap felület is szikkadni kezdett. Természetes körülmények között azonban a megfelelő mértékű víztelenítés hosszú időt vesz igénybe. A megfigyelésekből egyértelműen adódott, hogy a belső iszapzónát mesterségesen kell vízteleníteni, mert a területrendezéssel és a fedéssel együtt járó szállítóeszközöktől eredő terhelést a zóna nem képes elviselni. A felület teherbíró képességére leggyakrabban alkalmazott fizikai mérőszám az iszap **nyírószilárdsága** (τ). A $\tau=2-5 \text{ kN/m}^2$ értékről legalább $\tau=10-15 \text{ kN/m}^2$ kell növelni a nyíró feszültséget, amit általában felületi terhelés hatására bekövetkező víztelenítéssel érnek el.

A felületi stabilitás és a nyíró szilárdság növelésére az iszapok víztelenítésére általánosan használt módszert alkalmaztak. A víztelenítést a geo-anyagoknak a (geotextília, georács) lágy iszap felületre való terítésével majd ennek vízáteresztő anyaggal (homokkal) való **fokozatos terhelésével** érték el. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy a lágy iszaptól a víz fokozatosan kiszoruljon, ezzel párhuzamosan nő a felület teherbíró képessége. A kiszorított víz döntő része a terhelés céljából a geo-anyagokra terített homokba kerül (homokként a zagyártározó gátjából vett anyagot használták fel), amely végeredményben a zagyba épített drének segítségével a nyelőkutakon keresztül távozott az iszapmagból. Ilyen módon elérhető, hogy az eredetileg igen lágy iszap teherbíró képessége annyira megnövekedjen, hogy felületén a fedőanyagok szállításánál nélkülözhetetlen gépjárművek közlekedhessenek.

A felületstabilizálás egyes műveleteit a **243. ábra- 244. ábra** láthatjuk. Természetesen az iszapzóna víztelenedése a terheléstől függően hosszú időn át folytatódhat, ez azonban nem zavarja a rekultivációs munkákat.



243. ábra: Zagyatározó iszapmagjának víztelenítése mély-drének elhelyezésével és fokozatos terheléssel (MECSEK-ÖKO Zrt)



244. ábra: Nyelőkút létesítése a konszolidációs víz összegyűjtése céljából (MECSEK-ÖKO Zrt)

30.5.4. A szivárgó rendszer felújítása és kiegészítése

A zagyatározók gátjában a gát létesítése során elhelyezett drénkivezető csövek állapotát átvizsgálták és szükség szerint felújították. Ez azért fontos, mert a gáttesti drénrendszer a jövőben is a gát víztelenítését szolgálja, és így fontos szerepe van a gát stabilitásának biztosításában. A gáttesti drént kiegészítették a gátfelszíni vizek összegyűjtését biztosító vízgyűjtő rendszerrel, amelyből szennyeződés esetén a víz a víztisztító műbe volt juttatható, egyébként pedig kibocsátásra került.

A letakarás stabilitásának biztosítása és az elszivárgás csökkentése érdekében végzendő hatékony víztelenítés fontosságát nem lehet eléggé hangsúlyozni. Ezért a meglévő szivárgó rendszer működőképességének biztosítása rendkívül fontos feladat.

30.5.5. Zagyterek lefedése

A zagyatározók lefedésének szükségessége a 70-es években elsősorban az USA-ban végzett kutatások alapján merült fel. Ebben az időben vált egyértelművé a radon-222 egészségkárosító hatása, amely a meddőben lévő rádium-226 bomlási terméke és a zagyatározók felületéről nagy mennyiségben kerülhet a légtérbe, ezért az uránipari **zagyatározók radon-222 kibocsátásának csökkentése a rekultiváció egyik legfontosabb feladatává vált**. Bár a kezdeti időszakban többféle megoldással is kísérleteztek a meddők radiológiai hatásának mérséklése terén,

beleértve, pl. a meddők rádiummentesítését is, - a meddők hatalmas tömege miatt – a radon-222 meddőkéből való kiáramlásának csökkentésére egyedüli módszerként a meddők természetben előforduló inert anyaggal való letakarása mutatkozott. A zagytározók lefedése fontos és nélkülözhetetlen azért is, hogy megakadályozzuk a radioaktív meddő környezetbe való szétszóródását is eróziós folyamatok révén, megakadályozzuk az anyag széthordását illetéktelen személyek által, kizárjuk a radioelemek táplálékláncba való kerülését növények révén.

A zagytározók lefedésével kapcsolatos vizsgálatok középpontjában az alkalmazandó takaró anyag rétegvastagságának megállapítása állt. A kezdeti időszakban felvetődött, hogy a fedőanyag vastagságát a zagytározók lefedése során úgy kell meghatározni, hogy a zagytározók felületén a radon-exhaláció értéke a háttérhez közeli, (~ 2 pCi/m²/s (0,074 Bq/m²/s)⁶ legyen. Azonban hamarosan tudomásul kellett venni, hogy ez a követelmény lényegében teljesíthetetlen különösen a szárazabb klimatikus viszonyok között. Végül az amerikai törvényhozás a radon-exhaláció maximális értékét az előző érték 10 szeresében, azaz 20 pCi/m²/s értékben (0,74 Bq/m²/s) értékben határozta meg. Bár ezzel az értékkel szemben gyakran hangzottak el fenntartások, a világ legtöbb érintett országában a radon-222 megengedhető exhalációra az említett 0,74 Bq/m²/s értéket elfogadhatónak tartják.

A vízvédellel összefüggő általános érdeklődés megjelenésével **előtérbe került a réteges takaró szerkezet, amelynél a takaró réteg több elemből áll.** A takaró elemek mindegyike más és más funkciót lát el. A leglényegesebb réteg-elemek közé tartozik az agyagból vagy más alacsony szivárgási tényezőjű ($k < 10^{-9}$ m/s) anyagból kialakított szigetelőréteg, amelynek funkciója a zagytartóba való szivárgás minimalizálása a radon-222 exhalációjának csökkentése mellett. A MECSEK-ÖKO Zrt zagytározói esetében ez azért is fontos, mivel a zagyterek fenékszigetelés nélkül létesültek és így természetes állapotban mintegy 200 ezer m³/év magas sótartalmú pórusvizet (10-20 g/l bocsáthatnának ki a zagytér alatti rétegekbe fedetlen állapotban. A szennyező anyag környezetbe való kijutásának mértékét a fedőrétegbe épített szigetelő anyaggal (agyaggal) jelentősen csökkenteni lehet.

A legmegfelelőbb rétegrend kiválasztását simulációs programokkal végzik, amelyek figyelembe veszik a területen hozzáférhető anyagok talajfizikai tulajdonságait, a telepítendő növénykultúrát, éghajlati viszonyokat. stb. A kifejlesztett modellek egyike a HELP-modell, amely általánosan használt tervezési szoftver a réteg-elemből álló lefedési opciók hatékonyságának prognosztizálásánál (jelenleg újabb modellesomagok is rendelkezésre állnak).

Az említett HELP modellt alkalmazva került kiválasztásra a Pellérdi zagytározók fedőrétegrendje is. A II. zagytéren kialakított fedő-rétegrend fontosabb paramétereit és a HELP-modellel számított vízháztartási értékeket a **86. táblázat** mutatjuk be.

A fedőréteg elemei:

- 60 cm-es víztározó réteg a növényzet számára (laza lész),
- 30 cm vastagságú jó vízvezető drenázs (homok),
- 30 cm vastagságú védőréteg az agyagszigetelés felett (tömörített lész),
- 30 cm vastagságú szigetelő réteg és radon-gát (tömörített agyag).

⁶ az amerikaiaknál még napjainkban is a régi egységeket használják

A fenti 1,5 m őszvastagságú fedőréteg a számítások szerint biztosítja, hogy a zagytározóba szivárgó csapadékvíz mennyisége 21 mm körül legyen.

Az 1. sz. zagytározót ettől kisé eltérő rétegrenddel fedték le: megnövelték a teljes vastagságot, de elhagyták a homok drenázst anyagbeszerzési problémák miatt. Így a vízbeszivárgás mértéke ugyan kis mértékben nőtt (30-40 mm/év) ezen a zagytéren, azonban ez az érték elfogadható mértékű. Természetesen várható, hogy ezek a beszivárgási értékek idővel növekednek a szigetelő réteg száradása és az abban végbemenő kémiai folyamatok miatt. Azonban a beszivárgás mindenképpen kisebb lesz az eredeti, fedés nélküli zagytározókról való szivárgásnál.

A **86. táblázat** második részében a homok drenázs és az agyag szivárgási tényezőjének a beszivárgásra gyakorolt hatását mutatjuk be. mint látható, az agyag szivárgási tényezője igen nagymértékben befolyásolja a beszivárgás mértékét, ezért az **agyagnyerő helyet** ennek figyelembevételével kell kiválasztani. Ugyanakkor az is látható, hogy a homokból létesített drén k-tényezőjének csökkenése (a drén eltömődése) is a beszivárgás növekedéséhez vezet.

A Hiba! A hivatkozási forrás nem található. a réteges lefedés gyakorlati megvalósítása látható 2. zagytározó).

A rekultivált zagytározók légi felvétele látható a **246. ábra**.

86. táblázat: Vízháztartási paraméterek réteges fedés esetén

Opció száma	Réteg	k-tényező, m/s	Réteg- vastagság	Felszíni vízlefolyás	Evatrans- piráció	Drén	Besziv .
			m	mm/év	mm/év	mm/év	mm/év
1/1	Víztározó réteg (lősz)		0,6	23	495	109	21
	Drenázs (homok)	5,00E-05	0,3				
	Védőréteg (lősz)	5,00E-07	0,3				
	Agyag szigetelőréteg	1,00E-09	0,3				

Éves átlagos csapadék: 648 mm

Gyökérzóna: 60 cm						
Hidraulikus vízvezető képesség		Felszíni vízlefolyás	Evapotranspiration	Drenázs	Beszivárgás	Besziv. a csapadék %-ában
(m/s)		mm/év	mm/év	mm/év	mm/év	
Drenázs réteg	Szigetelő réteg					
5×10^{-5}	1×10^{-9}	23	495	109	21	3,2
5×10^{-6}	1×10^{-9}	21	508	65	45	6,9

5×10^{-6}	5×10^{-9}	21	505	19	100	15,3
--------------------	--------------------	----	-----	----	-----	------



245. ábra: Takaró réteg építése, tömörítése és helyszíni k-tényező mérés infiltróméterrel (MECSEK-ÖKO Zrt)



246. ábra: A rekultivált zagytározók. Előterben a lefedéshez felhasznált lósz anyaggyerő hely, „(lósz bánya (MECSEK-ÖKO Zrt))

Az alsó táblázatban (**86. táblázat**) a drenázs és az agyagréteg vízáteresztő képességének hatását látjuk a beszivárgás mértékére. Látható, hogy a drenázs áteresztő képességének csökkenése (eldugulás) mind pedig a felhasznált agyag vízáteresztő képességének növekedése nagymértékben növeli a beszivárgás mértékét. Ezért az anyagok beépítésénél nagy figyelmet kell fordítani ezekre a paraméterekre. Az építés során szigorú minőségellenőrzést végeztek. Az agyagszigetelés vízáteresztő képességét helyi infiltrométerekkel ellenőrizték.

30.6. Felszíni ipari létesítmények recultivációja

A bányaudvarok és az ércdúsító üzem létesítményei kisebb-nagyobb mértékben szennyezettek. A szennyezés esetenként az épület helyiségeiben végzett dekontaminációval megszüntethető, azonban nagyobb részt nemcsak felszíni szennyezés detektálható, hanem mélyen a falakba íródva is megtalálható. Figyelembe véve a jövőbeni felhasználás esélyeit is, a felszíni épületek nagy része lebontásra került. Ilyen sorsra jutott az ércdúsító üzem is (**248. ábra**:Az Ércdúsító Üzem.

247. ábra: A rekultivált zagytározók. Előterben a lefedéshez felhasznált lósz anyaggyerő hely, „(lósz bánya (MECSEK-ÖKO Zrt))

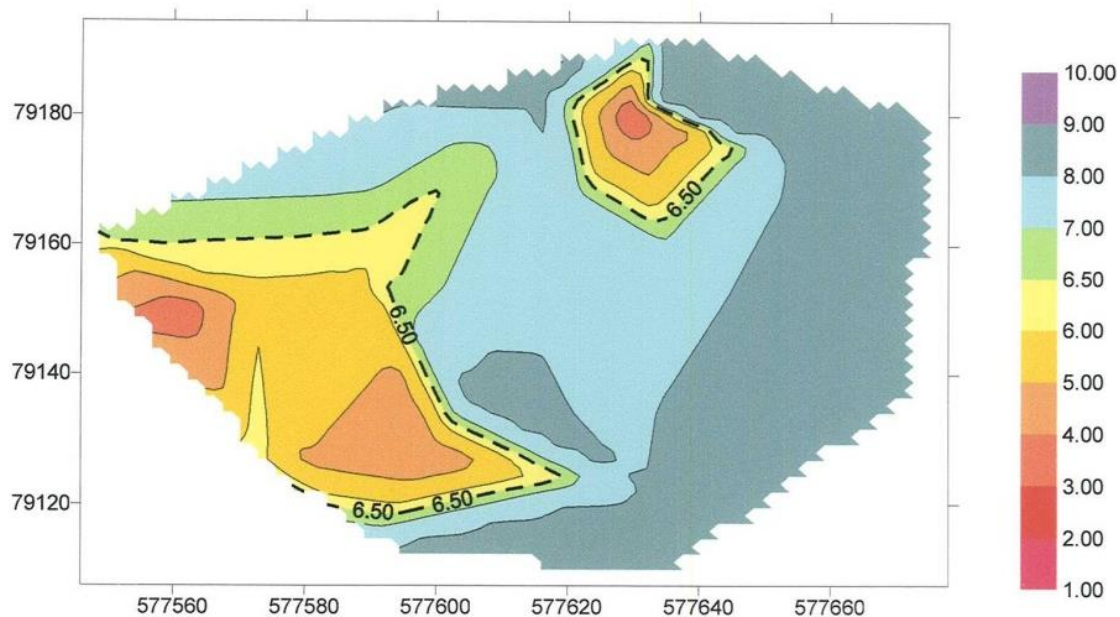
(MECSEK-ÖKO Zrt)), amelynek épületegyüttesét az ércosztályozóval együtt robbantással megsemmisítették és a kijelölt hulladéktárolóba (III. sz. meddőhányóra) szállították.



248. ábra: Az Ércdúsító Üzem. (MECSEK-ÖKO Zrt)

Az üzem legszennyezettebb részei a hulladéktározó udvar, a koncentrátum leválasztó-szárító üzemrész és a radiometrikus osztályozó területe volt. Kémiaileg a legszennyezettebb a savtároló tartályok környezet bizonyult. A terület a laboratóriumokból és műhelyekből eredő nehézfém szennyezést is mutatott, továbbá fűtőolajjal való szennyezést is. Ezért az üzem felszínének nagy részén teljes talajcserét kellett végrehajtani, ami kb. 700 ezer m³-nyi talaj kitermelését és steril földdel való cseréjét jelentette.

A savtárolók környezetében a talaj 6 m mélységig savval szennyezett volt. Ez látható a **249. ábra**.



249. ábra: Savtároló környezetének talaj szennyezettsége (pH) 5 m mélységben (MECSEK-ÖKO Zrt)

Ezért az üzem felszínének nagy részén teljes talajcserét kellett végrehajtani, ami kb. 700 ezer m³-nyi talaj kitermelését és steril földdel való cseréjét jelentette.

A savtárolók környezetében a talaj 6 m mélységig savval szennyezett volt. A talaj szennyezettsége a **249. ábra** látható (pH-értékek). A törő-örlő üzemrészek felszámolása a **250. ábra** látható.

A radiológiai szennyezés felszámolása gyakori visszatérést jelentett egy-egy területre, annak ellenére, hogy a kármentesítést állandó radiológiai operatív ellenőrzés kísérte. Ennek egyik oka, hogy a szennyezett talaj nem alkotott összefüggő térrészt, ezért az alapállapot felmérés során alkalmazott hálóban megadott értékek gyakran hiányosak voltak.

Az üzemi terület radiológiai térképe kármentesítés előtt és kármentesítés után a jegyzet előző fejezeteiben látható. A rekultivált üzemi terület a rekultivált Perkoláció-I területtel együtt a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** mutatja.



250. ábra: Az Ércdúsító Üzem törő-órló üzemrésze működő és lerobbantott állapotban (MECSEK-ÖKO Zrt)



251. ábra: A rekultivált üzemi terület a Perkoláció-I területtel együtt (MECSEK-ÖKO Zrt)

30.7. Vízminőség védelem

30.7.1. Bányavíz tisztítás

Bányavíz kezelés tekintetében a bányamezőket két részre kell választani: az antiklinális déli oldalán található I. bányauzem területére és az antiklinális északi oldalán lévő területekre (mélyszerinti bányauzemek). Az előbbi közvetlen hidrológiai kapcsolatban áll a pellérdi-Tortogói ivóvízbázissal, az utóbbinak nincs ilyen kapcsolata. Az ivóvízbázissal való kapcsolat miatt az I. bányauzemi aknában a vízszintet a biztonságosnak tekintett 106 m-es mélységben kell tartani, ami csak folyamatos vízkiemeléssel oldható meg. A kiemelt víz tisztítását a bányabezárása óta, 1968 óta üregekből az uránnal szennyezett vizet folyamatosan végzik. Ennek térfogata az 0,5-0,8 millió m³/év mennyiséget tesz ki. Ez a mennyiség tartalmazza a bányameddők alól elfolyó vizet is, mivel ezt a vizet a bányatérsegekben gyűjtik (földrajzi adottság) és így a bányavízzel együtt kerül a felszínre.

A mecseki lelőhely jellegzetessége, hogy - sok más lelőhelytől eltérően - nem tartalmaz számottevő mennyiségű piritet, ezért a bányavíz pH-ja a bányaművelés időszakában is és jelenleg is pH~7-8 körüli. Lényegében ennek tulajdonítható, hogy a bányavíz csak uránnal szennyezett (4-5 mg/l) és bár rádium tartalma a háttérhez képest magasabb, azonban a megengedett határérték alatt van (0,6-0,7 Bq/l). Így tehát a bányavizet csak urántól kell tisztítani.

Az uránbányászat időszakában a mélyszerinti bányauzemekből a fakadó vizet a művelés miatt ugyancsak folyamatosan ki kellett emelni. A kiemelt víz nagy részét az ércfeldolgozásnál használták fel technológiai célokra.

A bányaművelés befejezése után megszűnt a korábbi termelő bányauzemekből a vízkiemelés, a mélyszerinti bányák (a II, III, IV és V) elárasztás alá kerültek. E bányák közül a III. sz. bányauzem üreghálózata várhatóan 2015-ben telik fel, a többi valószínűleg 2019-ben. E

területekről tehát jelenleg nem kerül a felszínre bányavíz. Ezt követő időszakban azonban a nyitott Északi táróban megjelenik a víz ezekről a területekről is. A következő években megjelenő mélyszinti bányavíz tisztítását valószínűleg a jelenlegihez hasonlóan végezni kell, mivel urántartalma egy-két évtizeden belül szennyezett marad.

Mint az előző fejezetekben már említettük, a bányavíz tisztítására különböző módszereket használnak. A Mecsek-Öko Zrt-nél az ioncserés eljárást és a kinyert urán urán-peroxid formájában való kinyerését alkalmazzák. Erre a folyamatra építettek ki kis méretű üzemet. Az uránkinyerésre alkalmazott elvi technológiai séma a következő főbb műveletekből áll:

A szivattyúkkal kiemelt bányavizet ioncserélő gyantával töltött oszlopokon vezetik keresztül. A szorpciós oszlopokról távozó tisztított víz urántartalma 0,2-0,5 mg/l értékre, azaz a kibocsátási határérték alá csökken. Az ioncserélő oszlopokon megkötött uránt eluálják, azaz ismét oldatba viszik, 80 g/l koncentrációjú NaCl+ 5 g/l Na₂CO₃ tartalmú eluáló oldattal.

Az urántartalmú elutumot korábban az Ércdúsító Üzem technológiai rendszerébe juttatták. Az uránbányászat megszüntetése után ez a lehetőség természetesen nem állt fenn, ezért e célra új üzemszert kellett létesíteni. Az új üzemszertben a következő technológiai műveleteket végzik:

- elutumok előkészítése az urán leválasztáshoz (savazás a karbonátó-komplexek megbontása céljából),
- urán leválasztása hidrogén-peroxiddal és a szükséges pH=3.3-3.5 érték biztosítása nátrium-hidroxid oldat adagolásával,
- az urán-peroxidot tartalmazó zagy sűrítése és mosása,
- az urán-peroxid szárítása vákuum-szárítóval.
- az urán-peroxid koncentrátum csomagolása.

A technológia részletes leírása a MECSEK-ÖKO szakembereinek több publikációjában is megtalálható. A technológiát teljes egészében a vállalat szakemberei dolgozták ki.

Az ioncserélő oszlopok és a sárgapor csomagolására szolgáló zártrendszerű csomagoló kamra látható a **252. ábra** látható, az üzemi objektum elhelyezkedését a laboratóriumokkal együtt pedig a Hiba! A hivatkozási forrás nem található. mutatja be.



252. ábra: A bányavíz tisztító szorpciós oszlopai és a koncentrátum csomagoló egység (MECSEK-ÖKO Zrt)

A bányavíz tisztítás várhatóan még a 30-as években is folytatódik, ez elsősorban az említett mélyszinti bányaterületekről várható víz szennyezettsége miatt folytatódni fog.



253. ábra: Bányavíz tisztító üzem (MECSEK-ÖKO Zrt)

30.7.2. Felszínalatti víz védelme

Az uránipari objektumok környezetében a talajvíz uránnal és szerves kémiai vegyületekkel szennyezhető el. Uránnal való szennyezés az ércfeldolgozási üzemekben és a bányameddőik környezetében jelentkezhet. Szerves kémiai szennyezés a zártkörű környezetben léphet fel, ha azok nem kellően szigeteltek. Ez az állapot alakult ki a MECSEK-ÖKO zártkörűin, amelyekről a számítások szerint mintegy 20 millió m³ (18-23 millió m³) magas sótartalmú technológiai víz szivárgott el az ivóvízbázisok utánpótlását biztosító felszíni vizekbe. Az elszivárgott víz vízkémiai paramétereit az alábbi táblázatban láthatjuk. Az elszivárgott víz miatt a felszín-közeli talajvíz oldott anyag tartalma 13 g/l, míg a mélyebb rétegvízé 4-6 g/l.

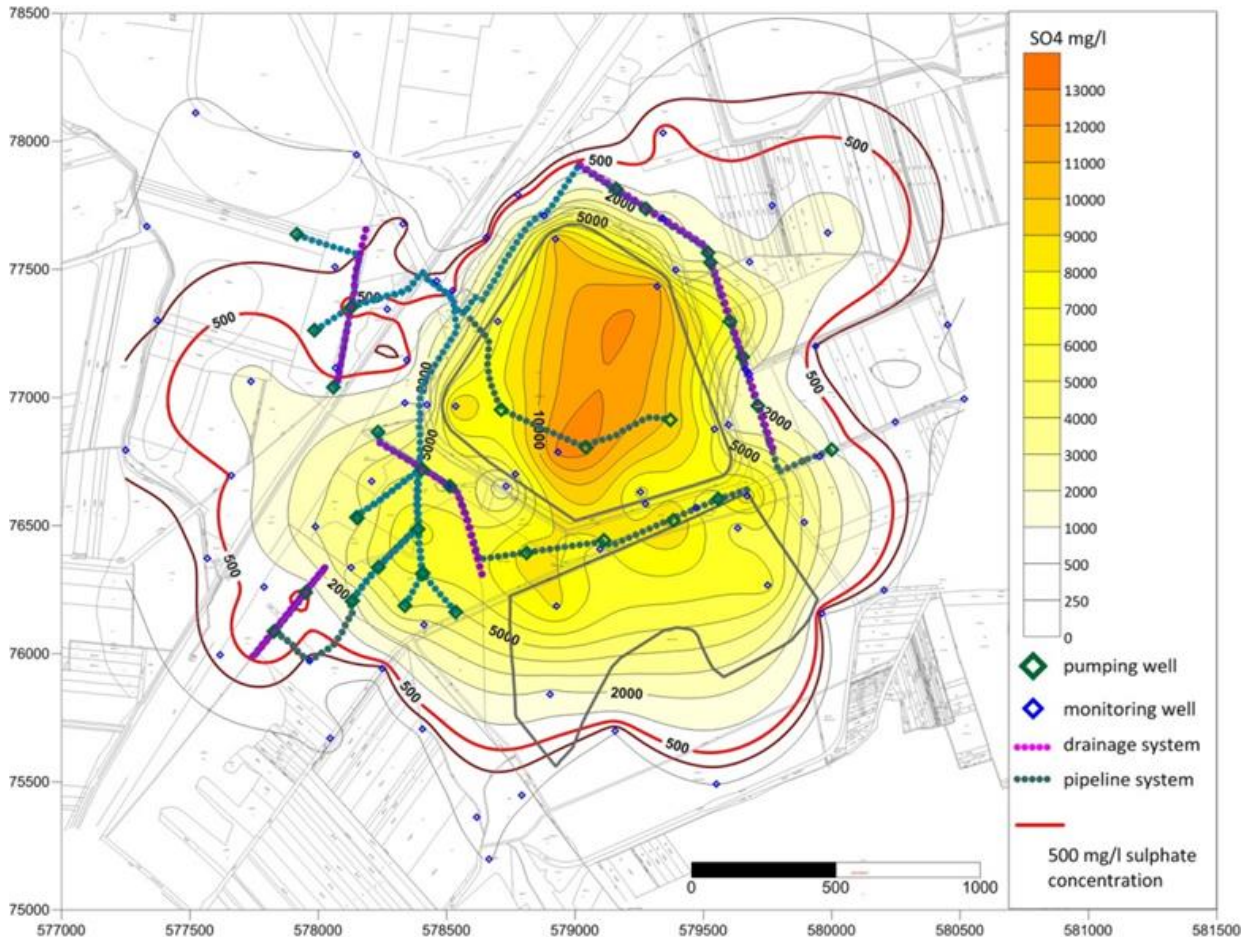
87. táblázat: A zártkörűre kijuttatott technológiai víz főbb összetevői

A víz típusa	Na	K	Ca	Mg	Mn	SO ₄	Cl	HCO ₃	TDS	U	Ra
	mg/dm ³									μg/dm ³	Bq/dm ³
Zártkörű víz (1963-97), átlag	1 100	180	550	2 800	800	12 800	2 400	-	~22 000	<100	5-20

A vízszennyezés mértékét (szulfát-tartalomra) a Hiba! A hivatkozási forrás nem található. utatjuk be. Az ábra ugyan a 2010-es adatok alapján készült, azonban nem sokkal különbözik a 2001-ben kapott adatoktól, mivel az időközben a talajból kiemelt szennyezett víz a zártkörűből,

annak pórusvizéből kapott utánpótlást. A zagytérben ugyanis még 6-8 millió m³-re tehető magas sótartalmú pórusvíz (~10 g/l) található. Legszennyezettebb a talajvíz a zagyterek alatt.

A szennyezett felszínalatti víz kitermelésére **kármentesítő rendszer** létesült, amely víztermelő kutakból (32 db) és 6-9 m mélyen elhelyezkedő drén szivárgókból áll (összhossz ~3,2 km). A kutak egy része a rétegvízre van szűrőzve, így a kisebb mértékben elszennyeződött víz kitermelése is folyik.



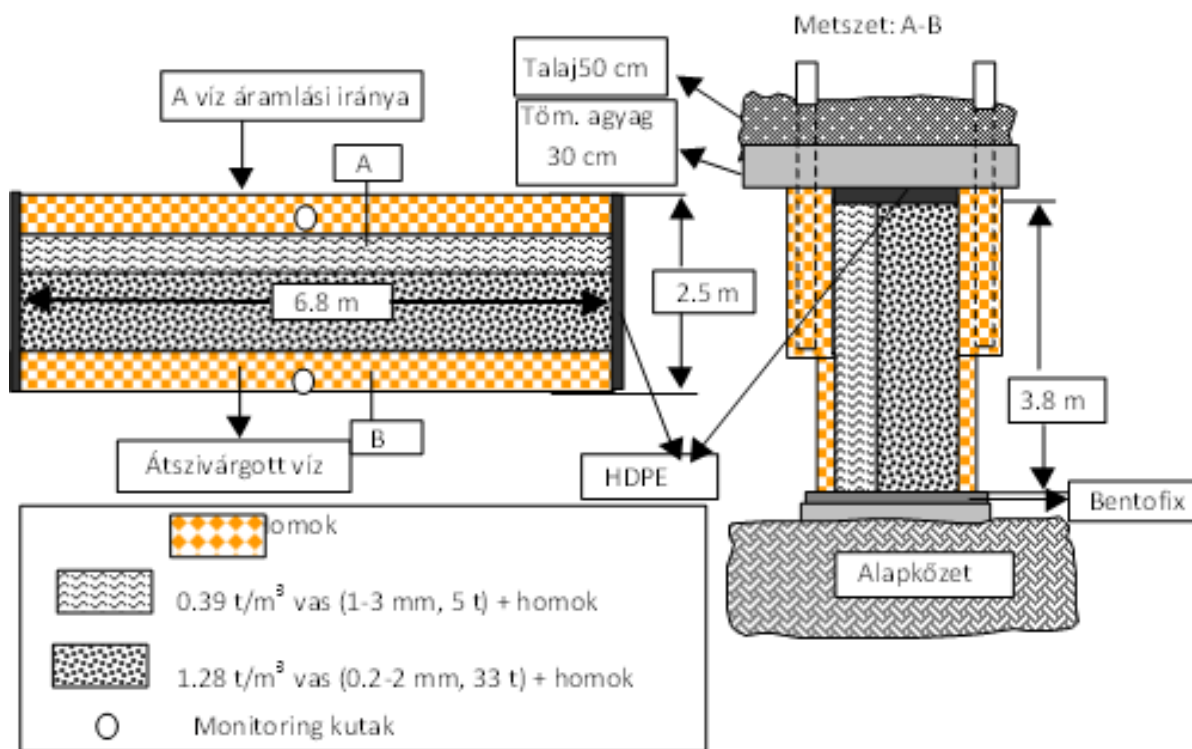
254. ábra: Szulfát koncentráció a zagyterek környezetében (MECSEK-ÖKO Zrt)

Az ábrán feltüntettük a vízkitermelő rendszert is (vízkitermelő kutakat, mély-drén rendszert). A kitermelt évi 0,5-0,8 millió m³-nyi vizet e célra létesített víztisztító üzemben kezelik. 2001-2010 közötti időszakban a kiemelt talajvíz térfogata 380 ezer m³/év a rétegvíz pedig 150 ezer m³/év volt. kémiai tisztításra csak a talajvíz került, amelynek átlagos oldott anyag tartalma 11-9 g/l, míg a rétegvíz oldott anyag tartalma 4 g/l körüli volt, ez nem került tisztításra.

A tisztítás mésztejes eljárás alapján. A kezelés során képződött magnézium-hidroxid és gipsz tartalmú csapadékot előbb kiülepítik, majd szűréssel csökkentik a térfogatát és víztartalmát. A kb. 50 % víztartalmú csapadék ezután kerül végleges elhelyezésre a III. meddőhányón kialakított hulladéktárolóban. A tisztított vizet a rétegvízzel és a tisztított bányavízzel való összekeverés után Pécsi-vízbe bocsátják ki. A kibocsátott víz **urántartalma 0,14 mg/l, rádium-226 aktivitás koncentrációja 0,18 Bq/l, oldott anyag tartalma pedig 3-4 g/l.** A víz minősége az előírt határértékeknek megfelel.

30.8. Permeábilis reaktív gát urántartalmú talajvíz in situ tisztítására

A Mecsekérc Rt-nél EU-projekt keretében kísérleti reaktív gát létesült. A gátba aktív anyagként homokkal kevert vastörmeléket helyeztek el. A gát elvi felépítését, a gát elemeit a Hiba! A ivatkozási forrás nem található. mutatjuk be.



255. ábra: Reaktív gát elvi felépítése (MECSEK-ÖKO Zrt)

30.8.1. Permeábilis reaktív gát létesítésének egyes fázisai

A gát létesítésének egyes fázisai az Hiba! A hivatkozási forrás nem található. láthatók. A gát pítése gépi és kézi munkával történt. Ipari méretben természetesen döntően gépi módszerek jöhetnek szóba. Az adott esetben viszonylag nehéz terepen, völgyben kellett a gátat létesíteni meglehetősen vízbetöréses területen. A vastörmelék homokkal való összekeverése, „hígítása” azt a célt szolgálja, hogy a működés során leváló csapadék porustömítő hatását mérsékeljék. A vízáramlás felőli oldalon alacsony vastartalmú réteg (~0,4 t Fe/m³) lett kiképezve az oldott oxigén redukciója céljából. Ezt követi a nagyobb vastartalmú réteg (~1,3 t/m³), amelyben az urán redukciója és kiválása következik be: ebben a zónában alacsony EH-érték alakul ki a fémvas redukciós tulajdonsága miatt. Mivel a víz pH-ja közben emelkedik, ezért CaCO₃ és kisebb mértékben MgCO₃ is leválik. E folyamatok révén csökken az átszivárgó víz oldott anyag tartalma is. A homokrétegek a víz egyenletesebb elosztását biztosítják.



256. ábra: Reaktív gát létesítése (MECSEKÉRC RT:)



257. ábra: Reaktív gát monitoringja (MECSEK-ÖKO Zrt).

30.8.2. Vízösszetétel változása a reaktív gátban

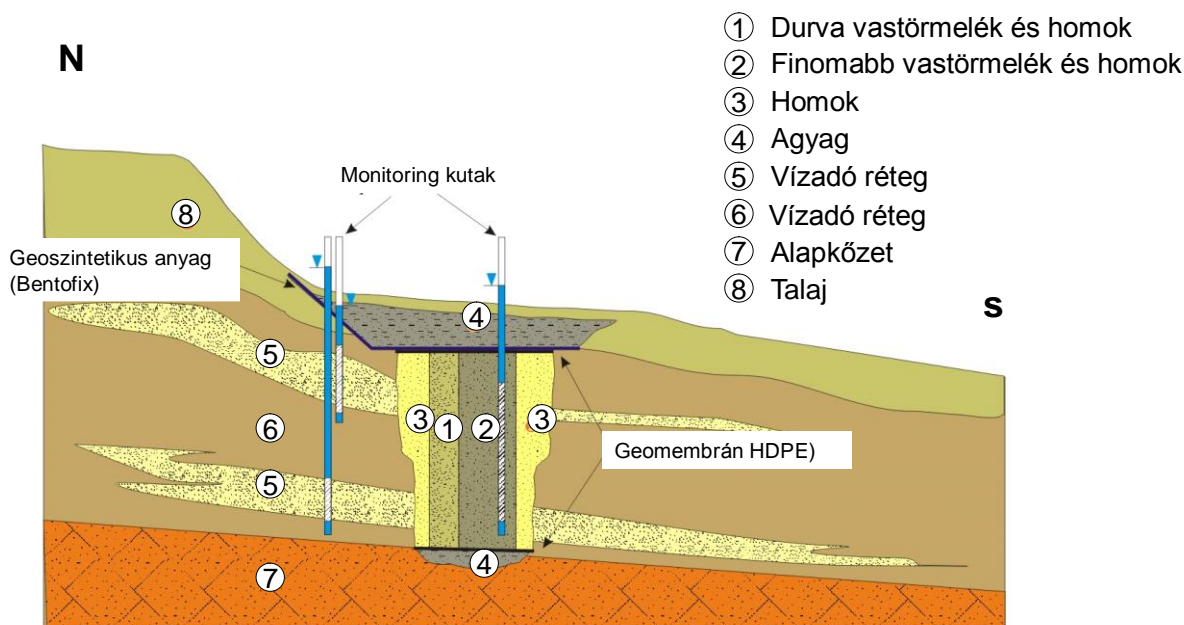
A létesített reaktív gát a monitoring kutakkal együtt az Hiba! A hivatkozási forrás nem található. átható. A gátban és környezetében kialakuló vízminőséget a monitoring kutakkal folyamatosan vizsgálják. Az adatok egy része (a gát létesítésének időszakában kapott adatok) az **88. táblázat** látható.

88. táblázat: A reaktív gátban kialakuló vízminőségre jellemző adatok

Up stream

Távolság*	pH	EH	El. vez.kép.	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁺	Bep. mar.	Fe ²⁺	U
0	7,22	206	1653	162	606	377	1249	<0,1	1020
0,25	7,64	-72	1421	120	518	386	1126	17	4
0,5	7,67	-67	1351	109	488	345	1060	19,4	2
0,75	9,88	-157	680	35	203	82	533	7,1	3
1,0	10,02	-159	623	23	179	98	460	3,9	3
1,25	10,17	-103	499	23	181	115	520	3,0	5
1,6	9,49	25	524	18	183	106	466	2,7	5
2,0	8,92	15	734	31	261	214	537	<0.1	9,8

Az eredményekből megállapítható, hogy a reaktív gáton belül jelentősen csökken a víz oldott anyag tartalma és az urántartalma (1020 µg/l-ről 9,8 µg/l-re), tehát a reaktív gát igen hatékonyan tisztítja az átáramló vizet. A reaktív gát elhelyezkedése a *Zsid-patak* völgyében és a gát elemei a **258. ábra** láthatók elvi metszet formájában. A gát lényegében a vízzáró alapkőzet és az agyagos talajréteg között helyezkedik el.



258. ábra: A reaktív gát metszete, elvi ábra (MECSEK-ÖKO Zrt)

Összességében elmondható tehát helyi tapasztalatok alapján is, hogy a reaktív gátak hatékonyan alkalmazhatók az uránnal szennyezett talajvíz *in-situ* tisztítására.

Összefoglalás.

Az egykori uránbányászat Magyarországon befejeződött. A rekultiváció az eredeti program szerint ugyancsak befejeződött. Mindazonáltal további folyamatos munkák szükségesek, amelyek a rekultivált objektumok állagának fenntartására (pl. eróziós károk helyrehozása), a szennyezett felszínalatti vizek tisztítására valamint a monitoring rendszer működtetésére irányulnak.

A Mecseki lelőhelyen jelenlegi ismeretek alapján még kb. ugyanannyi uránt rejt a föld mélye, mint amennyit kitermeltek (~20 ezer t). Ez a készlet azonban döntően 1200 m alatti mélységben helyezkedik el és így kitermelése, bár nem lehetetlen, azonban nyilvánvalóan csak nagy ráfordítással lenne megoldható. Megjegyzendő még, hogy a felszínen tárolt meddőkben, feldolgozási maradékokban mintegy 2800 t urán található (a zagyatározókban és a bányameddőkben).

30.9. Irodalomjegyzék

Az alábbiakban néhány irodalmat jelölünk meg, amelyekben a magyarországi urántermeléssel és az azt követő rekultivációval összefüggő adatok találhatóak részben magyar részben angol nyelven.

Banik, J., Csicsak, J. and Berta, Zs (2002) Experience on application of continuous drain trench during the remediation of tailings ponds in Hungary. In *Uranium in the Aquatic Environment*, (ed. Broder J. Merkel Britta Planer-Friedrich Christian Wolkersdorfer) 899-906, Springer Press, Berlin.

Benkovics, I.(1998) Remediation plan of closing of uranium mines in Mecsek

Hun. J. of Min. and Met. **134**(4) 558-559.

Csoevári, M. (1998) Material balance of ore processing

Hun. J. of Min. and Met. **134**(4) 571-574.

Csoevári, M., Csicsák, J. and Földing, G. (2002) Investigation into calcium oxide-based reactive barriers to attenuate uranium migration. In *Advanced groundwater remediation*, (ed. F.-G. Simon, T. Meggyes, and C. McDonald), 223-235, Published by Thomas Telford Limited, London.

Csicsak, J., Csoevári, M., Eberfalvy, J. and Lendvai, Zs. (2002) Mine water treatment with yellow cake by-production. In *Proc of the IAEA and OECD Uranium Production Cycle and the Environment*, Vienna, 2-6 October.

K.E. Roehl, T. Meggyes, F-G. Simon, D.I. Stuart (2005) Long-term Performance of Permeable Reactive Barriers, 2005, Elsevier, The Netherland, ISBN:0-444-51536-4

Irodalomjegyzék Dr. Várhegyi András által írt fejezetekhez (1., 3., 5)

1. A mecseki uránércbányászat megszüntetésének előzetes környezeti hatástanulmánya, Ökohydro Kft., 150 o.
2. A mecseki uránércbányászat megszüntetésének teljeskörű koncepcióterve, Kézrat, MÉV 179 o. 1996.
3. Az egészségügyi miniszter 16/2000. (VI.8.) EüM rendelete, Magyar Közlöny, 2000/55.
4. Csővári M., Lendainé Koleszár Zs., Benkovics I.: Uránipar okozta környezeti károk helyreállítása, OMIKK Környezetvédelmi Füzetek, 1994/15.
5. Csővári M., Lendvainé Koleszár Zs., Várhegyi A.: Radioaktív sugárzás, JPTE Pollack M. Főiskolai Kar, 97 o.
6. Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Closeout of Residues, IAEA Technical Report Series No. 362. Vienna, 1994.
7. Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection, IAEA Safety Standards, Safety Guide No. RS-G-1.8, Vienna, 2005.
8. Kanyár B., Béres Cs., Somlai J., Szabó S. A.: Radioökológia és környezeti sugárvédelem, Veszprémi Egyetemi Kiadó, 261 o. 2004.
9. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium: Kármentesítési Füzetek 9, Szilárd ásványbányászati alprogram, Uránbányászat 159 o. 2003.
10. Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores, IAEA Safety Standards Series, Safety Guide No. WS-G-1.2, 2002.
11. Monitoring and Surveillance of Residues from the Mining and Milling of Uranium and Thorium, IAEA Safety Report Series No.27, Vienna, 2002.
12. Occupational Radiation Protection in the Mining and Processing of raw Materials, IAEA Safety Stanards Series, Safety Guide No. RS-G-1.6, Vienna, 2004.
13. Protection Against Radon-222 at Home and at Work, ICRP 65, Annals of the ICRP, Vol.23, No.2, Vienna, 1993.
14. Release of Sites from Regulatory Control on termination of Pactices, IAEA Safety Standards, Safety Guide, No. WS-G-5.1, Vienna, 2006.
15. Remediation Process for Areas Affected by Past Activities and Accidents, IAEA Safety Standards, Safety Guide No. WS-G-3.1., Vienna, 2007.
16. Somlai J. (főszerkesztő, és még 8 szerző): Sugárvédelem (alcím: Sugárzások és sugárzás elleni védelem), HEFOP-3.3.1-P-2004-09-00151/1.0 pályázat keretében készült tananyag (csak elektronikus formában), 2008.
17. Steiner F., Várhegyi A.: Radiometria, Tankönyvkiadó, Budapest, 292 o. 1991.
18. Tanulmány a Mecseki Ércbányászati Vállalat külszíni rekultivációja sugárvédelmi követelményeinek meghatározásáról, az ezzel kapcsolatos elméleti és gyakorlati feladatokról, OSSKI, Budapest, 130 o. 1991.
19. Virágh E.: Sugárvédelem, dozimetria, BME Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest, 132 o. 1985.

További irodalmak

- i Németh, Patrícia (2008) A vállalati környezetvédelmi tevékenység szerepe a versenyképességben, a piaci sikerességben. Doktori (PhD) értekezés
- ii US National Council, Policy Division: Linking Science and Technology to Society's Environmental Goals. National Academic Press, Washington, D.C. 1996.
- iii Horváth István Tamás: Zöldkémia. *Természet Világa*, 2005/I. különszám (Kémia), **136**, 90–93
- iv Weissermel, K.; Arpe, H.-J. *Ipari szerves kémia*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (1993) 141-147
- v Mizsey P. Magyar Kémikusok Lapja 1993. XLVIII. ÉVFOLYAM. 10-11. SZÁM 411-420. oldal
- vi Smith R, Linnhoff B: The design of separators in the context of overall processes. *Chem. Eng. Res Des.* 66, 195 (1988)
- vii Mizsey P.: A global approach to the synthesis of entire chemical processes, Ph. D. Dissertation No. 9563, ETH-Zürich (1991)
- viii Fonyó Zs, Mizsey P: Hulladékcsökkentési stratégiák a vegyiparban. *MKL* 52, 457 (1997).
- ix Czermann J.: Technológiai megoldások káros hulladékok keletkezésének megakadályozására, *Magyar Kémikusok Lapja*, 47(2). 60. (1992)
- x Smith, R. - Petela, E.: Waste minimisation in the process industries, Part 2: reactors, *The Chemical Engineer*, December, 12. (1991)
- xi Smith, R. - Petela, E.: Waste minimisation in the process industries, Part 2: reactors, *The Chemical Engineer*, December, 12. (1991).
- xii Katin, R.A.: Minimize Waste at Operating Plants, *Chemical Engineering Progress*, July, 39. (1991).
- xiii Jacobs, R.A.: Design your process for waste minimization, *Chemical Engineering Progress*, June, 55. (1991).
- xiv Douglas, JM: Process synthesis for waste minimization, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 81. 238.
- xv Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie, Dechema, Frankfurt am Main, Ed. Richarz, W., Behrens, D. and Cremer, H. 1990
- xvi Cohen, Y. - Allen, D.: An integrated approach to process waste minimization research, *J. of Hazardous Materials*, 89. 237. (1992)

-
- xvii Mizsey P: Waste reduction in the chemical industry: a two level problem, *Jl of Hazard. Mater.* 37, 1 (1994)
- xviii Anastas PT, Warner JC: *Green Chemistry: Theory and Praxis*, Oxford University Press, Oxford, 1998.
- xix Barta K et al: A zöld kémia tizenkét alapelve, *MKL* 55, 173 (2000)
- xx IPPC Guidance Document on Best Available Techniques for the Basic Hydrocarbon Sector, Final Draft, November 2003
- xxi Szabó L: Nehézfém-tartalmú melléktermék kinyerése újrahasznosítható formában. *MKL* 55, 423
- xxii Fonyó Zs., Szépvölgyi J., Harangozó G. A megelőző környezetvédelmi szemlélet térnyerése a hazai vegyiparban, ISBN 963 503 292 7, 2002
- xxiii Kiwitt, E.: Verwertung des bei der Herstellung von Isocyanaten anfallenden Chlorwasserstoffs zur Rückgewinnung von Chlor, *Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie*, Dechema, Frankfurt am Main, 81. (1990)
- xxiv Molnár K. Hulladékok és másodnyersanyagok hasznosítása, 2004/12, *Műszaki Információ*, 2004
- xxv 102/1996. (VII. 12.) Korm. rendelet a veszélyes hulladékokról
- xxvi Bányászati és kohászati Lapok. **Bányászat** 2006/6. Szám
- xxvii Klug Ottó– A magyar ezüst története, *Az állami alumíniumipar 50 éve (1948-1997)* Hungalu Magyar Alumínium RT., Budapest (1999)
- xxviii Alumíniumipar, Magyar Alumíniumipari Tröszt, Budapest (1980)
- xxix Várhegyi Gy., Scholtz J., Szűcs F. - Szervetlen kémiai technológiák II. egyetemi jegyzet, Veszprém (1985)
- xxx Ipari technológiák című egyetemi jegyzet, Pannon Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológiai Tanszék, 2006
- xxxi Szabó Zsuzsanna - A vörösiszap termikus kezelése újrahasznosíthatósága céljából, Diploma dolgozat Veszprém (2006)
- xxxii Tatai Környezetvédelmi ZRT. Vörösiszap lerakására vonatkozó szakmai leírata, belső anyag (2008. január)