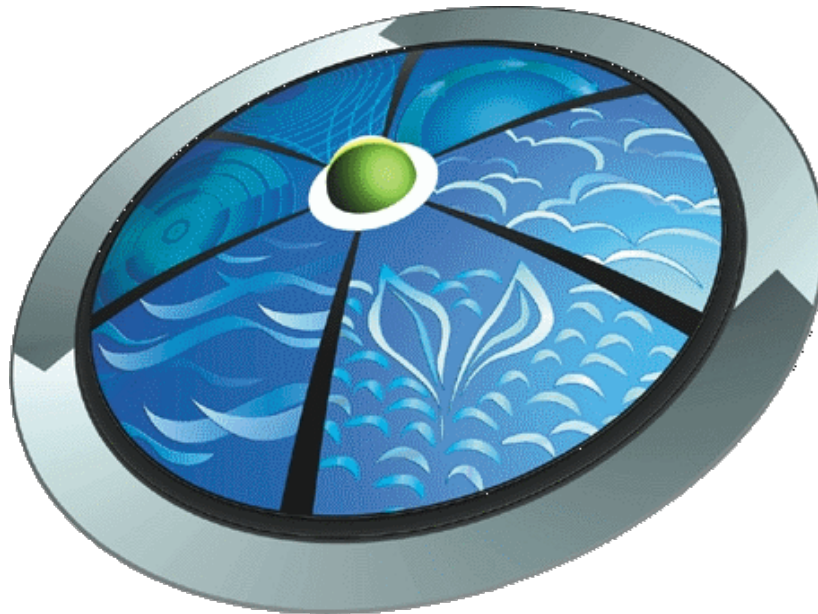




Környezetmérnöki Tudástár Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre



21. kötet

Környezetvédelmi energetika

Szerkesztő: Dr. Domokos Endre

Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet



Környezetmérnöki Tudástár
Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre

21. kötet

Környezetvédelmi energetika

Szerkesztő: Dr. Domokos Endre

Szerzők:

Benkő Zsolt István

Bulla Miklós

Domokos Endre

Horváth Róbert

Nagy Géza

Pitrik József

Tóth Péter

ISBN: 978-615-5044-46-5

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 szennyezéseik
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:

Fogalomtár.....	21
1. Menedzsment / energiamenedzsment fogalomkör értelmezése (Dr. Benkő Zsolt István).....	31
2. Energodinamika értelmezése, főtételei, leírási módok (Dr. Benkő Zsolt István).....	33
2.1.1. Az I. főtétel.....	33
2.2. A II. főtétel.....	34
2.3. A III. főtétel.....	36
2.4. A fundamentális egyenlet.....	37
2.5. Gibbs-Duhem reláció.....	38
3. Állapot, állapotjellemzés. Állapotváltozás, állapotváltoztatás (Dr. Benkő Zsolt István)	39
4. Jellegzetes állapotváltozások; leírásuk: p-V, T-S, H-S diagramokban (Dr. Benkő Zsolt István).....	41
4.1. Izotermikus állapotváltozás.....	41
4.2. Izobár állapotváltozás.....	42
4.3. Izochor állapotváltozás.....	44
4.4. Adiabatus állapotváltozás.....	47
4.5. Politropikus állapotváltozás.....	50
4.6. Fojtásos állapotváltozás.....	52
4.7. Hőmérséklet molekuláris értelmezése, ideális gáz belső energiája.....	54
5. Elméleti és valóságos körfolyamatok. Értékelési módok (Dr. Benkő Zsolt István).....	56
5.1. Elméleti Carnot-féle körfolyamat.....	56
5.2. Elméleti Brayton-Joule körfolyamat.....	61
5.3. Otto körfolyamat.....	64
5.4. Elméleti Diesel körfolyamat.....	66
5.5. Kevert körfolyamat (Sabathe körfolyamat vagy Seiliger körfolyamat).....	68
5.6. Rankine-Clausius körfolyamat.....	70
6. Magyarország energetikai helyzete, energiaellátása, az energiafelhasználás szerkezete, az energetikával kapcsolatos legfontosabb alap ismeretek. [1]; [2]; [3]; [4]; [5] (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós).....	75
6.1. Az energiaellátás, Magyarország energiaellátása[2].....	76
6.1.1. Energiafajták.....	76
6.1.2. Energia átalakítók[1].....	78
6.1.3. Primer és szekunder energiahordozók.....	80
6.1.4. Egyedi és vezetékes energiaellátás.....	81
6.1.5. Energiafogyasztók.....	81
6.2. Energiarendszerek, a magyarországi energiaellátó rendszerek [1]; [2].....	82
6.2.1. Energiaipar.....	82
6.2.2. Földgázellátó - rendszer.....	84

6.2.3.	Folyékony energiahordozók.....	87
6.2.4.	Villamosenergia-rendszer.....	88
6.2.5.	Távhőrendszer.....	89
6.3.	Az energetikai folyamatok.....	91
6.3.1.	Mennyiségi veszteségek, mennyiségi hatások.....	91
6.4.	Az energiaellátás hatékonysága [1].....	94
6.4.1.	Az energetikai hatékonyság mutatói.....	94
6.4.2.	Energetikai rugalmasság.....	97
6.4.3.	Gazdasági hatékonyság.....	98
6.5.	Magyarország energiafelhasználásának változása, energiamérlege.....	100
6.6.	Irodalom az 6. fejezethez.....	105
7.	Magyarország primer fosszilis és megújuló energiaforrás készletei, hasznosíthatóságuk (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós).....	106
7.1.	Magyarország primer (fosszilis) energiaforrás készletei, ellátottsága.....	106
7.2.	Megújuló energiaforrások elméleti és hasznosítható potenciálja, napenergia - biomassza - szélenergia - vízenergia - geotermikus energia.....	109
7.3.	Irodalom a 7. fejezethez.....	112
8.	Az EU és Magyarország energiastratégiája (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós).....	113
8.1.	Az EU energiastratégiája.....	113
8.2.	Magyarország energiastratégiája[1].....	114
8.3.	Irodalom a 8. fejezethez.....	119
9.	Fosszilis energiák-földgáz (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós).....	120
9.1.	Bányászati technológiák.....	120
9.2.	Szénbányászat.....	122
9.3.	Kőolaj- és földgázbányászat.....	124
9.4.	A földgáz jellemzői, készletei.....	125
9.4.1.	A földgáz kitermelése, előkészítése szállításra.....	126
9.4.2.	A földgáz tisztítása, előkészítése szállításra.....	126
9.4.3.	A földgáz szállítása, tárolása.....	127
9.5.	Propán-bután felhasználás (http://www.shellgas.hu).....	131
9.6.	A földgázfogyasztó rendszer környezetbiztonsága.....	132
9.7.	A földgáz felhasználás környezeti hatásai.....	133
9.8.	Irodalom a 9. fejezethez.....	133
10.	Földgáz tüzelőanyagú energiatermelés, villamosenergia-termelés (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós).....	134
10.1.	Kondenzációs gőzerőművek (hőerőművek).....	134
10.2.	Gázturbinás erőművek.....	137
10.3.	Gázégők [3] [4].....	140
10.4.	Irodalom a 10. fejezethez.....	148

11. Energiaigény; előrejelzése. Várható fogyasztás modellezése. Energiafogyasztás menedzselése: fogyasztásmérés – fogyasztó ki- és bekapcsolása. Statikus és dinamikus árazás (Dr. Benkő Zsolt István).....	149
11.1. Árképzés	150
12. Energiatermelés rendszere (Dr. Pitrik József).....	152
12.1. Energiatermelés szerkezete	152
12.1.1. Tűzifa	153
12.1.2. Szén	154
12.1.3. Kőolaj, földgáz	157
12.2. Energiatermelés harmonizálása	158
13. Energiatermelő rendszerek üzeme (Dr. Pitrik József).....	160
13.1. Hőszükségletszámítás alapjai.....	160
13.2. Egyedi fűtőkészülékek működése.....	162
13.3. Egyedi fűtőkészülékek	162
13.3.1. Kemence	162
13.3.2. Kandalló.....	163
13.3.3. Cserépkályha, kandalócserépkályha.....	165
13.3.4. Kályha	166
13.4. Központi fűtőkészülékek működése	167
13.5. Központi fűtések	167
13.6. Egyedi és központi energiatermelő rendszer üzeme	168
13.6.1. Stacioner és instacioner állapot	169
14. Centralizált és decentralizált energetikai rendszerek és együttműködésük (Dr. Pitrik József) 172	
14.1. Hővé való átalakítás módszerei.....	172
14.1.1. Természeti hő közvetlen hasznosítása	172
14.1.2. Tüzelőanyag égetése, a hő hasznosítása	175
14.1.3. Nukleáris hőfejlesztés és a hő hasznosítása	175
14.2. Mechanikai munka előállítás módszerei.....	177
14.2.1. A víz energiájának hasznosítása	177
14.2.2. A szél energiájának hasznosítása.....	178
14.2.3. Hőerőgépek	178
14.2.4. Villamos motorok	178
14.2.5. Egyéb rendszerek.....	179
14.3. Centralizált és decentralizált rendszerek	179
14.4. Az energia „végső” felhasználása	181
15. Villamos erőművek és energetikai összehasonlításuk (Dr. Pitrik József)	183
15.1. Hőerőművek	183
15.1.1. Gőzturbinás erőművek	183
15.1.2. Gázturbinás erőművek	189
15.1.3. Gázmotoros erőművek.....	190
15.2. MHD generátor	193
15.3. Tüzelőanyag cella	193

15.4. Napenergia hasznosítása	194
15.4.1. Napelemek alkalmazása	194
15.4.2. Naperőművek	196
15.4.3. Naptorony.....	198
15.4.4. Szélenergia hasznosítása	198
15.4.5. Vízenergia hasznosítása.....	200
16. Energiatudatosság. Személyes-, települési- és gazdasági érdekek (Dr. Pitrik József)	203
16.1. Energiahatékonyság	204
16.2. Energiatudatosság.....	204
16.2.1. Személyes érdekek	205
16.2.2. Települési érdekek.....	206
16.2.3. Gazdasági érdekek.....	206
17. Energia és a társadalom (Dr. Pitrik József).....	208
Szegedi Tudományegyetem, Szeged	208
17.1. Beruházások, fejlesztések	211
18. Energetikai–környezeti problémák és hatásrendszerek (Dr. Pitrik József).....	212
Szegedi Tudományegyetem, Szeged	212
18.1. Közlekedési hatásrendszer.....	212
18.2. Épületek környezeti kapcsolatai.....	214
19. Energiamenedzsment rendszerek a közlekedésben I. (Dr. Pitrik József)	222
19.1. A városi közlekedés energetikai megközelítése	222
19.1.1. A primér energetikai folyamat.....	222
19.1.2. Az üzemanyag-fogyasztás jellemző értékei	222
19.2. Globális és lokális energiafelhasználás, veszteségcsoportok.....	223
19.3. Az energiafelhasználás csökkentése települési szinten	224
19.4. A primér energetikai folyamat által generált környezeti folyamatok	226
19.4.1. Az üzemanyag-felhasználás jellemzői.....	226
19.5. Az ember szerepe a közlekedési-energetikai–környezeti problémák megoldásában	227
20. Energiamenedzsment rendszerek a közlekedésben II. (Dr. Pitrik József)	229
20.1. Aktív biztonsági rendszerek	229
20.1.1. ABS – blokolásgátló	229
20.1.2. ESP – menetstabilizáló.....	229
20.1.3. Fékasszisztens.....	229
20.1.4. Egyéb aktív rendszerek.....	230
20.2. Passzív biztonsági rendszerek	230
20.2.1. SPR – Utasvisszatartó rendszerek.....	230
20.2.2. Gyalogosok védelme	230
20.2.3. Deformációs zónák	231
20.3. Gépjárművek légszennyezési hatásai	232
20.3.1. Az Ottó motorok károsanyag tartalmának csökkentése	233
20.3.2. A Diesel motorok károsanyag tartalmának csökkentése.....	234

21. A megújuló energiaforrások felhasználása az EU-ban és Magyarországon (Dr. Nagy Géza) 236	
21.1. Megújuló energiaforrás alapú villamos-energia termelés.....	244
21.2. Megújuló energiaforrás-alapú hőenergia termelés	248
21.3. Bioüzemanyag felhasználás	252
21.4. Irodalomjegyzék az 21. fejezethez.....	253
22. A megújuló energiaforrások (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós).....	255
22.1. A biomassa energetikai hasznosítása, energiatermelés biomassából.....	258
22.1.1. A biomassa fogalma, biomassa potenciálok.....	258
22.1.1.1. A potenciális bioenergia [11]	260
22.1.1.2. Biomassa energiaforrások [2].....	261
22.1.2. A biomassa eltüzelése [2].....	264
22.1.2.1. A fontosabb biomassa féleségek tüzeléstechnikai jellemzői [2]	264
22.1.2.2. A biomassa tüzelés műszaki feltételei, technológiái [2].....	266
22.1.3. Tüzelőberendezések a biomassa eltüzelésére [2].....	269
22.1.4. A biomassa tüzelésének környezetvédelmi kérdései [2]	273
22.1.5. A biomassa tüzelőanyagú kapcsolt hő- és villamos energia termelés [6].....	279
22.1.6. A biogáz termelés, a biogáz felhasználása [4]	283
22.1.6.1. A biomassa hasznosítás potenciálja biogáz termelésre [4]	283
22.1.6.2. A biogáz keletkezése [2]	284
22.1.6.3. A biogáz-termelés technológiái [3] [2].....	288
22.1.6.4. A biogáz felhasználása	291
22.1.6.5. A biogáz termelés és a környezetvédelem [2] [3].....	293
22.1.6.6. A biogáz-gyártás gazdaságossága (Dr. Bai Attila a III. Magyar Biogáz Konferencián 2007-ben megtartott előadása alapján)	296
22.1.7. Bio-üzemanyagok [10]	301
22.2. Irodalom a fejezethez	306
22.3. A szélenergia hasznosítása.....	307
22.3.1. A szélenergia hasznosításának történeti áttekintése [24].....	307
22.3.2. A szélenergia hasznosítás helyzete a világban, Európában és Magyarországon	311
22.3.3. Magyarország szélklímája, a szél mint meteorológiai elem jellemzői [16] (Forrás: Dr. Szalay Sándor et al :Magyar Tudomány 2010/8. szám).....	317
22.3.4. Magyarország szélenergia potenciálja a technikai és gazdaságossági korlátok figyelembevételével [8] [24] (Eredeti forrás:Dr.Hunyár Mátyás et. al.MTA MEAB 2005)	319
22.3.5. A szélérőművek technológiai fejlődése, a szélérőművek típusai, szerkezeti felépítésük [21] [24]	327
22.3.6. A szélenergia hasznosítás környezetvédelmi és területfejlesztési összefüggései, követelményei [24] [25]	332
22.3.6.1. A szélenergia hasznosítás területhasználata, táj –természetvédelmi követelményei, szélérőművek tájba illesztése [24].....	333
22.3.6.2. Tájvédelmi szempontok.....	333
22.3.6.3. Természetvédelmi szempontok.....	336
22.3.6.4. Tájépszétikai szempontok	337
22.3.6.5. A szélérőművek hatása az élővilágra, a madarakra [4] [24]	338
22.3.6.6. Zajhatások, hallható és infrahang tartományban [23].....	342
22.3.6.7. Földet érő hatások	345
22.3.6.8. Vízre gyakorolt hatás	346
22.3.6.9. A szélérőművek teljes életciklusa alatt keletkező hulladékok kezelése	346
22.3.6.10. A szélérőművek anyag és energia felhasználása.....	346
22.3.6.11. Újrahasznosítható anyagtartalom.....	347
22.3.7. A szélérőművek szociális hatásai	347
22.3.8. A szélenergiából történő villamosenergia-termelés gazdaságossága	349

22.3.9.	A szélerőmű beruházás megkezdésének előfeltételei Magyarországon:.....	351
22.4.	Irodalom a fejezethez	353
23.	<i>A hulladék biomassza energetikai hasznosítása vidéki településeken (Dr. Nagy Géza)</i>	355
23.1.	A biomassza hulladékok csoportosítása:	356
23.2.	A biomassza közvetlen hő-hasznosítása	359
23.3.	A biomassza tüzelő anyagok égési tulajdonságai és meghatározásuk[27 -31].	363
23.3.1.	Nedvességtartalom meghatározása	363
23.3.2.	Hamutartalom meghatározása.....	364
23.3.3.	Illótartalom meghatározása	364
23.3.4.	Karbon- és hidrogéntartalom meghatározása.....	365
23.3.5.	Hidrogéntartalom meghatározása	365
23.3.6.	Égésmeleg és fűtőérték meghatározása.....	365
23.4.	Biogáz termelés és felhasználás	367
23.5.	Biomassza alapú távhő-ellátás a vidékfejlesztés és a fenntartható energiagazdálkodás szolgálatában	368
23.6.	A hazai biomassza potenciál optimális hasznosítása	371
23.7.	Veszélyes hulladék égetése.....	372
23.8.	Irodalom a 23. fejezethez	380
24.	<i>Geotermikus energia (Dr. Nagy Géza)</i>	382
24.1.	A geotermikus energia hazai adottságai	388
24.2.	A geotermikus hő-hasznosítás	395
24.3.	A geotermikus villamosenergia hasznosítás.....	403
24.4.	Esettanulmányok	416
24.5.	Irodalomjegyzék az 24. fejezethez.....	424
25.	<i>Napenergia (Dr. Nagy Géza)</i>	425
25.1.	A napenergia hazai adottságai	426
25.2.	Passzív napenergia hasznosítás.....	430
25.3.	Aktív napenergia hasznosítás.....	432
25.4.	Villamos-energia termelés napenergiából	444
25.5.	Esettanulmányok	448
25.6.	Irodalomjegyzék az 25. fejezethez.....	451
26.	<i>Vízenergia (Dr. Nagy Géza)</i>	452
26.1.	Vízérőművek	458
26.2.	A vízenergia hazai adottságai.....	460
26.3.	Esettanulmányok	461
26.4.	Irodalomjegyzék a 26 . fejezethez	466
27.	<i>A jövő energiaforrásai, nem hagyományos energiaátalakítások, energia tárolás (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós)</i>	467

27.1.	Hidrogén a jövő energiagazdálkodásában	467
27.2.	Tüzelőanyag elemek típusai, alkalmazási lehetőségeik	476
27.3.	Az energia tárolása[5].....	488
27.4.	Irodalom a 27. fejezethez	500
28.	<i>Az energiafelhasználás környezeti hatásai (Dr. Nagy Géza)</i>	501
28.1.	Levegőtisztaság-védelmi hatások	504
28.2.	A klímavédelem és a megújuló energia felhasználás összefüggései	509
28.3.	Egyéb energetikai környezetszennyezés.....	515
28.4.	Irodalomjegyzék az 28. fejezethez.....	526
29.	<i>Kérdéstár</i>	527

Ábrajegyzék:

1. ábra: Izotermikus állapotváltozás p-V diagramja (kék: alacsonyabb hőmérséklet, piros: magasabb hőmérséklet). A görbe neve: izoterma	41
2. ábra: Izotermikus állapotváltozás T-S diagramja (kék: alacsonyabb hőmérséklet, piros: magasabb hőmérséklet)	42
3. ábra: Izobár állapotváltozás p-V diagramja	43
4. ábra: Izobár állapotváltozás T-S diagramja	43
5. ábra: Izochor állapotváltozás p-V diagramja	44
6. ábra: Izochor állapotváltozás T-S diagramja	45
7. ábra: Adiabaticus állapotváltozás p-V diagramja (kék: izoterma, piros: adiabata)	49
8. ábra: Adiabaticus állapotváltozás T-S diagramja	50
9. ábra: Politropikus állapotváltozás p-V diagramja (kék: izoterma, piros: politropa)	51
10. ábra: Politropikus állapotváltozás T-S diagramja	51
11. ábra: A Joule-Thomson-féle kísérleti elrendezés	53
12. ábra: Segédlet a nyomás kiszámításához a molekuláris szemlélet alapján	54
13. ábra: Carnot-féle körfolyamat p-V diagramja	56
14. ábra: Carnot körfolyamatból kinyerhető hasznos munka	58
15. ábra: Carnot-féle körfolyamat T-S diagramja	59
16. ábra: Carnot-féle körfolyamat során a felvett hőmennyiség	59
17. ábra: Carnot-féle körfolyamat során a leadott hőmennyiség	60
18. ábra: Carnot-féle körfolyamat során a hasznos munka	60
19. ábra: Gázturbina elvi felépítése	61
20. ábra: Brayton-Joule körfolyamat (gázturbina) p-V diagramja	62
21. ábra: Brayton-Joule körfolyamat (gázturbina) T-S diagramja	62
22. ábra: Brayton-Joule körfolyamat (gázturbina) H-S diagramja	63
23. ábra: Elméleti Otto körfolyamat p-V diagramja	64
24. ábra: Elméleti Otto körfolyamat T-S diagramja	65
25. ábra: Valódi Otto körfolyamat p-V diagramja	66
26. ábra: Elméleti Diesel körfolyamat p-V diagramja	67
27. ábra: Elméleti Diesel körfolyamat T-S diagramja	67
28. ábra: Valódi Diesel körfolyamat p-V diagramja	68
29. ábra: Ideális kevert (Sabathe, Seiliger) körfolyamat p-V diagramja	69
30. ábra: Ideális kevert (Sabathe, Seiliger) körfolyamat T-S diagramja	69
31. ábra: Rankine körfolyamatot megvalósító gőzturbinás erőmű elvi felépítése	70
32. ábra: Rankine-Clausius körfolyamat p-V diagramja	70
33. ábra: Rankine-Clausius körfolyamat T-S diagramja	71
34. ábra: Szuperkritikus Rankine körfolyamat T-S diagramja	72
35. ábra: Újrahevítéses Rankine körfolyamat T-S diagramja	72
36. ábra: Rankine körfolyamat regeneratív tápvízlemelegítéssel	73
37. ábra: Valódi Rankine-Clausius gőzkörfolyamat T-S diagramja	74
38. ábra: Az energetika (E), a gazdaság/társadalom (G) és a természeti környezet (K) halmazai[1]	75
39. ábra: Az energiaellátás sémája[2]	77
40. ábra: Az energiaipar struktúrája [1]	82
41. ábra: Az energiaellátás mérlege [1]	83
42. ábra Magyarország földgázellátó hálózata [1]	85
43. ábra: A földgázelosztó hálózat kapcsolási sémája [1]	86
44. ábra Magyarország kőolaj és kőolajtermék hálózata [1]	87
45. ábra Villamosenergia-rendszer (VER) [1]	88

46. ábra Magyarország villamosenergia-rendszerének alaphálózata[1].....	89
47. ábra Forróvízes távhőrendszer [1].....	90
48. ábra Az energiaátalakítás mennyiségi hatásfoka [1] a) önfogyasztás nélkül, b) önfogyasztással.....	91
49. ábra Az energiaátalakítás mennyiségi hatásfoka két bevitt energia esetén [1]	92
50. ábra Az energiaátalakítás mennyiségi hatásfoka két energiatermék esetén [1]	93
51. ábra: Párhuzamosan kapcsolt energia-átalakítás mennyiségi hatásfoka [1].....	94
52. ábra: Sorba kapcsolt Energiaátalakítás mennyiségi hatásfoka [1]	94
53. ábra Kisebb (d') és nagyobb (d'') villamosenergia-igényességű (E) gazdaságfejlesztés [1]	98
54. ábra Energiaátalakítás és értéktermelés [1].....	99
55. ábra Energiaigényes (a) és nem energia igényes (b) termelés ÁKM struktúra.....	100
56. ábra: Magyarország energiafelhasználásának és a GDP- nek a változása 1980 és 2009 között (Forrás: Dr.Szerdahelyi György KHEM, ÖKOTECH Konferencia, Budapest 2010.05.06.).....	100
57. ábra: Magyarország primerenergia felhasználása 1990 és 2009 között[6]	101
58. ábra: Magyarország primerenergia importja 1990 és 2009 között [6].....	101
59. ábra Magyarország teljes energiamérlege 2008-ban[6]	102
60. ábra: Magyarország ágazonkénti energiafogyasztása 2007-2008. években[6]	103
61. ábra: Magyarország villamosenergia mérlege a 2007 és 2008. években[6].....	104
62. ábra: Magyarország hőenergia mérlege a 2007 és 2008. években[6]	104
63. ábra: Magyarország megújuló energia mérlege a 2007 és 2008. években[6]	105
64. ábra: Az elméleti potenciál fenntartható módon hasznosítható potenciálja[6]	109
65. ábra: A jelenleg gazdaságosan kihasználhatónak ítélt potenciál [4].....	110
66. ábra: Mélyművelésű bányá (Főbb részei: 1 - szállító akna; 2 - légakna; 3 - víz; 4 - légszilip; 5 - vízgyűjtő zsomp; 6 - légakna; 7 - szállító vágat) és a hasznonyag-széntelep megközelítésének módjai [1]	122
67. ábra: Kőolajtelepek elhelyezkedése és a rétegenergia-fenntartásának elvi vázlata 1– vízleválasztó, 2 – gázleválasztó, 3 – gázfeldolgozó, 4 – szivattyú, 5 – kompresszor, 6 – olajelvezetés, 7 – gázelvezetés, 8 – gázolinelvezetés, 9 – idegen víz, 1	125
68. ábra: A földgáz tisztítás elvi folyamatábrája.....	127
69. ábra: A magyarországi nagynyomású gázvezeték rendszer.....	129
70. ábra: A magyarországi föld alatti gáztárolók	129
71. ábra: Kondenzációs hőerőmű kapcsolási sémája, a Rankine-körfolyamat [1] [2].....	135
72. ábra: A reverzibilis Rankine-körfolyamat TS diagramja [1] [2].....	135
73. ábra: Kondenzációs gőzerőmű elvi sémája [1].....	136
74. ábra: Nyitott körfolyamatú, belső tüzelésű gázturbina kapcsolási sémája [1] [2].....	137
75. ábra: Zárt körfolyamatú, külső hevítésű gázturbina kapcsolási sémája [1]	138
76. ábra: A reverzibilis zárt gázturbinás erőmű TS diagramja [1]	138
77. ábra: A különböző gáz/gőzerőművek hatásfoka [1] [2]	139
78. ábra: Az égők csoportosítása a keveredés helye szerint [3].....	141
79. ábra: Előkeverés nélküli, diffúziós égő [3]	142
80. ábra: A természetes levegőellátású, részleges előkeveréses égő elve [3]	143
81. ábra: Természetes levegőellátású, teljes előkeveréses égő [3].....	144
82. ábra: Előkeverés nélküli, diffúziós gázégő elve [3]	144
83. ábra: Mesterséges levegőellátású, diffúziós gázégő felépítése, valamint a gáz- és levegő bevezetésének elve a) felépítés; b) párhuzamos áramlású égőfej; c) keresztáramlású középcsöves égőfej; d) keresztáramlású lándzsaégőfej [3].....	145
84. ábra: Teljes előkeveréses ventilátoros égő [3]	146
85. ábra: Az égéstermék vízgőz harnatpontja a légellátási tényező függvényében [3].....	146

86. ábra: Teljes előkeveréses felületi égő gömbsüveg égőfelülettel (Viessmann mátrix-égő) a) üzemi állapot; b) szerkezeti metszet [3]	147
87. ábra: Mesterséges levegőellátású égő tüzelőanyag útja a szabályozó, gyújtó- és biztonsági szerelvényekkel [3]	148
88. ábra: Tüzelési célú rönkök átmeneti tárolása (Fotó: Révész T.)	154
89. ábra: Fabrikett és pellet (Forrás: http://brikett.ewk.hu/a-rikettalasarol)	154
90. ábra: Gyöngyösvisontai külszíni fejtés Külszíni bánya / Szállítószalag; Széntér / Szénfelszedő; Bánya víztelenítő rendszere (Fotó: Pitrik J.)	157
91. ábra: A hőszükségletszámítás elvi ábrája	160
92. ábra: Szegedi panelházak külső fal felújítása és nyílászáró cseréje (2010)	161
93. ábra: Kemence működési elve (Szerkesztette: Pitrik J.)	163
94. ábra: Kemence, mint kontakt hőleadó	164
95. ábra: Elhagyott tanyák kemencéi. (Fotó: Hegedűs A.)	165
96. ábra: Kandallók. (Fotó: Pitrik J.)	165
97. ábra: Kandallócserepkályha. (Fotó: Pitrik J.)	166
98. ábra: A kályha szerkezete és működése (Szerkesztette: Pitrik J.)	166
99. ábra: Melegvíz központi fűtés elve (Szerkesztette: Pitrik J.)	167
100. ábra: Fűtött helyiség napi hőmérséklete – szakaszos fűtés (Szerkesztette: Pitrik J.)	169
101. ábra: Fűtött helyiség napi hőmérséklete – folyamatos / programozott fűtés	170
102. ábra: Központifűtés szabályozási diagram elve	171
103. ábra: Kerti aszaló berendezés	173
104. ábra: Üvegház energia ellátása és felhasználása	173
105. ábra: Síkkollektor modell mérőeszközökkel	174
106. ábra: Vákumcsöves napkollektor: Hortobágyi Nemzeti Park Látogatóközpont	174
107. ábra: Termálvíz hőhasznosításának két megoldása	175
108. ábra: Hőszivattyú működésének elve	176
109. ábra: Felülcsapott és alulcsapott vízkerék működési elve	177
110. ábra: Felülcsapott és alulcsapott vízkerék modellje	177
111. ábra: Szélmalom hajtóműve – Ópusztaszeri Nemzeti Emlékpark	178
112. ábra: Műhely transzmissziós hajtással (Szeged)	179
113. ábra: Energiafajták végső felhasználása hazánkban	181
114. ábra: Energia szektorok szerinti végső felhasználása hazánkban	181
115. ábra: Hőerőművek energiaátalakítási folyamatai	184
116. ábra: A gőzturbinás erőmű folyamatábrája	184
117. ábra: Erőművi blokk: kazán, szénőrlő malom	185
118. ábra: Szénőrlő malom kopása / Tüztér ellenőrző nyílása	185
119. ábra: Turbina és generátor szint	186
120. ábra: Szétbontott gőzturbina	186
121. ábra: Gőzturbina járókereke	186
122. ábra: Heller-Forgó hűtőtorony	187
123. ábra: Kéntelenítő berendezés	187
124. ábra: Hűtőelemek	187
125. ábra: Blokkirányító	187
126. ábra: Az erőmű blokkjainak elrendezése	188
127. ábra: A gázturbinás erőmű folyamatábrája	189
128. ábra: A gázturbina felépítése	189
129. ábra: A gázturbinás erőmű kapcsolt forróvíz termeléssel	190
130. ábra: A gázmotoros erőmű kapcsolt forróvíz termeléssel	191
131. ábra: A hódmezővásárhelyi Szennyvíztisztító gáztározója	191
132. ábra: A nyitrai Szennyvíztisztító gáztározója	191

133. ábra: Gázmotor részlet	191
134. ábra: Kombinált gázkazán	191
135. ábra: Gázmotoros fűtőerőmű egy blokkjának főbb egységei	192
136. ábra: Gázmotoros fűtőerőmű három blokkjának elrendezése	192
137. ábra: MHD generátor elvi elrendezése	193
138. ábra: Hidrogén tüzelőanyag cella működési elve	193
139. ábra: Tüzelőanyag cellás modellek (Modellre szerelt napelemmel; Modellhez kapcsolható napelemmel; Hidrogén-oxigén kutató működtető napelemmel; A napelemek a vízbontás energiáját fedezik.)	194
140. ábra: Egyszerű napelem alkalmazások	195
141. ábra: Napelem telep (Portugália)	196
142. ábra: A Napenergia hagyományos és modern felhasználási módjai között analógia van	197
143. ábra: Naptorony	197
144. ábra: Parabola teknős naperőmű hőgyűjtő rendszere	197
145. ábra: Parabola tükrös napkőnyha	198
146. ábra: Napkémény modellje és működési elve	198
147. ábra: Függőleges és vízszintes tengelyű szélkerekek	199
148. ábra: „Kapcsolt” energiátalakító rendszerek	200
149. ábra: A kiskörei vízerőmű modellje, billenő szegmensei	201
150. ábra: Mini vízerőmű a Nyitra folyón, partfal karbantartása	202
151. ábra: A turbina elhelyezése, a vezetőkerék szabályozó rendszere	202
152. ábra: Háztartás és a Gazdálkodó, mint technikai rendszer	205
153. ábra: Hagyományos és korszerű izzók vizsgálata	207
154. ábra: A világ energiaszerkezete Forrás: Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, 2001. pp.34–35.	209
155. ábra: Magyarország energiaszerkezete Forrás: Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, 2001. pp.36–37.	209
156. ábra: Üzemanyagok nagykereskedelmi és termelési költségeinek skálája Forrás: Suzanne C. Hunt–Janet L. Sawin–Peter Stair: Megújuló energiaforrások fejlesztése. In: A világ helyzete, 2006. Föld Napja Alapítvány, 2006. pp. 98–99.	210
157. ábra: Belvárosi ház belső terének élhető kialakítása energiatakarékos is	215
158. ábra: Szoláris építészeti elemeket felvonultató, jól tájolt lakóház	216
159. ábra: Ökocentrikus házak	216
160. ábra: Modern, klímatudatos építészet? Milánó	217
161. ábra: Korszerű lakás épületgépészeti részlete	217
162. ábra: Uszodai épületgépészet részlet	218
163. ábra: Uszómedence hőszigetelő zsaluval	218
164. ábra: VITOCROSSAL 300 gázkazán	219
165. ábra: Gázkazán szerelés alatt	219
166. ábra: Rehau falfűtési rendszer laboratóriumban	220
167. ábra: Vitocal 300 hőszivattyú rendszer	220
168. ábra: Teraszajtó alsó és felső sarkának belső termikus képe	221
169. ábra: Kandalló cserépkályha felfűtés alatt	221
170. ábra: Keramialapos tűzhely használat közben	221
171. ábra: Teraszajtó előtti függöny hatása	221
172. ábra: Konyhai elszívó hatása	221
173. ábra: Gépjármű üzemanyag-fogyasztása a sebesség függvényében [Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: SCHUCHMANN G.–KISGYÖRGY L. 2004. p. 82.]	223
174. ábra: Az energiafelhasználás és az energiamegtakarítás összefüggései	225

175. ábra: Elégetlen üzemanyag mennyisége[Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: *Rédey Á.– Módi M. 2002. pp. 28–29.; **Schuchmann G.–Kisgyörgy L. 2004. p. 82.]	227
176. ábra: A légszák működése az idő függvényében.....	231
177. ábra: A légszákok elhelyezkedése	231
178. ábra: A jármű kompatibilitás főbb zónái.....	232
179. ábra: A gyűrődő zóna viselkedése ütközés esetén	232
180. ábra: Kipufogógáz főbb szennyezőinek változása I.....	234
181. ábra: Kipufogógáz főbb szennyezőinek változása II.....	234
182. ábra: Hagyományos Diesel motor égéstere.....	235
183. ábra: A világ összenergia fogyasztásának növekedése [1.2].....	237
184. ábra: A világ primerenergia-igényének változása (1 millió tonna olaj=41,868 PJ) [1.3]	239
185. ábra: Az összenergia felhasználás összetételének változása az EU25	240
186. ábra: Az EU megújuló energia stratégiája [1.11]	241
187. ábra: Az összenergiafelhasználás összetételének változása	242
188. ábra: A megújuló energia részarány az EU-ban és Magyarországon [1.1].....	243
189. ábra: Magyarország megújuló energiatermelés megoszlása 2006-ban [1.1]	243
190. ábra: Az EU tagországok megújuló energia alapú villamosenergia részarány vállalása 2010-re [1.1].....	246
191. ábra: A megújuló alapú villamosenergia-termelés összetételének alakulása az EU25-ben [1.1]	246
192. ábra: A hazai megújuló energia alapú villamosenergia részarány alakulása [1.1].....	247
193. ábra: Hazai megújuló alapú villamosenergia-termelés alakulása [1.1].....	248
194. ábra: Az EU-15 hőtermelésre fordított megújuló energiaforrások megoszlása 2001-ben [1.1]	249
195. ábra: A hazai hőpiac tüzelőanyag szerkezete 2005-ben [1.1]	250
196. ábra: Hőtermelésre fordított megújuló energiaforrások hazai megoszlása [1.1].....	251
197. ábra: A megújuló (regeneratív) energiaforrások áttekintése [2]	255
198. ábra: A megújuló energiák felhasználásának legfontosabb indokai [2].....	257
199. ábra: Megújuló energiaforrások részarányának várható növekedése 2020-ig (forrás: Tóth T. Magyar Energia Hivatal 2009. Nemzeti Cselekvési Tervben átdolgozás alatt!).....	258
200. ábra: Az energiatermelés lehetőségei biomasszából [2].....	259
201. ábra: NYME kisparcellás kísérletek (Forrás: Dr.Marosvölgyi)	263
202. ábra: A fűtőérték változása a víztartalom függvényében	265
203. ábra: Biomassza tüzelő berendezések [2].....	271
204. ábra: Biomassza közvetlen eltüzelésére szolgáló berendezések elvi vázlata.....	271
205. ábra: Alsóátégetésű bálátüzelő kazán.....	272
206. ábra: A biohulladékok hasznosításának integrált gazdasági körfolyamata.....	283
207. ábra: A biogáz képződés szakaszai és fázisai [3]	286
208. ábra: Kétfázisú (elő és fő fermentorral rendelkező) folyékony erjesztési technológia fóliás gáztárolással a tetőtérben (forrás: Dr. Kacz K. NYME)	289
209. ábra: Két fokozatú berendezés szilárd hulladék anaerob fermentálásához [2]	291
210. ábra: A biogáz felhasználási lehetőségei[2]	292
211. ábra: Biogáz üzem blokkfűtőerőművel[1] [2].....	292
212. ábra: Hő-előállítás: a biogáz önköltsége[3].....	297
213. ábra: A kapcsolt energiatermelés önköltsége[3]	298
214. ábra: Biometán előállítás önköltsége[3].....	298
215. ábra: Biogáz előállításra fejlesztett komplex energiaellátó rendszer	299
216. ábra: Bioüzemanyagok és eredetük (Dr. Anisits 2001).....	301
217. ábra: Bioüzemanyag igények és kapacitások a régióban [10] (Forrás: Dr. Hancsók J.)306	

218. ábra: Perzsa szélmalom (Forrás: http://www.chemonet.hu/hun/index.html)	307
219. ábra: Gabonaőrő szélmalomok (Forrás: http://www.chemonet.hu/hun/index.html).....	308
220. ábra: Vízet szivattyúzó szélerőmű (Forrás: http://www.akg.hu/~csapogi/essze.htm) ...	308
221. ábra: Darrieus szélerőmű (Forrás: http://www.akg.hu/~csapogi/essze.htm)	309
222. ábra: Szélerőmű park (Forrás: http://www.mszet.hu)	310
223. ábra: Szélerőmű park Klettwitz (Forrás: http://www.mszet.hu)	310
224. ábra: Szélerőmű kapacitások a világban és Európában.....	312
225. ábra: Évente telepített szélerőmű kapacitások Európában	313
226. ábra: Magyarország széltérképe h=75 méteres magasságban [12] [32] (Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat)	314
227. ábra: Telepített szélerőmű kapacitás Magyarországon (Forrás: MSZET)	315
228. ábra: Kumulált telepített szélerőmű kapacitás [MW], évente beruházott szélerőművek kapacitása [MW], évente szélerőművek által termelt villamos energia mennyisége GWh-ban Magyarországon 2009. december 31.-ig	315
229. ábra: 75 méteres magasságra számított szélsébség éves átlaga (m/s) az OMSZ adatai alapján (1997-2002) (www.met.hu)	319
230. ábra: A szél energiája [8]	319
231. ábra: A C_p teljesítménytényező változása a λ gyorsjárési tényező függvényében állandó lapátszög esetén [8]	322
232. ábra: A szélerőmű leadott teljesítménye a szokásos szabályozási tartományokban. [8] 323	
233. ábra: A Weibull eloszlás k alaktényezőjének változása a magasság függvényében (JUSTUS és WIERINGA szerint).....	324
234. ábra: A K_p kapacitás tényező és a levegőben meglévő éves átlagos teljesítmény hasznosítására jellemző η_{elm} változása v_n/c -től függően. [8]	325
235. ábra: A szélerőművek teljesítményének fejlődése	329
236. ábra: Hajtóművel szerelt szélerőmű [21].....	330
237. ábra: Hajtómű nélküli szélerőmű sokpólusú szinkron generátorral [21]	330
238. ábra: „Offshore” szélerőmű turbina lapátja (Forrás: EWEA)	331
239. ábra: Napelem és kis teljesítményű szélerőmű villamos energia ellátó rendszerektől távolabb eső területek villamos energia ellátására [13] [24].....	332
240. ábra: Természetvédelmi szempontból jelentős területek áttekintő térképe.....	334
241. ábra: Szélerőművek és a 400kV-os távvezeték látványa [24] [25]	338
242. ábra: A szélerőművek és az őzek [24] (Forrás: Tóth et al, 2006)	339
243. ábra: Szélerőmű egy dániai farmon (Dr. Tóth P. 2001. Aarhus mellett)	339
244. ábra: A szélerőművek és a madarak [24] (Forrás: Tóth et al, 2006)	342
245. ábra: A szélerőművek zajhatása a hallható hang tartományban [24] (Forrás: (http://www.sze.hu/kornyezet/KTT7/Toth.ppt)	343
246. ábra: Az árnyékvetés geometriája egy dombon álló szélturbina esetében (Mértékegysége: láb, forrás: Bolton, 2007)	344
247. ábra: Egyetemi hallgatók Zurndorfban [24].....	349
248. ábra: A szélsébség növekedés hatása a fajlagos energiatermelés költségére [21]	350
249. ábra: A szélerőmű toronymagasság növelésének hatása a fajlagos energiatermelés költségére [21].....	350
250. ábra: Kisebbszélsébségek esetén a fajlagos energiatermelés költsége a torony magasságának növelésével mérsékelhető. [21]	351
251. ábra: A 2013-ra prognosztizálható hulladékkezelési folyamatára [18].....	357
252. ábra: MBH technológia [21]	358
253. ábra: A vegyesen begyűjtött települési hulladék szabvány szerint mért átlagos összetétele (Forrás: KvVM, 2007).....	359
254. ábra: A biomassza energetikai célú hasznosítása [26]	361

255. ábra: Biobrikett formák	362
256. ábra: Biopellet [1].....	362
257. ábra: A hulladékégetés technológiai blokkvázlata	373
258. ábra: Forgó csökemencés égető rendszer vázlata.....	374
259. ábra: A fludizációs kemence vázlata	374
260. ábra:A győri hulladékégető technológiai folyamatábrája [40].....	375
261. ábra: Hulladéktároló markoló [40].....	377
262. ábra: A földhő elvi hasznosítása [4.1].....	382
263. ábra: A Föld belső övei és azok főbb fizikai tulajdonságai [4.4].....	384
264. ábra: A Föld litoszférájának mozgási mechanizmusa a táguló és ütköző lemezszegevényeken [4.4]	384
265. ábra: A Föld litoszféra lemezeinek határai, mozgásirányai és sebessége [4.4].....	385
266. ábra: A Kárpát-medence és környezetének hőáramterképe [4.12]	389
267. ábra: Geotermikus gradiens a pannóniai képződmények fekéjéig [4.13]	390
268. ábra: Jellemző átlagos hőmérséklet-mélység diagram néhány Magyarországi tájegységen, pirossal kiemelve a Tiszántúltra vonatkozó összefüggés [4.14].....	391
269. ábra: A 200 °C-os izotermafelület mélysége és konszolidáltsága [4.12].....	392
270. ábra: Kőzetvázban, porusvízben és együttesen tárolt hőmennyiségek modellezett értékei [4.15]	394
271. ábra: A felső-pannóniai-negyedidőszaki üledékekben tárolt energia GJ/m ² -ben kifejezett fajlagos mennyisége [4.14]	394
272. ábra: Felső-pannóniai porózus hévíztározók kitermelhető, kifolyó vizének legvalószínűbb hőmérsékleti értékei [4.17].....	395
273. ábra: Közvetlen nyitott rendszer, sorba kapcsolt különböző hőmérsékletű fűtési rendszerrel [4.2]	398
274. ábra: Közvetett nyitott rendszer	398
275. ábra: Használati melegvíz előállítására és épület fűtésére szolgáló közvetett zárt rendszer	398
276. ábra: Közvetett nyitott rendszer, kis hőmérsékletű termásvíz esetén. [4.2]	399
277. ábra: Közvetlen nyitott rendszer.....	399
278. ábra: A hőszivattyú működési sémája. [4.2]	400
279. ábra: Ideális Carnot körfolyamat [4.2]	401
280. ábra: A szárazgőz erőmű blokksémája [4.2]	404
281. ábra: Egyszeres kigőzölögtető erőmű blokksémája [4.2]	405
282. ábra: Segédközeges erőmű blokksémája [4.2]	406
283. ábra: Kis hőmérsékletű termásvíz reverzibilis energiaátalakításának változatai [4.20]:	407
284. ábra: Termásvíz hasznosítása egynyomású közvetlen kigőzölögtetéssel [4.20]	410
285. ábra: Termásvíz hasznosítása egynyomású közvetett gőztermeléssel [4.20]	411
286. ábra: Termásvíz hasznosítása kétnyomású közvetett gőztermeléssel [4.20]	411
287. ábra: ORC körfolyamat [4.20]	412
288. ábra: Kapcsolt energiatermelő ORC körfolyamat és T-s diagramja [4.20].....	413
289. ábra: Kalina körfolyamat [4.2]	413
290. ábra: Kalina körfolyamat felépítése kapcsolt energiatermelés esetén [4.20]	414
291. ábra: Az ORC és Kalina körfolyamat hőközlési hőmérséklete [4.20]	415
292. ábra: Geotermikus távfűtés típusok [4.22]	418
293. ábra: Kalina körfolyamat üzemi paraméterekkel (Izland, Husavik) [4.2].....	419
294. ábra: Geotermikus erőmű felépítése [4.21]	421
295. ábra: A kisteleken megépült termásvízes rendszer kapcsolási rajza [4.2].....	423
296. ábra: A Napsugárzás energiamérlege [5.1]	425
297. ábra: A naponta érkező energiamennyiség [5.1].....	426

298. ábra: A globális sugárzás átlagos évi összege Magyarországon [5.2]	427
299. ábra: Napsütéses órák száma Magyarországon [5.2]	428
300. ábra: A napfénytartam évi átlagos összegének (óra) eloszlása Európában [5.2]	429
301. ábra: A globális sugárzás évi átlagos eloszlása (MJ m ⁻²) Európában [5.2].....	429
302. ábra: Napház tömegfallal [5.4].....	430
303. ábra: Napház előtét üvegházzal [5.4]	431
304. ábra: Napkollektor részei [5.5].....	433
305. ábra: Napkollektoros hasznosító rendszerek [5.5]	433
306. ábra: A napkollektorok havi sugárzásnyeresége a dőlésszög függvényében. [5.5]	434
307. ábra: Síkkollektorok felépítése [5.6]	435
308. ábra: Vákuumos síkkollektor [5.6].....	435
309. ábra: Vákuumcső szerkezeti elemei [5.7]	436
310. ábra: Vákuumcsöves kollektor szerkezete [5.7].....	437
311. ábra: Kristályos szilícium napelem keresztmetszete[5.2]	437
312. ábra: A napelem által generált teljesítmény a működési pont függvényeként [5.2]	438
313. ábra: A kitöltési tényező definíciója [5.2].....	439
314. ábra: A napelemek gyártásában használatos anyagok [5.2].....	440
315. ábra: Háromrétegű amorf szilícium napelem [5.2]	441
316. ábra: Közvetlenül hálózatra van kapcsolt napelem [5.2]	442
317. ábra: Általános alkalmazási mód [5.2].....	443
318. ábra: Sziget üzemű napelem [5.2].....	444
319. ábra: Naphőerőmű naptükörrel [5.6].....	445
320. ábra: A naphőerőmű elvi sémája. [5.6]	445
321. ábra: Torony típusú naphőerőmű [5.8].....	446
322. ábra: Parabolateknős hőerőmű tükörrendszere [5.6].....	447
323. ábra: Napkémény felépítése [5.6].....	447
324. ábra: Napkollektorok havazás és ónos eső után [5.7]	448
325. ábra: A beépített gépészeti berendezések és vezérlés [5.7].....	448
326. ábra: Az élményfürdő [5.7]	449
327. ábra: A tetőn elhelyezett kollektorok [5.7].....	450
328. ábra: A PS10 naphőerőmű [5.9].....	450
329. ábra: A világ hasznosítható vízenergia-potenciálja [6.1].....	452
330. ábra: Víz turbina energiaátalakításának elve	455
331. ábra: Turbina járókerék típusok [6.4].....	457
332. ábra: A vízturbinák alkalmazhatósága [6.4].....	458
333. ábra: A vízerőmű vázlata [6.4]	459
334. ábra: A Tisza esése Magyarországon [6.6]	461
335. ábra: A Tisza menti Vízerőmű termelése [6.7]	462
336. ábra: A Kiskörei Vízerőmű termelése [6.6]	463
337. ábra: A Bósi Vízerőmű termelése [6.8].....	465
338. ábra: A Bósi Vízerőmű látképe [6.8]	465
339. ábra: A jövőbeni primer és szekunder energiahordozók [1]	468
340. ábra: A hidrogén előállításának jelene és jövője [1]	470
341. ábra: A jövőbeni hidrogén energetika [1]	471
342. ábra: Szélerőmű park és hidrogén tároló rendszer elvi vázlata [1]	472
343. ábra: Hidrogén előállítással, tárolással, tüzelőanyag-elemekkel kiegészített szélerőműves villamos energiatermelés irányítása [1].....	472
344. ábra: Szélerőműves villamos energia termelés, vízelektrolízis kapcsolása [8].....	473
345. ábra: Szélerőműves villamos energia termelés, vízelektrolízis kapcsolása [8].....	473
346. ábra: Szélerőműves és tüzelőanyag cellás villamos energia termelés kapcsolása[8]....	474

347. ábra: Tüzelőanyag - elem működési elve [10]	475
348. ábra: Tüzelőanyag elem felhasználása erőműben[11]	477
349. ábra: Tüzelőanyag elem felhasználása a hajózásban[11].....	477
350. ábra: Tüzelőanyag felhasználása a tengeralattjárókban[11].....	478
351. ábra: PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell).....	479
352. ábra: AFC (Alkaline Fuel Cell).....	481
353. ábra: SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)	483
354. ábra: MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	485
355. ábra: Villamos energia tárolására kifejlesztett technológiák [5].....	490
356. ábra: A beruházott energia tároló rendszerek fejlődése [5].....	491
357. ábra: Szivattyús tárolós vízerőmű működési elve [5]	492
358. ábra: 120 MW teljesítményű szivattyús tározó vízerőmű Carinthiában [5].....	492
359. ábra: VRB folyadék akkumulátor elvi működése [5].....	493
360. ábra: Hidrogénes, VRB tárolós elosztott villamos energia ellátó rendszer [5]	495
361. ábra: VRB tároló Írországban szélerőmű park kiszabályozására [5]	495
362. ábra: A PM10 szennyezés miatti elhalálozások száma 2005-ben (1 millió lakosra vetítve) [7.3]	507

Fogalomtár

A szél fogalma	A nyomáskülönbségből származó nyomási gradiens erő, a forgórendszerekre jellemző Coriolis erő, illetve a felszín közelében kialakuló súrlódási erő eredőjeként jön létre relatív elmozdulás a légkörben a felszínhez képest, amelyet szélnek nevezünk. A levegő bármilyen irányába elmozdulhat az őt létrehozó erők eredőjeként, azonban hagyományosan szélnek csak a felszínnel párhuzamos, vízszintes összetevőt tekintjük, mivel különösen a talaj közelében a függőleges irányú elmozdulás nagyságrendekkel kisebb. A szél nagysággal és iránnyal rendelkező vektormennyiséget, tehát két, vagy háromdimenziójú szélvektor segítségével írhatjuk le egzakt matematikai formában. A szélesség mértékegysége m/s. A szél irányát az az égtáj határozza meg, ahonnan adott időpillanatban fúj és 1° pontossággal mérjük.
Abszorber	Az abszorber a napkollektor legfontosabb eleme, amely a napkollektor szolár üvegén keresztül beérkező nagy frekvenciájú, rövid hullámhosszúságú napsugárzást hővé alakítja és az abszorber csővezetékében keringetett hőátadó anyagot felmelegíti.
Biodízel	A biodízel növényi olajokból vagy zsírokból rövid lánchosszúságú mono alkohollal (metanollal vagy etanollal) átészterezéssel (transzeszterifikációval) előállított észter alapú bioüzemanyag dízelmotorok számára.
Bioetanol	Olyan, nagyrészt etil-alkoholból (etanolból) álló üzemanyag, melyet biológiailag megújuló energiaforrások (növények) felhasználásával nyernek.
Biogáz	Szerves anyagok anaerob bomlásakor, illetve a biomassza zárt térben való elgázosításakor / erjesztés, rothasztás / baktériumok közreműködésével fejlődő gáz. Összetétele kb. 30 % szén-dioxid, 70 % metán.
Biomassza	A szárazföldön és vízben található élő- és nemrég elhalt szervezetek / növények, állatok, mikroorganizmusok / testtömege; a biotechnológiai iparok termékei és a különböző transzformációk / ember, állat, feldolgozóipar stb. / összes biológiai terméke, hulladéka és mellékterméke / az ember testtömegét nem szokás a biomassza fogalmába vonni /
Dendromassza	Fatömeg
Disco effektus	A szélerőmű lapátjairól visszaverődő fény és a forgó lapátok által keltett mozgó árnyék. Ma már a gyártók a szélerőművek lapátjait a fényvisszaverődés érdekében tükröződésmentes bevonattal látják el.
Energetika	Az energetika a gépészeti tudományoknak azon ága, amely az energiaigények ellátásának globális és lokális kérdéseivel foglalkozik, figyelembe véve azok társadalmi, stratégiai, ellátás-biztonsági, környezetvédelmi, fenntarthatósági hatását, gazdasági hatásait, gazdaságosságát, illetve a rendelkezésre álló műszaki megoldásokat.
Energia rendszerek	Az energiaellátás országos feladataira a nemzetgazdaság fontos ágazataként az energiaipar alakult ki. Az energiaipar részeként különböző energiarendszerek működnek (földgázellátó rendszer, villamosenergia rendszer, távhő rendszer, kőolajellátó rendszer).

Energiaátalakítási folyamatok	Az energiaforrásból a primer energiahordozók egy része közvetlenül a fogyasztóhoz jut, másik része a központi energiaátalakításokba kerül (erőmű, fűtőmű, kőolaj-finomító), amelyek ebből megfelelő szekunder energiahordozót állítanak elő.
Energiaellátás	Az energiaellátási folyamat kiindulását a primer fosszilis és megújuló energiaforrások jelentik, melyekből energiaátalakítással szekunder (másodlagos, végső) energiahordozót állítunk elő. A folyamat az energiafogyasztóknál a végenergia-felhasználással fejeződik be, amikor a fogyasztók a végenergiából hasznos energiát állítanak elő (pl. világítás, fénny, hűtés-fűtés, mozgási energia).
Energiagazdálkodás	Azoknak a tevékenységeknek az összessége, amelyeknek célja a rendelkezésre álló energia gazdaságos hasznosítása. Az energiazdálkodás során gondoskodni kell az elsődleges energiahordozók (szén, kőolaj, földgáz) és másodlagos energiahordozók (villamos energia, gőz, stb.) tervszerű elosztásáról, felhasználásáról, ennek ellenőrzéséről.
Energiahatékonyság	Meghatározott energiafelhasználás mellett a gazdaság mekkora termelési értéket valósít meg. A nemzetgazdaság energia-igényessége: energiaigényesség $= \frac{\text{primerenergia felhasználás (toe vagy } \frac{\text{MJ}}{\text{év}})}{\text{GDP (Gross Domestic Product (Ft vagy } \frac{\text{USD}}{\text{év}}))}$
Externália	A nemzetközi statisztikák gyakran az egy főre eső primerenergia-, villamosenergia-felhasználást adják meg. Externáliának (külső gazdasági hatásnak) nevezzük azokat az energiatermeléshez vagy fogyasztáshoz köthető hatásokat (hasznokat vagy költségeket), melyek olyan valakiket érnek, akik ehhez nem járultak hozzá teljes mértékben. Externális költségeknek vagy más néven járulékos költségeknek azokat a költségeket nevezik a villamosenergia-ellátás vonatkozásában, amelyek az emberek egészségkárosodásával, a természetben, a gazdasági tevékenység természeti feltételeinek romlásában, a társadalom anyagi javaiban, életkörülményeiben, szociális viszonyaiban jelentkező károkkal, többletráfordításokkal, többletköltségekkel összefüggésbe hozhatók, s amelyek a villamosenergia-termelés, ellátás technológiájának következtében keletkeztek.
Fagáz	A fa elgázosításából származó ill. a fatüzelés során keletkező gáz halmazállapotú tüzelőanyag

Fajlagos CO₂
kibocsátás a teljes
élelciklusra

A fenntarthatósági elemzésekben a hagyományos élettartam-, megtérülés-, hatásfok számítások mellett egyre inkább helyet kap a környezet- és energiatudatos élelciklus elemzés alapú megközelítés. Ez azt jelenti, hogy nem bocsát ki káros anyagot, ingyen termeli az energiát, de ehhez, a szélérőmű gyártásához sok energiát kellett korábban befektetni, ami jelentős károsanyag-kibocsátással (ÜHG gáz) járhat. A berendezések előállításába, legyártásába, szállításába 20 éven keresztül üzemeltetésébe, majdani lebontásába, a hulladékok ártalmatlanításába fektetett energiát „szürke energiának” (láthatatlan vagy Grauenergie-nek) nevezik.

Ehhez határozható meg a teljes élelciklusra vonatkozó egyenértékű CO₂ kibocsátás [kg/kWh]. Ennek alapján ítéltethető meg az energiaátalakítási technológiák.

Fenntartható
energiagazdálkodás

A fenntartható fejlődés részeként fogalmazható meg: a jelen igényeinek olyan módon történő kielégítése, amely nem fosztja meg jövőnk generációit szükségleteinek kielégítési lehetőségeitől.

Fitomassza
Földi hőáram

Növényi eredetű biomassza.

A geotermikus gradiens értékétől függően változik a felszín felé áramló, a felület egységére eső hő

$$g_F = \frac{\dot{Q}_F}{A} \quad [\text{kW}/\text{m}^2]$$

Ezt nevezik geotermikus hőáram-sűrűségnek. (Értéke földi átlagban 50 kW/km²; Magyarországon 90 kW/km²)

Geotermikus energia
komplex hasznosítása

A termásvíz (geotermikus energia) komplex hasznosítása alatt általában azt értik, amikor a felszínre hozott víznek mind az energiatartalmát, mind magát a vizet lehető legnagyobb vertikumban használják fel, azaz energetikailag is többféle – kaszkádszerű – hasznosítási módra törekcsenek.

Geotermikus erőmű

A geotermikus erőmű a Föld mélyebb rétegeiben található magas nyomású és hőmérsékletű víz energiáját alakítja át villamos energiává. A Föld kérgében egyre mélyebbre haladva a hőmérséklet folyamatosan nő. Ez a hőmérsékleti gradiens a világban átlagosan 30 °C/km, Magyarországon 50 °C/km. Megfelelő mélységben a rétegek között a hőmérséklet meghaladhatja a 350 °C értéket. A víz magas nyomás hatására folyékony állapotban marad. A természetes úton felszínre törő víz jelenségét gejzírnak nevezik. A mesterséges úton felszínre hozott közeg geotermikus erőműben villamos energia előállítására használható. A geotermikus erőműveknek több fajtája létezik, nevezetesen:

a kinyert közeg magas nyomású gőz, közvetlenül vezetik a turbinára, mely a generátort hajtja, és villamos energiát termel (szabad gőzkibocsátás, kondenzációs)

a kinyert közeg forró víz, nyomáscsökkentéssel vezetik a turbinára, és termelnek villamos energiát (kondenzációs üzem)

alacsony hőmérsékletű gőzt vagy vizet nyernek ki, és ennek hőjét hasznosítják. Közvetett (segédközeges) villamosenergia-termelés, ORC, Kalina körfolyamatok.

- Geotermikus gradiens** A kőzetek radioaktív bomlásából származó hő a Föld belsejében jelenik meg, és onnét folyamatosan áramlik a felszín felé. A hőáramláshoz szükséges a geotermikus gradiens
 $v_F = \Delta T / \Delta h$
mely a mélységváltozásra eső átlagos hőmérsékletnövekedést fejezi ki. (Magyarországon ez az érték átlagosan 50 °C/km)
- Geotermikus rezervoár** A geotermikus rezervoár, az anomáliaterület, a termálrendszernek az a része, amelynek belső energiataralma valamilyen telepfoliadék (víz vagy gőz) segítségével felszínre hozható. A rezervoár tehát gyakorlati megfontolások – az energiatermelés szempontjai – által lehatárolt részrendszer, amely lehet természetes vagy mesterséges.
- Globális felmelegedés** Az üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése a Föld légkörében az üvegházhatás felerősödését eredményezi, vagyis a Föld energiaegyensúlya egy magasabb átlagos földi középhőmérséklet mellett áll be. Emiatt az utóbbi évtizedekben éghajlati változások következtek be. Ezt a folyamatot nevezik globális felmelegedésnek.
- Hellmann kitevő** A szél sebessége változik a magassággal, alapvetően a felszíntől távolodva növekszik. A szél magasságtól való függését leíró legegyszerűbb tapasztalati összefüggés egy hatványfüggvény, melyet a mérnöki gyakorlatban gyakran használnak a szélprofil közelítésére. Az összefüggésben egy referencia magasságban (h_2) mért szélesség (v_2) ismeretében számítható egy általunk választott magasságban (h_1) a szél sebessége (v_1) a Hellmann szélprofil kitevő (alfa tényező) ismeretében. A kitevő értékét legtöbbször a felszín érdessége alapján közelítik: síkvidéken jellemzően 0.14, érdesebb felszínen átlagosan 0.3 értéket vehet fel. Azonban a kitevő értéke függ meteorológiai viszonyoktól is, elsősorban a légkör stabilitásától, ezért a képletet elsősorban neutrális légrétegződést feltételezve csak talajközeli, nem túl nagy magasságig érdemes használni:
- $$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^\alpha$$
- Hidrogén gazdaság** A hidrogén gazdaság annak az elképzelésnek a neve, mely szerint a gazdasági életben az energia elosztásában a hidrogén fog domináns szerephez jutni. A hidrogén mint energiahordozó fog szerepet játszani a hidrogén gazdaságban. Az elektrolízissel (pl. szélenergiából termelt villamosenergiával) előállított hidrogén gáz cseppfolyós halmazállapotban tárolható, szállítható. A hidrogén mint a belső égésű motorok tüzelőanyaga, illetve a tüzelőanyag cellák üzemanyaga jöhet elsősorban szóba.
- Hidrotermális tároló** Természetes geotermikus rezervoárok, más szóval hidrotermális rendszerek. Energiataralmuk eltörpül a nagy mélységben elhelyezkedő minimális porozitású és áteresztőképességű, vizet nem tartalmazó, nagy hőmérsékletű kőzettömegek mellett.

Hot Dry Rock (HDR)	Mesterséges geotermális rezervoár. Nem egy esetben a forró kőzet (HDR, Hot Dry Rock) száraz, egyáltalán nem tartalmaz vizet vagy gőzt. Ebben a mélységtartományban mesterségesen kell a rezervoárt létrehozni. Valamilyen módon töredezetté, repedezetté kell tenni az impermeábilis kőzetet, és a felszínről kell vizet lenyomni. Az ilyen forró száraz kőzettel bíró mesterséges geotermális rendszerrel szemben támasztott legfontosabb követelmény a legalább 200°C közethőmérséklet, az igen kis permeabilitás, a jó hővezető képesség és az úgynevezett jó repeszthetőség, valamint, hogy minél közelebb legyen a felszínhez.
Infrahang	Infrahangnak nevezzük azokat a levegő nyomás hullámokat, melyek az emberi hallásküszöb alatti (20 Hz) tartományba tartoznak. A szélérőművek zajhatása a 20 Hz alatti tartományban (infrahang) kisebb, mint az EU normákban előírt határértékek.
Kalina körfolyamat	Különleges kiserőművek közé tartozik. Munkaközege víz és ammónia keveréke. Működési hőmérséklettartomány: 120 -540 °C. Azonos hőmérséklet szintnél a Kalina-ciklus 15-20%-kal hatékonyabb, mint az ORC körfolyamat. A Kalina körfolyamat előnyös, ha 120-300 °C közötti hőforrás áll rendelkezésre, mint például geotermikus energia, forró füstgáz, hulladék hő.
Kapcsolt energiatermelés	Az energetika folyamatba bevitt egy energiából (pl. földgáz, biogáz, biomassza) többféle energiát, nevezetesen hőt és villamosenergiát állítunk elő.

Kollektor hatásfok

A napkollektor a felületére érkező napsugárzásnak csak egy részét alakítja át hasznos hőenergiává. A hasznosított hőenergiának az átlagértéke 20-80% körül mozog, ezt vezetjük el a hőhordozó közeggel a napkollektorból.

A napkollektorok hatásfokát az alábbi, nemzetközi szabványok által elfogadott összefüggés szerint szokás megadni:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \Delta T/G - a_2 (\Delta T)^2/G$$

ahol:

η a napkollektor hatásfoka

η_0 a napkollektor optikai hatásfoka

a_1 az elsőfokú hőveszteségi együttható

a_2 a másodfokú hőveszteségi együttható

ΔT hőmérsékletkülönbség $\Delta T = (t_{\text{kollektor}} - t_{\text{levegő}})$

$t_{\text{kollektor}}$ napkollektor közepes hőmérséklete $t_{\text{kollektor}} = (t_{\text{ki}} + t_{\text{be}})/2$

t_{ki} a napkollektorból kilépő közeg hőmérséklete

t_{be} a napkollektorba belépő közeg hőmérséklete

$t_{\text{levegő}}$ a környezeti levegő hőmérséklete

G a napkollektor felületére érkező globális napsugárzás

A hatásfok fenti képlete egy másodfokú görbe egyenlete, melynek matematikai formátuma:

$$y = b_0 + b_1 * x + b_2 * x^2$$

ahol

$$b_0 = \eta_0$$

$$b_1 = -a_1$$

$$b_2 = -a_2 * G$$

$$x = \Delta T/G$$

A hatásfok-görbét az $x = \Delta T/G$ {°Cm²/W} független változó függvényében szokás ábrázolni, az alábbi összefüggés szerint:

$$\eta = \eta_0 - a_1 * x - a_2 * G * x^2$$

Megújuló energiák

A megújuló energiaforrások:

napenergia

biomassza (tárolt napenergia)

vízenergia

szélenergia

tengerek energiája

Föld hője (geotermikus energia)

bolygó-mozgás, ár-apály és gravitáció

Megújuló energiapotenciál

A gazdaságnak azon erőforrásai, amelyek felhasználásuk ellenére folyamatosan rendelkezésre állnak, újratermelődnek, illetve megújulnak. / Pl. napfény, szél, víz, ár-apály energiája, biomassza stb / képezik a megújuló erőforrásokat ide sorolandó a megújuló energiaforrások újratermelődő hányadának potenciálisan rendelkezésre álló, felhasználható mennyisége.

Mezofil eljárás

Azon eljárások, amelyek közepes / 32-38 °C fok /hőmérsékletet igénylő folyamatokra épülnek

Napelem	A napelem olyan szilárdtest eszköz, amely az elektromágneses sugárzást (fotonbefogást) közvetlenül villamos energiává alakítja. Az energiaátalakítás alapja, hogy a napsugárzás elnyelődésekor a napelem mozgásképes töltött részecskéket generál, amiket az eszközben az elektrokémiai potenciálok, illetve az elektron kilépési munkák különbözőségéből adódó beépített elektromos tér rendezett mozgásra kényszerít, vagyis elektromos áram jön létre.
Napenergia passzív hasznosítása	A napenergia hasznosítása építészeti eszközökkel, nevezetesen: direkt rendszerek tömegfal, trombe fal naptér, üvegház transzparens hőszigetelés hibrid és aktív rendszerek autonóm napház
Napkollektor	Hőtermelésre szolgáló aktív napenergia hasznosító, többszörös funkciójú szolár-technikai berendezés, amely az érkező nagy frekvenciájú, rövid hullámhosszúságú napsugárzást egy többé-kevésbé tökéletes abszorber felületen hővé alakítja, az abszorber felületén keletkező hőt jó hatásfokú hőcserével a hőhordozó közegegél közli.
NAS (Nátrium-kén akkumulátor)	Speciális elektrokémiai áramforrás. Az anód folyékony nátrium, a katód folyékony kén, az elektrolit szilárd alumínium-oxid tartalmú ionvezető kerámia (Beta alumína). Cella feszültség: 2,076 Volt Elsősorban szél-erőművek terhelés kiszabályozására jöhet szóba.
ORC körfolyamat (Organic Rankin Cycle)	Különleges kiserőművek közé tartozik. A hagyományos Rankine-körfolyamattal szemben munkaközegként nagy molekulásúlyú szerves folyadékot használ. A körfolyamat munkaközege változatos organikus közeg, úgy mint szilikon olaj, freon, bután, propán, ammónia és más új környezetbarát fűtőközegek. A hőforrás (hulladék hő) hőmérséklete 90-130 °C, kívánatos, hogy a hőforrás hőmérséklete a lehető legközelebb legyen a munkaközeg kritikus hőmérsékletéhez. A működési hatásfok: 8% - 15%. A leggyakoribb alkalmazások: geotermikus rendszerekben, biomassza fűtőerőműveknél kis teljesítmény tartományban.
Pirolízis	Nagyobb molekulájú anyagok kisebb molekulájúakká alakítása nagy hőmérsékleten.
SODAR mérés	SODAR (SOund Detection And Ranging) A SODAR olyan távérzékelési eszköz, amely a földfelszínről képes közvetlen szélprofil mérést végezni a légkör legalsó néhány 100 méteres régiójában. Működési elve arra épül, hogy a műszer által kiadott hallható rövid hangimpulzusok a légkör különböző magasságban áramló levegőrétegeiről eltérő időtartam alatt verődnek vissza. A visszaverődő hangok földfelszínre való visszaérkezésének időtartama és a Doppler-effektus segítségével mérjük a talajfelszín fölött 30 métertől közel 300 méterig terjedő magasságban a szélvektorokat. A légrétegek áramlási sebességét és irányát az ismert szél összetevőkből számítjuk. A berendezés kiválóan alkalmas szélprofil mérésre, hiszen nem kell magas tornyot építeni a mérések kivitelezéséhez.

Szélerőgép	A berendezés funkciója az input szélenergia egy- vagy többlépcsőben történő átalakítása. Ez az erőgépek (belső égésű motorok, villanymotorok stb.) sajátja. Így a javasolható általános megnevezés: szélerőgép.
Szélerőmű	Szélerőmű az a szélenergiát hasznosító berendezés, amely nagy teljesítményű (100kW felett), a szélből villamos energiát termel és a termelt villamos energiát az országos villamosenergia hálózatra adja át.
Szélerőművek környezeti hatásai	tájésktétikai, tájképre gyakorolt hatás szélerőművek hatása az élővilágra, madarakra zajhatás, hallható és infrahang tartományban árnyékhatás, diszkó effektus elektromágneses sugárzás, elektromágneses interferencia földet érő hatások vizekre gyakorolt hatás
Szélklíma	Egy adott területen hosszabb időszak átlagában jellemző légmozgások összessége. A légmozgások nagyságát jellemezhetjük átlagos szélsébsésséggel. Az uralkodó és jellemző szélirányokat hosszabb időszakra számított relatív szélirány-gyakorisággal határozhatjuk meg. Egy adott helyen számos felszíni tényező befolyásolja a légmozgások tulajdonságait. Legfontosabb befolyásoló tényezők a domborzat, a felszín érdessége, a különböző mesterséges épületek, nem porózus akadályok. Ezen felszíni tulajdonságok és más légköri paraméterek ismeretében modellezhető a szél tulajdonságainak térbeli eloszlása egy kisebb területen.
Szivattyús energiátároló	A szivattyús, tárolós vízerőmű a villamos energiaellátó rendszer (VER) terhelés elosztásában játszik jelentős szerepet. Éjszaka „mélyvölgy” időszakban a „felesleges” villamos-energiával szivattyús üzembn a felső tároló feltölthető, majd csúcsidőszakban a felső tárolóból történő vízleeresztéssel turbina-generátor üzembn a csúcsidei többlet villamos-energia igény biztosítható.
Télikert	A télikert (üvegház) olyan épületelem, mely nagyrészt üvegezt felületekkel határolt, néha csak az oldalfala, de legtöbb esetben a tető is. Teljesen általános megfogalmazásban a szoláris építészetben üvegháznak „sunspace”-nek, naptérnek akkor nevezünk egy teret, ha arra az alábbi kikötések mindegyike teljesül, nevezetesen: van transzparens külső határolása az épület legalább egy fűtött helyiséggel érintkezik az épületből megközelíthető mesterséges fűtése nincs.
Teljes életciklus analízis (LCA)	Az életciklus elemzés (angol rövidítéssel LCA) célja, hogy számszerűsített információt nyújtson a környezetkímélő termék (energia) tervezéséhez, fejlesztéséhez, címkézéséhez, összehasonlító elemzéséhez, vagy a vásárlási döntéshez. Alapja a termék (energiatermelés) életciklusa a nyersanyagok kitermelésétől a hulladékok ártalmatlanításáig.
Termofil eljárás	Azon folyamatok, amelyek végbemeneteléhez hő jelenlétére van szükség, (hőigényű biológiai folyamat-55-58°C)

Transzparens hőszigetelés	Transzparens hőszigetelésnek mindazokat az anyagokat és összetett szerkezeteket nevezzük, amelyek egyrészt a hagyományos hőszigetelésekhez hasonlóan az épület külső felületén hatékonyan képesek mérsékelni az épület hőveszteségét fűtési időszakban, másrészt a napsugárzás energiáját átengedik a fal külső felületére vagy a benapozott tér burkolatára mint abszorber felületekre. Az elnyelt sugárzásból keletkező hő mindkét esetben részben tárolódik, majd passzív fűtésként hasznosítható a belső tér számára.
Trombe fal	A Trombe-fal működése az üvegházhatáson alapul. Az elnyelő felület a napsugárzás hatására felmelegszik, arról hőáram indul a falon át a helyiség fele és a légrétegen, üvegezéssel át a környezet felé. Az elnyelő felület maga is bocsát ki a hosszuhullámú infravörös tartományba eső sugárzást, melyet az üveg nem enged át. A keletkezett napenergiát a Trombe-fal így hasznosítja.
Tüzelőanyag cella	A tüzelőanyag-cella vagy tüzelőanyag-elem vegyi reakció során közvetlenül villamos energiát állít elő. A legtöbb esetben két elektródából, az anódból és a katódból állnak, a köztük lévő anyag az elektrolit.
Üvegházhatás	Az üvegházhatás a légkör hőmegtartó tulajdonsága, ami számos dologtól függ: a Nap sugárzásától, az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjától, az atmoszféra sűrűségétől.
Víz visszasajtolás	A legtöbb geotermikus mező esetén az elfolyó víz visszasajtolását figyelembe kell venni a mező jövőbeli viselkedésének becslése során, mivel ez egy elfogadott „hulladék elhelyezési” módszer is. Magyarországon a kitermelt termálvizek sótartalma, vegyi összetétele a közvetlen fölhasználást nem teszi lehetővé. A kizárólag energiahasznosítás céljából kitermelt termálvizet a 219/2004. (VII.21.) Kormányrendeletben előírtak szerint vissza kell sajtolni. A víz visszasajtolása mérsékli a mély rétegekben található vízszint csökkenést.
VRB (Vanadium Redox Battery)	A VRB folyadék akkumulátor működése a vanádium különböző ionizált formáinak redukációján és oxidációján alapul. Elektrokémiai energia-tároló, mely környezeti hőmérsékleten üzemel, 70% feletti hatásfokkal. (Elsősorban szélerőművek hektikus villamosenergia-termelésének kiszabályozására alkalmazható.)
WAsP modell	A Wind Atlas Analysis and Application Programot a dán Risø Laboratóriumban fejlesztették. A modell helyszíni szélmérések felhasználásával képes meghatározni egy kisebb terület szélklímáját, becsléseket adni a rendelkezésre álló és kihasználható szélpotenciál térbeli elhelyezkedéséről, előrejelzést adni a szélerőművekből, szélparkokból származó megtermelhető energiamennyiségéről. A WAsP alapvető bemenő paraméterei a szélméréseken kívül a kiválasztott terület domborzatmodellje, a jelentősebb érdességváltozások, felszíni akadályok térbeli elhelyezkedését mutató térképek. A WAsP modell eredményei komplex domborzatú felszínek esetén kevésbé pontosak, mint CFD elven működő szélerőműpark-tervező modellek.
Zajemisszió	Zajemisszió a szélerőművek hangteljesítmény szintje a szélerőmű torony lábánál. (Gyártók adatai alapján 95-105 dB(A))

Zajimmisszió

A szélerőmű hangteljesítmény szintje által meghatározott hangnyomás szint a szélerőműtől távolabbi (50m, 100m, 300m, 600m) hangterekben. (A szélerőműtől 300-600m távolságra levő hangterekben talajszíntén a várható zajimmisszió értéke 35 dB(A).

1. Menedzsment / energiamenedzsment fogalomkör értelmezése (Dr. Benkő Zsolt István)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Napi életünk során nem tudunk megnevezni egyetlen tevékenységet sem, amelyhez ne lenne szükségünk energiára. Ha éppen nem csinálunk semmit, akkor is használunk energiát. Az életfunkciók fenntartásához szervezetünk a táplálék formájában bevitt energiát használja fel. Az általunk viselt ruhák előállítására is igényel energiát. Az, hogy eljussunk a munkahelyre, iskolába, majd onnan újra az otthonunkba, szintén energiát igényel. A téli fűtés, esetleg a nyári hűtés ugyancsak energia segítségével lehetséges.

Életünket át- és átszövi az energia; nagyon sokféle alakban találkozhatunk vele: hő formájában fűti az épületeket, megfőzi és megsüti ételünket, megolvasztja és önthetővé teszi a fémeket, világításra készíti a wolframszálat az izzókban, erőművekben gőzt fejleszt, hogy villamos energiát lehessen előállítani. Ezen kívül nagyon sok termék gyártása során hőkezelésre van szükség.

Villamos energia formájában szinte minden háztartási eszközünket működteti, bevilágítja a helyiségeket, köztereket. Az ipari termelés során használatos gépek közül is nagyon sok villamos energiával működik.

A belső égésű motorokban az üzemanyagok kémiai energiája alakul át hővé, majd mozgássá (mechanikai energia).

A vízerőművekben a víz potenciális energiáját alakítjuk át villamos energiává. Az atomerőművekben az atommagok kötési energiáját alakítjuk át először hővé, majd mechanikai energiává végül villamos energiává.

A Földön a levegő és víz körforgását a Nap kisugárzott energiája biztosítja. Az élőlények többsége is végső soron a Nap kisugárzott energiáját használja. A növények közvetlenül (fotoszintetizálnak), az állatok pedig közvetett módon (megeszik a nagy energiatartalmú vegyületeket).

Einstein híres képlete ($E = mc^2$) szerint az anyag és az energia egymásba kölcsönösen átalakítható.

A mindennapi életben sokszor lehet hallani „energiaválságról”, vagy „energiaéhségről”, mely leginkább annak a kifejezése, hogy az emberiség ma több energiát és többféle energiatípust igényel, mint eddig a történelem során bármikor. Ezen igények kielégítése pedig már komoly tervezést, felkészültséget követel.

Az energiamenedzsment az energiával való gazdálkodást jelenti. Figyelembe kell venni minden lehetséges felmerülő igényt, s ezek kielégítéséről úgy kell megpróbálni gondoskodni, hogy közben a természetes környezetünket ne tegyük alkalmatlanná az emberi életre.

Ma egyre inkább előtérbe kerül, hogy a rendelkezésre álló energiaforrásokból a lehető legtöbbet tudjuk hasznosítani. Bebizonyosodott, hogy azok a források, melyekre az ipari forradalom kezdete óta támaszkodunk, véges készletekkel bírnak.

Folynak kísérletek a szabályozott termofúziós reakció létrehozására, mely a Nap és a csillagok energiatermelését hozná el a Földre, s az energiával kapcsolatos problémákat valószínűleg örökre megoldaná, de egyelőre még nem jártak sikerrel.

Alternatív megoldásokat keresünk, és olyan forrásokat próbálunk használni saját igényeinkhez, melyek megújulnak (több keletkezik belőlük, mint amennyit fel tudunk használni). Ilyenek a szél, a víz és a napfény energiáját hasznosító megoldások.

Az eszközeinket egyre jellemzőbb módon úgy tervezik meg és hozzák létre, hogy a legkevesebb energiát használják fel. A kulcsszavak a takarékoság és a magas hatásfok.

Az ilyen precízen megtervezett eszközök is csak akkor lesznek azonban takarékosak, jó hatásfokúak, ha a felhasználók/vásárlók is tudatában vannak az energiával, energiatermeléssel összefüggő alapvető természeti, gazdasági és társadalmi törvényszerűségeknek.

Az energiával való helyes gazdálkodás elsajátítása nélkülözhetetlen az emberiség hosszú távú fennmaradásához.

Az Energetika – Energiamenedzsment című e-könyv a környezetmérnök képzéshez szükségesnek tartott problémaköröket dolgozza fel, új szemléletben. Számítunk arra, hogy az olvasó témában való elmélyüléshez kedvet kap és kíváncsiságát kielégítve hasznos háttérismeretekhez jut.

2. Energodinamika értelmezése, főtételei, leírási módok (Dr. Benkő Zsolt István)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Az energia fogalmának kialakulása történetileg a munkavégzés definíciójához kapcsolódik. Kezdetben az energiát a munkavégző képességgel azonosították, később a hőmennyiséget is hozzávették. A középiskolai tanulmányok során ezen nem is nagyon szokás túllépni. A világban tapasztalható egyre több jelenség megmagyarázásához azonban a fogalom árnyaltabb lett, tartalmilag bővült.

Jelenlegi ismereteink alapján az **energia olyan, másra vissza nem vezethető, megmaradó, állapotjellemező skalármennyiség, ami a gravitációs tér forrása.**

A **munka**: rendszer határfelületén fellépő energiatranszport-mennyiség, amelyet a kölcsönhatáshoz tartozó és a hőmérséklettől különböző intenzív állapotjellemező inhomogenitása, a hajtóerő hoz létre. A munka mindig impulzus átadást is jelent.

A **hő**: a rendszer határfelületén fellépő nyugalmi energiatranszport nélküli energiatranszport-mennyiség, melyet a hőmérséklet-eloszlás inhomogenitása, mint hajtóerő hoz létre.

Az energia megmaradása egy fontos empirikus tétel¹, amit korábban számos esetben megkíséreltek cáfolni, de főleg a XX. századi vagy újabb kísérletek bizonyították igazát. Ugyanis az energiamérleg látszólagos hiánya kivétel nélkül valamilyen új jelenség vagy részecske felfedezéséhez vezetett, mellyel az energiamérleg újra egyensúlyba került.

Az energodinamika a valóságban előforduló rendszerek energia szempontú leírására törekszik. Ilyen értelemben a klasszikus termodinamika kiterjesztésének tekinthető nem csak gáz halmazállapotú rendszerek leírására. Energodinamikai rendszerek bármilyen halmazállapotúak lehetnek, és a rendszerben egyidejűleg többnyire nem csak egyetlen kölcsönhatás, folyamat van. Mindezek ellenére a rendszer és környezetének leírására jól használhatóak a klasszikus termodinamika megállapításai, összefüggései. Így például a klasszikus termodinamika főtételei továbbra is érvényesek (a megfelelő, kiterjesztett módon értelmezve).

2.1.1. Az I. főtétel

Az első főtétel az energiamegmaradás törvényének egyik megfogalmazása. Egy rendszer a környezetével kétféle módon cserélhet energiát. A rendezett módon történő energiacsere a munkavégzés, a rendezetlen módú a hőcsere. A szokásos alakban^{2,3}:

$$\Delta U = W + Q \quad (2.1)$$

ahol ΔU a rendszer belső energiájának megváltozása, W a munka, Q a hőcsere. A főtétel ebben az alakjában akkor érvényes, ha a rendszerben nem játszódik le kémiai reakció.

A rendszer szempontjából pozitív a hőmennyiség, ha az a rendszerbe áramlik be, és negatív, ha a rendszerből áramlik kifelé. A rendszer szempontjából pozitív a munka, ha azt a rendszeren végzik külső erők (a rendszer így energiát nyer), és negatív, ha a rendszer végez munkát a környezetén (a rendszer így energiát veszít).

Az I. főtétel differenciális alakja:

¹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 385-386

² Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 386-387

³ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 109

$$dU = dW + dQ \quad (2.2)$$

alkalmas arra, hogy bármilyen lezajló folyamatot le lehessen írni vele.

A belső energia infinitezimális alakja (dU) úgynevezett *teljes differenciál*. Ez matematikai megfogalmazása annak, hogy a belső energia *állapotfüggvény*, azaz alkalmas a rendszer teljes jellemzésére valamilyen szempont szerint.

A belső energia csak az egyik a hasonló állapotfüggvények közül, amelyek segítségével a rendszer leírható. Ezeket az állapotfüggvényeket *termodinamikai potenciáloknak* is nevezik^{4,5}. A többi termodinamikai potenciál:

$$F = U - TS \quad (2.3)$$

a Helmholtz-féle szabad energia (T a termodinamikai hőmérséklet, S az entrópia);

$$H = U + pV \quad (2.4)$$

az entalpia – régebbi irodalmakban az entalpia jele gyakran I – (p a nyomás, V a térfogat);

$$G = U + pV - TS \quad (2.5)$$

a szabad entalpia vagy Gibbs-potenciál.

2.2. A II. főtétel

A második főtétel a folyamatok irányára vonatkozóan tartalmaz megállapításokat. Vannak reverzibilis (megfordítható) és irreverzibilis (nem megfordítható) folyamatok. A második főtétel abban segít, hogy egy adott folyamatról megállapíthassuk, hogy az reverzibilis vagy irreverzibilis-e.

A főtétel matematikai megfogalmazása az entrópia segítségével zárt rendszerre^{6,7}:

$$\Delta S \geq 0 \quad (2.6)$$

Az entrópia-változás kiszámítása, amíg a rendszer az 1 állapotból eljut a 2 állapotba a következő képlet segítségével lehetséges:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (2.7)$$

A makroszkópikus jelenséges tanulmányozásával az entrópia értéke csak egy additív konstans erejéig határozható meg, hiszen a folyamatok során csupán az entrópia-változás számítható ki. Az entrópia abszolút értékének meghatározásához és az entrópia mélyebb jelentéséhez a mikroszkópikus értelmezés szükséges. A *termodinamikai valószínűség* (W)^{8,9} egy adott makroállapothoz tartozó mikroállapotok száma. Ennek illusztrálásához tekintsük a következő példát: tekintsünk egy fallal elfelezett tartályt, amiben összesen 4 molekula található. A falon

⁴ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 159-164

⁵ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 391, 410-411

⁶ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 407

⁷ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 157

⁸ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 434-438

⁹ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 165-171

akkora nyílás található, hogy a molekulák szabadon átjárhatnak. Ekkor a következő állapotok lehetségesek:

makroállapot	molekulák száma a bal térfélen	molekulák száma a jobb térfélen
<i>A</i>	4	0
<i>B</i>	3	1
<i>C</i>	2	2
<i>D</i>	1	3
<i>E</i>	0	4

Ez összesen 5 kívülről látható makroállapot. Az *A* állapot csak egyféleképpen valósítható meg: ha az összes molekula a bal térfélen van. Az *A* állapot termodinamikai valószínűsége 1. A *B* állapothoz akkor jutunk, ha a 4 molekulából egy a jobb térfélre átkerül. A molekulák egymástól megkülönböztethetetlenek, így a 4 közül akármelyik lehet. Matematikailag megfogalmazva a 4 elemű halmazból egyet kell kiválasztani. Ez

$$\binom{4}{1} = \frac{4!}{1!(4-1)!} = 4$$

féleképpen lehetséges. Ez a *B* állapot termodinamikai valószínűsége. Szimmetrikus volta miatt ugyanennyi a termodinamikai valószínűsége a *D* állapotnak is. A *C* állapot termodinamikai valószínűsége hasonló megfontolás alapján:

$$\binom{4}{2} = \frac{4!}{2!(4-2)!} = 6$$

makroállapot	molekulák száma a bal térfélen	molekulák száma a jobb térfélen	mikroállapotok száma	termodinamikai valószínűség
<i>A</i>	4	0	1	1
<i>B</i>	3	1	4	4
<i>C</i>	2	2	6	6
<i>D</i>	1	3	4	4
<i>E</i>	0	4	1	1

A mikroállapotok teljesen azonos eséllyel következnek be, de látható, hogy az egyenletes eloszlás (2-2) másfélszer gyakrabban fordul elő, mint a (3-1) eloszlás, és hatszor gyakrabban, mint az, hogy az összes molekula például a bal térfélen van. A termodinamikai valószínűség és az entrópia közötti összefüggést *Boltzmann* mutatta ki:

$$S = k \ln W \quad (2.8)$$

ahol $k = 1,38065 \cdot 10^{-23}$ J/K a Boltzmann-állandó.

Az entrópia-változás:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = k \ln W_2 - k \ln W_1 = k \ln \frac{W_2}{W_1} \quad (2.9)$$

ahol W_2 a 2 állapot termodinamikai valószínűsége, W_1 az 1 állapoté.

Számítsuk ki a következő példát: keverjük össze 1 g 0 °C-os és 1 g 1 °C-os vizet úgy, hogy közben a környezetétől szigeteljük el a rendszert. Eredményül 2 g 0,5 °C-os vizet kapunk. Az egyszerűség kedvéért most tekintsük az entrópia szempontjából viszonyítási pontnak a 0 °C-os hőmérsékletet ($T_0 = 273,15$ K). Ekkor adott mennyiségű, T hőmérsékletű víz entrópiája:

$$S = \int_{T_0}^T \frac{cm dT}{T} = cm \int_{T_0}^T \frac{dT}{T} = cm [\ln T]_{T_0}^T = cm \ln \frac{T}{T_0} \quad (2.10)$$

ahol c a víz fajhője ($c = 4183,2$ J/(kg·K)), m a víz tömege. Az összekeverés előtt a rendszer entrópiája:

$$S = c \cdot 1 \text{ g} \cdot \ln \frac{273,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} + c \cdot 1 \text{ g} \cdot \ln \frac{274,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} = 0,015287 \text{ J/K}$$

Az összekeverés után:

$$S = c \cdot 2 \text{ g} \cdot \ln \frac{273,65 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} = 0,015301 \text{ J/K}$$

A különbség:

$$\Delta S = 0,000014 \text{ J/K}$$

A (2.9) egyenlet alapján az összekeveredés körülbelül $10^{4,4 \cdot 10^{17}}$ -szer valószínűbb, mint az, hogy a keverék spontán szétváljon újra az eredeti 0 és 1 °C-os vízre. Ez hatalmas szám; így a spontán szétválás nem következik be.

A zárt rendszerre a (2.6) egyenlettel megfogalmazott entrópia növekedésének (nem csökkenésének) elve tulajdonképpen azt mondja ki, hogy a zárt rendszer mindig a nagyobb valószínűségű állapot felé halad és egyensúlyi állapota a legnagyobb valószínűségű állapot.

2.3. A III. főtétel

A harmadik főtétel legegyszerűbb megfogalmazása az, hogy a 0 K hőmérséklet nem érhető el^{10,11}. (Tetszőleges mértékben persze megközelíthető.) Matematikailag ez alábbi két képlettel egyenértékű:

$$\lim_{T \rightarrow 0 \text{ K}} S = 0 \quad (2.11)$$

vagy

$$\lim_{T \rightarrow 0 \text{ K}} c = 0 \quad (2.12)$$

Utóbbi képlet azt fejezi ki, hogy minél jobban le van hűtve az adott rendszer, annál érzékenyebb; azaz ugyanakkora hőmennyiség hatására a hőmérséklete annál többet emelkedik, minél alacsonyabb volt eredetileg.

¹⁰ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 413-415

¹¹ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 172-174

2.4. A fundamentális egyenlet

Ha a belső energiát felírjuk az entrópia (S), a térfogat (V) és az anyag mennyiségét megadó mólszám (n) függvényeként:

$$U = U(S, V, n) \quad (2.13)$$

akkor a homogén függvényekre vonatkozó matematikai megfontolások alapján a belső energiára az úgynevezett *Euler-egyenletet* kapjuk meg:

$$U = TS - pV + \mu n \quad (2.14)$$

ahol μ az anyag *kémiai potenciálja*. Ha a rendszerben a folyamat során kémiai reakció nem játszódik le, akkor ez utóbbi tagtól el is lehet tekinteni. Általános esetben, ha többféle anyagi minőség található a rendszerben (legyen j darab komponens), akkor az Euler-egyenlet a következő alakú lesz:

$$U = TS - pV + \sum_{i=1}^j \mu_i n_i \quad (2.15)$$

Az I. főtétele infinitezimális alakját felírva:

$$dU = dQ + dW + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.16)$$

Infinitezimális mennyiségű hő és munka nem változtatja meg a hőmérsékletet és a nyomást észrevehető mértékben. Ezért

$$dQ = TdS \quad dW = -pdV \quad (2.17)$$

A (2.16) egyenlet a következő alakra módosul:

$$dU = TdS - pdV + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.18)$$

Ez a fundamentális egyenlet a belső energiára vonatkozóan¹². A fundamentális egyenletet megadható a többi termodinamikai potenciálra is. Ezek a következő alakban írhatók fel:

$$dF = -SdT - pdV + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.19)$$

$$dH(\equiv dI) = TdS + Vdp + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.20)$$

$$dG = -SdT + Vdp + \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i \quad (2.21)$$

¹² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 158

2.5. Gibbs-Duhem reláció

A szabad entalpia (2.5) egyenlettel adott alakjából és a (2.15) Euler-egyenletből következik:

$$G = \sum_{i=1}^j \mu_i n_i \quad (2.22)$$

azaz a Gibbs-potenciál a rendszerben lévő kémiai potenciálok összessége. A (2.22) egyenletet formálisan differenciálva a következőt kapjuk:

$$dG = \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i + \sum_{i=1}^j n_i d\mu_i \quad (2.23)$$

Ebből kivonva a (2.21) egyenletet kapjuk a *Gibbs-Duhem relációt*¹³:

$$\sum_{i=1}^j n_i d\mu_i = -SdT + Vdp \quad (2.24)$$

Ez a reláció kapcsolatot teremt a rendszer intenzív paramétereinek között. Egykomponensű rendszer esetén a Gibbs-Duhem reláció értelmében csak két független paraméter lehet; azaz a rendszer állapota jellemezhető csupán két paraméter segítségével (például nyomás és térfogat).

¹³ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 162-163

3. **Állapot, állapotjellemezés. Állapotváltozás, állapotváltoztatás (Dr. Benkő Zsolt István)**

Széchenyi István Egyetem, Győr

A vizsgált rendszerek mindig valamilyen *állapotban* vannak. Az állapotok egyértelmű leírásához *állapotjelzőket* használhatunk, melyek az egész rendszerre vonatkozó fizikai mennyiségek¹⁴. Ezek a fizikai mennyiségek lehetnek *extenzív* (összeadódó) mennyiségek. Ilyen például a tömeg (m), a térfogat (V) vagy a belső energia (U). Lehetnek *intenzív* (kiegyenlítő) mennyiségek is. Ilyen például a nyomás (p), a sűrűség (ρ) vagy a termodinamikai hőmérséklet (T).

Az állapot jellemzése mindig adott szempont alapján történik. Ha például a rendszeren elektromos áram folyik keresztül, akkor figyelembe kell venni a rendszer elektromos ellenállását, mint állapotjelzőt, egyébként pedig nem is kell tudomást venni róla.

A rendszer állapotának teljes leírásához mindig annyi állapotjelzőt kell felhasználnunk, amennyi az adott vizsgálati szempont alapján még éppen szükséges az állapot egyértelmű meghatározásához.

A rendszerek állapota lehet időben változatlan (statikus) vagy időben változó (dinamikus). Az időben változatlan állapotot *egyensúlyi állapotnak* nevezzük. Az energodinamika törvényszerűségei az egyensúlyi állapotokra érvényesek. Egyensúlyi állapotra tudjuk felírni az állapotjelzők közötti összefüggéseket megadó *állapotegyenleteket* is. Emiatt sok esetben a változásokat is úgy képzeljük el, hogy kismértékben különböző egyensúlyi állapotok sorozatán keresztül valósulnak meg (kvázisztatikus leírás).

Az időben változó rendszerek viselkedése során *folyamatok* figyelhetők meg. A folyamatok különféle áramlások. Lehetnek tisztán anyagáramlások vagy tisztán energiaáramlások, de leggyakrabban anyag- és energiaáramlások együtt. A könnyebb leírás érdekében a folyamatot részfolyamatokra bonthatjuk, azonban a valóságban a részfolyamatok önmagukban nem játszódnak le, szorosan összefonódnak a többi részfolyamattal, azoktól nem elkülöníthetők.

Egyensúlyi állapot esetében meg lehet különböztetni *statikus* és *dinamikus* egyensúlyi állapotot. A statikus egyensúlyi állapot olyan rendszerre jellemző, melyre nem hat a környezete, és az egyensúly magától beállt. Dinamikus egyensúly esetén a rendszerre időben állandó külső hatás időben állandó kimenetet eredményez. A rendszer egyensúlyban van, hiszen a rendszer állapotjelzői nem változnak, de ez az egyensúly csak addig tart, amíg a külső hatás fennáll. Sztatikus egyensúlyban lévő rendszerben nem játszódnak le folyamatok, míg dinamikus egyensúlyban lévő rendszerben több folyamat is lejátszódhat. Ilyenkor ezek a folyamatok (áramlások) időben állandóak.

A folyamatok hajtóereje az intenzív mennyiségek inhomogenitása. Ez rendszerint valamilyen (akár több) extenzív mennyiség változását is eredményezi. A környezetével kapcsolatban nem lévő (zárt) rendszerben a folyamatok addig tartanak, amíg a rendszeren belül minden intenzív mennyiség térben homogénné nem válik: beáll a sztatikus egyensúly. Dinamikus egyensúlyban lévő rendszerben egy vagy több intenzív mennyiség térben inhomogén marad.

Az állapotjelzők között vannak *konjugált* állapotjelzők. A konjugált állapotjelzők párosával definiálhatók: egy extenzív és egy intenzív mennyiség alkot konjugált állapotjelző párt. Az intenzív mennyiség tekinthető egy „általánosított erő”-nek, az extenzív mennyiség pedig egy „általánosított elmozdulás”-nak. Az „általánosított erő” okozza az „általánosított elmozdulás” változását, és a kettő szorzata energia dimenziójú. Ilyen konjugált állapotjelző pár például a

¹⁴ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 100-101

nyomás – térfogat ($p - V$), vagy termodinamikai hőmérséklet – entrópia ($T - S$). Inhomogenitás a nyomásban (p) térfogatváltozást okozhat (dV); inhomogenitás a hőmérsékletben (T) entrópiaváltozást okozhat (dS). A fundamentális egyenletben (2.18 egyenlet) konjugált állapotjelzők szorzatai szerepelnek.

4. Jellegzetes állapotváltozások; leírásuk: p-V, T-S, H-S diagramokban (Dr. Benkő Zsolt István)

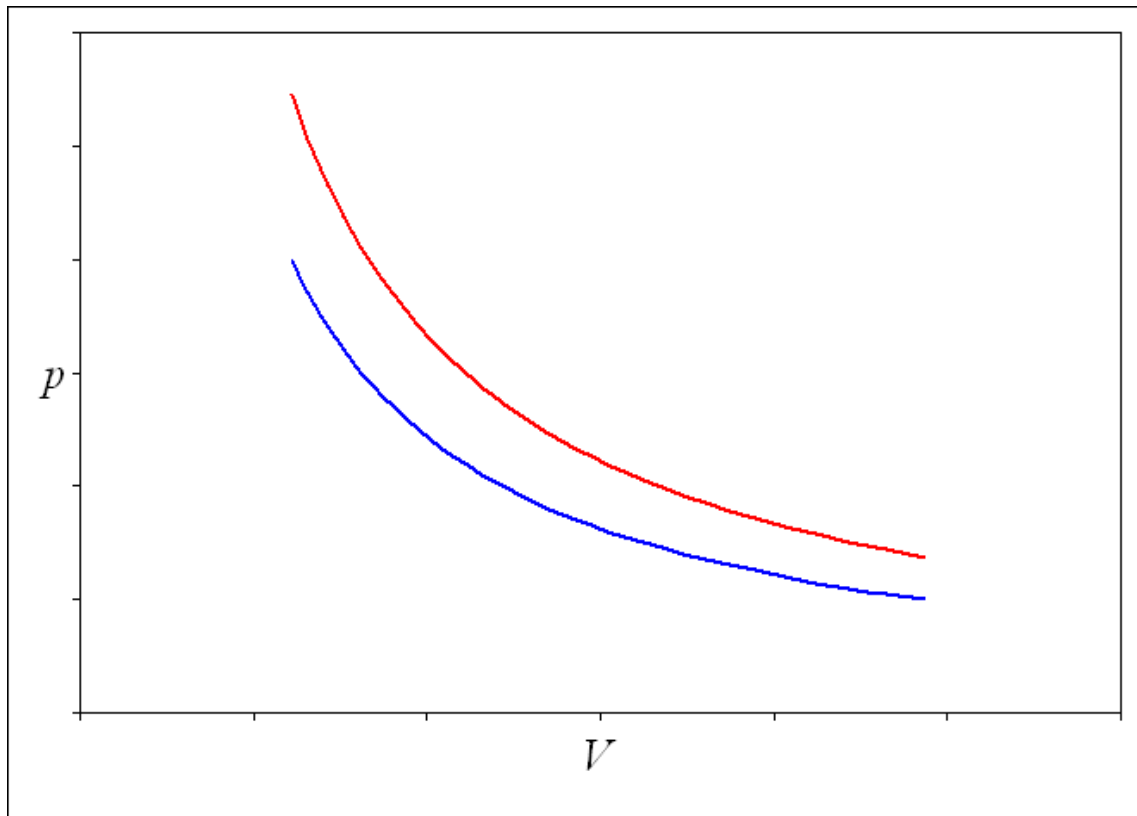
Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Energodinamikai rendszerek vizsgálata során elsősorban gáznemű halmazállapot esetén lényeges az állapotváltozásokat megkülönböztetni. Ezek az izotermikus, az izobár, az izochor, az adiabatikus és a politropikus állapotváltozások. A változások mindegyike egyszerű összefüggésekkel leírható és jól szemléltethető diagramokkal. Leggyakrabban a p-V és T-S diagramokat használják.

4.1. Izotermikus állapotváltozás

Ha a hőmérsékletet állandó értéken tartjuk, akkor adott mennyiségű gáz nyomása és térfogata egymással fordított arányban áll (1662, Boyle-Mariotte törvény)^{15,16}:

$$pV = \text{áll.} \quad (4.1)$$

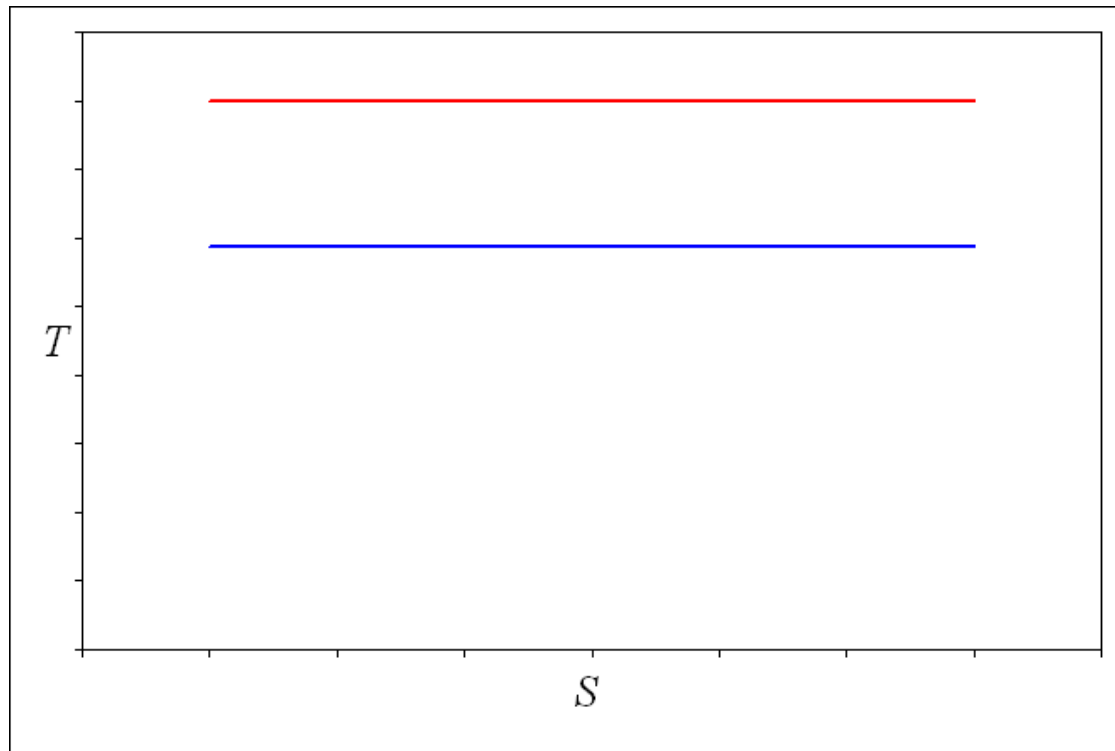


1. ábra: Izotermikus állapotváltozás p-V diagramja (kék: alacsonyabb hőmérséklet, piros: magasabb hőmérséklet). A görbe neve: izoterma

Az állapotváltozás a p-V diagramon egy hiperbola.

¹⁵ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 244

¹⁶ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 33



2. ábra.: Izotermikus állapotváltozás T-S diagramja (kék: alacsonyabb hőmérséklet, piros: magasabb hőmérséklet)

4.2. Izobár állapotváltozás

Állandó nyomás mellett az elzárt gáz térfogata és a hőmérséklete egymással egyenesen arányos (1802, Gay-Lussac első törvénye)^{17,18}:

$$V = V_0(1 + \beta t) \quad (4.2)$$

ahol t a hőmérséklet (Celsius fokban), β a hőtágulási együttható, V_0 a gáz térfogata 0°C -on.. A mérések szerint

$$\beta = \frac{1}{273,15^\circ\text{C}}.$$

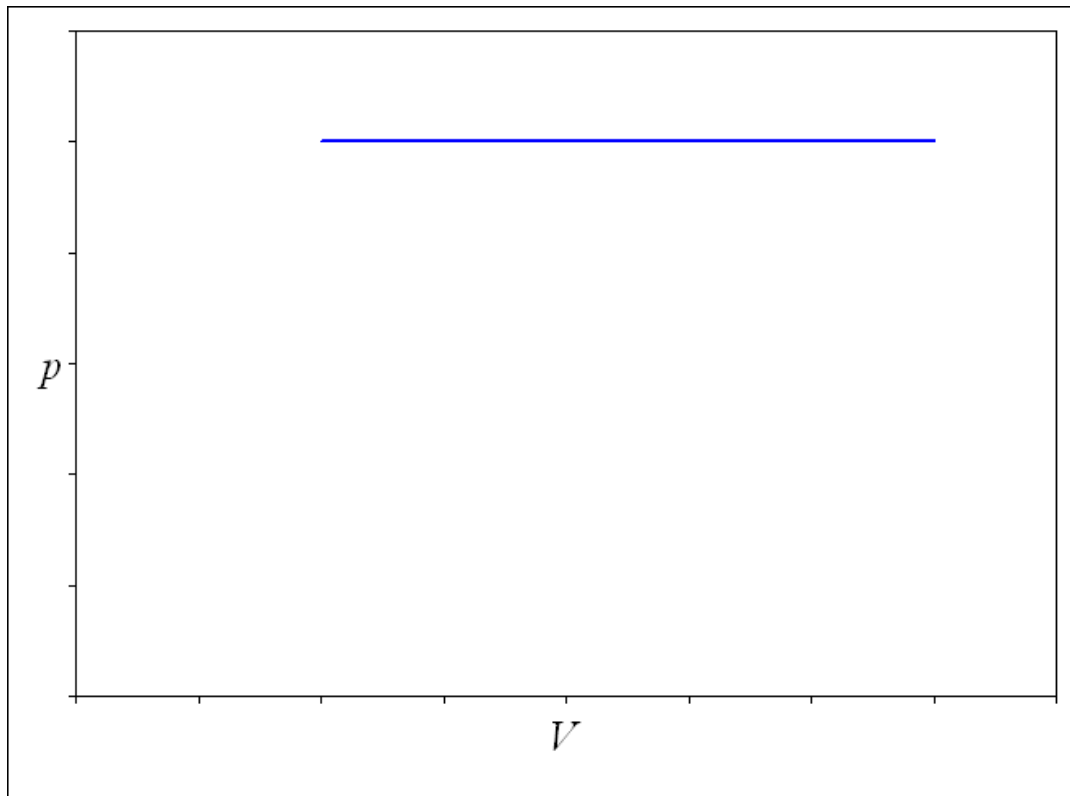
A 4.2 egyenlet a törvény eredeti megfogalmazása. A termodinamikai hőmérséklet segítségével Gay-Lussac első törvénye az alábbi formát ölti:

$$\frac{V}{T} = \text{áll.} \quad (4.3)$$

Az állapotváltozás a p-V diagramon egy vízszintes vonal:

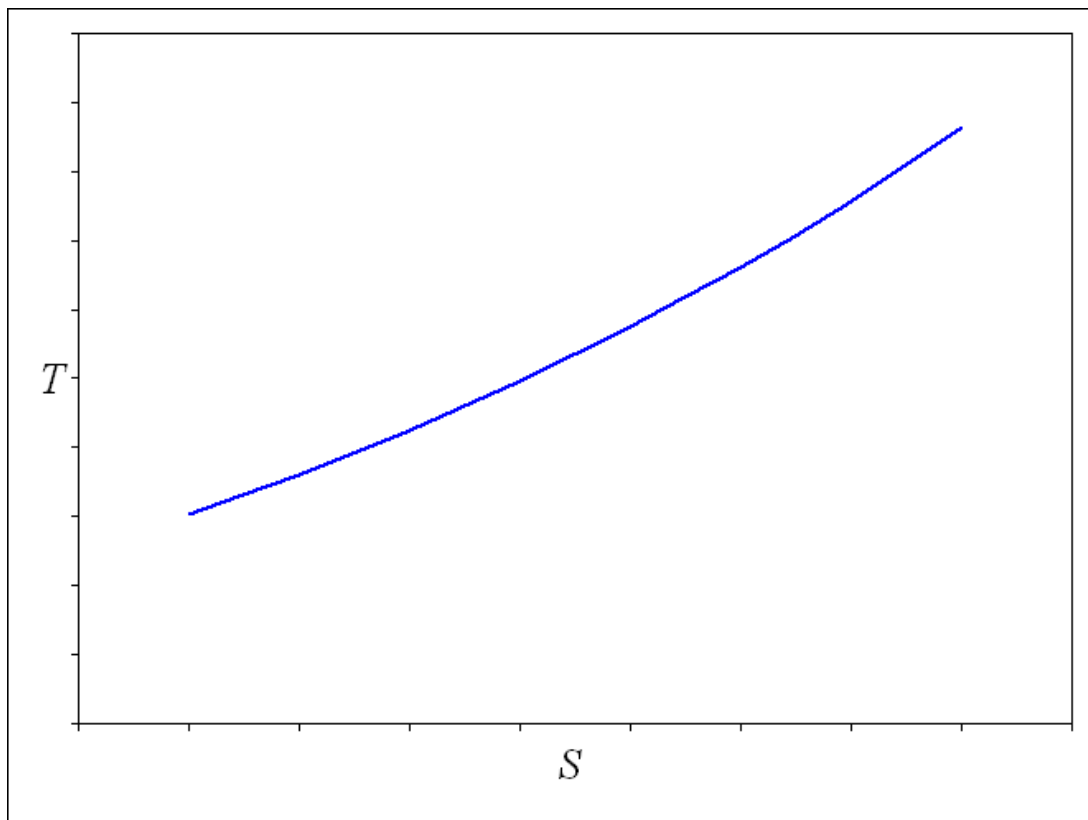
¹⁷ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 374

¹⁸ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 34



3. ábra: Izobár állapotváltozás p-V diagramja

Az állapotváltozás T-S diagramja egy exponenciális függvény:



4. ábra: Izobár állapotváltozás T-S diagramja

4.3. Izochor állapotváltozás

Állandó térfogat mellett a gáz nyomása és a hőmérséklete egymással egyenesen arányos (Gay-Lussac második törvénye)^{19,20}:

$$p = p_0(1 + \beta' t) \quad (4.4)$$

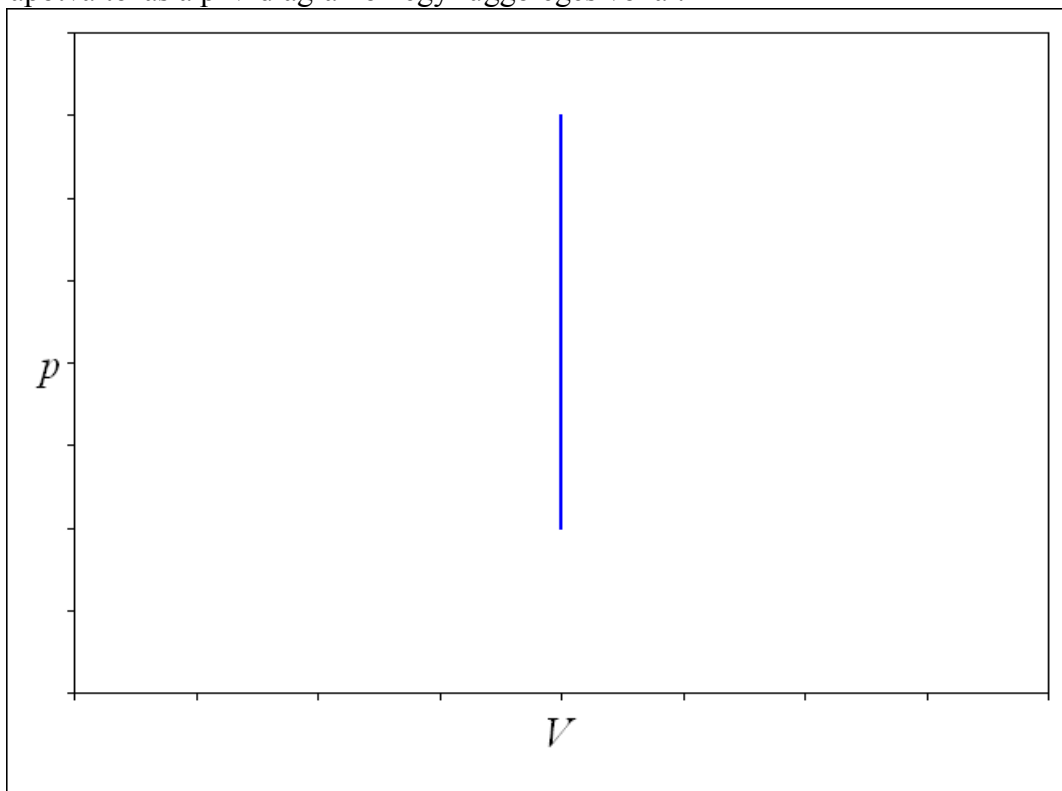
ahol t a hőmérséklet (Celsius fokban), β' a hőtágulási együttható, p_0 a gáz nyomása 0 °C-on.. A mérések szerint

$$\beta' = \frac{1}{273,15^\circ \text{C}}.$$

A 4.4 egyenlet a törvény eredeti megfogalmazása. A termodinamikai hőmérséklet segítségével Gay-Lussac második törvényét az alábbi formában szokás megadni:

$$\frac{p}{T} = \text{áll.} \quad (4.5)$$

Az állapotváltozás a p-V diagramon egy függőleges vonal:

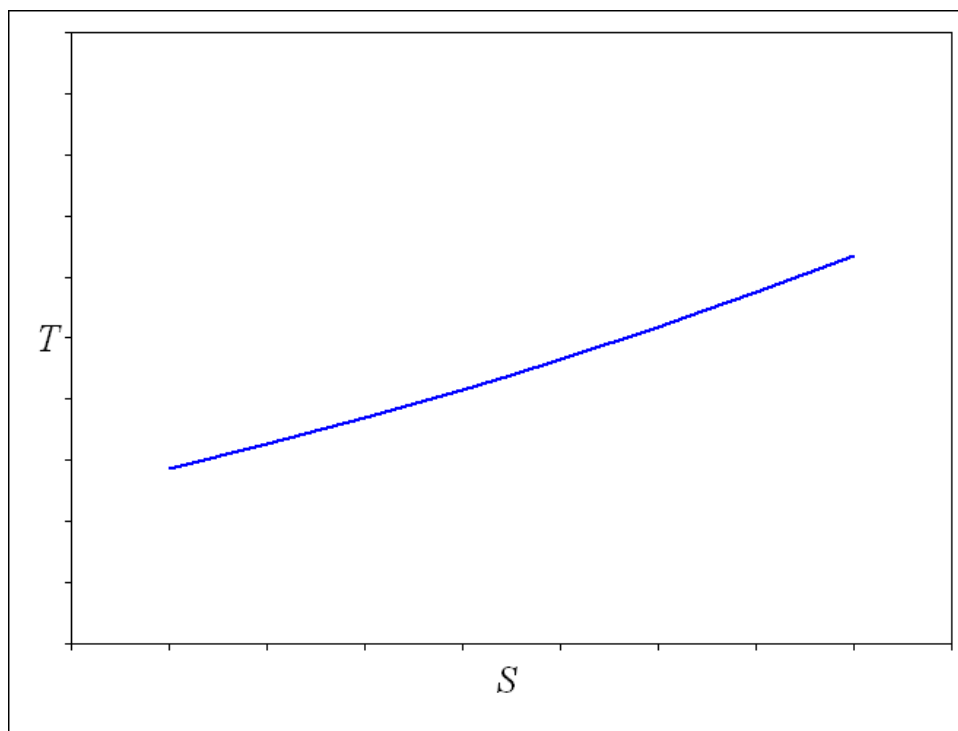


5. ábra: Izochor állapotváltozás p-V diagramja

Az állapotváltozás T-S diagramja egy exponenciális függvény, mely meredekebb, mint az izobár állapotváltozás görbéje (ha ugyanazt az elzárt gázmennyiséget vizsgáljuk):

¹⁹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 375

²⁰ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 34



6. ábra: Izochor állapotváltozás T-S diagramja

Gay-Lussac törvényein alapulnak a gázhőmérők. A leggyakrabban olyan gázhőmérőket használnak, ahol a térfogat állandó. Ezen gázhőmérők alapján vetődött fel az abszolút hőmérsékleti skála ötlete, amit Lord Kelvin (William Thomson) alkotott meg a Celsius-féle hőmérsékleti skálára alapozva (1848). Az abszolút vagy termodinamikai hőmérséklet nem lehet negatív. Nullpontja $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, és $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletváltozás megegyezik 1 K hőmérsékletváltozással.

Az izotermikus, az izobár és az izochor állapotváltozások törvényszerűségei a gázok három állapotjelzője között teremtenek kapcsolatot (p , V , T). A három törvény egyesítésével megkapható a gázok állapotegyenlete:

$$\frac{pV}{T} = \text{áll.} \quad (4.6)$$

Adott gázt vizsgálva a 4.6 egyenlet jobb oldalának értéke egyenesen arányos az elzárt gázmennyiség tömegével. Többféle anyagi minőségű gázt vizsgálva bizonyítható, hogy valójában az *anyagmennyiséggel* arányos.

Gázok állapotegyenletét (egyesített gáztörvényt) a következő alakban szokás megadni^{21,22}:

$$pV = nRT \quad (4.7)$$

ahol n a mólszám, R a moláris (vagy univerzális) gázállandó.

1 mól anyagmennyiség $6,02214179 \cdot 10^{23}$ darab részecske (ez az Avogadro-szám; jele N_A vagy A esetleg L). $R = 8,314472\text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$.²³

Az állapotegyenlet további alakjai:

²¹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 377

²² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 31

²³ <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html> a Nemzetközi Mértékügyi Hivatal ajánlásával (<http://www.bipm.org/extra/codata/>)

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (4.8)$$

ahol m a gáz tömege és M a móltömege. Illetve:

$$pV = NkT \quad (4.9)$$

ahol N a gázcseppcskék (molekulák) száma, k pedig a Boltzmann-állandó.
 $k = 1,3806504 \cdot 10^{-23}$ J/K. Az összefüggések:

$$n = \frac{N}{N_A} \quad (4.10)$$

$$R = N_A k \quad (4.11)$$

Az állapotegyenlet mindhárom alakját (4.7, 4.8 és 4.9 egyenletek) szokás használni. Adott feladattól függ, hogy éppen melyiket célszerű felírni.

Az állapotegyenlet ezen alakjai az *ideális gázokra* vonatkoznak: a molekulák között nincs vonzó- vagy taszítóerő, a molekulák ütközése tökéletesen rugalmas, és a molekulák térfogata elhanyagolható (pontoszerű) a teljes térfogathoz képest. Közöséges nyomáson és bizonyos hőmérséklet felett minden gáz ideális gáznak tekinthető.

Alacsonyabb hőmérséklet vagy nagyobb nyomásértékek esetén a gázok viselkedése más lesz. Figyelembe kell venni az egyes molekulák térfogatát, valamint azt, hogy a molekulák hatnak egymásra (az ütközésen kívül is). A *reális (valós) gázok* állapotegyenlete az úgynevezett *van der Waals-féle állapotegyenlet* (1873)^{24,25}:

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT = \frac{m}{M} RT = NkT \quad (4.12)$$

ahol a és b az anyagi minőségre jellemző konstansok. Az a konstans a molekulák közötti vonzóerőt írja le, a b pedig a molekulák térfogatát. Néhány értéket bemutat a következő táblázat:

1. táblázat: Gázok van der Waals-együtthatói

gáz	a (Pa·m ⁶ /mol ²)	b (m ³ /mol)
hidrogén (H ₂)	0,0248	2,663·10 ⁻⁵
levegő	0,1355	3,646·10 ⁻⁵
oxigén (O ₂)	0,1375	3,166·10 ⁻⁵
vízgőz (H ₂ O)	0,5450	3,001·10 ⁻⁵

Ideális gázok keverékére érvényes Dalton törvénye^{26,27} (1801), mely szerint a gázkeverék nyomása az egyes összetevők parciális nyomásainak összege. Az egyes összetevőkre külön-külön is érvényes az egyesített gáztörvény (mintha minden összetevő csak egymagában lenne ott).

²⁴ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 378

²⁵ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 37

²⁶ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 419

²⁷ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 35

4.4. Adiabaticus állapotváltozás

Adiabaticus az állapotváltozás akkor, ha a gáz a környezetével nem cserél hőt, azaz $Q = 0$. Ezt kétféleképpen lehet megvalósítani: vagy teljesen elszigeteljük a gázt a környezetétől (ez rendszerint nehézségekbe ütközik), vagy a folyamat olyan gyorsan játszódik le, hogy nincs idő a hőcserére. A folyamat teljes leírásához szükség van újabb fizikai mennyiségekre. Melegítsünk elzárt gázt először úgy, hogy a térfogat állandó marad. Ekkor az első főtétel (2.1 egyenlet) értelmében:

$$\Delta U = Q \quad (4.13)$$

Ha hőt közlünk anyaggal, akkor a befektetett hő és az elért hőmérsékletváltozás egymással egyenes arányban áll:

$$Q = C_V \Delta T \quad (4.14)$$

C_V az állandó térfogatra vonatkozó hőkapacitás. Tömegarányosan felírva:

$$Q = c_V m \Delta T \quad (4.15)$$

ahol c_V az állandó térfogatra vonatkozó fajlagos hőkapacitás (fajhő).

Most vizsgáljuk meg azt az esetet, amikor a hőkölés állandó nyomáson történik (például szabadon, súrlódásmentesen mozgó dugattyú zárja el a gázt, és a dugattyú külső oldalán az állandónak tekinthető légköri nyomás van). Ekkor is egyenes arányosság van a befektetett hő és az elért hőmérsékletváltozás között:

$$Q = C_p \Delta T \quad (4.16)$$

C_p az állandó nyomásra vonatkozó hőkapacitás. Tömegarányosan felírva:

$$Q = c_p m \Delta T \quad (4.17)$$

ahol c_p az állandó nyomásra vonatkozó fajlagos hőkapacitás (fajhő). Az első főtétel alakja most:

$$\Delta U = Q + W \quad (4.18)$$

A W az a munka, amit a melegítés hatására táguló gáz végez, azaz a befektetett hő kell, hogy fedezze a belső energia változását és a gáz által végzett munkát is. Tehát $c_p > c_V$.

A gáz által végzett munka:

$$W = \int_1^2 p dV \quad (4.19)$$

Ha a nyomás állandó, akkor a képlet egyszerűsödik:

$$W = p \Delta V \quad (4.20)$$

A gázok állapotegyenlete (4.8 egyenlet) alapján:

$$W = \frac{m}{M} R \Delta T \quad (4.21)$$

A 4.13, 4.15, 4.17, 4.18 és 4.21 egyenletek alapján:

$$c_p m \Delta T = c_v m \Delta T + \frac{m}{M} R \Delta T \quad (4.22)$$

azaz:

$$c_p - c_v = \frac{R}{M} \quad (4.23)$$

A belső energia változása 4.13 és 4.15 egyenletek alapján:

$$\Delta U = c_v m \Delta T \quad (4.24)$$

A 4.24 egyenlet alapján a belső energia csak egy additív konstans erejéig meghatározott. Ezt választhatjuk nullának. Így:

$$U = c_v m T \quad (4.25)$$

Adiabatikus állapotváltozásnál az első főtétel differenciális alakja:

$$dU = dW \quad (4.26)$$

$$c_v m dT = -p dV \quad (4.27)$$

Ha a nyomást kifejezzük a 4.8 és 4.23 egyenletből, akkor az alábbi eredményt kapjuk:

$$c_v m dT + \frac{m(c_p - c_v)T}{V} dV = 0 \quad (4.28)$$

Ebből:

$$\frac{dT}{T} + \left(\frac{c_p}{c_v} - 1 \right) \frac{dV}{V} = 0 \quad (4.29)$$

Vezessük be a

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (4.30)$$

adiabatikus kitevőt (fajhő-hányadost). Ekkor az alábbi egyenlethez jutunk:

$$\frac{dT}{T} + (\kappa - 1) \frac{dV}{V} = 0 \quad (4.31)$$

A differenciálegyenlet megoldása:

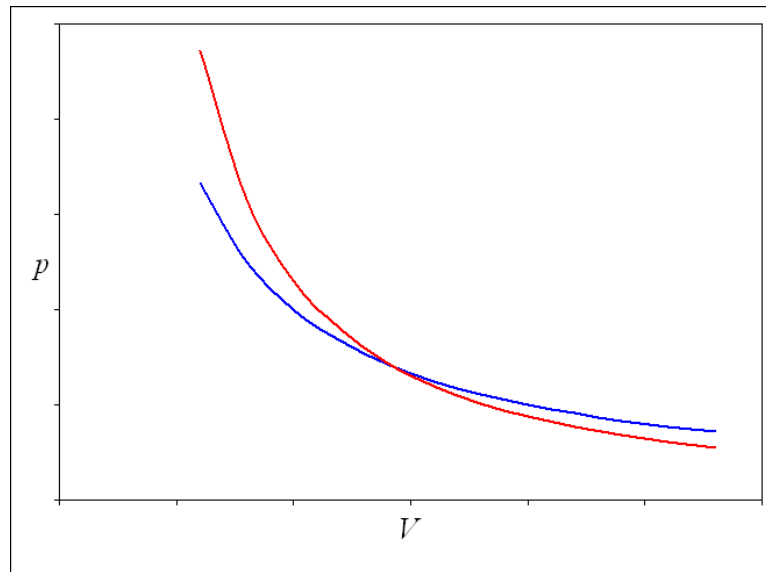
$$TV^{\kappa-1} = \text{áll.} \quad (4.32)$$

Ha 4.8 egyenlet segítségével eljuthatunk a *Poisson-féle összefüggéshez*^{28,29}:

$$pV^\kappa = \text{áll.} \quad (4.33)$$

A 4.33 egyenletet szokás az adiabatikus folyamatok alapegyenletének tekinteni. A Poisson-féle összefüggés alapján az adiabatikus folyamat képe a p-V diagramon egy hiperbola, ami meredekebb, mint az izotermikus folyamat esetén. Szokás Poisson-féle összefüggésnek nevezni a 4.32 egyenletet is, illetve a 4.8 egyenlet segítségével kifejezhető harmadik alakot is:

$$\frac{T^\kappa}{p^{\kappa-1}} = \text{áll.} \quad (4.34)$$

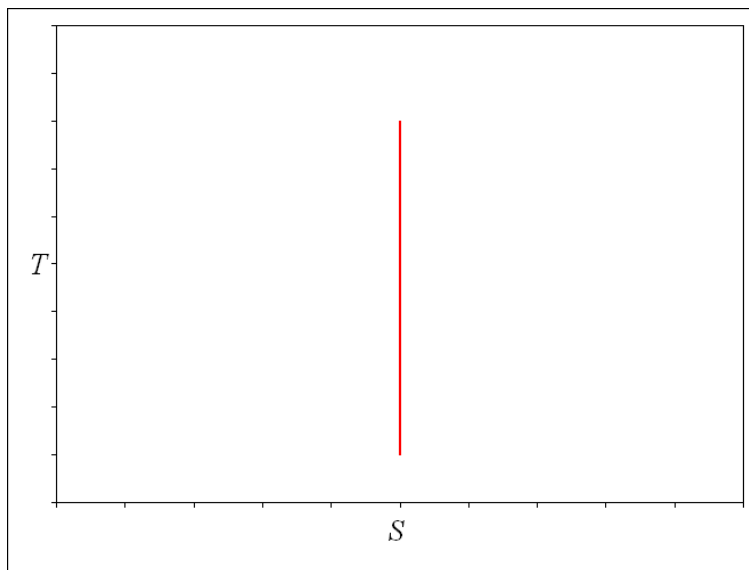


7. ábra: Adiabatikus állapotváltozás p-V diagramja (kék: izoterma, piros: adiabata)

A folyamat során nincs hőcsere, ezért a T-S diagramja egy függőleges vonal:

²⁸ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 396-397

²⁹ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 130-131



8. ábra: Adiabaticus állapotváltozás T-S diagramja

4.5. Politropikus állapotváltozás

Eddig áttekintettük az izotermikus, az izobár, az izochor és az adiabaticus állapotváltozásokat. Politropikus állapotváltozás minden eddig nem tárgyalt eset; leírásuk a Poisson-féle összefüggéshez hasonló:

$$pV^k = \text{áll.} \quad (4.35)$$

ahol k a politrop kitevő. Tágabb értelemben véve a politrop kitevő bármilyen értéket felvehet. Szűkebb értelemben a politropikus állapotváltozás az $1 < k < \kappa$ politrop kitevő által meghatározott kvázi-adiabaticus állapotváltozás.

2. táblázat: Politrop kitevő értékei ³⁰

állapotváltozás	k
robbanás	$k < 0$
izobár	0
izotermikus	1
politropikus (szűkebb értelemben)	$1 < k < \kappa$
adiabaticus	κ
izochor	∞

A szűkebb értelemben vett politropa meredekebb, mint az izoterma, de nem olyan meredek, mint az adiabata (9. ábra). Az állapotváltozás T-S diagramja exponenciális, negatív kitevővel (10. ábra).

Politropikus állapotváltozás esetében a gáz által végzett munka a 4.19 és 4.34 egyenletek alapján:

$$W = \int_1^2 p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\text{áll.}}{V^k} dV = \text{áll.} \cdot \frac{V_2^{1-k} - V_1^{1-k}}{1-k} \quad (4.36)$$

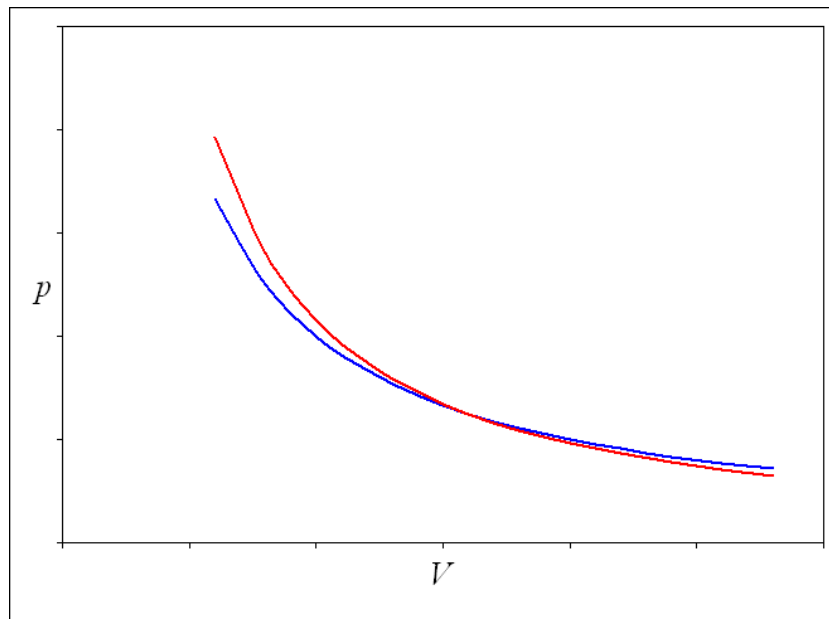
³⁰ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 134

Az 4.36 egyenletben szereplő állandó értéke a 4.35 egyenlet alapján a kezdeti vagy a végállapot értékeivel is megadható:

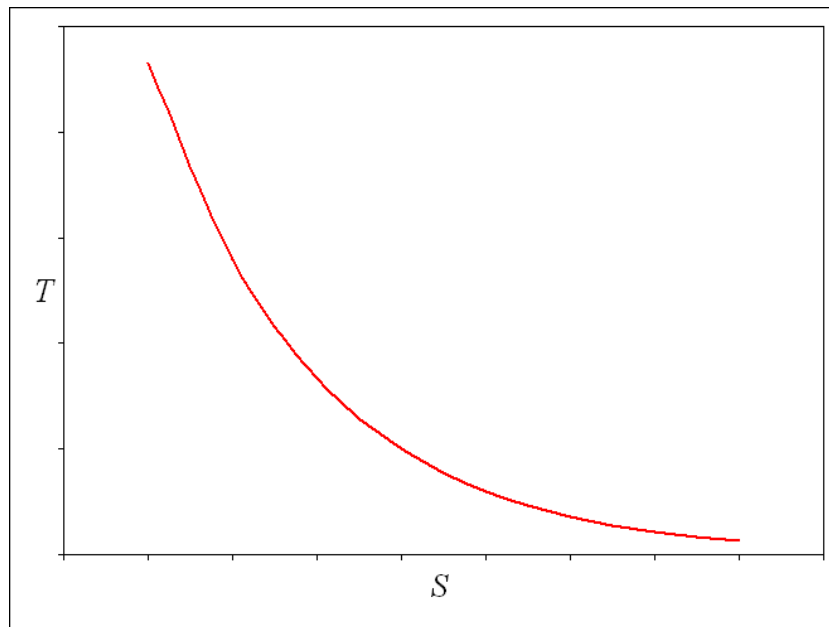
$$pV^k = \text{áll.} = p_1V_1^k = p_2V_2^k \quad (4.37)$$

Így a végzett munka (4.8 és 4.23 segítségével):

$$W = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{1-k} = \frac{1}{1-k} m(c_p - c_v)(T_2 - T_1) = \frac{\kappa - 1}{1-k} c_v m(T_2 - T_1) \quad (4.38)$$



9. ábra: Politropikus állapotváltozás p-V diagramja (kék: izoterma, piros: politropa)



10. ábra: Politropikus állapotváltozás T-S diagramja

Az első főtétel alapján a hőcsere:

$$Q = \Delta U + W = c_V m(T_2 - T_1) + \frac{\kappa - 1}{1 - \kappa} c_V m(T_2 - T_1) \quad (4.39)$$

$$Q = \frac{\kappa - k}{1 - k} c_V m(T_2 - T_1) \quad (4.40)$$

Az általános politrop fajlagos hőkapacitás:

$$c_{poli} = \frac{\kappa - k}{1 - k} c_V \quad (4.41)$$

Ez negatív értékű a szűkebb értelemben vett politropikus állapotváltozások esetében ($1 < k < \kappa$).

Az állapotváltozások ábrázolásához főleg a p-V és T-S diagramokat használják, az entalpia-entrópia diagram (H-S diagram vagy *Mollier diagram*) elsősorban a víz/vízgőz állapotváltozásainak követésére használatos, mely a villamosenergia termelés szempontjából kiemelt fontosságú. Ezen a diagramtípuson a munkavégzés és a hőátadás is egyenes szakaszokkal ábrázolható.

4.6. Fojtásos állapotváltozás

Ha a környezetétől jó hőszigeteléssel elzárt gázt lassan átáramoltatunk porózus anyagon (pl. vattacsomón) vagy szűk csövön (fojtószelepen) úgy, hogy a fojtás előtt a nyomás állandó p_1 utána pedig ennél kisebb, de állandó p_2 értékű, akkor a legtöbb gáz esetében lehűlést fogunk tapasztalni. Ez a *Joule-Thomson* hatás (1853)^{31,32}. Az effektus nem értelmezhető az ideális gázok modellje alapján.

Az eredeti Joule-Thomson kísérlet során (**11. ábra**) egy hőszigetelt csőben elhelyezett vattacsomón áramoltattak át lassan gázt. A nyomás a fojtás előtt és a fojtás után is állandó volt. Kezdetben az összes gáz a bal oldalon helyezkedett el (p_1, V_1, T_1), majd a teljes gázmennyiség át lett áramoltatva a jobb oldalra (p_2, V_2, T_2). A hőszigetelés miatt $Q = 0$.

A külső erők által végzett munka:

$$W_{\text{külső}} = p_1 V_1 - p_2 V_2 \quad (4.42)$$

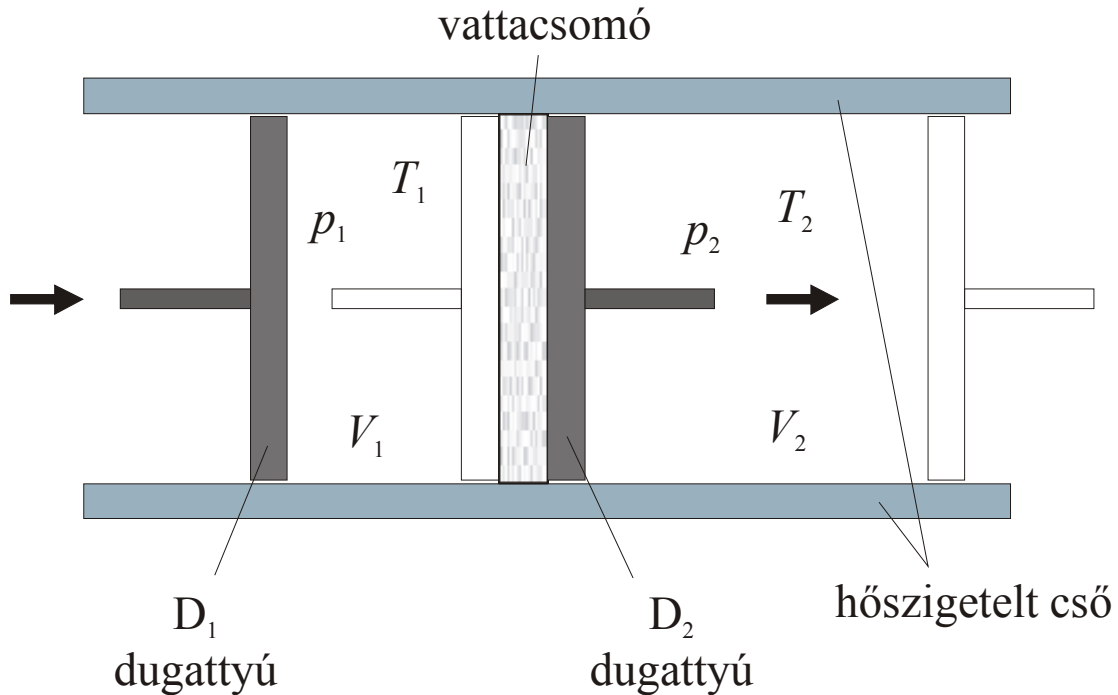
Ideális gáz esetében a Boyle-Mariotte törvény (4.1), az első főtétel (2.1) és a 4.25 egyenlet alapján:

$$U_1 = U_2 \Rightarrow T_1 = T_2 \quad (4.43)$$

Azaz nem lenne tapasztalható hőmérsékletváltozás.

³¹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 393-394

³² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 207-208



11. ábra: A Joule-Thomson-féle kísérleti elrendezés

Valós gázok esetében $W_{\text{külső}} > 0$, valamint a táguló gáznak a molekulák között ható vonzóerő legyőzéséhez munkát ($W_{\text{belső}}$) kell végeznie a belső energia rovására. Ez a van der Waals-féle egyenletben (4.12) lévő nyomáskorrekció térfogat szerinti integráljával számítható ki:

$$W_{\text{belső}} = \int_{V_1}^{V_2} p_k dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{n^2 a}{V^2} dV = \frac{n^2 a}{V_2} - \frac{n^2 a}{V_1} < 0 \quad (4.44)$$

A két munka összegétől függ, hogy mi történik a gázzal. Ha $W_{\text{belső}} + W_{\text{külső}} = 0$, akkor a hőmérséklet nem változik. Ez az *inverziós hőmérséklet* (T_i). Az inverziós hőmérséklet alatti kezdő hőmérséklet esetében $W_{\text{belső}} + W_{\text{külső}} < 0$, azaz a gáz lehül. Az inverziós hőmérséklet feletti kezdő hőmérsékletnél $W_{\text{belső}} + W_{\text{külső}} > 0$, azaz a gáz felmelegszik. A van der Waals-féle egyenlet együtthatói segítségével:

$$T_i = \frac{2a}{bR} \quad (4.45)$$

A gyakorlatban a $\mu_J = \Delta T / \Delta p$ *Joule-Thomson együtthatót* többnyire mégis inkább méréssel szokás meghatározni. (A valós gázok tényleges viselkedése bonyolultabb, mint a van der Waals-féle egyenlet.) μ_J a tapasztalat szerint a folyamat kezdeti hőmérsékletén kívül függ még a gáz kezdeti nyomásától is.

Normál nyomáson és szobahőmérsékleten a hélium ($T_{i,\text{max}} = 43 \text{ K}$), a hidrogén ($T_{i,\text{max}} = 202 \text{ K}$) és a neon ($T_{i,\text{max}} = 260 \text{ K}$) felmelegszik fojtásos állapotváltozás (Joule-Thomson expanzió) során, a többi gáz lehül.

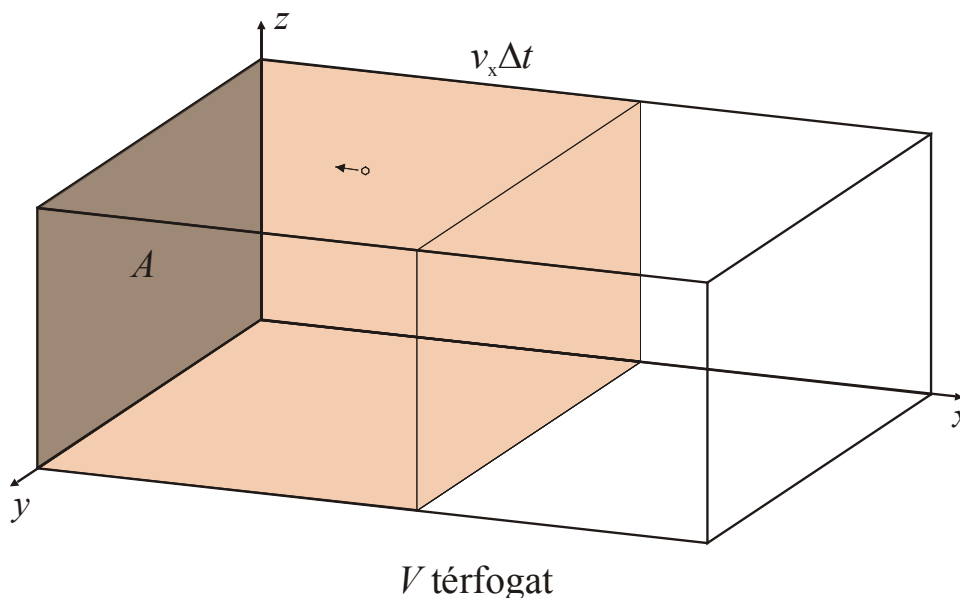
A fojtásos állapotváltozás során a gáz entalpiája állandó.

A Joule-Thomson hatás az alapja a hűtőgépek működésének és a gázok cseppfolyósításának.

4.7. Hőmérséklet molekuláris értelmezése, ideális gáz belső energiája

Vizsgáljuk most meg az ideális gázok viselkedését a molekuláris szemlélet alapján. Az egyszerűség kedvéért tételezzünk fel egy V térfogatú, téglatest alakú tartályt, melyben gáz van (12. ábra). Számítsuk ki a gáz nyomását az A felületre^{33,34}.

A 12. ábra alapján, ha a molekulák átlagos x tengely irányú sebessége v_x , akkor az A felületet egy megadott Δt idő alatt az árnyékolt térrészben lévő molekulák érhetik csak el. Ha egy molekula tömege μ , akkor az A felülettel való tökéletesen rugalmas ütközés hatására a molekula impulzusa $2\mu v_x$ mértékben változik meg. A nyomás az egységnyi felületre ható nyomóerő (erő/felület). A nyomóerő Newton második axiómája alapján az időegység alatt bekövetkező impulzusváltozással egyenlő (impulzusváltozás/idő). Az árnyékolt térrészben lévő molekulák száma az összes molekulaszám térfogatarányos része. Az itt lévő molekulák felénél az x tengely irányú átlagos sebesség az A felület irányába mutat, a másik felénél pedig ellenkező irányba.



12. ábra: Segédlet a nyomás kiszámításához a molekuláris szemlélet alapján

Így a nyomás:

$$p = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\mu v_x}{\Delta t} \cdot \frac{v_x \Delta t}{V} N \quad (4.46)$$

Ebből:

$$pV = \mu v_x^2 N \quad (4.47)$$

Ha ezt összevetjük a 4.9 egyenlettel, akkor az alábbi eredményt kapjuk:

$$\mu v_x^2 = kT \quad (4.48)$$

³³ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 417-418

³⁴ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 86-88

Egy molekula x tengely irányába eső mozgáskomponensének átlagos energiája:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2} \mu v_x^2 \quad (4.49)$$

Ekkor kapjuk:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2} kT \quad (4.50)$$

Ez az eredmény kapcsolatot mutat a molekulák kicsiny energiái és egy makroszkópiusan mérhető érték (hőmérséklet) között. A molekulák esetében ugyanezt az eredményt kaptuk volna akkor is, ha az y vagy z irányú mozgást vesszük alapul. Ez három *egymástól független* mozgáskomponens, azaz három *szabadsági fok*. A 4.50 egyenlet általánosan is igaz: egy molekula egy szabadsági fokára átlagosan és időátlagban $\frac{1}{2} kT$ energia jut. Ez az ekvipartíció tétele^{35,36} (Boltzmann és Maxwell, 1860).

Az ekvipartíció tétele segítségével is ki lehet számítani az ideális gázok belső energiáját^{37,38}. Egyatomos molekula esetében csak a molekula mozgásával kell számolni; ez három szabadsági fok. Kéttomos molekula esetében a súlyzóhoz hasonlító elrendezésnek forgási szabadsági foka is van, mégpedig két, egymástól független forgástengelyre nézve is; így a szabadsági fokok száma már öt. (Nagyon magas hőmérsékletek esetében már a molekulán belüli rezgést is számításba kell venni, ami első közelítésben egy lineáris oszcillátor, két szabadsági fokkal.) Három- vagy többatomos molekula lehet lineáris elrendezésű (például a szén-dioxid, CO₂) vagy nem lineáris (például a víz, H₂O). Ha a molekula lineáris, akkor öt szabadsági fokkal rendelkezik közönséges hőmérsékleteken, ha nem lineáris, akkor a forgás is három egymástól független tengelyre vonatkozhat, így a szabadsági fokok száma hat. Általánosan, ha a molekula f szabadsági fokkal rendelkezik, akkor a gáz belső energiája:

$$U = \frac{f}{2} NkT = \frac{f}{2} nRT = \frac{f}{2} \frac{m}{M} RT \quad (4.51)$$

A 4.13-4.24 egyenletek segítségével a molekuláris szemlélet szerint is kifejezhetjük a 4.51 egyenletből a fajlagos hőkapacitásokat:

$$c_v = \frac{f}{2} \frac{R}{M} \quad (4.52)$$

$$c_p = \frac{f+2}{2} \frac{R}{M} \quad (4.53)$$

Így az adiabatikus kitevő:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{f+2}{f} \quad (4.54)$$

a szabadsági fokok ismeretében egyszerűen számítható, vagy a két fajlagos hőkapacitás ismeretében lehet következtetni a molekulák szabadsági fokainak számára.

Az ekvipartíció tétele jól alkalmazható szilárd testekre is^{39,40}. Szilárd testekben a molekulák rezgéseket végezhetnek a tér három irányába, egymástól függetlenül. Ez három lineáris oszcillátor, két-két szabadsági fokkal, tehát a szabadsági fokok száma összesen hat. Szilárd testek fajhőjét a 4.52 egyenlet jól írja le.

³⁵ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 422-423

³⁶ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 88-91

³⁷ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 423-425

³⁸ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 91-92

³⁹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 423-425

⁴⁰ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 91

5. Elméleti és valóságos körfolyamatok. Értékelési módok (Dr. Benkő Zsolt István)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Amikor állapotváltozások sorozatán keresztül ugyanabba az állapotba jut vissza a gáz, körfolyamat játszódik le. Reverzibilis a körfolyamat akkor, ha a környezet maradandó megváltozása nélkül tér vissza a gáz a kiindulási állapotába. Ennek szükséges és elégséges feltétele, hogy az egyes folyamatok kvázisztatikus (egyensúlyi) folyamatok legyenek.

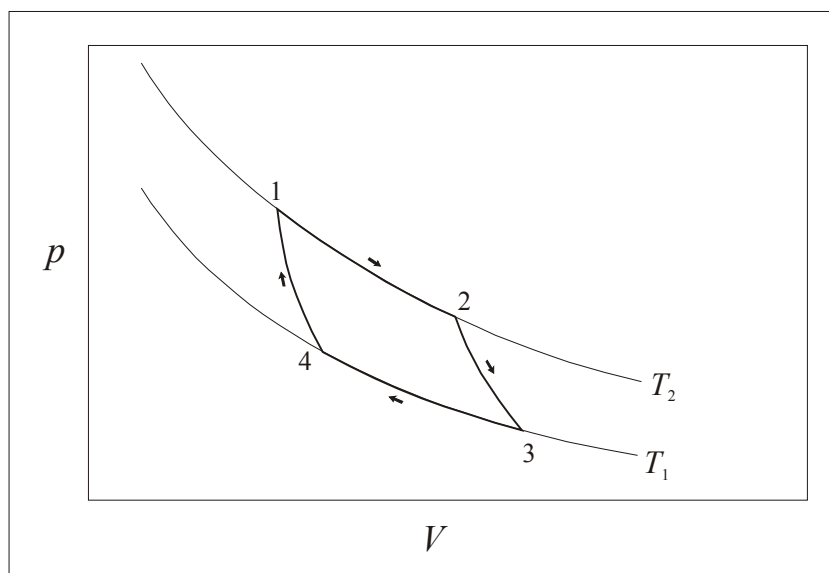
Egy valóságos körfolyamat sohasem reverzibilis, de igen jól megközelítheti azt, ha a körfolyamat egyes állapotváltozásai megfelelően lassan következnek be.

A reverzibilis körfolyamatok az elméleti körfolyamatok. Jól tárgyalhatók matematikailag, és felső közelítést adnak a valóságos körfolyamatok hatásfokára vonatkozóan. (Sok esetben a valóságos körfolyamatok igen jól megközelítik az elméleti körfolyamatokat.) Valóságos körfolyamat vizsgálatánál nagyon sok tényezőt kellene figyelembe venni, emiatt a legtöbb tankönyv csak az elméleti körfolyamatokat tárgyalja.

A körfolyamatokat megvalósító gépek a hőerőgépek: hő felvételével munkát végeznek (és le is adnak hőt). Ezt a működést szokás direkt (egyenes) körfolyamatnak vagy ciklusnak nevezni. A körfolyamatok egy része visszafelé is működtethető. Az ilyen gépek a hőszivattyúk vagy hűtőgépek: a környezetük végez munkát a gázon, a gáz hőt vesz fel és máshol (több) hőt lead. Ez a működés az indirekt (fordított) körfolyamat vagy ciklus.

5.1. Elméleti Carnot-féle körfolyamat

A 18-19. században szerették volna a hőerőgépek hatásfokát minél jobban megnövelni. Az első ilyen jellegű vizsgálatokat *Sadi Carnot* végezte (1824)^{41,42}. Egy dugattyús hengerbe elzárt m tömegű ideális gázzal két izotermikus és két adiabatikus állapotváltozából álló körfolyamatot végzünk. Minden körülmény ideális: nincs súrlódás, nincs a berendezés alkatrészeiben hőveszteség, a folyamatok kvázisztatikus (reverzibilis) módon zajlanak le.



13. ábra: Carnot-féle körfolyamat p-V diagramja

⁴¹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 398-401

⁴² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 135-139

Az 1-2 szakasz az izotermikus expanzió (tágulás) szakasza. A hengerbe zárt gáz kapcsolatba kerül egy T_2 hőmérsékletű hőtartállyal, és az onnan felvett hő segítségével tágul, s közben munkát végez. A hőtartály olyan – a vizsgált rendszerhez képest – nagy hőkapacitású eszköz vagy anyag, melynek a hőmérséklete nem változik meg észlelhető módon annak a hatására, hogy a vizsgált rendszernek hőt ad le vagy onnan hőt vesz fel.

A 2-3 szakasz az adiabatikus expanzió szakasza. A hengerbe zárt gázt elszigeteljük a környezetétől, és hagyjuk, hogy adiabatikusan kitáguljon, s közben lehűljön T_1 hőmérsékletre.

A 3-4 szakasz az izotermikus kompresszió (összenyomás) szakasza. A gáz kapcsolatba kerül egy T_1 hőmérsékletű hőtartállyal, s miközben az összenyomás érdekében munkát végünk rajta, hőt ad le a hőtartálynak.

A 4-1 szakasz az adiabatikus kompresszió szakasza. A gázt elszigeteljük a környezetétől, és összenyomjuk úgy, hogy a hőmérséklete ismét T_2 legyen. Majd az egész körfolyamat újraindul.

Az 1-2 szakaszra az első főtétel és a 4.25 egyenlet alapján:

$$0 = Q_{\text{fel}} + W_{1-2} \quad (5.1)$$

A gáz által végzett munkát kiszámítható a 4.7 egyenlet segítségével:

$$W_{1-2} = -\int_{V_1}^{V_2} p dV = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_2}{V} dV = -nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (5.2)$$

A felvett hő tehát:

$$Q_{\text{fel}} = nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (5.2)$$

A 3-4 szakaszra hasonlóképpen kiszámítható a leadott hő:

$$Q_{\text{le}} = nRT_1 \ln \frac{V_4}{V_3} < 0 \quad (5.3)$$

Az adiabatikus szakaszokra $Q = 0$. A 2-3 és 4-1 szakaszokra:

$$\Delta U_{2-3} = c_V m (T_1 - T_2) = W_{2-3} \quad \text{és} \quad \Delta U_{4-1} = c_V m (T_2 - T_1) = W_{4-1} \quad (5.4)$$

A körfolyamatra történő összegzés során W_{2-3} és W_{4-1} együttesen 0-t eredményez. A teljes körfolyamat során a gáz Q_{fel} hőt vesz fel a T_2 hőmérsékletű hőtartálytól és $|Q_{\text{le}}|$ hőt ad le a T_1 hőmérsékletű hőtartálynak. Az első főtétel értelmében a kettő különbsége a gáz által összesen végzett munka (hasznos munka).

$$W = Q_{\text{fel}} - |Q_{\text{le}}| \quad (5.5)$$

A hatásfok a hasznos munka és a befektetett hő (felvett hő) hányadosa:

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{fel}}} = \frac{Q_{\text{fel}} - |Q_{\text{le}}|}{Q_{\text{fel}}} \quad (5.6)$$

A 4.32 egyenlet alapján az adiabatikus szakaszokon:

$$T_2 V_2^{\kappa-1} = T_1 V_3^{\kappa-1} \quad \text{és} \quad T_1 V_4^{\kappa-1} = T_2 V_1^{\kappa-1} \quad (5.7)$$

Ebből:

$$\frac{V_3^{\kappa-1}}{V_2^{\kappa-1}} = \frac{V_4^{\kappa-1}}{V_1^{\kappa-1}} \quad \text{azaz} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad (5.7)$$

Az 5.2 és 5.3 egyenletek segítségével:

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{fel}}} = \frac{Q_{\text{fel}} - |Q_{\text{le}}|}{Q_{\text{fel}}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (5.8)$$

A (reverzibilis) Carnot körfolyamat hatásfoka általánosan megfogalmazva:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{alacsony}}}{T_{\text{magas}}} \quad (5.9)$$

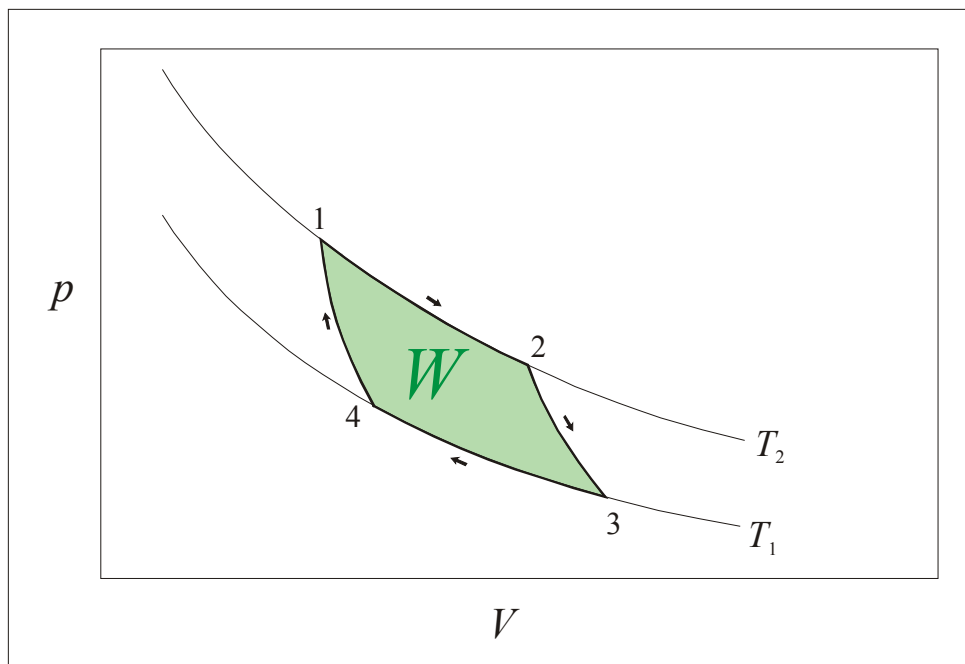
A hatásfok nem függ az anyagi minőségtől.

A második főtétel alapján kimutatható, hogy az 5.9 egyenlettel megadott hatásfok felső határ bármely ciklikusan működő hőerőgép hatásfokára nézve⁴³, ezért van a Carnot-féle körfolyamatnak különösen nagy jelentősége.

A körfolyamatból kinyerhető hasznos munka matematikailag megkapható az alábbi kifejezéssel:

$$W = \oint_{\text{körfolyamat}} p dV \quad (5.10)$$

Ez grafikusan a körfolyamat, mint zárt görbe által határolt terület.

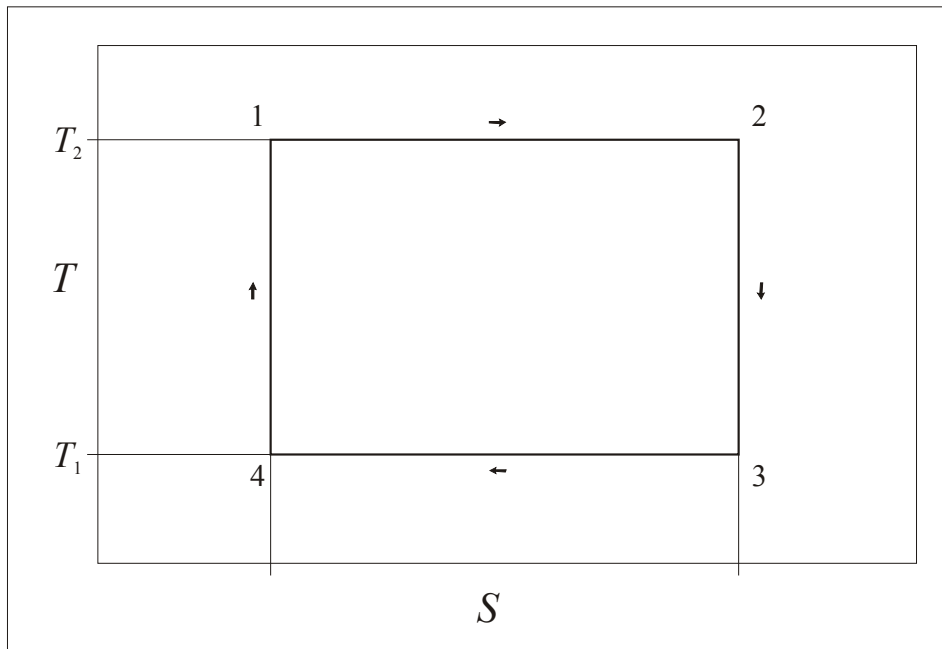


14. ábra: Carnot körfolyamatból kinyerhető hasznos munka

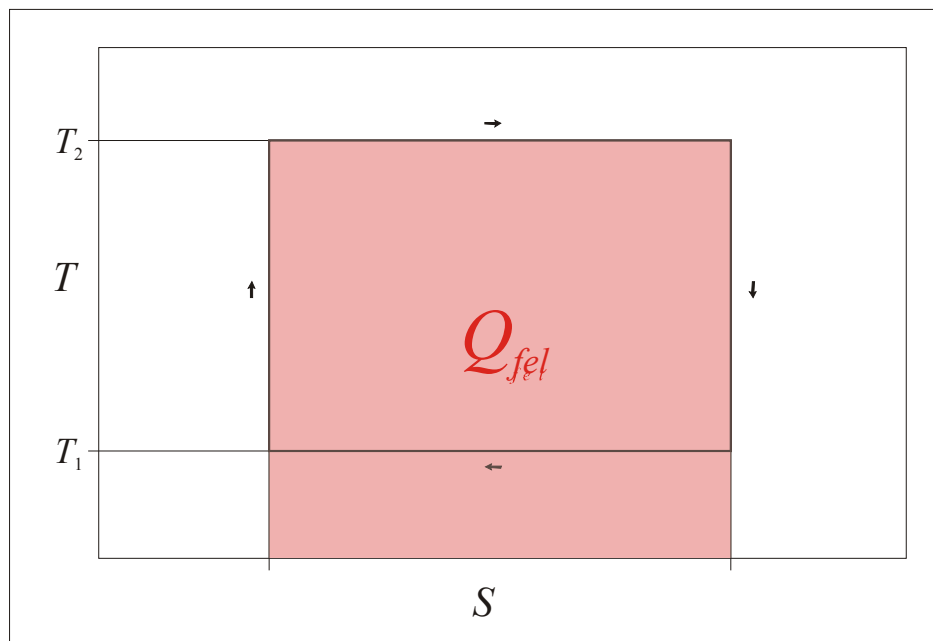
⁴³ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 405

A Carnot körfolyamat tárgyalása sokkal látványosabb a T-S diagram alapján. Két folyamata izoterm, vagyis a képük két vízszintes vonal; két folyamata adiabatikus ($Q = 0 \rightarrow \Delta S = 0$), vagyis képük két függőleges vonal. A teljes körfolyamat a T-S diagramon egy téglalap (15. ábra). A körfolyamat során a gáz által végzett hasznos munka e téglalap területe (16. ábra-18. ábra).

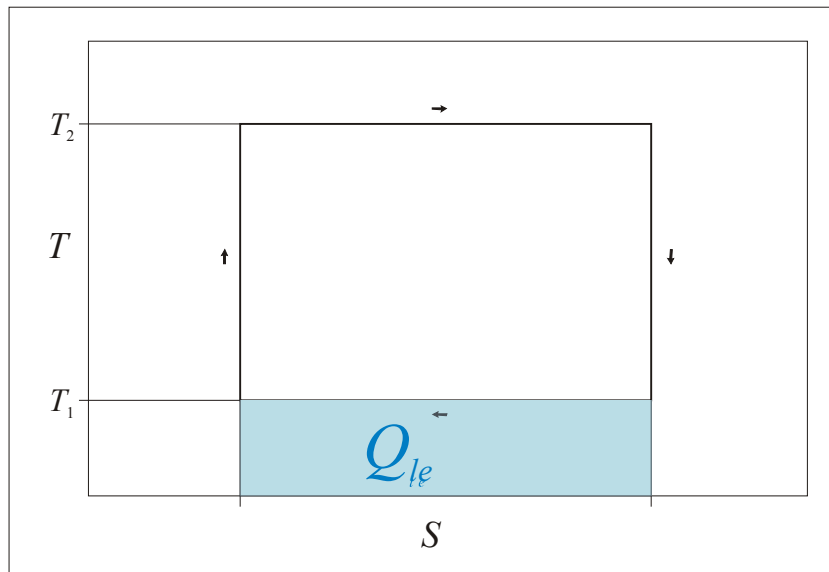
Ha a körfolyamat az ellenkező irányban zajlik le (indirekt vagy fordított körfolyamat), akkor W az a munka lesz, amit a közegen a külső erők végeznek. Ennek hatására $|Q_{le}|$ hőt vesz fel az alacsonyabb hőmérsékletű hőtartálytól és Q_{fel} hőt ad le a magasabb hőmérsékletű hőtartálynak.



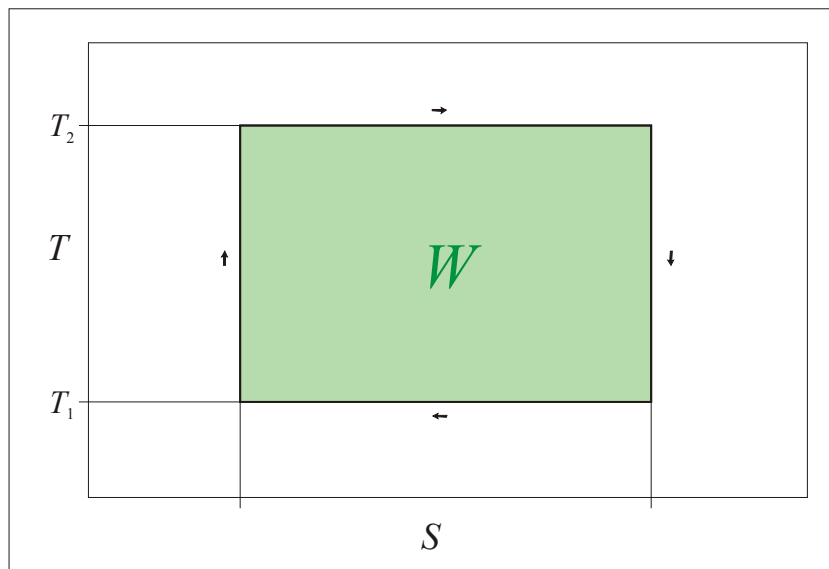
15. ábra: Carnot-féle körfolyamat T-S diagramja



16. ábra: Carnot-féle körfolyamat során a felvett hőmennyiség



17. ábra: Carnot-féle körfolyamat során a leadott hőmennyiség



18. ábra: Carnot-féle körfolyamat során a hasznos munka

A fordított Carnot körfolyamatot alkalmazó hőszivattyú vagy hűtőgép *jósági tényezője* (ε) az átvitt „hasznos” hőmennyiség és az átvitelhez szükséges befektetett munka hányadosa⁴⁴.

A hőszivattyú a hideg külső környezetből visz át hőt a belső zárt térbe (fűtés), ezért a jósági tényezője:

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{fel}}}{W} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{T_{\text{magas}}}{T_{\text{magas}} - T_{\text{alacsony}}} \quad (5.11)$$

A hűtőgép zárt belső térből visz át hőt a külső környezetnek, ezért a jósági tényezője:

$$\varepsilon = \frac{|Q_{\text{le}}|}{W} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{T_{\text{alacsony}}}{T_{\text{magas}} - T_{\text{alacsony}}} \quad (5.12)$$

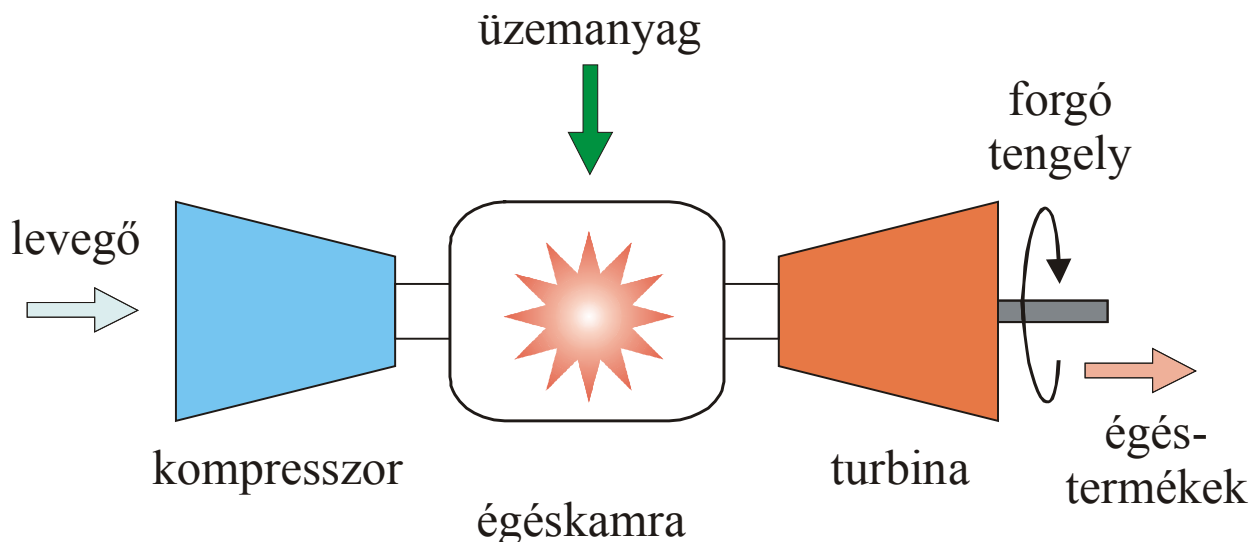
⁴⁴ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 400-401

5.2. Elméleti Brayton-Joule körfolyamat

A körfolyamatot *George Brayton* mérnök dolgozta ki (1872). A körfolyamatot megvalósító eszközök a gázturbinák, melyeket főleg gázturbinás erőművekben illetve repülőgépmotorokban használnak^{45,46}. A fő részei az **19. ábra** láthatóak. A kompresszor összenyomja és az égéstérbe juttatja a levegőt. Az égéstérbe juttatják az üzemanyagot is, majd a levegővel elégetik. A forró égéstermékek a turbinán keresztül hagyják el a berendezést, miközben a turbina tengelyét forgásba hozzák, s így mechanikai munkát végeznek. A működés szigorúan véve nem körfolyamat, hiszen a levegő egyfolytában átáramlik a rendszeren és nem tér vissza. De mivel a kompresszor előtt és a turbina után az állapotok nem változnak működés közben, ezért a számítások során tekinthetjük zárt körfolyamatnak. A körfolyamat két izobár és két adiabatikus folyamatból áll. Az izobár folyamatok során az entalpiával kell számolni. Az entalpia a 4.25 egyenlet mintájára felírható az alábbi alakban:

$$H = c_p m T \quad (5.13)$$

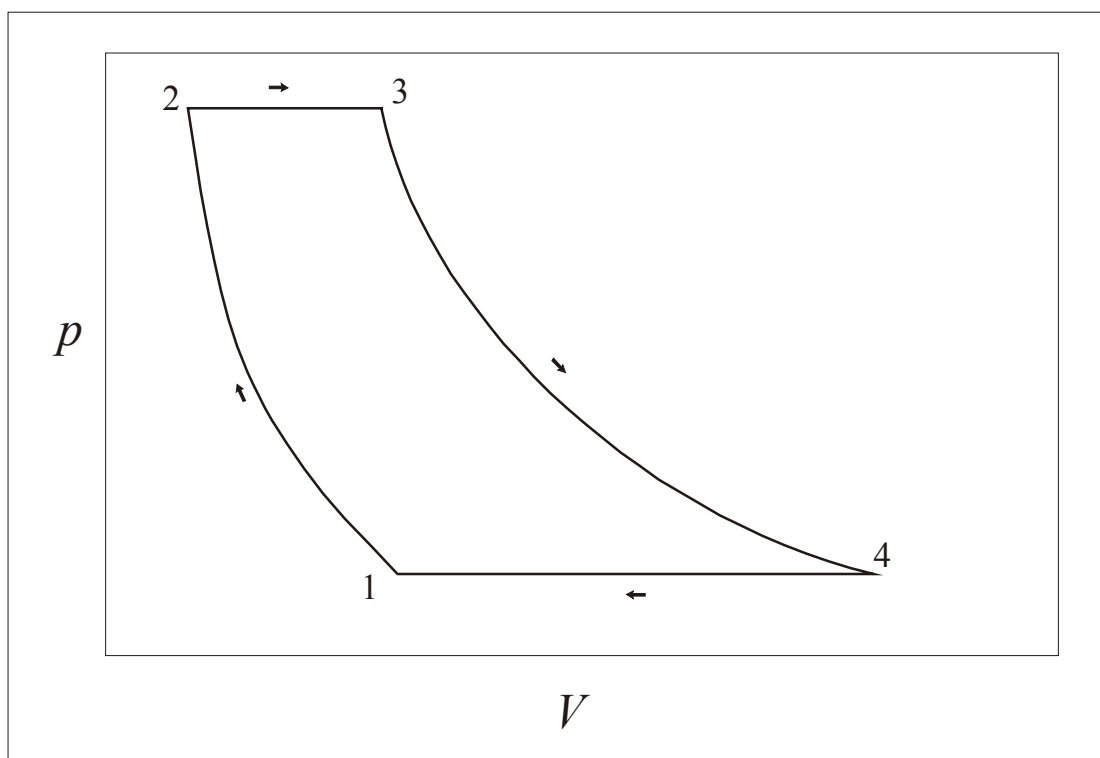
A kompresszor adiabatikus módon összenyomja a levegőt (**20. ábra-22. ábra**; 1-2 szakasz). Ezt követően az égéstérben állandó nyomáson az üzemanyag és levegő keveréke elég (hőfelvétel: **20. ábra-22. ábra**; 2-3 szakasz). A forró gázok adiabatikusan kitágulva lehűlnek, miközben munkát végeznek (**20. ábra-22. ábra**; 3-4 szakasz). A turbinából kilépve állandó nyomáson leadják a felesleges hőt a környezetnek (**20. ábra-22. ábra**; 4-1 szakasz).



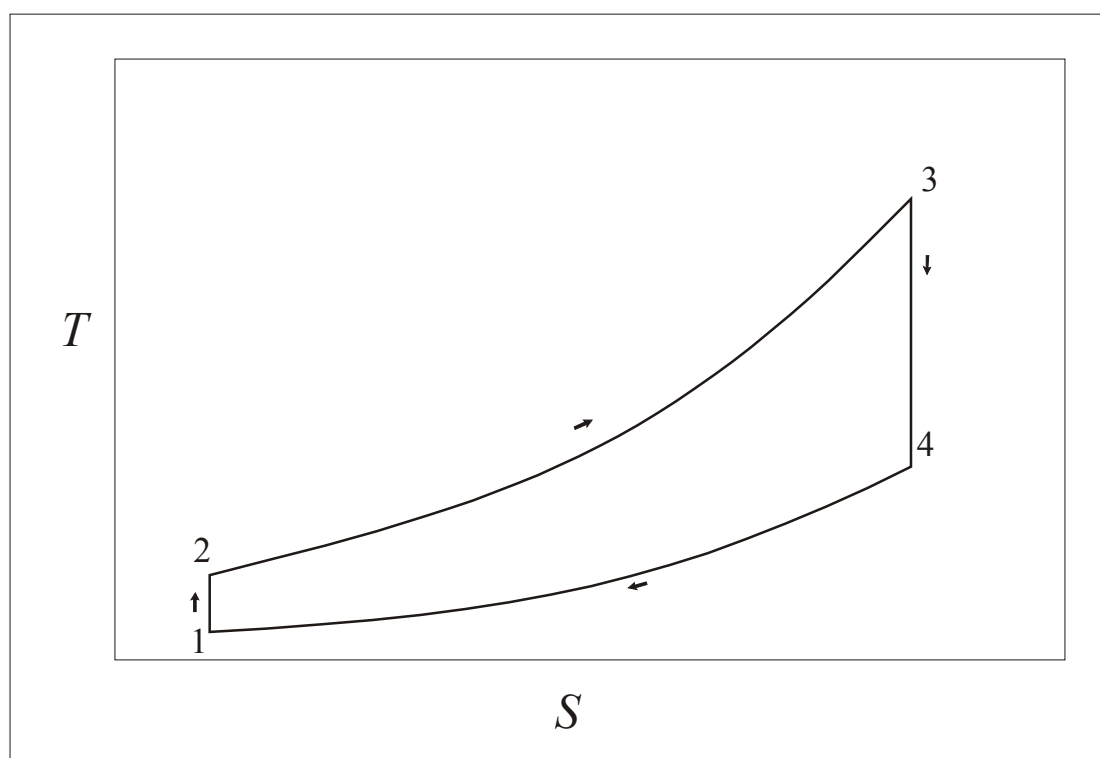
19. ábra: Gázturbina elvi felépítése

⁴⁵ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 477-478

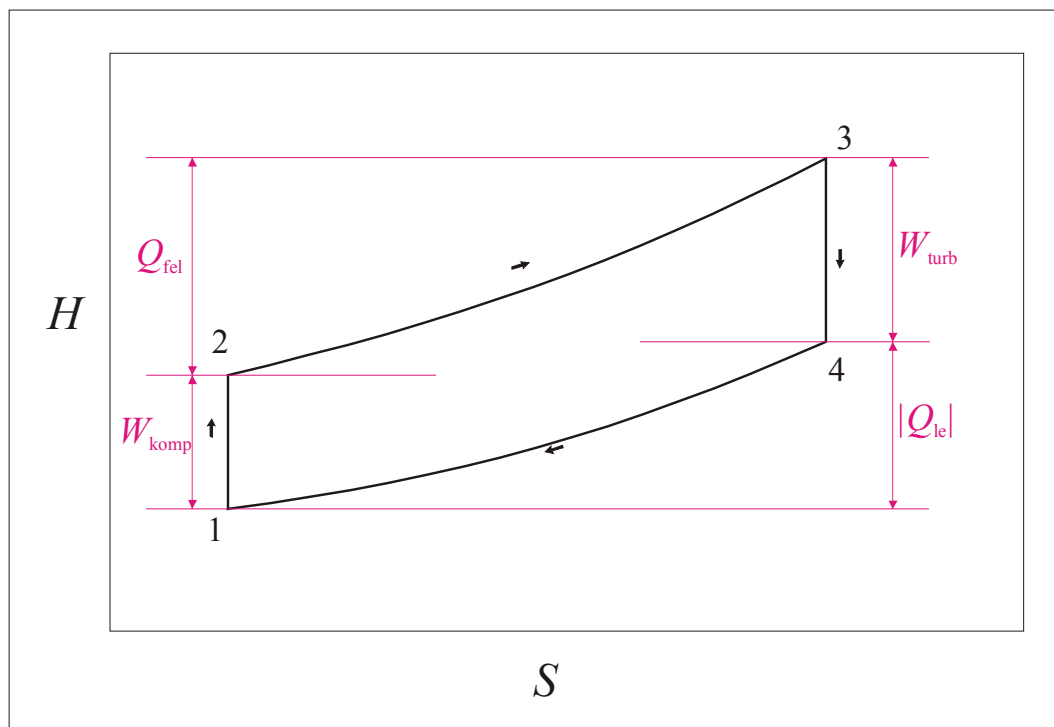
⁴⁶ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 226-227



20. ábra: Brayton-Joule körfolyamat (gázturbina) p-V diagramja



21. ábra: Brayton-Joule körfolyamat (gázturbina) T-S diagramja



22. ábra: Brayton-Joule körfolyamat (gázturbina) H-S diagramja

A H-S diagram segítségével összehasonlítható a kompresszor és a turbina munkája, valamint a felvett és leadott hő.

A hatásfok az 5.8 egyenlet alapján számítható:

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{fel}}} = \frac{Q_{\text{fel}} - |Q_{\text{le}}|}{Q_{\text{fel}}} \quad (5.14)$$

A hő felvétele és leadása is állandó nyomáson történik, tehát az entalpia segítségével felírható:

$$Q_{\text{fel}} = H_3 - H_2 = c_p m (T_3 - T_2) \quad (5.15)$$

$$|Q_{\text{le}}| = H_4 - H_1 = c_p m (T_4 - T_1) \quad (5.16)$$

Így a hatásfok:

$$\eta = 1 - \frac{H_4 - H_1}{H_3 - H_2} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (5.17)$$

A 4.34 egyenlet alapján belátható, hogy a hatásfok:

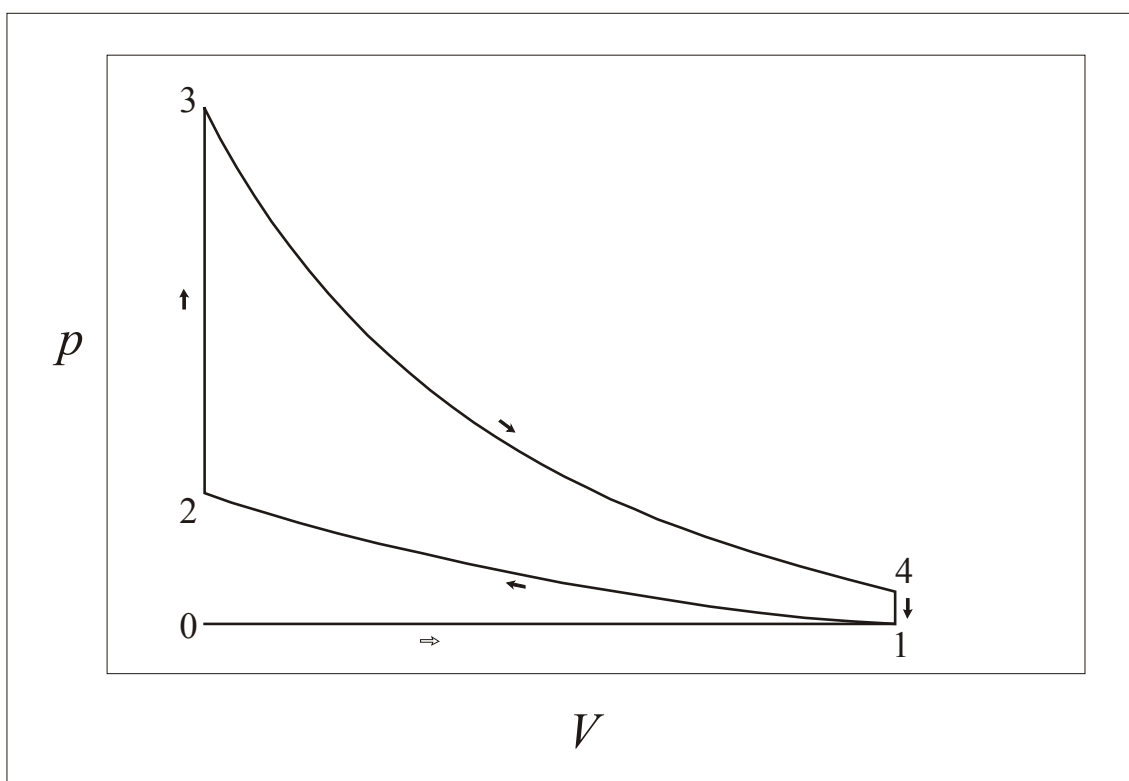
$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{p_1^{(\kappa-1)/\kappa}}{p_2^{(\kappa-1)/\kappa}} \quad (5.18)$$

A gázturbina hatásfoka a nyomásviszony növelésével javítható.

A fordított Brayton-Joule körfolyamat (Bell-Coleman körfolyamat) sugárhajtású repülőgépeken használatos légkondicionálásra.

5.3. Otto körfolyamat

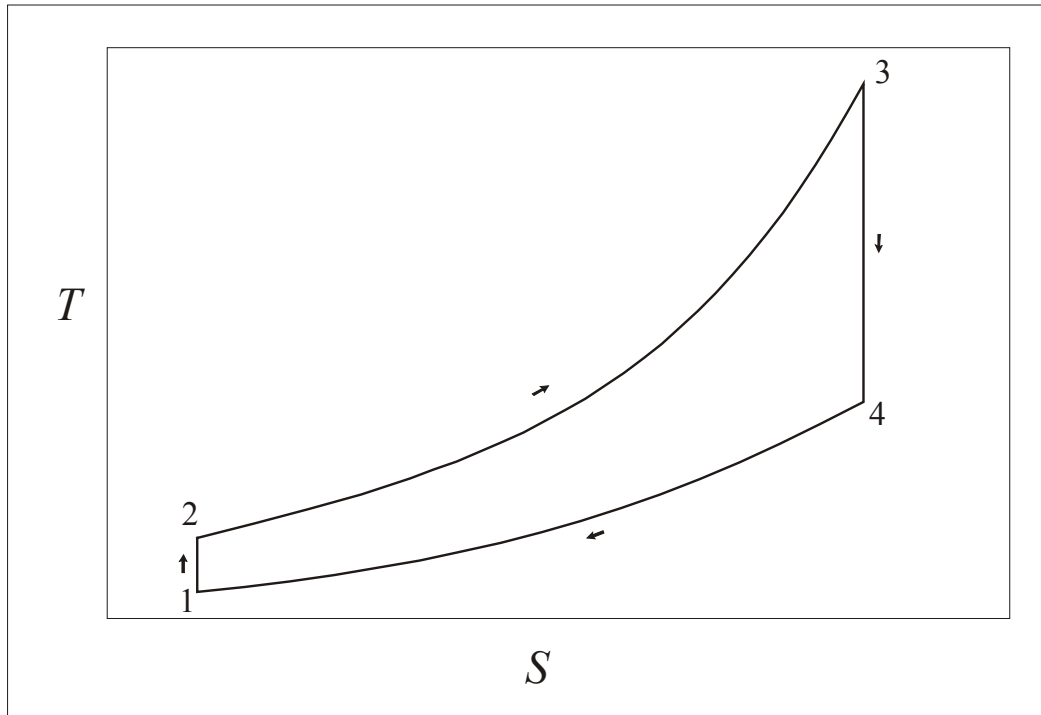
Az Otto körfolyamat a benzinüzemű belsőégésű motorok működését írja le^{47,48} (*Nikolaus August Otto*, 1867). A motor működése négy ütemre bontható. Az első ütem a szívás: a dugattyú a hengerben lefelé mozog, s közben egy nyitott szelepen át levegő-üzemanyag keverék vagy a modernebb típusoknál csak levegő áramlik a hengertérbe. A második ütemnél a dugattyú felfelé mozog, sűríti a levegőt, és minden szelep zárva van. A harmadik ütem kezdetén a sűrített levegő-üzemanyag keveréket meggyújtja egy elektromos szikra (a modern motoroknál a szikra előtt fecskendezik be az égéstérbe az üzemanyagot). A gyors égéssel felhevített gáz nyomása megnő, majd elkezd a dugattyút lefelé mozgatni. A negyedik ütemben a dugattyú felfelé mozog, a kipufogószelep nyitva van, s az égéstermékek távoznak a hengerből. A körfolyamat friss gázkeverékkel újraindul. Az idealizált folyamat két adiabatikus és két izochor folyamatból áll. A körfolyamat p-V diagramja az **23. ábra** látható. Az első ütemnek a 0-1 szakasz felel meg. A körfolyamat tárgyalásához erre a szakaszra nincs szükség, ezért a diagramon nem is mindig tüntetik fel. A második ütem az 1-2 szakasznak felel meg, ez adiabatikus kompresszió.



23. ábra: Elméleti Otto körfolyamat p-V diagramja

⁴⁷ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 476-477

⁴⁸ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 227-228



24. ábra: Elméleti Otto körfolyamat T-S diagramja

A harmadik ütem tartalmazza a 2-3 izochor szakaszt és a 3-4 adiabatikus expanziós szakaszt. A negyedik ütem a 4-1 izochor szakasz (hűlés) és az 1-0 szakasz (kipufogás). A körfolyamat során a hőfelvétel a 2-3 szakaszon történik, a hőleadás pedig a 4-1 szakaszon. A hatásfok az 5.14 egyenlettel adható meg. A 4.32 egyenlet alapján belátható:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{V_2^{\kappa-1}}{V_1^{\kappa-1}} \quad (5.19)$$

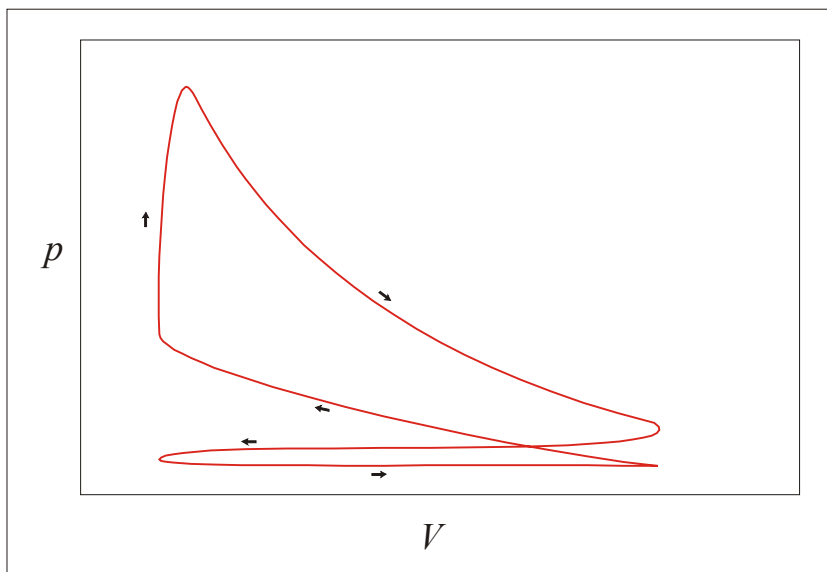
Ha bevezetjük a kompresszióviszonyt ($\varepsilon = V_1/V_2$), akkor a hatásfok:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (5.20)$$

A hatásfok a kompresszióviszony növelésével nő. Ennek határt szab az üzemanyag-levegő keverék öngyulladás, amit el kell kerülni. Benzinmotorok esetén a kompresszióviszony 1:7 – 1:12.

A valóságos benzinmotorok esetében a p-V diagram egy bonyolult görbe, melynek matematikai tárgyalása komplikált. A valódi motorok hatásfoka kisebb, mint az 5.20 egyenlettel számított érték.

Benzinmotorok esetében a kompresszió végnyomása 12-17 bar, az égési csúcshőmérséklet 2000-2500 °C. A motorok tényleges hatásfoka 24-35%.



25. ábra: Valódi Otto körfolyamat p-V diagramja

5.4. Elméleti Diesel körfolyamat

A dízelmotor (*Rudolf Christian Karl Diesel*, 1893) működése négy ütemre bontható^{49,50}. Az első ütem a szívás: a dugattyú a hengerben lefelé mozog, s közben egy nyitott szelepen át levegő áramlik a hengertérbe. A második ütemnél a dugattyú felfelé mozog, sűríti és felhevíti a levegőt, és minden szelep zárva van. A harmadik ütem kezdetén a komprimált forró levegőbe injektálják a dízelolajat, ami a forró levegő hatására meggyullad, és állandó nyomáson égve elkezd lefelé tolni a dugattyút. Az égés lassabb, mint a benzin égése a benzinmotorban. Az égés végeztével adiabatikus tágulás juttatja el a dugattyút az alsó holtpontra. A negyedik ütemben a dugattyú felfelé mozog, a kipufogószelep nyitva van, s az égéstermékek távoznak a hengerből. A körfolyamat újraindul friss levegővel. Az idealizált folyamat két adiabatikus, egy izobár és egy izochor folyamatból áll. A körfolyamat p-V diagramja az **26. ábra** látható.

Az első ütem a 0-1 szakasz; ezt a körfolyamat energodinamikai tárgyalásához nem kell figyelembe venni. A második ütem az 1-2 szakasz. A harmadik ütem (munkaütem) a 2-3 és a 3-4 szakasz együtt. A negyedik szakasz (kipufogás) a 4-1 és 1-0 szakasz együtt.

A számítást hasonlóképpen kell elvégezni, mint az előző esetekben. A végeredményként kapott hatásfok:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \left(\frac{\rho^{\kappa} - 1}{\kappa(\rho - 1)} \right) \quad (5.21)$$

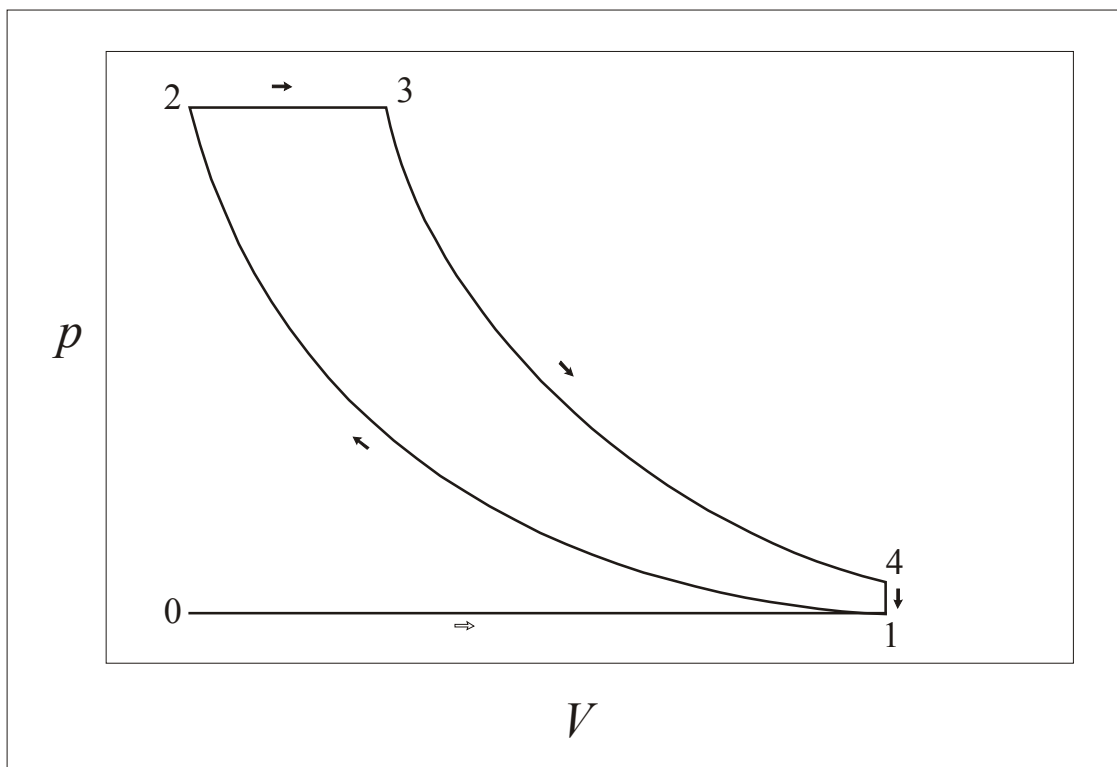
ahol $\rho = V_3/V_2$ az égési folyamat végén és kezdetén lévő térfogatok aránya.

Valóságos dízelmotorok esetében a p-V diagram hasonlít a benzinmotorok esetében kapott görbéhez, de nincs rajta kiugró csúcs, kevésbé szögletes (**28. ábra**).

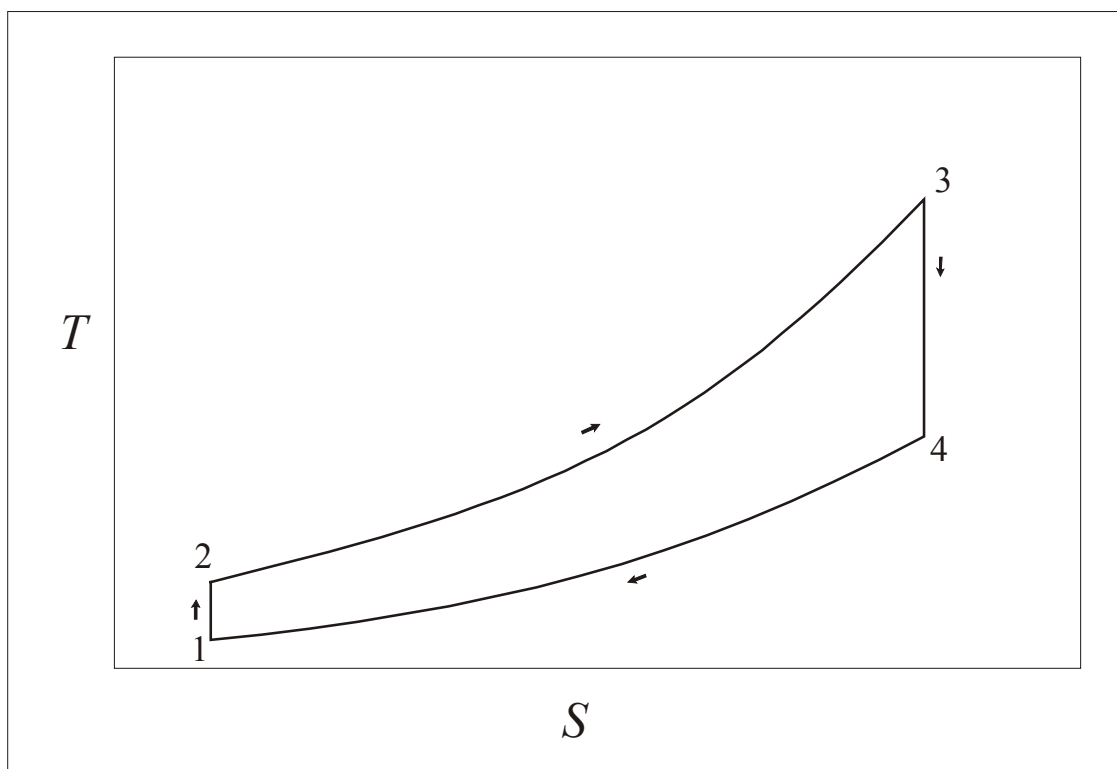
Dízelmotorok esetében a kompresszióviszony 1:16 – 1:22, a kompresszió végnyomása 30-55 bar, az égési csúcshőmérséklet 2000-2500 °C. A motorok tényleges hatásfoka 32-43%. A dízelmotorok jobb hatásfoka annak köszönhető, hogy ugyan az 5.21 egyenlet kisebb hatásfokot eredményez ugyanakkora ε -ra, mint az 5.20 egyenlet, de a dízelmotorokban sokkal nagyobb kompresszió érhető el.

⁴⁹ Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, pp. 478

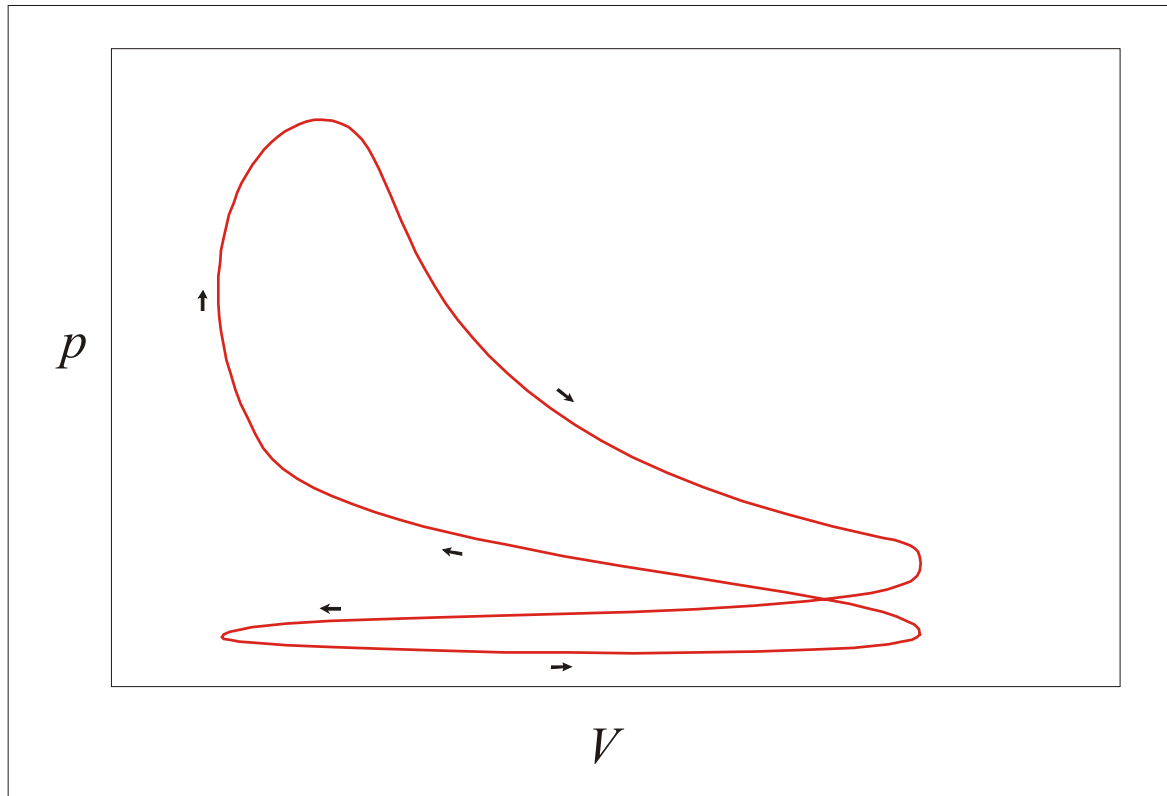
⁵⁰ Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 228



26. ábra: Elméleti Diesel körfolyamat p - V diagramja



27. ábra: Elméleti Diesel körfolyamat T - S diagramja

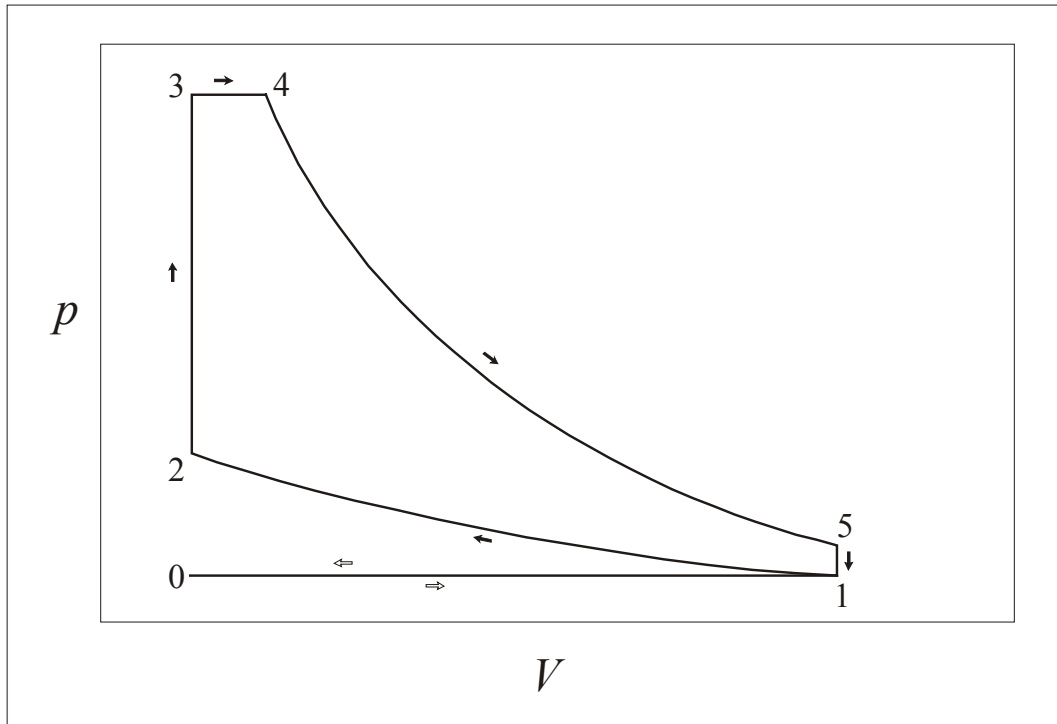


28. ábra: Valódi Diesel körfolyamat p-V diagramja

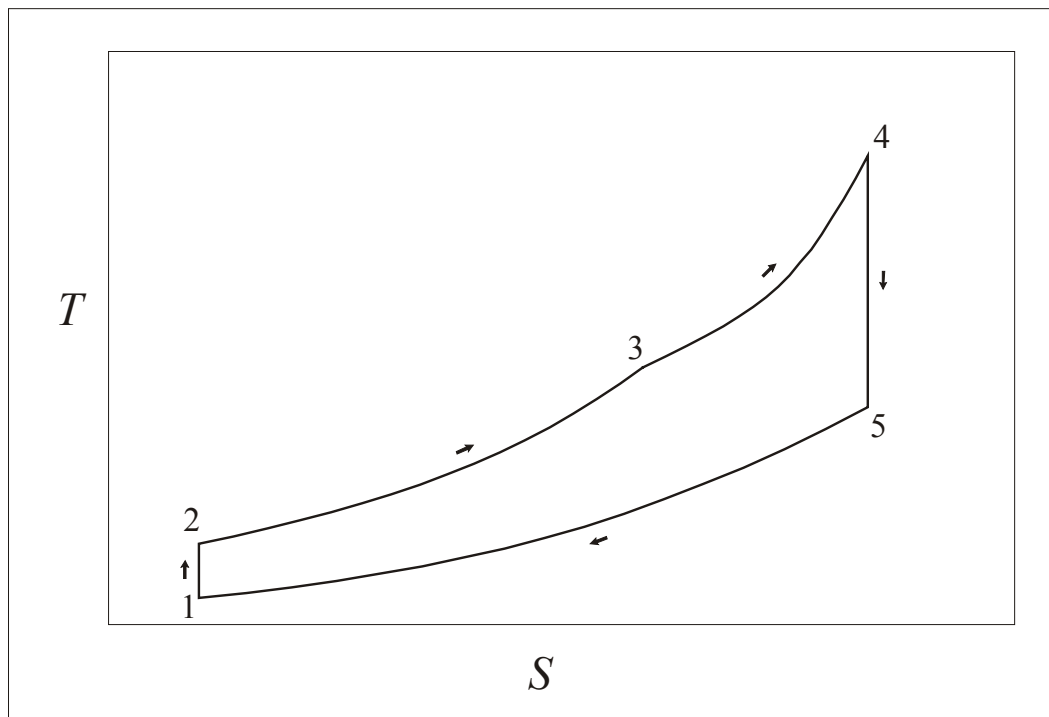
5.5. Kevert körfolyamat (Sabathe körfolyamat vagy Seiliger körfolyamat)

A valódi benzin- illetve dízelmotorok körfolyamata matematikailag nehezen kezelhető. Leírásukat jól lehet közelíteni a kevert (Sabathe vagy Seiliger) körfolyamattal (*Myron Seiliger*, 1922; *Sabathé*, 1908). Ez tulajdonképpen az elméleti Otto és az elméleti Diesel körfolyamat keveréke (29. ábra-30. ábra). A motor működésének első üteme, a szívás (0-1 szakasz) izobár, a második ütem a sűrítés (1-2 szakasz) adiabatikus állapotváltozás. A harmadik ütem (munkaütem) részben izochor, részben izobár és részben adiabatikus állapotváltozás: az égés elején a dugattyú a felső holtponton van, s egy ideig a térfogat állandó (2-3 szakasz), majd a dugattyú elindul, miközben az üzemanyag még mindig ég, s ekkor a nyomás tekinthető állandónak (3-4 szakasz). Az égés végeztével a forró gázok adiabatikusan kitágulnak (4-5 szakasz). A negyedik ütem (kipufogás) ugyanolyan, mint az elméleti Otto vagy Diesel körfolyamatnál (5-1 és 1-0 szakaszok).

Ha benzinmotort tárgyalunk a kevert körfolyamat segítségével, akkor az izochor szakasz a hosszabb (2-3 szakasz), ha dízelmotort, akkor az izobár (3-4 szakasz).



29. ábra: Ideális kevert (Sabathe, Seiliger) körfolyamat p-V diagramja



30. ábra: Ideális kevert (Sabathe, Seiliger) körfolyamat T-S diagramja

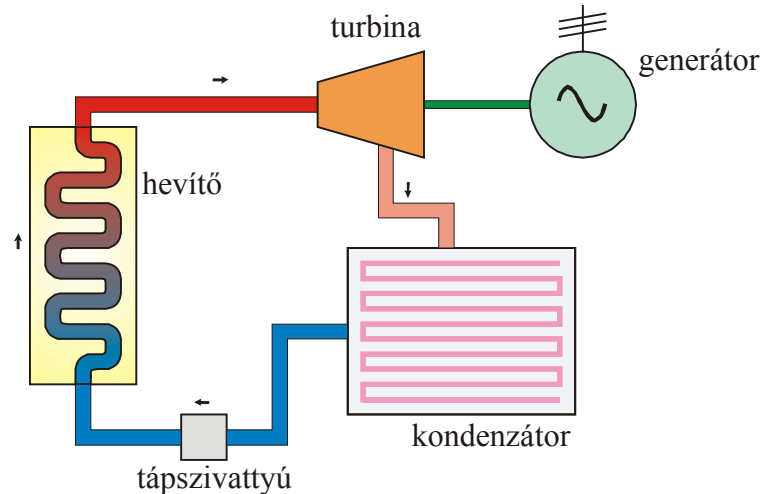
A hatásfok:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \frac{\rho^{\kappa} \lambda - 1}{(\lambda - 1) + \kappa \lambda (\rho - 1)} \quad (5.22)$$

ahol $\rho = V_4 / V_3$ az égési folyamat végén és kezdetén lévő térfogatok aránya, $\lambda = p_3 / p_2$ pedig az égési folyamat végén és kezdetén lévő nyomások aránya.

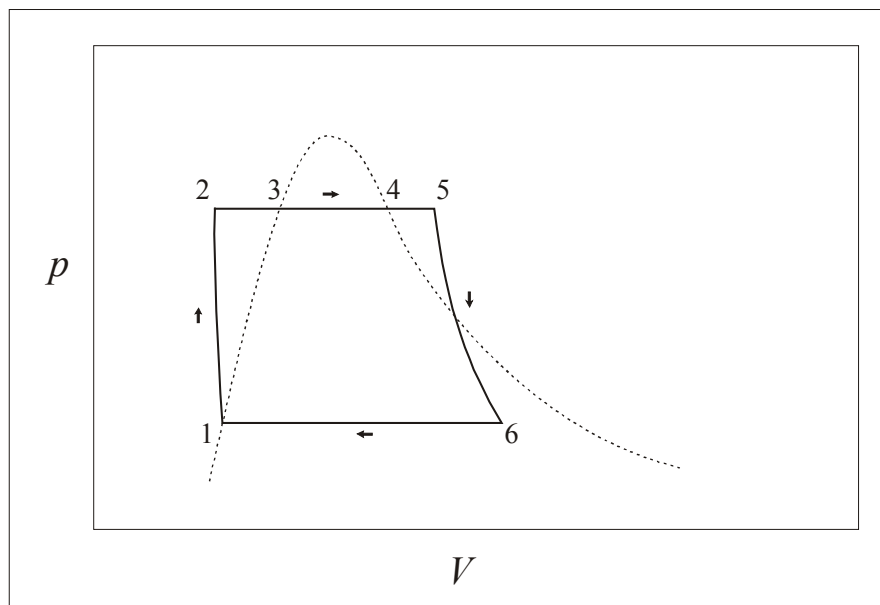
5.6. Rankine-Clausius körfolyamat

A villamosenergia-termelésben résztvevő erőművek jelentős számban Rankine-Clausius-féle gőzkörfolyamatot^{51,52} (*William John Macquorn Rankine*, 1859) megvalósító erőművek (hőerőművek, atomerőművek). A berendezés négy fő egységből áll (**31. ábra**). A tápszivattyú nagy nyomással továbbítja a vizet a hevítő (kazán, atomreaktor) felé. A hevítőben a vizet felmelegítik, elforrallják, és többnyire a vízgőzt túl is hevítik. A turbinában a vízgőz munkát végez (tengelyt megforgat, s ezzel hajtják meg a villamos generátort), s közben lehűl. A kondenzátorban a gőz leadja a maradék hőt, és vízzé kondenzálódik. Innen újra a tápszivattyúba kerül.



31. ábra: Rankine körfolyamatot megvalósító gőzturbinás erőmű elvi felépítése

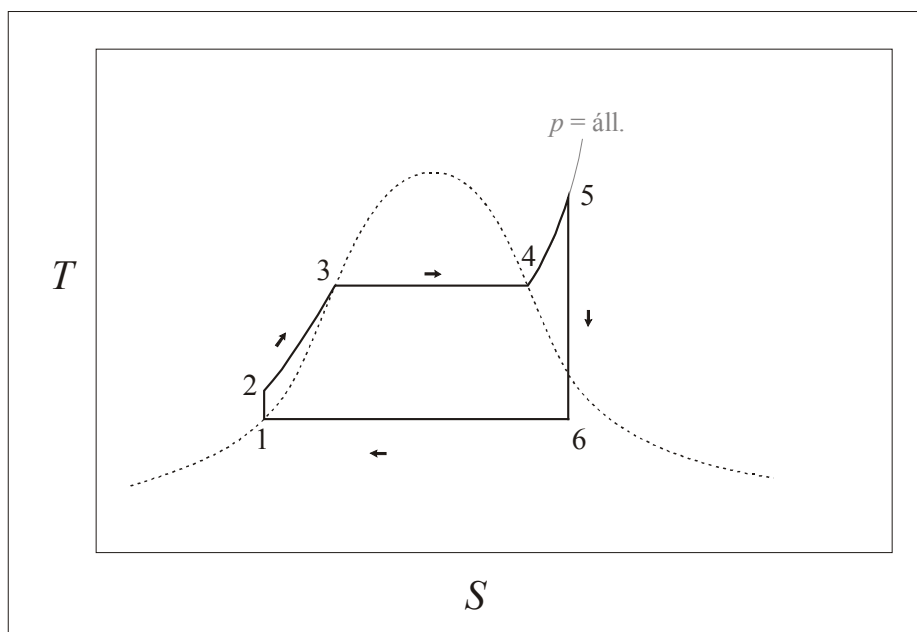
A körfolyamat p-V és T-S diagramja látható az **32. ábra** és **33. ábra**.



32. ábra: Rankine-Clausius körfolyamat p-V diagramja

⁵¹ Vajda György: Energetika II., Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984, pp. 120-127

⁵² Litz József: Fizika II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005, pp. 225-226



33. ábra: Rankine-Clausius körfolyamat T-S diagramja

A szaggatott vonal a víz fázisait elválasztó határoló görbe. A ciklus az 1 pontban indul. Az 1-2 szakaszon a tápszivattyú megnöveli a víz nyomását és eljuttatja a hevítőbe. A 2-3, a 3-4 és a 4-5 szakasz a hevítőben játszódik le: a víz először forrpontig felmelegszik (2-3), majd elforr (3-4; nedves gőz), és a forró gőz tovább lesz hevítve (4-5; száraz gőz). Az 5-6 szakaszon a gőz a turbinában munkát végez, s közben lehül és a nyomása is lecsökken. A turbinából kijutó gőzt a kondenzátorban hűtéssel cseppfolyósítják (6-1 szakasz). A víz újra a tápszivattyúba kerül.

A hatásfok számításához az entalpiákat kell figyelembe venni. A betáplált hő a víz(gőz) entalpiájának változásával egyenlő:

$$Q_{\text{fel}} = H_5 - H_2 \quad (5.23)$$

A leadott hő:

$$|Q_{\text{le}}| = H_6 - H_1 \quad (5.24)$$

A tápszivattyú munkája:

$$W_{\text{sz}} = H_2 - H_1 \quad (5.25)$$

A turbina munkája:

$$W_{\text{turb}} = H_5 - H_6 \quad (5.26)$$

A hatásfok:

$$\eta = \frac{W_{\text{turb}} - W_{\text{sz}}}{Q_{\text{fel}}} = \frac{(H_5 - H_6) - (H_2 - H_1)}{H_5 - H_2} \quad (5.27)$$

A legtöbb esetben a tápszivattyú munkája elhanyagolható a turbina munkája mellett, így a hatásfok:

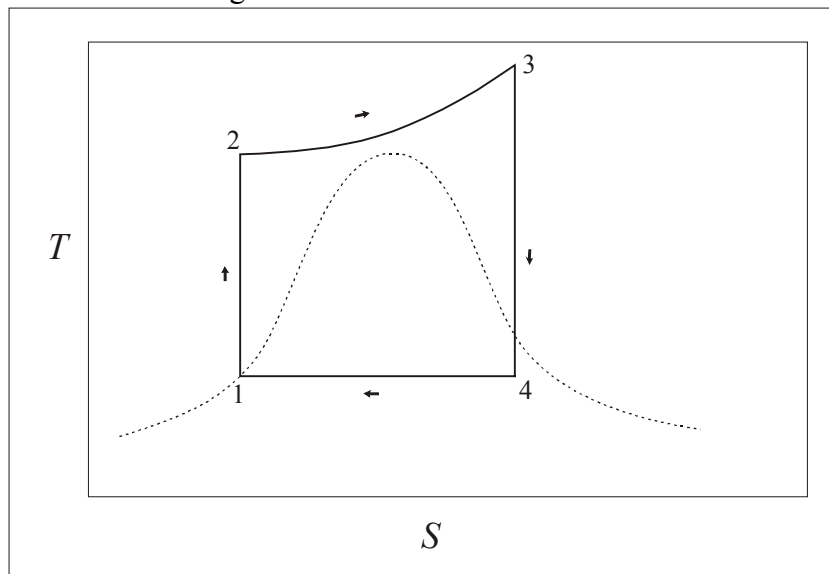
$$\eta = \frac{H_5 - H_6}{H_5 - H_2} \quad (5.28)$$

A tipikus hőerőművekben a hevítőben 170-180 bar nyomást és 535-570 °C hőmérsékletet alkalmaznak.

A hatásfok értéke a Carnot-féle körfolyamathoz képest kisebb, de a gyakorlatban megvalósítható körfolyamatok közül a legjobban ez közelíti meg.

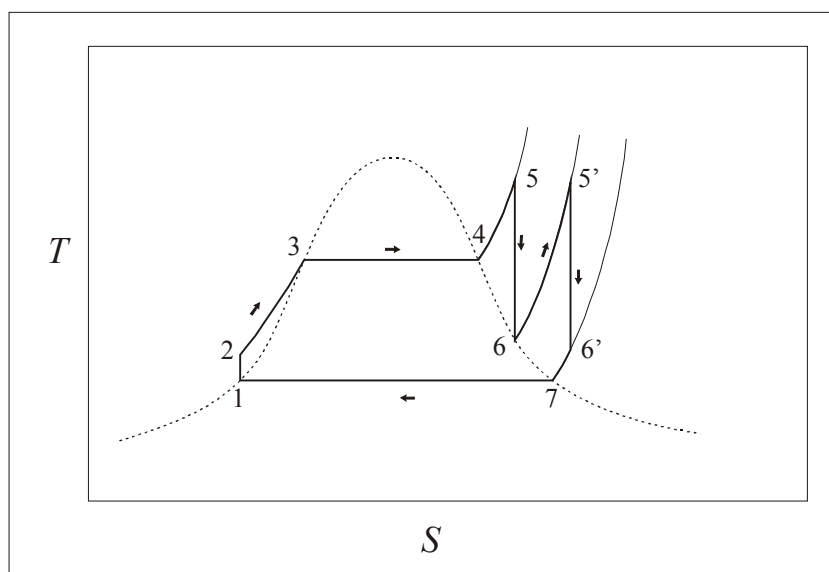
A hatásfok növelésére több megoldást is használnak.

Az egyik megoldás a szuperkritikus körfolyamat megvalósítása (**34. ábra**). Ezzel a rendszerrel a Carnot-féle körfolyamat jobban megközelíthető. A szükséges nyomásértékek azonban nagyon magasak (240-270 bar), s ezzel együtt bonyolultabb szabályozásra és kényszeráramoltatásra is szükség van.



34. ábra: Szuperkritikus Rankine körfolyamat T-S diagramja

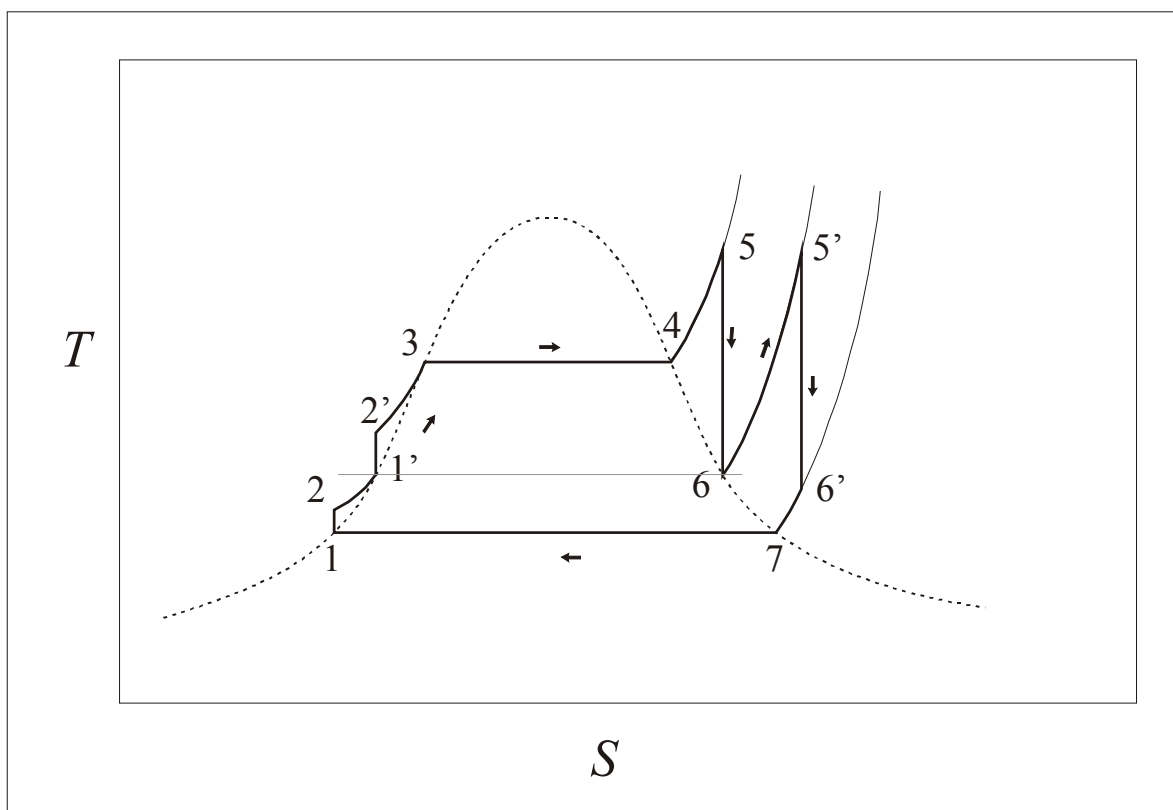
Másik megoldás a gőz újrahevítése.



35. ábra: Újrahevítéses Rankine körfolyamat T-S diagramja

Korszerű erőművekben a turbinát több részből szerelik össze, így lehetőség van fokozatok létrehozására: az első turbinafokozat után (**35. ábra**, 6 pont) a gőzt visszavezetik a hevítőbe, majd a forrosítás után a második turbinafokozatba (**35. ábra**, 5' pont), s csak ezután juttatják el a kondenzátorba. Így 2-4% hatásfok növekedést lehet elérni.

A hatásfok javítható azzal is, ha a bemenő víz hőmérsékletét sikerül megemelni; ez a regeneratív tápvízelőmelegítés. A turbinából kivezetett gőzt az azonos nyomású tápvízzel összekeverve, a hevítőbe belépő víz hőmérsékletét jelentősen meg lehet emelni (**36. ábra** a 6 pont: gőz, a 2 pont: tápvíz).

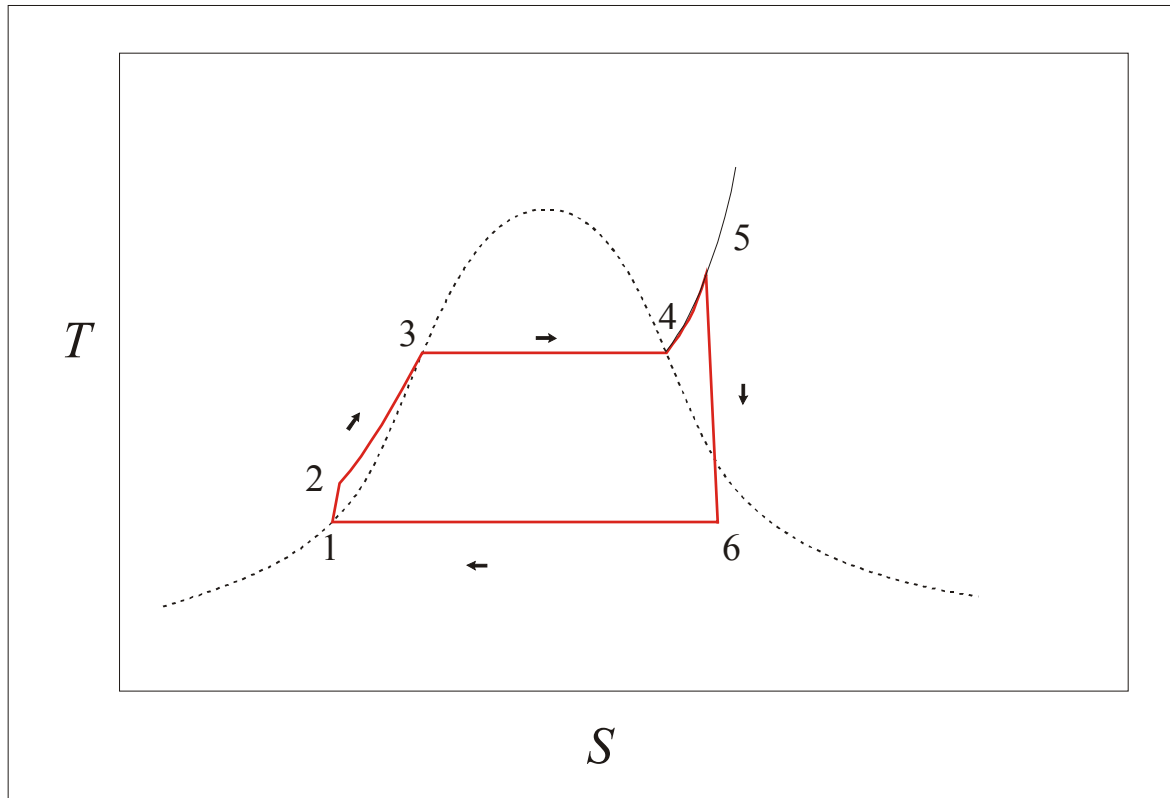


36. ábra: Rankine körfolyamat regeneratív tápvízelőmelegítéssel

Ezzel a módszerrel 6-10% hatásfok növekedés érhető el. A mai korszerű erőművek regeneratív tápvízelőmelegítéssel és a gőz újrahevitésével 38-39%-os hatásfokon tudnak üzemelni.

Ha kisebb hőmérsékletkülönbségeket kell villamos energia előállítására felhasználni, akkor a szerves Rankine körfolyamatot (organic Rankine cycle: ORC) lehet alkalmazni. Ennél a közeg nem víz, hanem valamilyen szerves anyag, leggyakrabban szénhidrogén, például pentán vagy bután. Az ilyen erőművek kis teljesítményűek; alkalmasak ipari hulladék hő, geotermális hő, biomasszából nyerhető hő vagy szoláris hő hasznosítására.

Az **32. ábra-36. ábra** az ideális Rankine körfolyamatokat mutatták be. Természetesen a valódi erőműveknél nem lehet eltekinteni a termikus veszteségektől. Ezek a veszteségek a T-S diagramon legfőképpen az izentrópus szakaszoknál észrevehetőek (az **37. ábra** a körfolyamat 1-2 és 5-6 szakaszai nem függőlegesek, hanem eltérnek a nagyobb entrópia irányába).

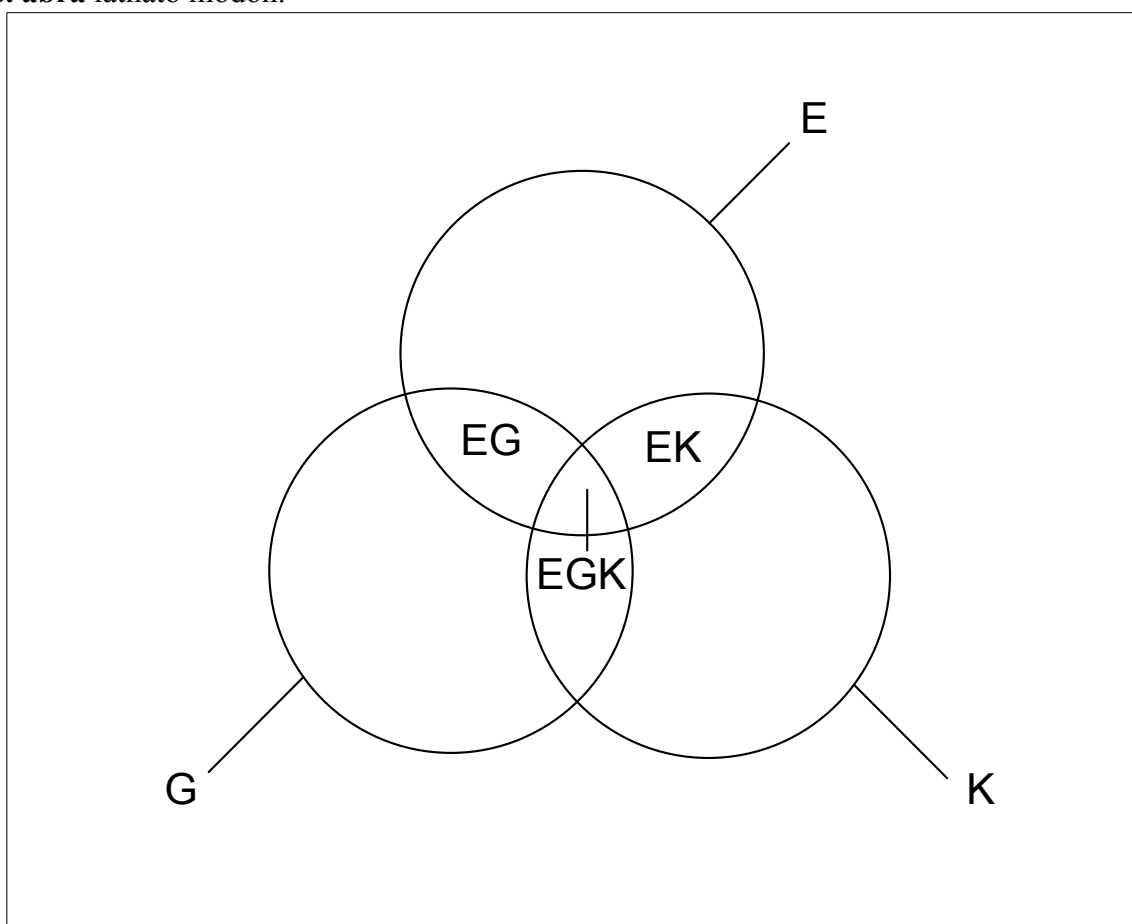


37. ábra: Valódi Rankine-Clausius gőzkörfolyamat T - S diagramja

6. Magyarország energetikai helyzete, energiaellátása, az energiafelhasználás szerkezete, az energetikával kapcsolatos legfontosabb alap ismeretek. [1]; [2]; [3]; [4]; [5] (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós)

Széchenyi István Egyetem, Győr

Az energetika feladatát globális értelemben a Világ nemzetgazdaságainak, lokális értelemben egy ország nemzetgazdaságának, ezen belül városok, falvak, települések, ipari és mezőgazdasági üzemek, intézmények és a lakosság biztonságos, gazdaságos és környezetbarát energiaellátása képezi. Halmazelméleti szempontok szerint közelítve meg a kérdést az energetika kérdéseit szűkebb-tágabb értelmezésben lehet tárgyalni az energetika (E), a gazdaság/társadalom (G) és a természeti környezet (K) halmazainak feltüntetésével a **38. ábra** látható módon.



38. ábra: Az energetika (E), a gazdaság/társadalom (G) és a természeti környezet (K) halmazai[1]

- Az (E) részhalmaz csak az energetika elemeit tartalmazza. elsősorban azok az energetikai kérdések tartoznak ide, amelyeknek sem gazdasági/társadalmi, sem természeti környezeti vonatkozásai nincsenek. Szűkebb értelemben véve ilyenek az energetika műszaki és tudományos problémái.
- Az (EG) részhalmazban az energetika és a gazdaság/társadalom közös elemei vannak. Ezek az energetika gazdasági és társadalmi hatásai, a gazdaság és energia kapcsolatai.

- Az (EK) részhalmoz az energetika - mint a technoszféra része - és a természeti környezet - bioszféra - közös elemeit tartalmazza. Itt kell szólni az energetika környezeti hatásairól illetve a környezetvédelem érvényesítéséről az energetikában.
- Az (EGK) részhalmoz szerinti értelmezésben az energetika a gazdasági/társadalmi és környezeti összefüggéseiben vizsgálható.

Célszerű a továbbiakban összefoglalni azokat az újabb ismereteket is, amelyek segíthetik az energetika egyes összefüggéseinek vizsgálatát.

6.1. Az energiaellátás, Magyarország energiaellátása[2]

Az energiaellátásról az **39. ábra** nyújt áttekintést. Az energiaellátási folyamat kiindulását a primer energiaforrások fosszilis és nukleáris tüzelőanyagok (szén, kőolaj, földgáz és hasadó anyagok) valamint a megújuló energiaforrások és hulladék energiák jelentik.

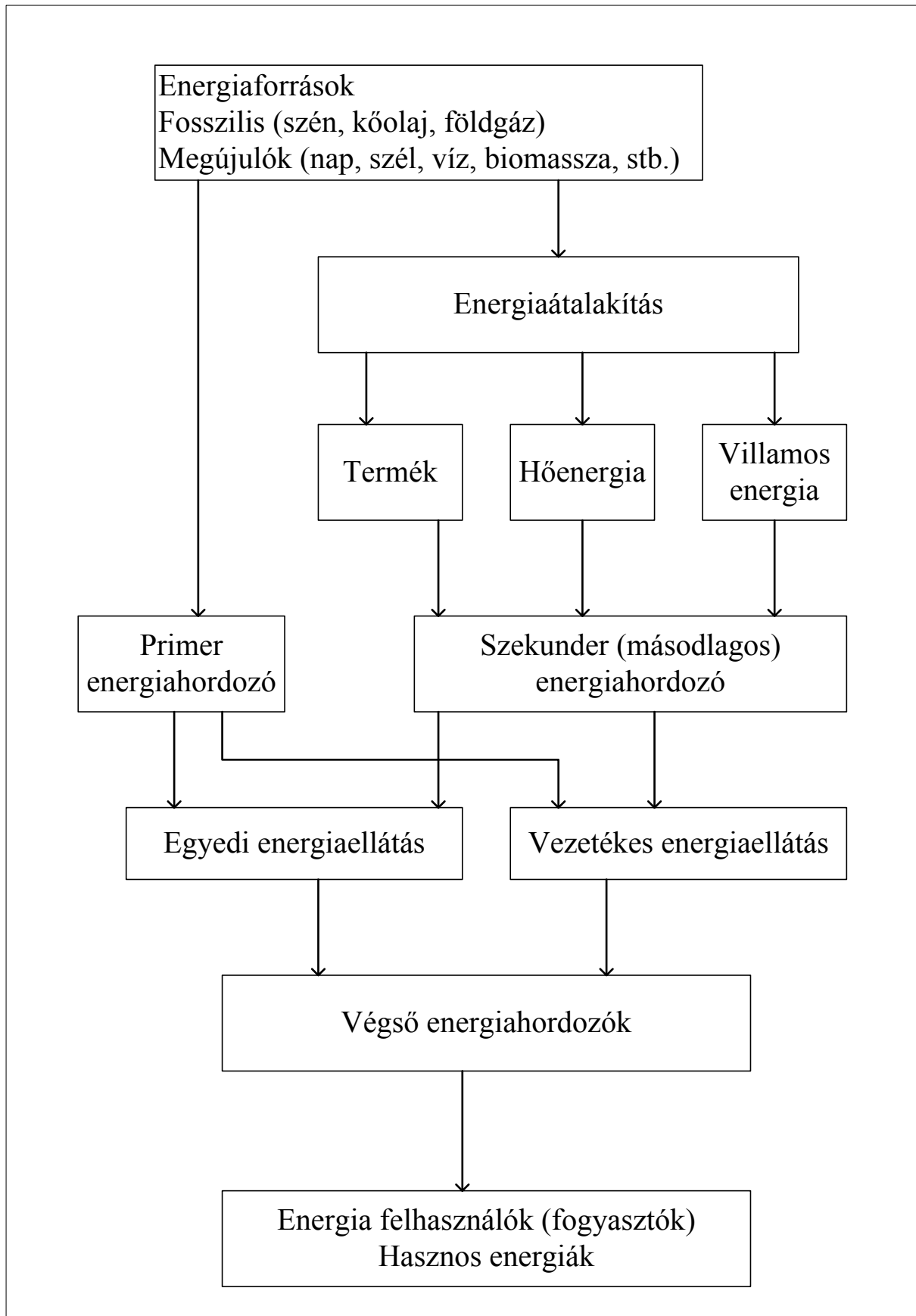
A folyamat az energia fogyasztóknál a végenergia-felhasználással fejeződik be, amikor a fogyasztók a végenergiából hasznos energiát állítanak elő (pl. világítás, fény, hűtés, fűtés, mozgási energia, elektrolízis). A következőkben az energiaellátás fontosabb elemeit vesszük sorra.

6.1.1. Energiafajták

Az energiafogyasztók többféle formában igénylik az energiát.

A gyakorlati életben meghatározott fajtájú, s még azonos fajtán belül is más-más jellemzőkkel (paraméterekkel) bíró energiára van szüksége az iparnak, a mezőgazdaságnak, a közlekedésnek, de még a kommunális fogyasztói szektornak, a háztartásoknak is, sőt ugyanazt a célt, feladatot különböző energiafajtákkal is megoldhatjuk. **Az energia átalakítási lánc felhasználói, fogyasztói oldalán felhasznált energiát hasznos energiának nevezik.**

Energiára van szüksége egy autógyárnak és energiát igényel a lakások fűtése is. Az autógyárak működtetéséhez elsősorban villamos energiára (mechanikai energiára), míg a lakások fűtéséhez hőenergiára van szükség. A lakásfűtés energiahordozója a távfűtőrendszerben áramló 150-90 °C hőmérsékletű melegvíz.



39. ábra: Az energiaellátás sémája[2]

Az energiának az előző példákban bemutatott formáit **energiafajtáknak** nevezzük. **A legfontosabb hasznos energiafajták:** a mechanikai energia, a hő-, a kémiai-, a fény-, hűtési, mozgási.

A szükséges energiafajták általában nem állnak közvetlenül készen a fogyasztó, a felhasználó rendelkezésére.

A fogyasztó mindig meghatározott fizikai - technikai sajátosságokkal, paraméterekkel rendelkező energiát igényel. Ilyen paraméterek pl.: a hőmérséklet, a feszültség, a sebesség stb. **A különféle energiafajták meghatározott arányok szerint átalakíthatók egymásba.**

Az energiaellátásban leginkább a következő energiafajták jelennek meg: tüzelőanyag energiája, hő, mechanikai és villamos energia.

6.1.2. Energia átalakítók[1]

A mindennapi életben a bemutatott energiafajták igen sokféle és igen bonyolult kapcsolataival, átalakulásaival lehet találkozni. Az energiaátalakítás meghatározó elemei az energiaátalakítók. Az energiaátalakítás fontosabb lehetőségeit a **3. táblázat** foglalja össze.

3. táblázat: Az energiaátalakítás lehetőségei [1]; [2]

Tüzelőanyag	Tüzelő- és üzemanyag	Hő	Mechanikai munka	Villamos energia
szén, kőolaj-, földgáz, nukleáris üzemanyag	brikett, koks, széngáz, benzin, gázolaj, fűtőolaj, PB gáz, dúsított üzemanyag, üzemanyag elem	exoterm reakciók, égés: kazánok, fűtőművek, fűtőerőművek megvasadás: reaktor, fúzió	belsőégésű motorok: benzinmotorok, dízelmotorok, gázmotorok, gázturbinák	galvánelem, tüzelőanyag -cella, hőerő-művek, atomerő-művek
Hőenergia	endoterm reakciók	hőcserélők, abszorpciós hűtőgépek és hőszivattyúk	hőerőgépek: gőzturbinák, gázturbinák	hőelem
Mechanikai energia	Mechano-kémiai jelenségek, részecskegyorsítás	hűtőgépek, hőszivattyúk	mechanikai hajtások, pneumatikus gépek, hidraulikus gépek, vízturbina	generátor, vízerőmű
Villamos energia		villamos fűtés, bojler, villanytűzhely, villamos hőszivattyú	villamos motorok	Transzformátor, Egyenirányító, frekvencia váltó, elektroncső

A fenti, példászerű kiragadott energiatípusok és energiaátalakítási lehetőségek mellett még igen sokfajta energetikai folyamattal találkozhatunk a mindennapi gyakorlatban.

Az ipar, a közlekedés, a kommunális fogyasztók mindjobban a "nemesebb", kevesebb munkával járó, jobban automatizálható berendezésben használható, kevesebb hulladékkal, kevesebb környezeti szennyezéssel járó és jobb hatásfokkal hasznosítható energiahordozókat igényel. ("Igényesebb" energiahordozók: földgáz, a gőz, a forró víz és mindenek előtt a villamos energia.)

Rohamosan növekedett az energiahordozók ipari alapanyagként történő felhasználása is (pl.: földgáz).

a) Tüzelőanyag nemesítés, üzemanyaggyártás

A természetben előforduló fosszilis (szén, kőolaj, földgáz) és nukleáris (urán, tórium) tüzelőanyagokat többféle módon lehet felhasználhatóbb terméké nemesíteni. Szénből pl. brikettet, kokszot lehet gyártani vagy szénelgázosítással gázt előállítani. A kőolaj feldolgozása során számos hasznos termékhez jutunk, nevezetesen üzemanyagként benzint és gázolajat, maradék terméké fűtőolajok különböző fajtáit kapjuk. A tüzelőanyagok előkészítésének, nemesítésének célja lehet a szárítás (pl. lignit esetén) vagy a környezetre káros anyagok kivonása (pl. kéntelenítés). A nukleáris tüzelőanyagokat a felhasználás előtt elő kell készíteni. A legtöbb reaktortípusban a természetes urán nem használható, azt U^{235} izotópokban dúsítani kell. A dúsításon kívül az atomreaktorokba helyezhető nukleáris tüzelőanyagelemek gyártása még igen sok előkészítő fázist igényel.

b) Hőtermelés

Helyiségfűtésre, technológiai célokra, használati melegvíztermelésre igen széles körben merül fel a hőigény. A hőt közvetlenül forróvíz és gőzkazánokban, fűtőművekben állítják elő. Kényelmi szempontból széles körben elterjedtek a közvetlen villamos hőtermelő eljárások (villamos fűtés, villanytűzhely, villanybojler, stb.). Ezek energetikai hatékonysága meglehetősen rossz.

c) Villamosenergia-termelés

A villamos energia a legkedveltebb, minden célra könnyen használható energiatípus. A villamos energiát az erőművek, döntően hőerőművek termelik, amelyek a tüzelőanyagok (szén, kőolaj, földgáz) kötött energiáját hővé, a hőt mechanikai munkává, majd a mechanikai munkát villamos energiává alakítják. A hőerőművek vagy csak villamos energiát (kondenzációs erőművek), vagy villamos energiát és kapcsoltan hőt (fűtőerőművek) állítanak elő. A hőerőművek a felhasznált tüzelőanyag alapján konvencionális hőerőművek vagy atomerőművek, munkaközegük alapján gőzerőművek, gázturbinás erőművek vagy kombinált gáz/gőzerőművek lehetnek. A megújuló energiákat felhasználó erőművek közül a legfontosabbak a vízerőművek. A jövő energetikájában a jelenleginél jóval fontosabb szerep juthat a megújuló energiaforrásokra alapozott - a konvencionális hő-mechanikai energia átalakítást megkerülő, közvetlen villamosenergia-termelő eljárásoknak, pl. a szélerőműveknek a tüzelőanyag-celláknak, a napenergia fotovillamos átalakítását megvalósító napelemeknek. (Photovoltaik). A fúziós villamosenergia-termelés ugyancsak a jövőbeni (2050 körül) villamos energia előállítás lehetséges ígérete.

6.1.3. Primer és szekunder energiahordozók

Az energiát az energiaellátás folyamatában mindig valamilyen anyag közvetíti, ezeket **energiahordozóknak** nevezik. A gyakorlatban **primer** és **szekunder** energiahordozókat szokás megkülönböztetni, noha megkülönböztetésük nem minden esetben határozható el élesen.

A természetben található energiaforrásokat tekintik **primer (elsődleges) energiahordozóknak**. A primer (elsődleges) energia a természetben előforduló az ember által még át nem alakított szilárd, folyékony és gáznemű nyersanyagokban rejlő energia.

Más szavakkal az ásványi anyagokban szén, kőolaj, földgáz, urán rejlő energia.

A használatukhoz kötött az **energiakészletek** fogalma. A hagyományos vagy más néven fosszilis energiahordozók a természetben véges azaz kimerülő készletekben fordulnak elő. A gyakorlati életben felhasznált hagyományos elsődleges (primer) energiáknak - az atomenergia kivételével - a Nap a forrása. A szénben, olajban, földgázban meglévő és felszabadítható hőenergia akkumulált napenergiának tekinthető és ezek emberi léptékkal mérve nem újulnak meg. Osztályozhatjuk még a természetben előforduló primer (elsődleges) energiahordozókat aszerint, hogy gazdaságilag értékelhető időn belül természetes úton megújulnak-e vagy sem.

**Beszélhetünk kimeríthetetlen energiaforrásokról mint a napenergia, víz, szél és ár-
apály.** Mivel ezek emberi léptékkal mérve **mindig megújulnak** nem lehet készleteket megállapítani belőlük (jelenlegi ismereteink szerint) mivel **a Nap vagy a Föld energiájából származnak.** Ezeket az energiaforrásokat megújuló energiaforrásoknak nevezik. Szokták a megújuló energiaforrásokat alternatív energiaforrások elnevezéssel is illetni, mivel ezek a hagyományos (fosszilis) tüzelőanyagok környezetbarát kiváltására alkalmasak, ezáltal környezetvédelmi szempontból energianyeresi alternatívát jelentenek.

A kimerülő és megújuló energiák elhatárolása esetenként kérdéses lehet. Például a geotermikus hő kimerülő energiának tekintik, noha bizonyos mértékű megújulása tapasztalható.

Másrészt beszélhetünk az úgynevezett regenerálható állandóan újratermelődő energiaforrásokról mint a fa, biogáz illetve a biomassza fogalomkörébe sorolható energiaforrásokról.

Az energiafogyasztók a primer energiahordozóknak csak kisebb részarányát használják fel eredeti állapotban. Nagyobb részük átalakítás után **szekunder (másodlagos) energiaként** kerül fogalmazásra és felhasználásra. **A szekunder (másodlagos) energia** az energiaátalakítás során a primer energiahordozókból (fosszilis illetve megújuló) nyerhető energia.

Szekunder energia például a vízenergiából nyerhető villamos energia, az atomerőműben, szenes erőműben előállított villamos energia. De ugyanígy ide sorolható a napenergiából fotovillamos energiaátalakítóval nyerhető villamos energia is.

A szekunder energiáknak három köre emelhető ki:

- a tüzelőanyagok feldolgozásával és nemesítésével a primer energiahordozóknál **magasabb használati értékű termék** nyerhető. Például a szénből brikettet, kokszt és gázt. Kőolajból benzint, gázolajat, tüzelőolajat, különböző minőségű fűtőolajat állítanak elő. Ugyanígy uránércből dúsított fémes vagy keramikus üzemanyag állítható elő,

- a szekunder energia a hőenergia. A hőt valamilyen energiaátalakítóban (kazán, reaktor, hőerőmű, hőszivattyú) állítják elő. Hordozója lehet forró víz (fűtésre) vagy gőz (technológiai célokra),
- a legkedvezőbb szekunder energia a villamos energia. Kényelmesen, gazdaságosan használható, szinte bárhova elszállítható.

6.1.4. Egyedi és vezetékes energiaellátás

A fogyasztók egyedileg vagy kiterjedt vezetékhalozaton keresztül láthatók el energiával. Bizonyos primer és szekunder energiahordozók esetén csak az egyedi energiaellátás jöhet számításba. Ebbe a csoportba tartoznak a szén, a széntermékek és az olajtermékek. Szállításuk és forgalmazásuk eszközei változatosak.

Az energiaellátás fejlesztésének egyik velejárója a vezetékes energiaellátás terjedése. A vezetékes energiaellátás főleg három energiahordozó esetén alakult ki. A villamos energiát a kezdetektől **villamos hálózat** juttatta el a termelőtől a fogyasztóig. A kezdeti helyi kis hálózatok területi, majd országos és végül nemzetközi együttműködő villamos hálózatok kialakulására vezettek.

A földgáz szerepe az utóbbi évtizedekben jelentősen növekedett az energiaellátásban. Forgalmazása szintén kizárólag **földgázvezetéseken** keresztül történik, amelyek az országok egyre több települését behálózzák.

Városok hőellátásában indokolt lehet a **távhőszolgáltatás** is, különösen akkor, ha kellően nagy a hősűrűség és a távhőt a fűtőerőművek hatékony kapcsolt energiatermeléssel állítják elő. A távhőt forróvíz- vagy gőzhálózatú távhőrendszerek szolgáltatják.

6.1.5. Energiafogyasztók

Az energiaellátás célja és végállomása az energiafogyasztók igényének kielégítése. Az energiafogyasztók összetétele a gazdaság/társadalom egészét tükrözi, általában termelői (ipari és mezőgazdasági), intézményi és lakossági energiafogyasztókról beszélhetünk.

Az energiafogyasztást mérhetjük a felhasznált tüzelőanyag bázisán, ezt gyakran bruttó energiafogyasztásnak nevezzük. Az energiafogyasztóknál a végenergia-felhasználást, az ún. nettó energiafogyasztást állapíthatjuk meg. A bruttó és nettó felhasználás közötti különbséget energiaátalakítási és szállítási veszteségek okozzák.

A végenergia-felhasználásban bizonyos mértékű alternativitás lehetséges. A szóba jövő alternatív megoldások közül gazdasági, piaci és környezetvédelmi szempontok alapján lehet és kell választani. Piaci és környezetvédelmi szempontok elsősorban a hőellátásban már a tervezés fázisában is érvényesülhetnek. Tervezéskor lehet választani egyedi és vezetékes hőellátás között, a vezetékes ellátás elsősorban a távhőellátás kiépítését jelentheti. Tervezéskor az egyes fogyasztók érdekei csak korlátok között érvényesülhetnek, az optimális energiaellátás módjának választásában inkább a fogyasztói körzetek közérdeke a meghatározó (pl.: a biomassza tüzelőanyagú falufűtőművek megvalósítása lakossági hozzájárulással). Az energiaellátás bizonyos területein természetes monopóliumok is megjelennek (áramszolgáltatók).

Az **ipari fogyasztók** a felhasznált energiahordozókat esetenként nem csak energetikai célokra használják, hanem ezek képezik technológiájuk nyersanyagát is (vegyipar).

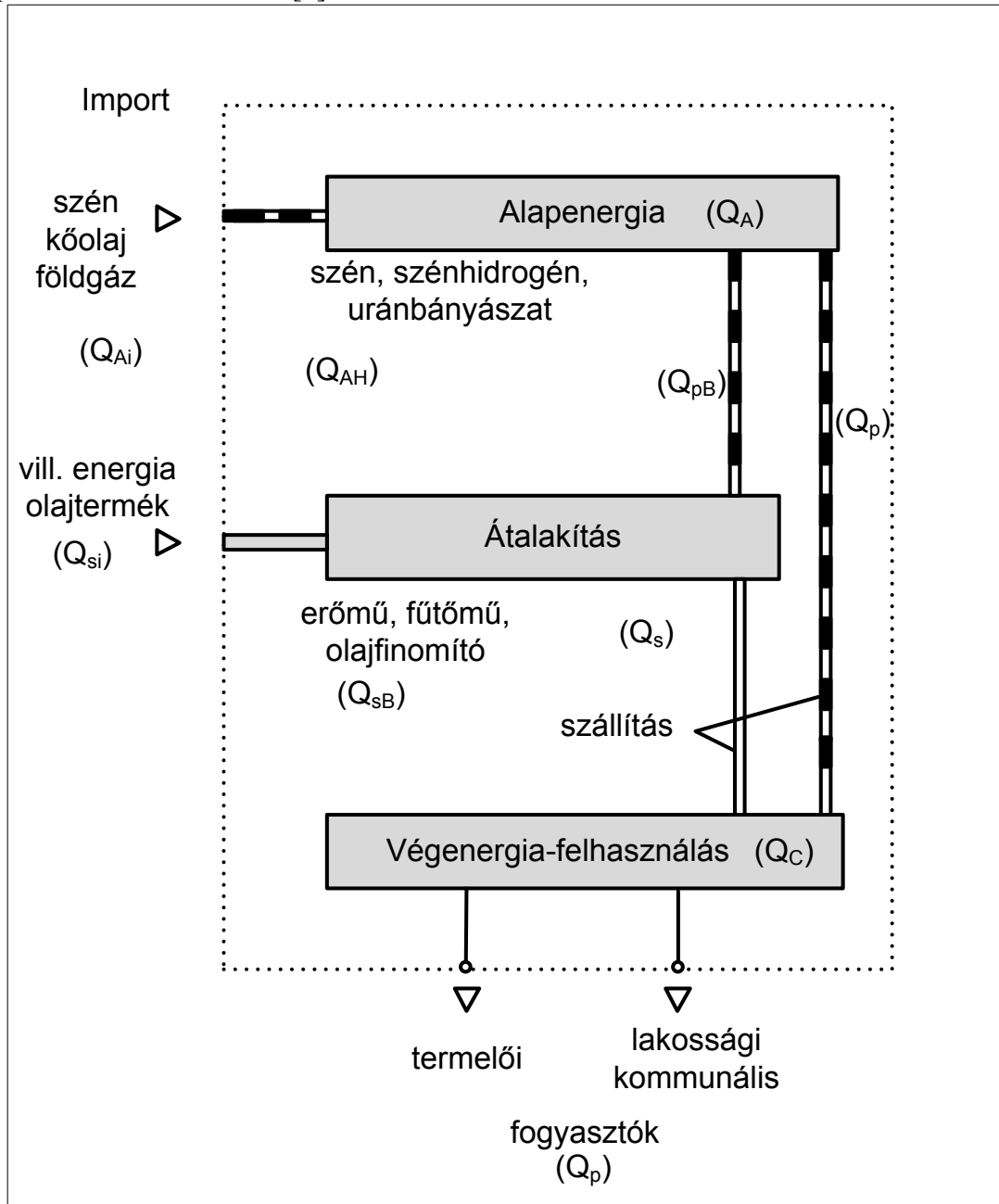
A **fogyasztók** energiafelhasználásának összesítése határozza meg a nemzeti energiaellátás struktúráját. Az energiasztruktúra hosszú távú alakulását a piaci viszonyok és az állami beavatkozás (árszabályozás, prioritások) mellett az energetika általános fejlődési tendenciái befolyásolják.

6.2. Energiarendszerek, a magyarországi energiaellátó rendszerek [1]; [2]

Az energiaellátás országos feladataira - a nemzetgazdaság fontos ágazataként - az energiaipar alakult ki. Az energiaipar részeként különböző energiarendszerek működnek [1].

6.2.1. Energiaipar

Az energiaipar három fő részre tagolható: energiaforrások, -átalakítók és -szolgáltatók. Felépítése a 40. ábra látható. [1]



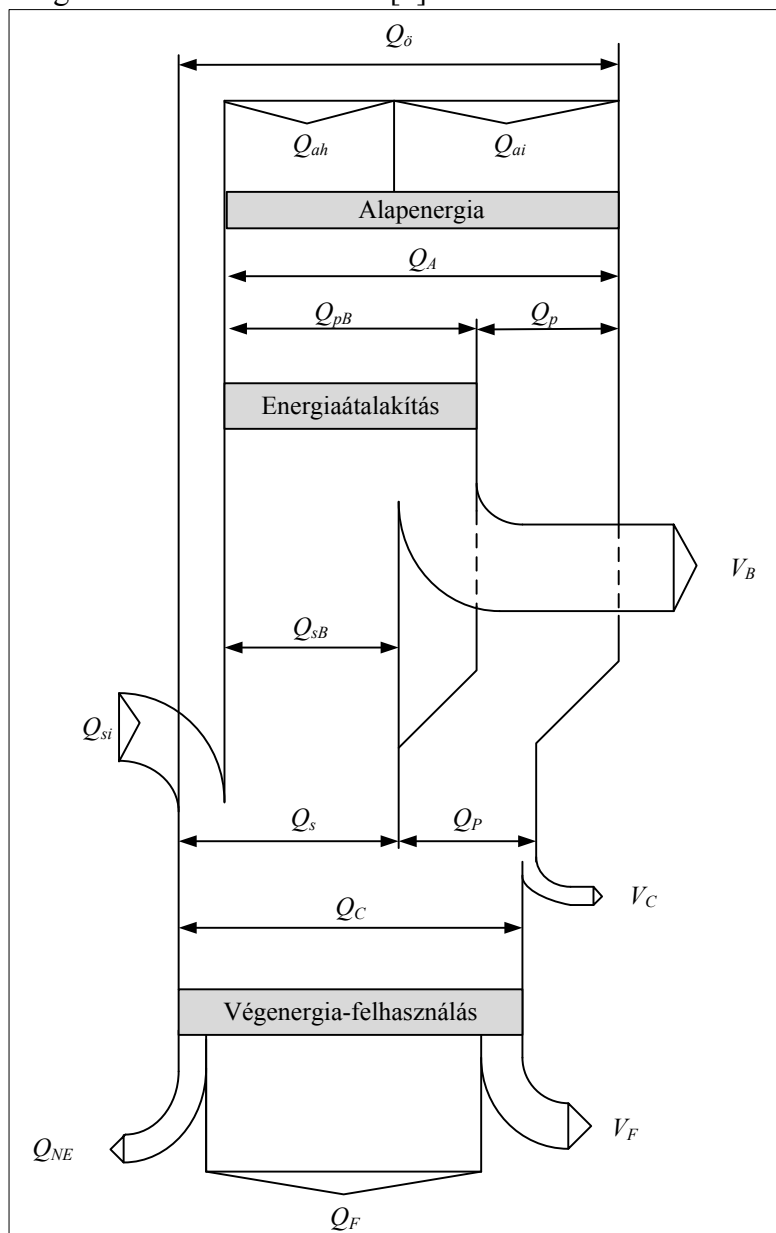
40. ábra: Az energiaipar struktúrája [1]

Az alapenergia-források (Q_A) a primer energiahordozók hazai termelését (Q_{AH}) és importját (Q_{Ai}) együtt jelenti. Része a hazai szén-, olaj-, földgáz- bányászat.

A hazai primer energiaforrásokat általában a szén, kőolaj és földgáz importja egészíti ki.

Az energiaforrásból a primer energiahordozók egy része közvetlenül a fogyasztókhoz jut (Q_p).

Másik része a központi **energiaátalakítóba** kerül (Q_{pB}), amelyek ebből megfelelő szekunder energiahordozókat állítanak elő (Q_{sB}). A központi energiaátalakítók körébe tartoznak a villamosenergia-termelő erőművek, a hőt előállító fűtőművek és fűtőerőművek, az energiahordozókat feldolgozó és nemesítő művek: olajfinomítók, brikettgyártó, koks- és gáztermelő, szénelgázosító művek. A szekunder energiahordozók előállításához kapcsolódik a szekunder energiahordozók importja (Q_{si}), elsősorban a villamosenergia-import és néhány olajtermék importja. A primer (Q_p) és szekunder (Q_s) energiahordozókat a végenergia-felhasználók felé az energiaszolgáltatók forgalmazzák (Q_c). Az energia forgalmazók sorában igen jelentősek a földgáz, a villamos energia és a távhő szolgáltatói és rendszerei. Az energiaellátás mérlegét a **41. ábra** szemlélteti [1].



41. ábra: Az energiaellátás mérlege [1]

Az alapenergia-forrásra bemeneti oldalon hazai termelés (Q_{ah}) és import (Q_{ai}), kimeneti oldalon az átalakításra kerülő (Q_{pB}) és a primer energiahordozóként felhasználásra kerülő (Q_p) energiák mérlege írható fel.

$$Q_{Ah} + Q_{Ai} = Q_A = Q_{pB} + Q_p$$

Az energiaátalakítás kimeneti oldalán rendelkezésre álló szekunder energia

$$Q_{sB} = Q_{pB} - V_B$$

ahol V_B az energiaátalakítás vesztesége, mely környezetterhelésként jelentkezik.
A szekunder energiahordozók mérlege

$$Q_s = Q_{sB} + Q_{si}$$

ahol Q_{si} a szekunder energiahordozók importja.
A végenergia felhasználás az energiaszállítás V_c veszteségeinek figyelembevételével

$$Q_s + Q_p - V_c = Q_c = Q_F + Q_{NE} + V_F$$

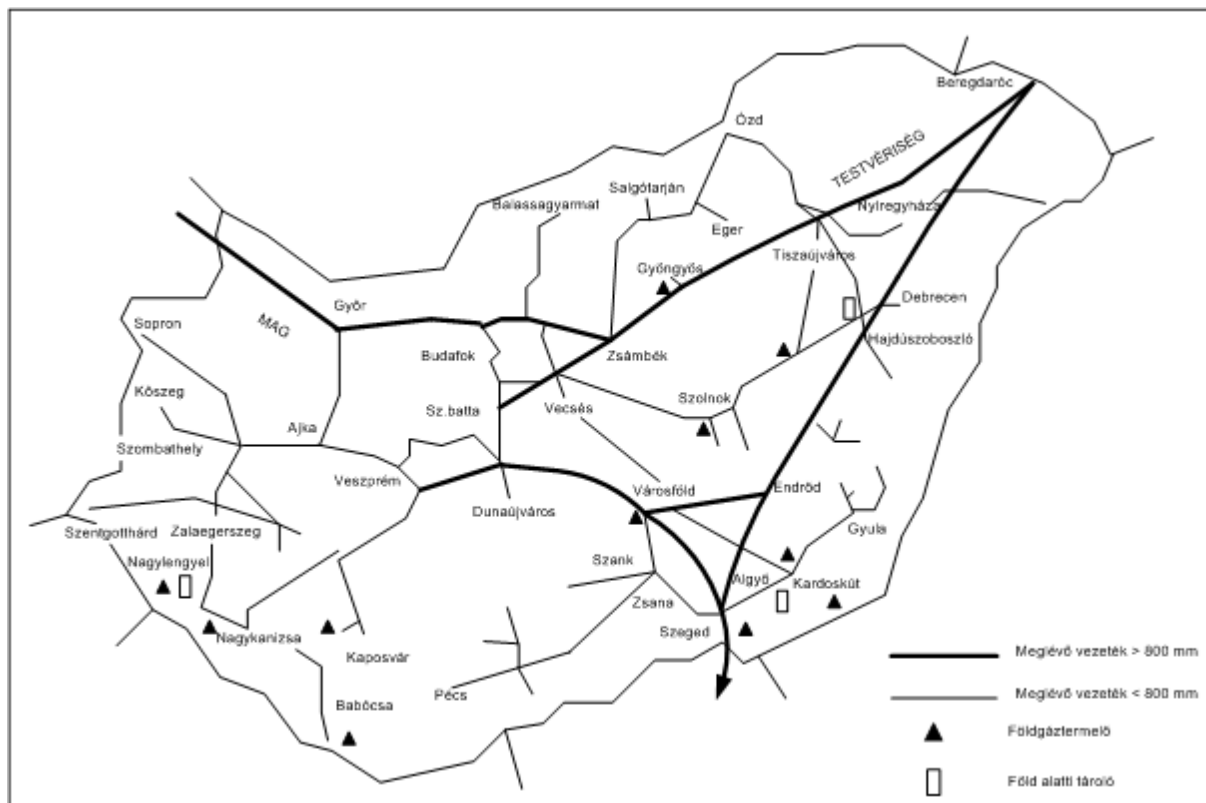
ahol Q_F a fogyasztói oldalon a hasznos energiafelhasználás, Q_{NE} a nem energetikai célú felhasználás, V_F veszteség a végenergia felhasználóknál. A teljes energiafelhasználás

$$Q_o = Q_A + Q_{si} = Q_c + V_B + V_c = Q_F + Q_{NE} + V$$

ahol $V = V_B + V_c + V_F$ az energiaellátásban fellépő összes veszteség.
Az energiamérlegben az eltérő értékű energiák (pl. tüzelőanyag, villamos energia) helyes és egyértelmű összehasonlítása nagy körültekintést igényel (pl. a villamos energia egysége mekkora tüzelőhő tartalommal egyenértékű).

6.2.2. Földgázellátó - rendszer

Az Európai Unió és hazánk energiaellátásában igen jelentős szerepet tölt be a földgáz. A földgázellátó-rendszer kiinduló eleme a földgázforrás. A földgázforrások és a felhasználók közötti kapcsolatot a nagy és középnyomású földgázvezetékek képezik. Magyarország földgázellátó hálózatát a 42. ábra mutatja. Magyarország a Győr-Baumgarten (Hungaria-Ausztria) gázvezetékekkel kapcsolódik a nyugati, míg Beregdarócnál a Testvériség gázvezetékekkel a keleti (oroszországi) gázvezeték rendszerekhez. A magyarországi gázimport 85-90 %-ban orosz, 10-15 %-ban nyugati gázellátó rendszerekből származik.



42. ábra Magyarország földgázellátó hálózata [1]

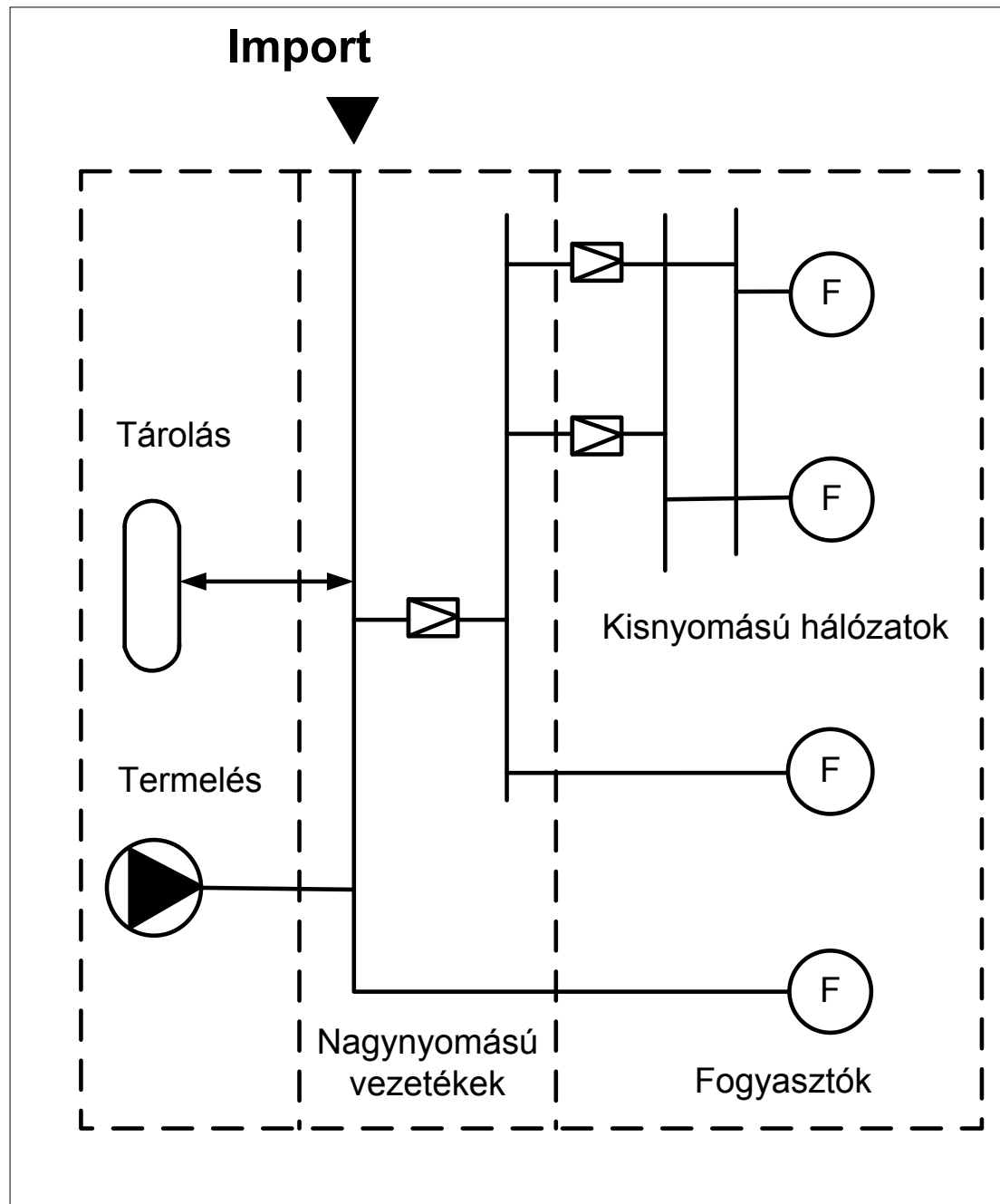
A távvezetékrendszer 14 hazai és 2 import belépési ponttal rendelkezik, a gázátadó állomások száma 395.

A földgázszállító rendszer kapacitása 16,5 Mrd m³/év, napi szállítóképessége ~ 90 Mm³. A hazai földgáz termelés 2007-ben 2,65 Mrdm³ volt. A földgázellátás és felhasználás összehangolásának biztosítására (téli-nyári csúcsigények jelentős eltérése miatt) földalatti földgáz tárolókat üzemeltetnek.

A szállító vezetékrendszer üzemeltetését, biztonsági felügyeletét a MOL Földgázszállító Zrt míg a gáztárolókat a MOL Földgáztároló Rt látja el. A nagynyomású (64 bar) országos szállító vezetékrendszer hossza megközelítőleg 5326 km.

A nagynyomású szállító vezetékhez átadó állomásokon keresztül kapcsolódnak az ipari, kommunális és lakossági fogyasztók. A földgázelosztó rendszer a **43. ábra** látható. [1]

Ez az elosztóvezeték hálózat biztosítja a hálózatra kapcsolt települések fogyasztóinak földgázellátását. Az elosztó vezetékek több mint 80%-a korszerű polietilén alapanyagú. Az elosztó hálózat veszteségeit - metán szivárgás - ezáltal sikerült csökkenteni, ami környezetvédelmi okokból is fontos, hiszen a metán üvegházhatású gáz.



43. ábra: A földgázelosztó hálózat kapcsolási sémája [1]

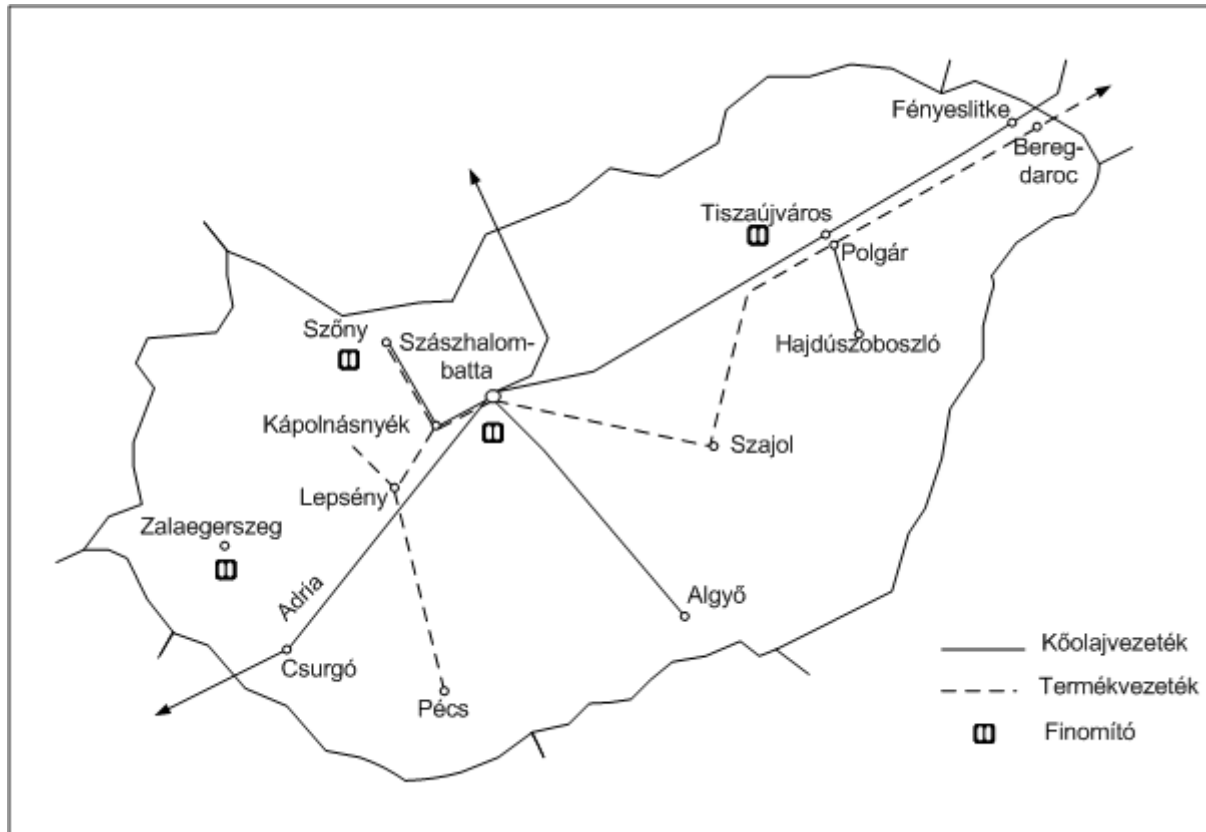
A földgáz nyomása a gázelosztó hálózatban:

- nagynyomás: 64 bar
- nagy közénymás: 4 - 25 bar
- közénymás: 0,1 - 4 bar
- kisnyomás: max. 100 mbar

Az elosztóvezetékben kis nyomást ($p < 0,1$ bar) tartanak, mert ilyen módon csökkenthető a lakott területen nehezen megvalósítható védősáv, illetve növelhető a környezetbiztonság. A gázfogyasztók teljesítménye és csatlakozási nyomása igen széles határok között változik. A lakossági és általában a kisteljesítményű készülékek a kisnyomású hálózatokra, míg az ipari fogyasztók közénymású hálózatokra kapcsolhatók. A gázturbinás energiatermelő egységeket nagynyomású gázvezetékre kell kapcsolni.

6.2.3. Folyékony energiahordozók

A kőolaj és kőolajszármazékok szállítását biztosító magyarországi csővezetéki rendszert a 44. ábra mutatja. [1]



44. ábra Magyarország kőolaj és kőolajtermék hálózata [1]

Az ábrán feltüntetett vezetékhalózat üzemeltetője és tulajdonosa a Magyar Olajipari Részvénytársaság (MOL Nyrt).

A magyarországi kőolajtermelés Budafa, Lovászi, Nagylengyel és Algyő mezőiből történik. A hazai kőolajkutak 2007-ben $838 \cdot 10^3$ tonna kőolajat termeltek. A kőolajimport a magyar energiaellátás fontos része. A kőolaj túlnyomó részét Oroszországból vásároljuk. Ez a kőolaj Ukrajnán keresztül a Barátság II. vezetéken érkezik Magyarországra. A vezeték évi szállítóképessége $10 \cdot 10^6$ tonna.

A Szlovákián át haladó Barátság I. vezetékhez is kiépítettek egy évi $5 \cdot 10^6$ tonna évi szállítóképességű leágazást, amely tartalékként a szállítás biztonságát növeli.

Az egyoldalú olajimport megszüntetése érdekében épült az Adria csővezeték $10 \cdot 10^6$ tonna évi szállítóképességgel.

Az olajfinomítókat és a kőolajtermék készletező-tároló helyeket termékvezetékek kötik össze.

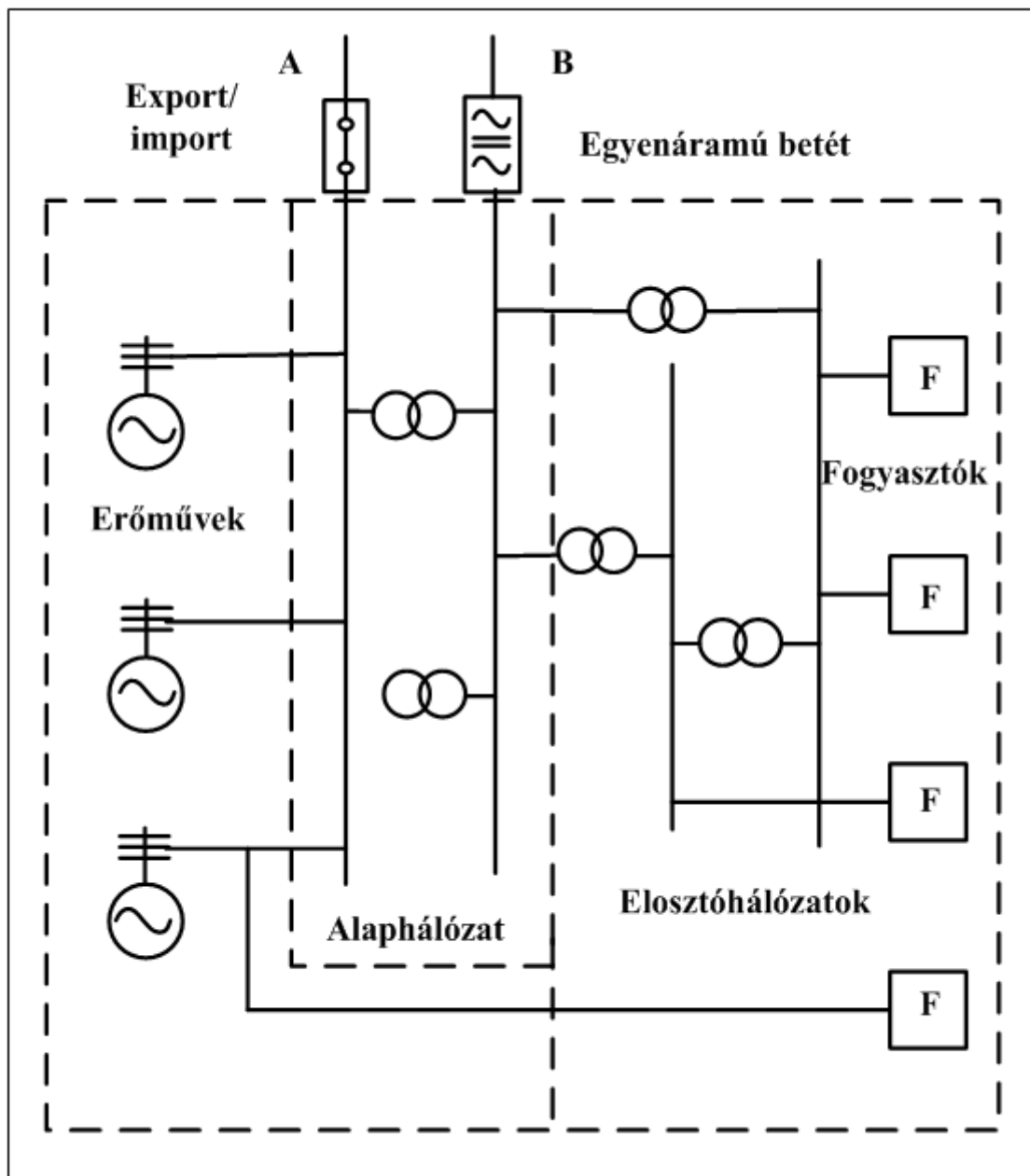
A nagynyomású olaj- és termékvezetékek, az átadó és fogadó, valamint a nyomásfokozó állomások környezeti-környezetbiztonsági szempontból különleges műszaki felügyeletet igényelnek. Az elmúlt évek távvezetéki meghibásodásai (Fényeslitke) csak erősítették a környezetvédelem és katasztrófa-elhárítás fontosságát.

"Minél tervszerűbben cselekszenek az emberek, annál nagyobb erővel ütköznek a véletlenbe" írja Dürrenmatt a Fizikusok című drámájához írt 21 pontban.

Századunk második felében a véletlen többször is vezetett olyan katasztrófákhoz, amelyek tragikus következményekkel jártak a környezetre és az ott lakókra egyaránt. Nem véletlen tehát, hogy a problémákkal egyre komolyabban foglalkoznak a tudósok és a politikusok egyaránt.

6.2.4. Villamosenergia-rendszer

A villamosenergia-rendszer (VER) vázlatos felépítést a 45. ábra mutatja. A VER egyik fő részét az erőművek képezik. Ezek közös hálózatra táplálják a megtermelt villamos energiát, ezért együttműködő erőműrendszerről lehet beszélni. [1]



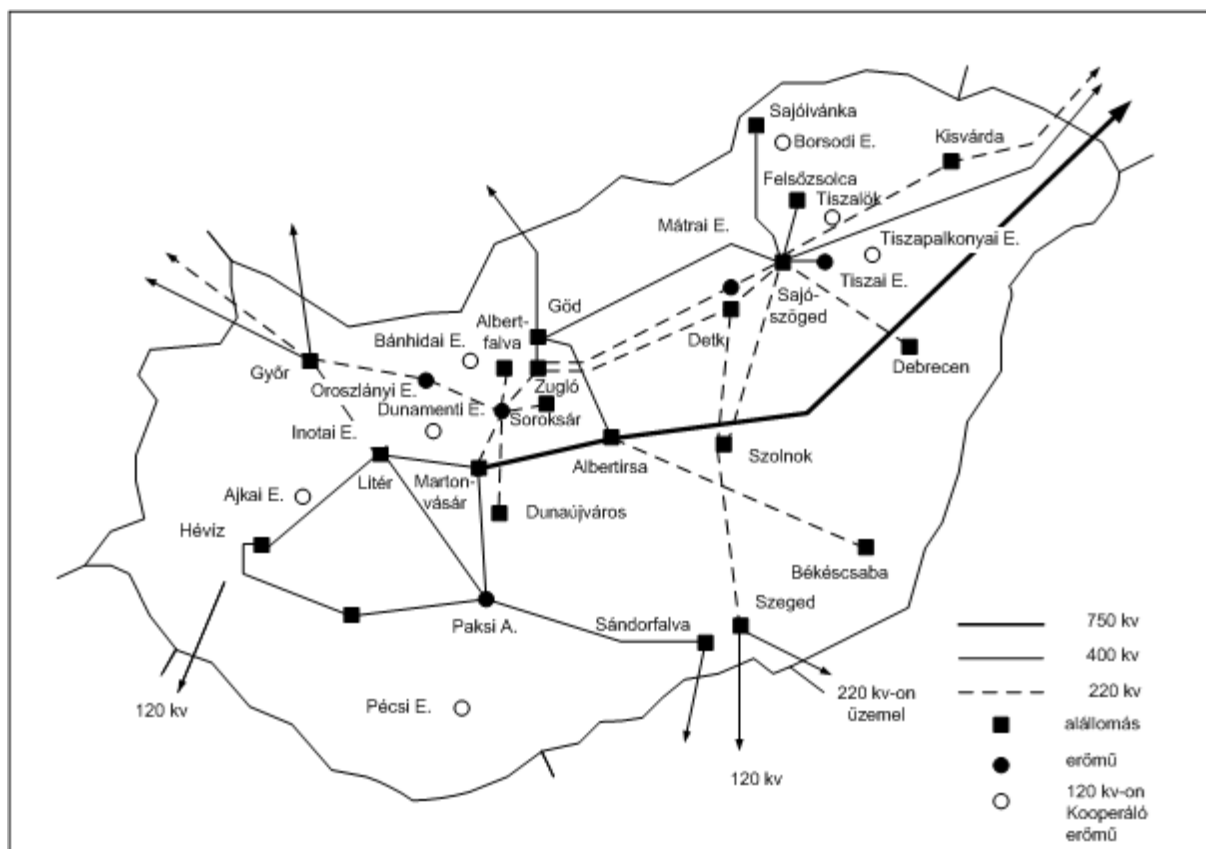
45. ábra Villamosenergia-rendszer (VER) [1]

A VER másik fő része az alaphálózat. Az alaphálózat különböző nagyfeszültségű (nálunk: 220, 440 és 750 kV) vezetékekből áll, amelyek jól behálózzák az ország területét. Egy-egy ország alaphálózata általában együttműködik más országok alaphálózatával is (EU

villamosenergia-rendszer UCTE). A VER-ek között együttműködés két lehetőségét mutatja a 46. ábra. Az A változatnál a két villamosenergia-rendszer azonos feszültségen és frekvencián működik együtt, ami akkor lehetséges, ha mindkét fél betartja a minőségi villamosenergia-ellátás előírt követelményeit (ez érvényes az UCTE európai együttműködésre), A B változat esetén a villamosenergia-rendszerek egyenáramú betéten keresztül működnek együtt, ekkor nem kell frekvenciájuknak pontosan megegyeznie. Az ilyen együttműködés korlátozott, követelményei lazábbak, lehetőség van minőségi és kevésbé minőségi szolgáltatást nyújtó VER-ek együttműködésére is. (Győr-Bécs összekötöttés 500 MW-os egyenáramú betéten keresztül.)

A villamosenergia-rendszer harmadik részét az elosztóhálózatok és a fogyasztók képezik. A villamos fogyasztókat különböző feszültségű hálózatokról láthatjuk el. A kisteljesítményű, lakossági fogyasztókat az alacsony feszültségű hálózatokra kapcsoljuk, a teljesítménynöveléssel általában nő a nagyobb feszültségű hálózatra kapcsolás igénye és célszerűsége. Egyes nagyfogyasztókat az erőművek közvetlenül látnak el generátorkapcsukról.

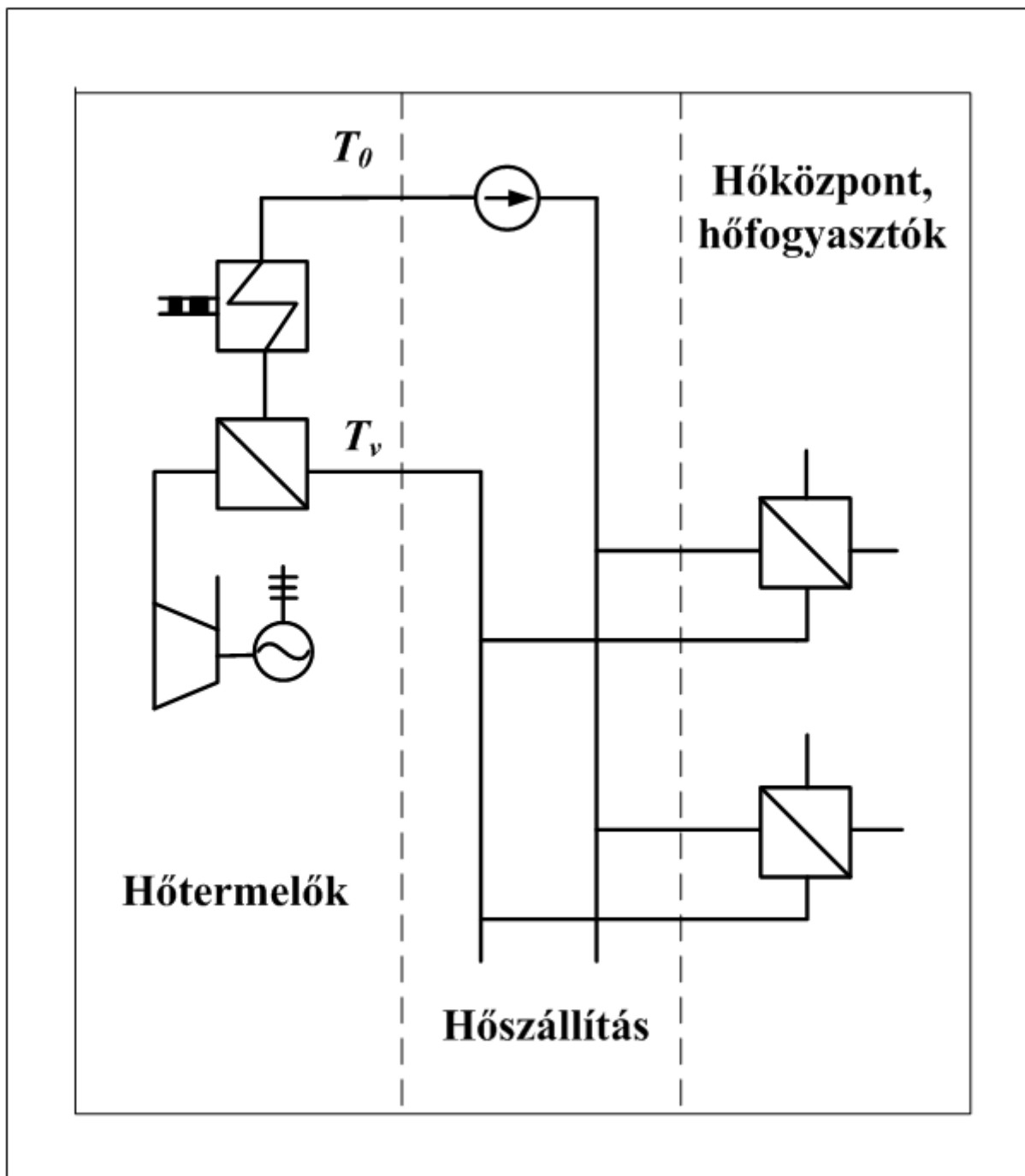
A magyar villamosenergia-rendszer alaphálózatát az 1.9. ábra mutatja [1].



46. ábra Magyarország villamosenergia-rendszerének alaphálózata[1]

6.2.5. Távhőrendszer

A távhőt forróvizes vagy gőzközegű távhőrendszereken keresztül szolgáltatják. A 47. ábra forróvizes távhőrendszert mutat, amelyet széleskörűen fűtésre és használati melegvízellátásra használnak, ha célszerű alkalmazásának feltételei (nagy hőigény, hősrűség, kedvező hőtermelés) megvannak. [1]



47. ábra Forróvizes távhőrendszer [1]

A távhőrendszer kiindulása a hőtermelés, ami lehet közvetlen (kazántelep) vagy kapcsolt (fűtőerőmű), esetleg valamilyen hulladék- vagy olcsó hő hasznosítása. A forróvizes távhőrendszer fő eleme az a vezetékpár, amelynek előremenő ágában T_e hőmérsékletű, visszatérő ágában pedig T_v hőmérsékletű vizet keringtetünk.

A hőfogyasztók fogyasztói hőközpontokon keresztül kapcsolódnak a távhőrendszerhez. A kapcsolódás lehet hőcserélőn keresztül indirekt (az ábra ezt az általános alkalmazott megoldást mutatja), vagy közvetlen. A változó fogyasztói hőigényeket vagy a T_e és T_v hőmérsékletek, vagy a keringtetett tömegáram, esetleg mindkettő megfelelő változtatásával követhetjük alapvetően központi, kisebb mértékben helyi beavatkozásokkal.

6.3. Az energetikai folyamatok

Energetikai folyamatok veszteségei

Az energetikai folyamatok mindig veszteséggel járnak. A veszteségek különösen az energiaátalakítás során lehetnek igen jelentősek. Az energetikai veszteségeket jellegüknél fogva két alaptípusra oszthatjuk: mennyiségi és minőségi (irreverzibilitásból eredő) veszteségekre. Egyes összetett veszteségekben mindkét típus vonásai megtalálhatók.

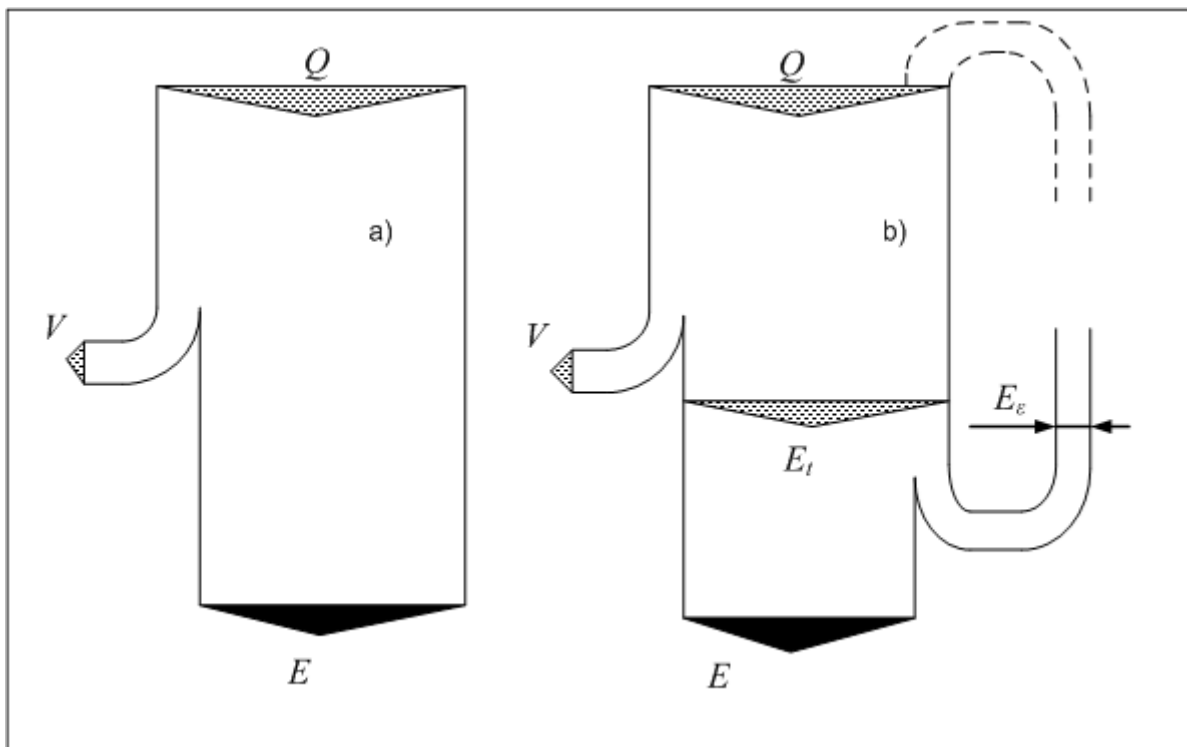
6.3.1. Mennyiségi veszteségek, mennyiségi hatásfok

Az energetikai veszteségek egyik csoportját az jellemzi, hogy a bevitt energia (Q) egy része a környezetbe távozva elvész (V), de a megmaradó hasznos energia (E) minőségi jellemzői nem változnak vagy változásukkal nem számolunk (48. ábra). Az energiamérleg

$$Q = E + V$$

és a környezeti veszteséget kifejező hatásfok

$$\eta_v = \frac{E}{Q} = 1 - \frac{V}{Q}$$



48. ábra Az energiaátalakítás mennyiségi hatásfoka [1] a) önfogyasztás nélkül, b) önfogyasztással

Az előállított energiából az energiaátalakító maga is fogyaszt (b. ábrarész). A hasznosan kiadott energia ekkor:

$$E = E_t + E_g,$$

ahol: E_t a termelt energia, E_g az önfogyasztás. Az önfogyasztást jellemző hatásfok

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{E}{E_t} = \frac{E}{E + E_{\varepsilon}} = \frac{1}{1 + \varepsilon}$$

ahol: $\varepsilon = E_g/E$ az önfogyasztás tényezője.

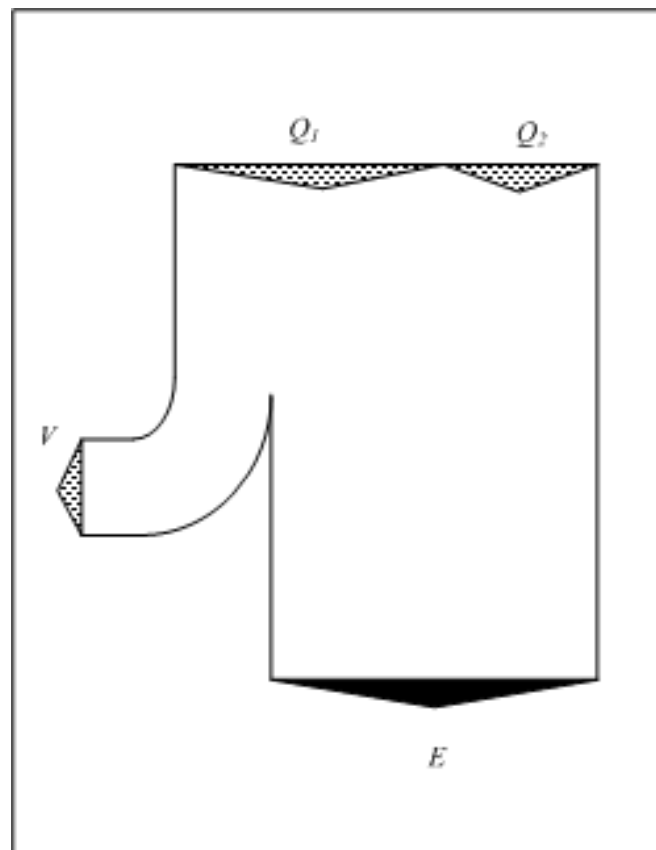
A környezeti veszteséget és az önfogyasztást együtt kifejező mennyiségi hatásfok

$$\eta_m = \frac{E}{Q} = \frac{E_t}{Q} \frac{E}{E_t} = \eta_v \eta_{\varepsilon} = \eta_v \frac{1}{1 + \varepsilon}$$

ha az önfogyasztást a beviteli oldalon elhanyagoljuk illetve az értelmezésben figyelmen kívül hagyjuk.

A mennyiségi hatásfokot akkor is értelmeznünk kell, ha az energetikai folyamatba többféle energiát vezetünk, vagy abból többféle energiát nyerünk. Az 49. ábra azt az esetet szemlélteti, ha kétféle energiát viszünk be. Két vagy több bevitt energiatípus esetén a mennyiségi hatásfok

$$\eta_m = \frac{E}{Q} = \frac{E}{Q_1 + Q_2} = \frac{E}{\sum Q_i}$$



49. ábra Az energiaátalakítás mennyiségi hatásfoka két bevitt energia esetén [1]

Ez a hatásfok nem tesz különbséget a bevitt energiák (pl. tüzelőanyag és villamos energia) minősége illetve értéke között. korrekt értékelést csak akkor kaphatunk, ha a bevitt energiákat

valamilyen energiában (pl. tüzelőhőben) közös nevezőre hozzuk. Ha az i -edik energiát tüzelőhőből η_i hatásfokkal tudjuk előállítani, akkor

$$\eta_{mü} = \frac{E}{\sum Q_{üi}} = \frac{E}{\sum \frac{Q_i}{\eta_i}}$$

Például kazán esetén Q hasznos hő termeléséhez $Q_{ü}$ tüzelőhőt és E villamos energiát használunk el, akkor a kazán tüzelőhőre vonatkoztatott hatásfoka

$$\eta_{mü} = \frac{Q}{Q_{ü} + \frac{E}{\eta_E}}$$

ahol: η_E a felhasznált villamos energia előállításának hatásfoka.

Az 50. ábra azt a változatot mutatja, amelynél a folyamatból kétféle energia nyerhető. Két vagy több kinyert energiatípus esetén a mennyiségi hatásfok

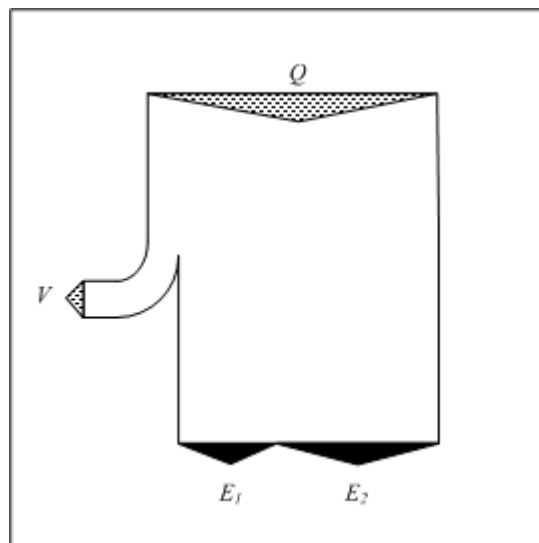
$$\eta_m = \frac{E}{Q} = \frac{E_1 + E_2}{Q} = \frac{\sum E_i}{Q}$$

Ebben a hatásfokban nincs különbség a kinyert energiák minősége és értéke között, ami az értékelést zavarja. Ez a zavaró hatás megjelenik fűtőerőműveknél, amelyek kapcsoltan hőt és villamos energiát termelnek.

Ha egy folyamatba több energiatípust viszünk be és több energiatípust nyerünk ki, akkor a mennyiségi hatásfok általánosan

$$\eta_m = \frac{E}{Q} = \frac{\sum E_i}{\sum Q_i}$$

A különböző értékességű bevitt és kinyert energiák zavaró hatása a számlálóban és a nevezőben is jelentkezik.



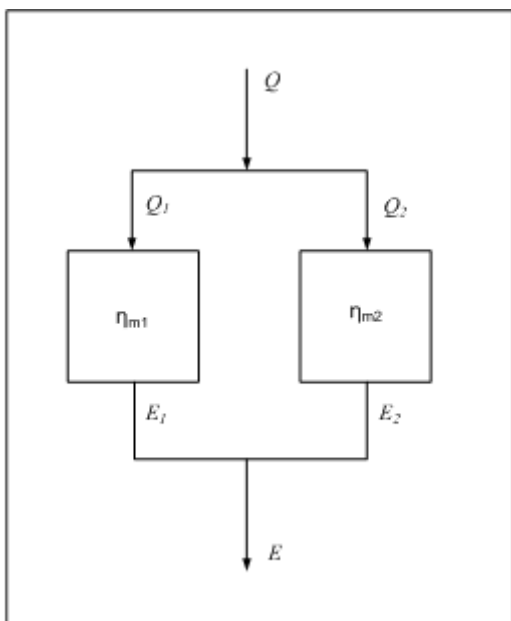
50. ábra Az energiaátalakítás mennyiségi hatásfoka két energiatermék esetén [1]

Az energetikai folyamatok gyakran sorba vagy párhuzamosan kapcsolt berendezésekben valósulnak meg. Két sorba kapcsolt berendezés energiaátalakítását az 52. ábra mutatja. Két vagy több sorba kapcsolt berendezés eredő mennyiségi hatásfoka

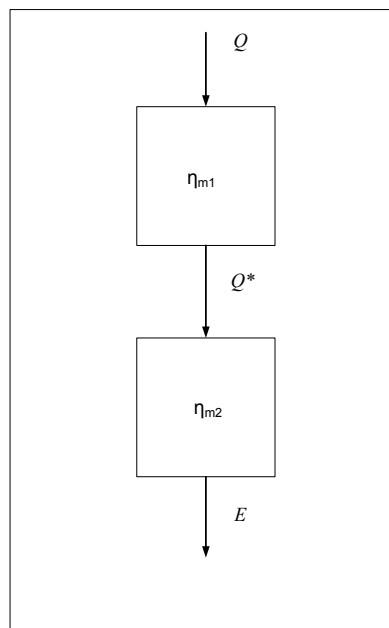
$$\eta_m = \frac{E}{Q} = \frac{Q^*}{Q} \frac{E}{Q^*} = \eta_{m1} \eta_{m2} = \prod \eta_i$$

azaz a sorba kapcsolt berendezések hatásfoka az egyes berendezések hatásfokának produktuma.

Két párhuzamosan kapcsolt berendezés energiaátalakítását az **51. ábra** szemlélteti. [1]



51. ábra: Párhuzamosan kapcsolt energia-átalakítás mennyiségi hatásfoka [1]



52. ábra: Sorba kapcsolt Energiaátalakítás mennyiségi hatásfoka [1]

Két vagy több párhuzamos berendezés eredő mennyiségi hatásfoka :

$$\eta_m = \frac{E}{Q} = \frac{E_1 + E_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} \frac{E_1}{Q_1} + \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} \frac{E_2}{Q_2} = \alpha_1 \eta_1 + \alpha_2 \eta_2 = \sum \alpha_i \eta_i$$

ahol: $\alpha_i = Q_i / Q$ az i-edik berendezésbe bevitt energia részaránya, $\eta_i = E_i / Q_i$ az i-edik berendezés hatásfoka.

6.4. Az energiaellátás hatékonysága [1]

A gazdaság és az energia valamint a környezetvédelem kapcsolatának egyik legfontosabb kérdése, hogy egy nemzetgazdaság össztermeléséhez mennyi és milyen energiát használ fel, s fordítva: meghatározott energiafelhasználás, az ezzel okozott környezetterhelés mellett a nemzetgazdaság mekkora termelést és termelési értéket valósít meg.

6.4.1. Az energetikai hatékonyság mutatói

A gazdaságban minden termelő tevékenység valamilyen energiafelhasználással jár. Egyetlen tevékenység **fajlagos végenergia felhasználása és fajlagos (alap) energiafelhasználása**

$$q_{Fi} = \frac{Q_{Fi}}{G_i}$$

és **fajlagos (alap) energiafelhasználás**

$$q_{Fi} = \frac{Q_{Fi}}{G_i} = \frac{Q_{Fi} / \eta_F}{G_i}$$

ahol:

G_i az i -edik tevékenység természetes mértéke (kg, m³, db, stb.)

Q_{Fi} ehhez a tevékenységhez tartozó végenergia-felhasználása (pl.: hő, villamosenergia)

$Q_i = \frac{Q_{Fi}}{\eta_F}$ ezen tevékenység tüzelőhő felhasználása

η_F a végenergia előállításának hatásfoka.

A nemzetgazdaság összes (alap) energiafelhasználása

$$Q = \sum_i G_i q_i$$

Az energiafelhasználást a tevékenység természetes értéke helyett inkább a termelési értékre N (Ft) szokták vonatkoztatni. Ezzel az érintett tevékenység energiaigényessége

$$e_i = \frac{Q_i}{N_i} = \frac{Q_{Fi} / \eta_F}{N_i} = \frac{e_{Fi}}{\eta_F}, \quad [\text{MJ/Ft}]$$

illetve az energetikai hatékonyság

$$h_i = \frac{N_i}{Q_i} = \frac{1}{e_i}, \quad \left[\frac{\text{Ft}}{\text{MJ}} \right]$$

Ezeket a mutatókat több tevékenységre illetve egy nemzetgazdaság egészére is vonatkoztatják.

A belföldi termék összértéke

$$N = \sum_i N_i$$

Ezt általánosan a közgazdaságtanban GDP (Gross Domestic Product) néven ismerik és használják. A nemzetgazdaság energiaigényessége:

$$e = \frac{Q}{N} = \frac{\sum_i Q_i}{N} = \frac{\sum_i N_i e_i}{N} = \frac{\sum_i N_i \frac{e_{Fi}}{\eta_F}}{N} = \sum_i S_{Ni} e_i = \sum_i S_{Ni} \frac{E_{Fi}}{\eta_F}$$

illetve az energetikai hatékonyság :

$$h = \frac{N}{Q} = \frac{\sum_i N_i}{Q} = \frac{\sum_i Q_i h_i}{Q} = \sum_i S_{Qi} h_i$$

ahol:

$$S_{Ni} = \frac{N_i}{N} \text{ az } i\text{-edik tevékenység relatív termelési értéke (súlyfaktor)}$$

$$S_{Qi} = \frac{Q_i}{Q} \text{ az } i\text{-edik tevékenység relatív energiafelhasználása (súlyfaktor)}$$

A nemzetgazdaság energiaigényességét kifejező mutató felírható az energiaigényes alapanyagiparra (AI) és a kevésbé energiaigényes feldolgozóiparra a súlyfaktorok segítségével

$$e = S_{AI} \frac{e_{AI}}{\eta_F} + S_{FI} \frac{e_{FI}}{\eta_F}$$

Az összefüggés alapján megállapítható, hogy a nemzetgazdaság energiaigényessége csökkenthető

- az ipar ágazati szerkezetének olyan módosításával, amely az alapanyagipar súlyát (S_{AI}) csökkenti, a feldolgozóiparét (S_{FI}) pedig növeli
- az érintett termelés olyan technológiai korszerűsítésével, mely e_{FI} csökkentését az energiafelhasználás csökkentésével és/vagy N_i termelési érték növekedésével éri el,
- olyan energetikai módszerekkel, melyek az energiaellátás hatásfokát növelik és ezáltal a környezetterhelés is csökken.

A nemzetközi összehasonlításokhoz mind a GDP-t, mind a teljes energiafelhasználást a lakosság létszáma (L) szokták vonatkoztatni.

Az egy főre jutó GDP

$$n = \frac{N}{L}, \quad \text{Ft/fő (USD/fő)}$$

és az egy főre jutó energiafelhasználás:

$$q = \frac{Q}{L} \quad [\text{MJ/fő}]$$

Az egy főre jutó energiafelhasználást általában alapenergiában adják meg, de esetenként más energiára (pl.: villamosenergiára) és értelmezik.

$$q_E = \frac{E}{L}$$

6.4.2. Energetikai rugalmasság

Az egy főre eső GDP és energiafelhasználás között kapcsolat van: nagyobb fajlagos termelés nagyobb fajlagos energiafelhasználással jár. Különböző országok erre vonatkozó adatait

$$\ln q = a + b \ln n$$

összefüggéssel lehet közelíteni és értékelni.

Hasonló összefüggéssel közelíthető az összes energiafelhasználás és a GDP közötti kapcsolat is

$$\ln Q = c + d \ln N,$$

amelyből :

$$\frac{dQ}{dN} = d \frac{Q}{N}.$$

Az utóbbi összefüggésből értelmezhető az energetika rugalmassági tényezője elemi és véges változásokra

$$d = \frac{\frac{dQ}{Q}}{\frac{dN}{N}} = \frac{\frac{\Delta Q}{Q}}{\frac{\Delta N}{N}} = \frac{v_Q}{v_N},$$

illetőleg

$$d = \frac{\Delta Q N}{\Delta N Q} = \frac{\Delta e}{e} = \frac{h}{\Delta h},$$

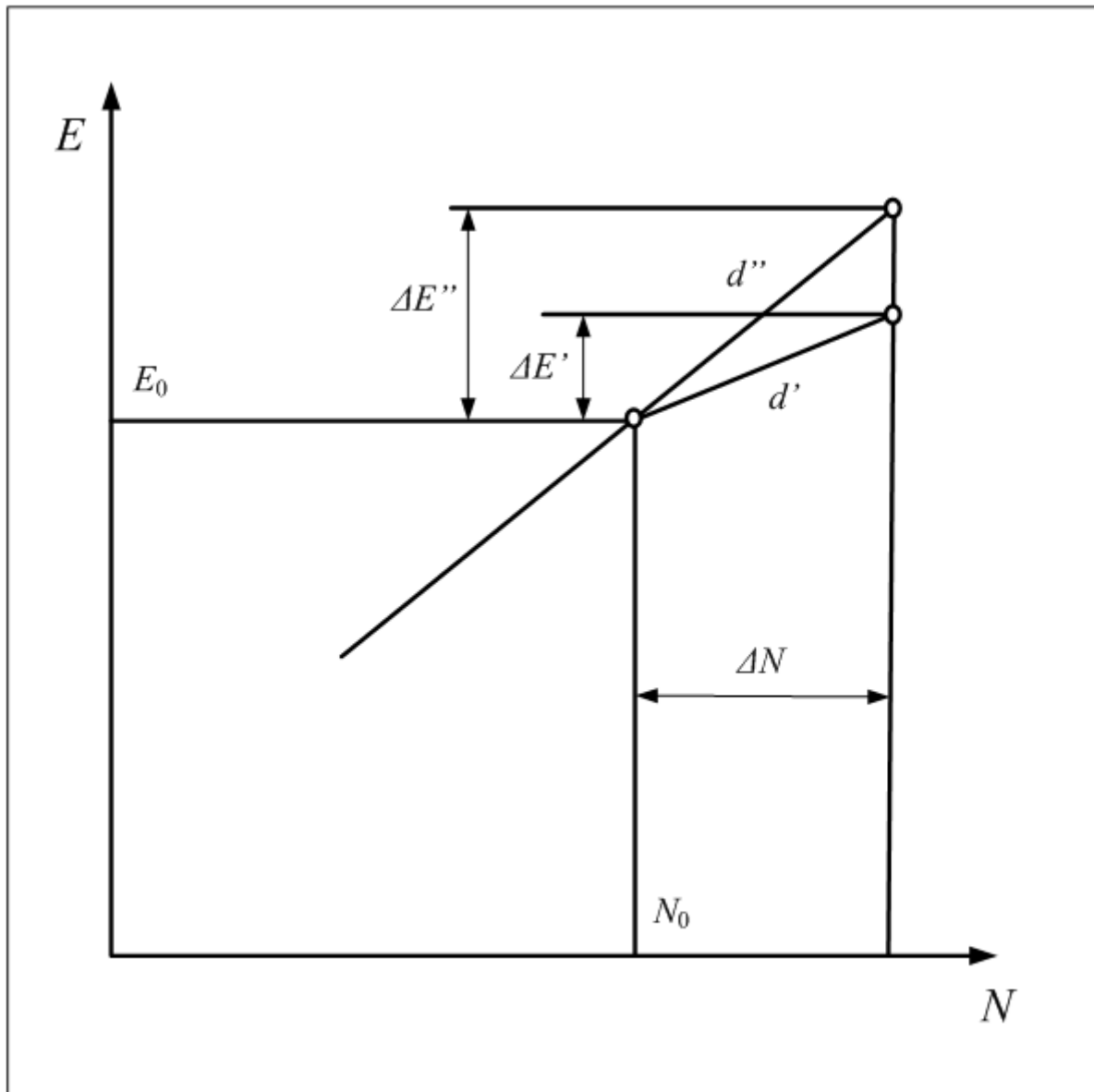
ahol a GDP növekedési üteme

$$v_N = \frac{\Delta Q}{Q}$$

és az energiafelhasználás növekedési üteme

$$v_Q = \frac{\Delta Q}{Q}.$$

Mindkét növekedési ütem különböző időtartamokra (pl.: differenciálisan, évre) értelmezhető. A gazdaságfejlesztés egyik fő célja, hogy d értéke alacsony legyen: a GDP növelését minél kisebb energianövekedéssel valósítsa meg. Ennek eszközei szintén az energiaellátás határfokának növelése, az egyes termelési technológiák energiaigényességének csökkentése. Kisebb és nagyobb villamosenergia igényességű gazdaságfejlesztést mutat az 53. ábra [1]



53. ábra Kisebb (d') és nagyobb (d'') villamosenergia-igényességű (E) gazdaságfejlesztés [1]

6.4.3. Gazdasági hatékonyság

A gazdaság ágazatai közötti kapcsolatokat naturális mértékekben nehéz megadni. A kapcsolatokat pénzürtékben célszerű egységesíteni. Ezt Leontief nyomán az ágazati kapcsolatok mérlegével (ÁKM) lehet kifejezni.

Az ÁKM adatrendszerében az energiaellátás folyamatait is pénzürtékben kell kifejezni. Például az energia átalakító energia- és értékfolyamatát az 54. ábra mutatja. Az energiaátalakítás energetikai hatékonyságát az

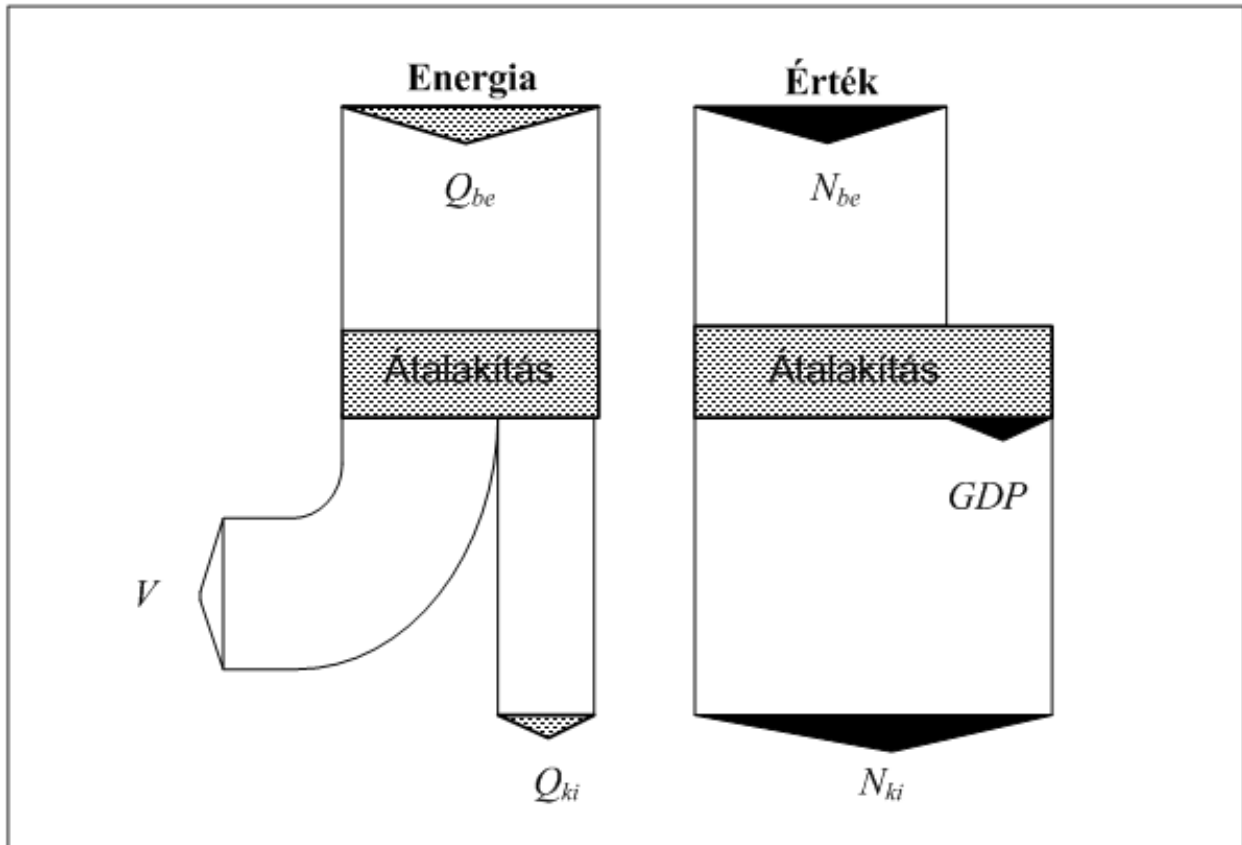
$$\eta = \frac{Q_{ki}}{Q_{be}} = \frac{Q_{be} - V}{Q_{be}} = 1 - \frac{V}{Q_{be}}$$

hatásfok fejezi ki.

Az energiaátalakítás értéktermelése viszont a

$$H = \frac{GDP}{N_{ki}} = \frac{GDP}{N_{be} + GDP} = \frac{N_{ki} - N_{be}}{N_{ki}}$$

gazdasági hatékonysággal jellemezhető, ahol N_{be} az energiaátalakításba bevitt érték, GDP a hozzáadott érték és $N_{ki} = N_{be} + GDP$ a bruttó termelés értéke

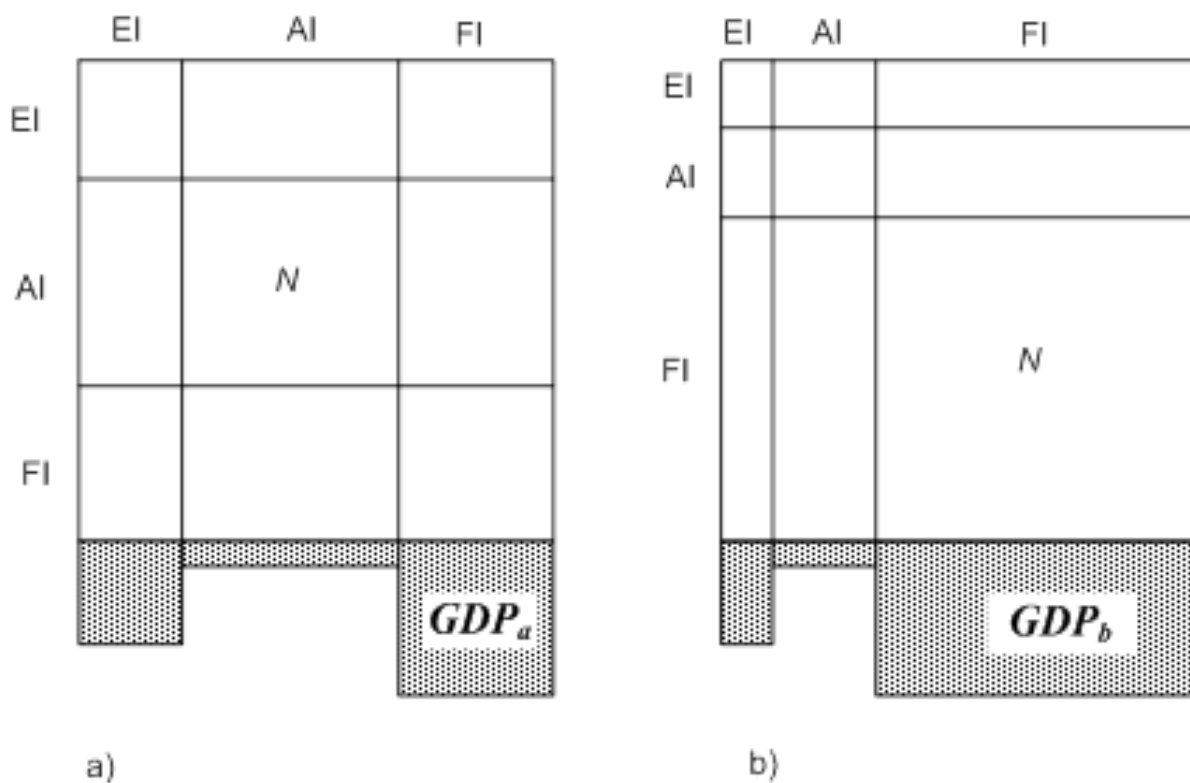


54. ábra Energiaátalakítás és értéktermelés [1]

Eltérő energiaigényességű termelő struktúrákat szemléltet az 55. ábra. [1] Az a) változatban az energiaigényes AI alapanyagipar részaránya, a b) változatban pedig a nem energiaigényes FI feldolgozó ipar részaránya a nagyobb.

A b) változat hozzáadott GDP termelése nagyobb, mint az a) változaté: $GDP_a < GDP_b$. Ennek következtében a két változat gazdasági hatékonyságára felírható

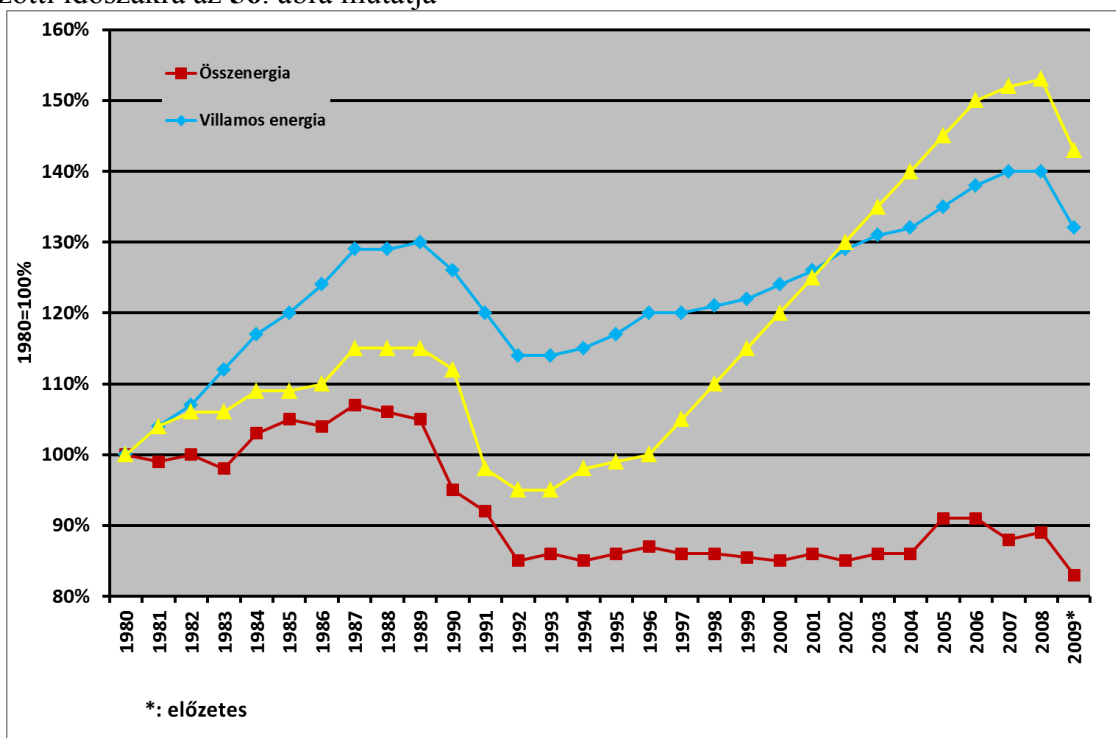
$$H_a = \frac{GDP_a}{N + GDP} < H_b = \frac{GDP_b}{N + GDP_b}$$



55. ábra Energiaigényes (a) és nem energia igényes (b) termelés ÁKM struktúra

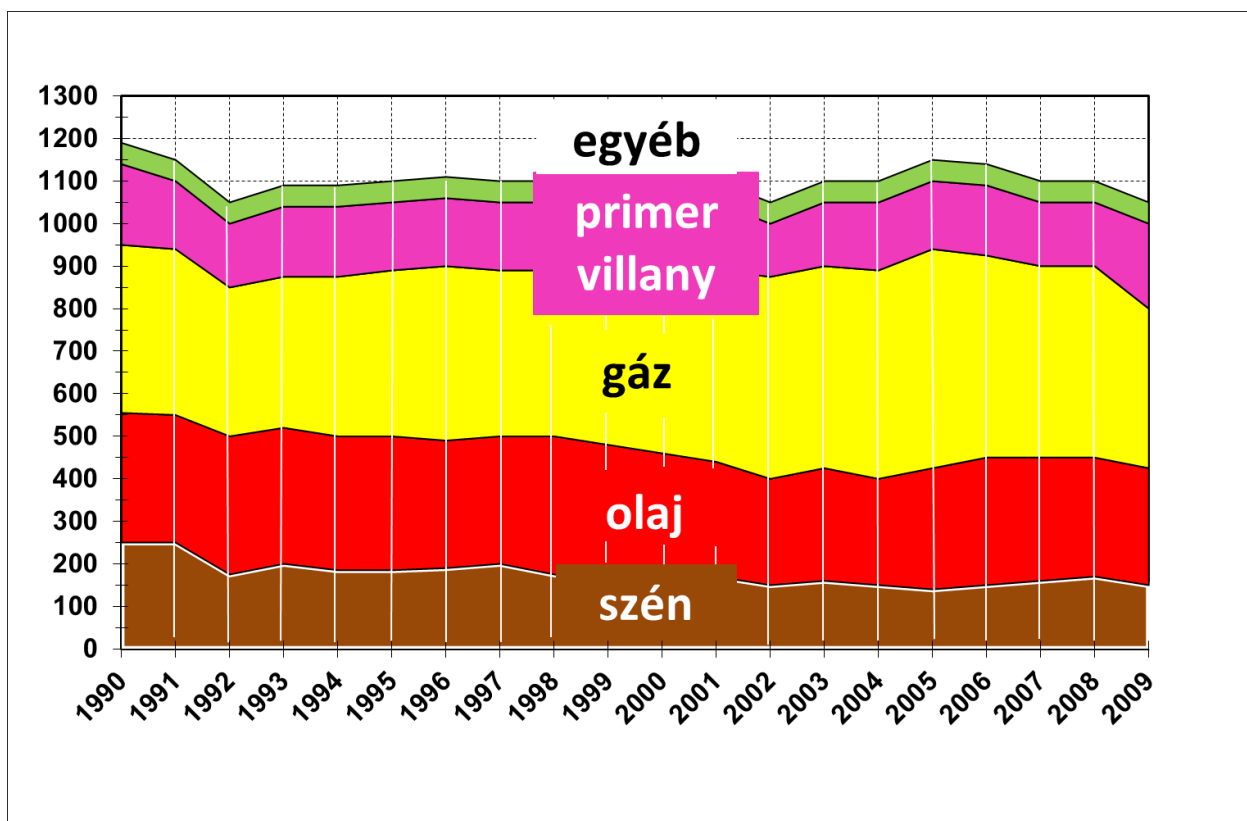
6.5. Magyarország energiafelhasználásának változása, energiamérlege

Magyarország energiafelhasználásának valamint a GDP- nek a változását 1980 és 2009 közötti időszakra az 56. ábra mutatja

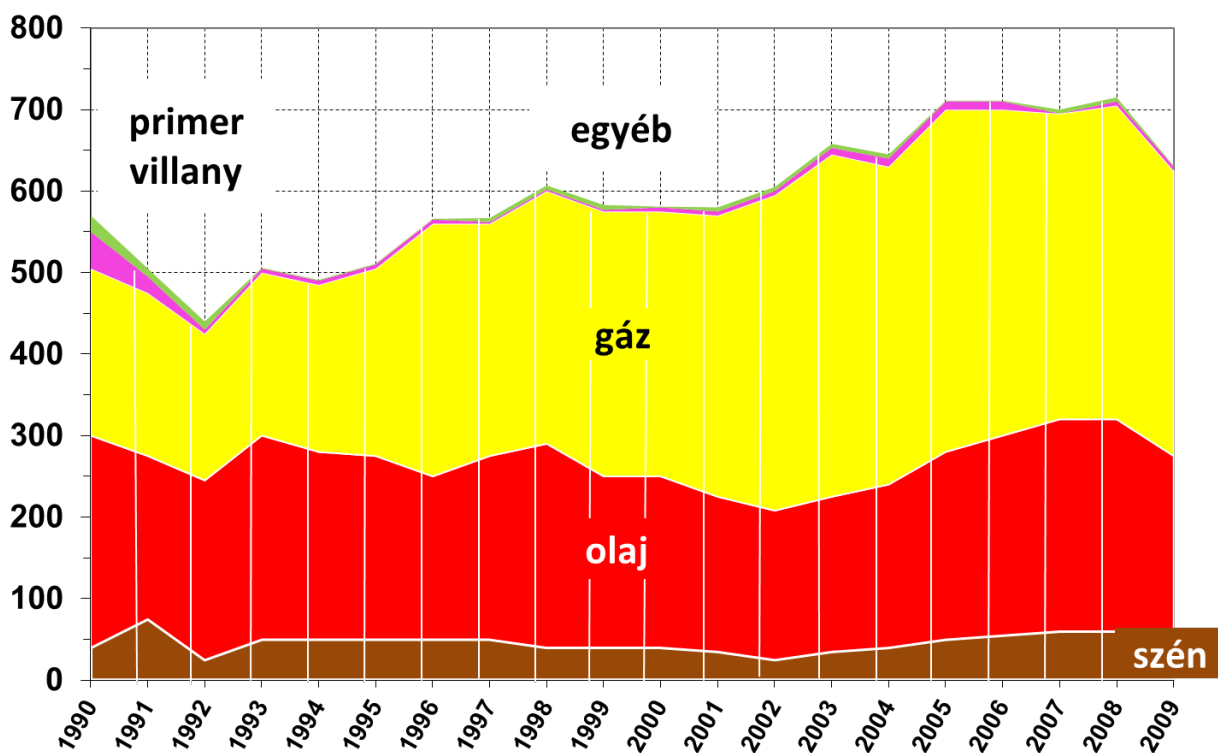


56. ábra: Magyarország energiafelhasználásának és a GDP- nek a változása 1980 és 2009 között (Forrás: Dr.Szerdahelyi György KHEM, ÖKOTECH Konferencia, Budapest 2010.05.06.)

A primer energia felhasználás változását 1990 és 2009 közötti évekre az 57. ábra míg az energia import alakulását az 58. ábra mutatja



57. ábra: Magyarország primerenergia felhasználása 1990 és 2009 között[6]

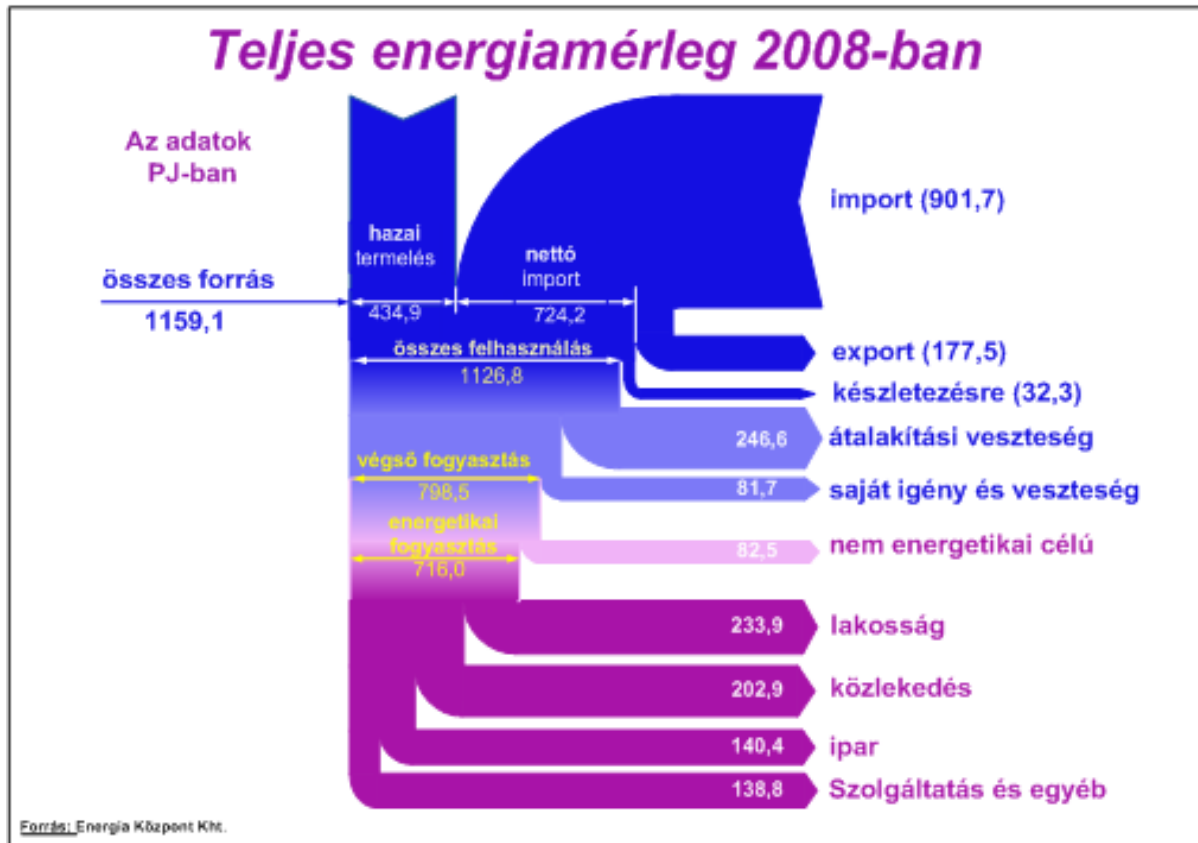


58. ábra: Magyarország primerenergia importja 1990 és 2009 között [6]

Az energetikai indikátorok vizsgálata alapján az alábbi megállapítások tehetők:

- A 2000-2008. közötti időszakban a GDP összesen 27,5%-al növekedett, és ezen időszakban a villamos energia felhasználás növekedése 13,7%, az összenergia felhasználás növekedése 6,7% volt.
- Az elmúlt 8 évben 1%/év GDP növekedéshez 0,5%/év villamos energia és 0,25%/év összenergia igénynövekedés kapcsolódott. A földgáz import jelentősen nőtt a földgáz tüzelőanyagú kapcsolt energia termelés támogatása miatt.
- Magyarországon az 1 főre jutó országos energiafelhasználás 2008-ban 1,69 toe/fő volt, amíg a hasonló éghajlatú Ausztriában ez 3,19 toe/fő, Németországban 2,56 toe/fő. Magyarország 1 főre jutó energiafelhasználása lényegesen alacsonyabb a közel hasonló éghajlatú, tőlünk fejlettebb EU országokénál. Kisebb teljes potenciál rejlik az energiatakarékosságban (ettől függetlenül az energiatakarékosság fokozása kiemelt célkitűzés, mivel a lakossági rezsiköltségek jelentős hányadát képezik az energiahordozók).
- Az európai statisztika szerint Ausztriában 33800 EURÓ/fő, Németországban 30000 EURÓ/fő az 1 főre jutó GDP, Magyarországon ez az érték 9300 EURÓ/fő. Magyarország gazdasági teherbíró képessége jelenleg lényegesen szerényebb a fejlett EU országokénál. Az energiatakarékossági tevékenység függvénye a lakosság gazdasági helyzetének, mivel az energiaracionalizálás fontos területét jelentik a lakások. Magyarországon az átlagos bruttó munkabér 16946 EURÓ/munkavállaló, Ausztriában 37700, Németországban 40000 EURÓ/munkavállaló az átlagkereset. A családok lényegesen alacsonyabb jövedelmi színvonalából következik, hogy korlátozottabban álltak rendelkezésre a lakossági források az energiaracionalizálási beruházásokra.

Magyarország teljes 2008. évi energiamérlegét az **59. ábra** míg az energia átalakítás veszteségeit a **4. táblázat** mutatja.

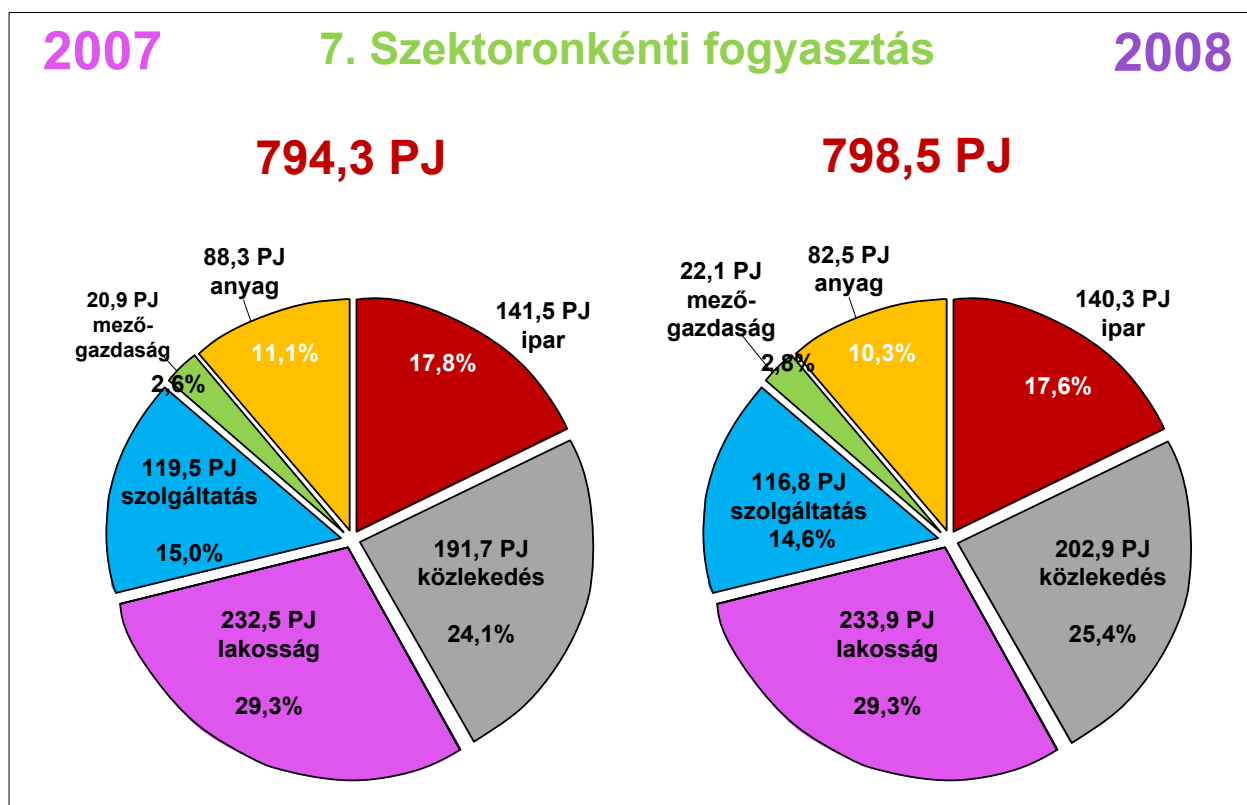


59. ábra Magyarország teljes energiamérlege 2008-ban[6]

4. táblázat: A primer energia átalakítás veszteségei 2005-2008[6]

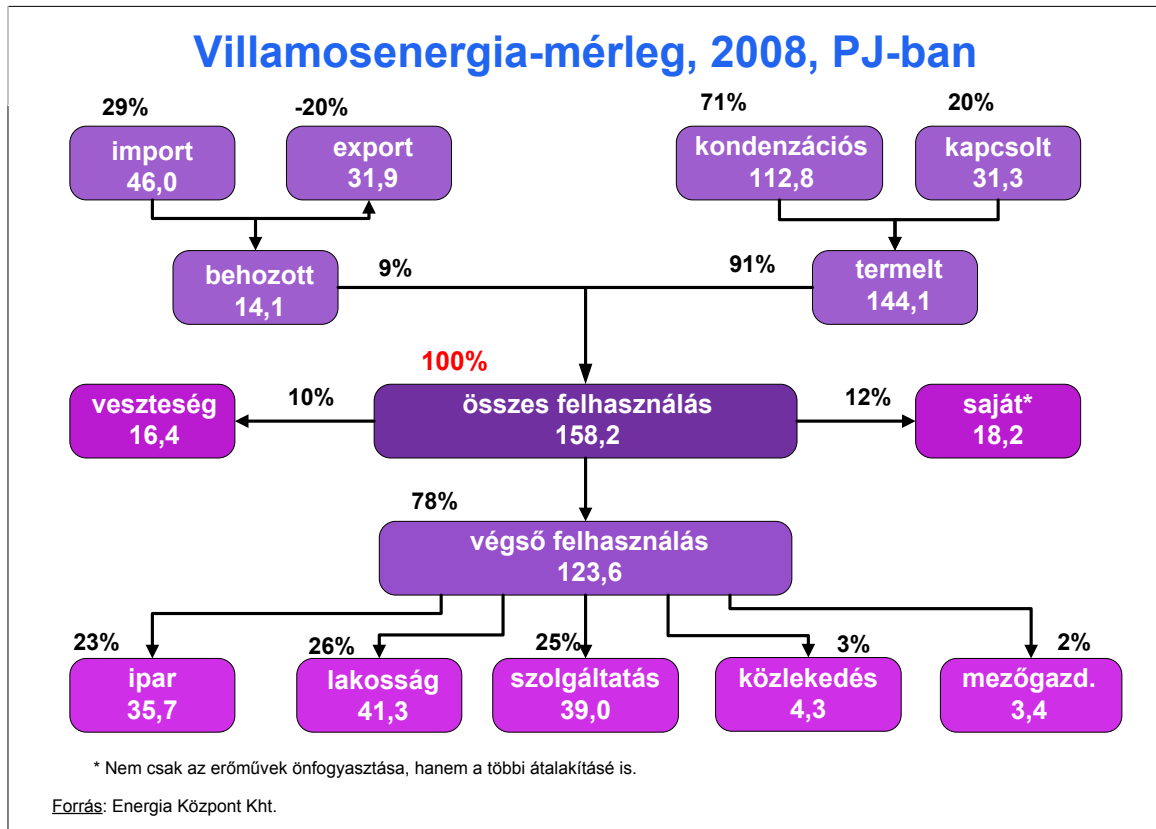
	2005	2006	2007	2008
Átalakítási és átszámítási veszteség (PJ/év)	234	233	258	262
Bruttó országos energiafelhasználás (PJ/év)	1153	1152	1125	1126
A veszteségek aránya az országos energiaigényben %	20,3	20,2	22,9	23,2

A 2008. évi bruttó végső energiafogyasztást felhasználási területenként illetve energiahordozónként a **60. ábra** mutatja.

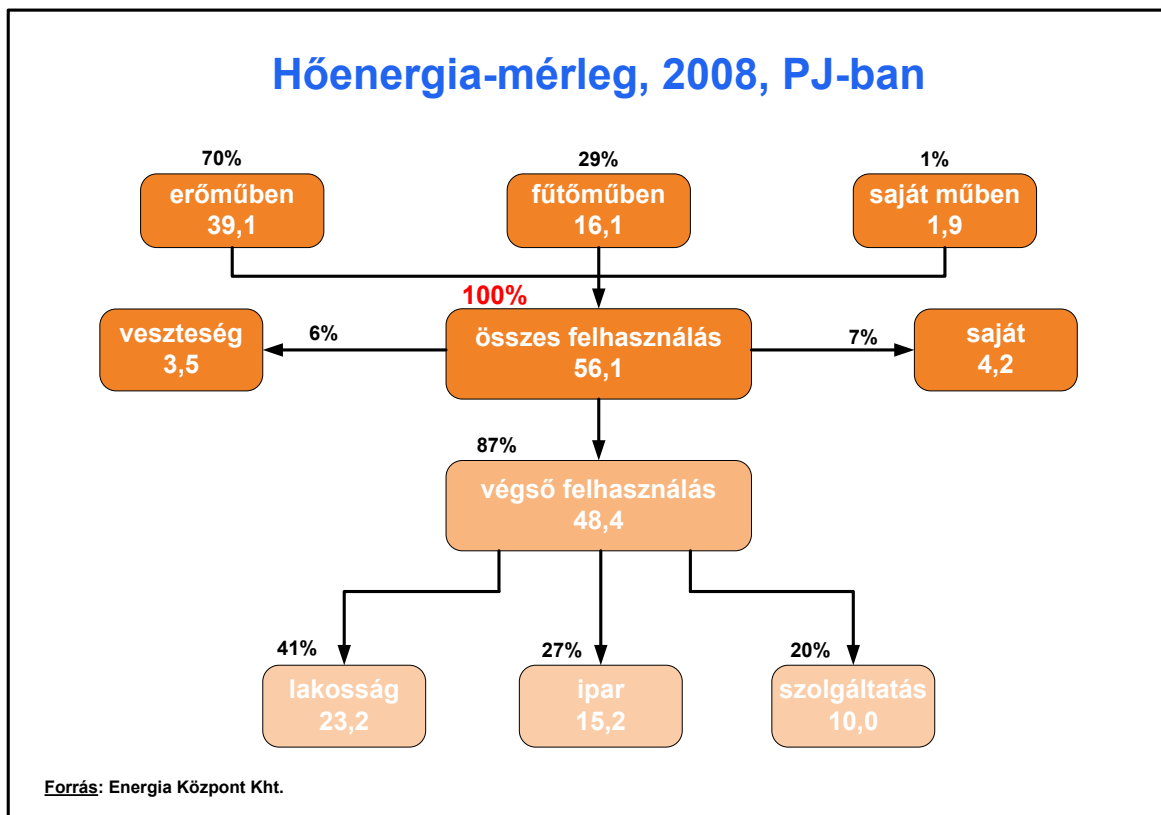


60. ábra: Magyarország ágazatonkénti energiafogyasztása 2007-2008. években[6]

A 2008. évi villamosenergia és hőmérleget a **61. ábra** és **62. ábra** mutatják

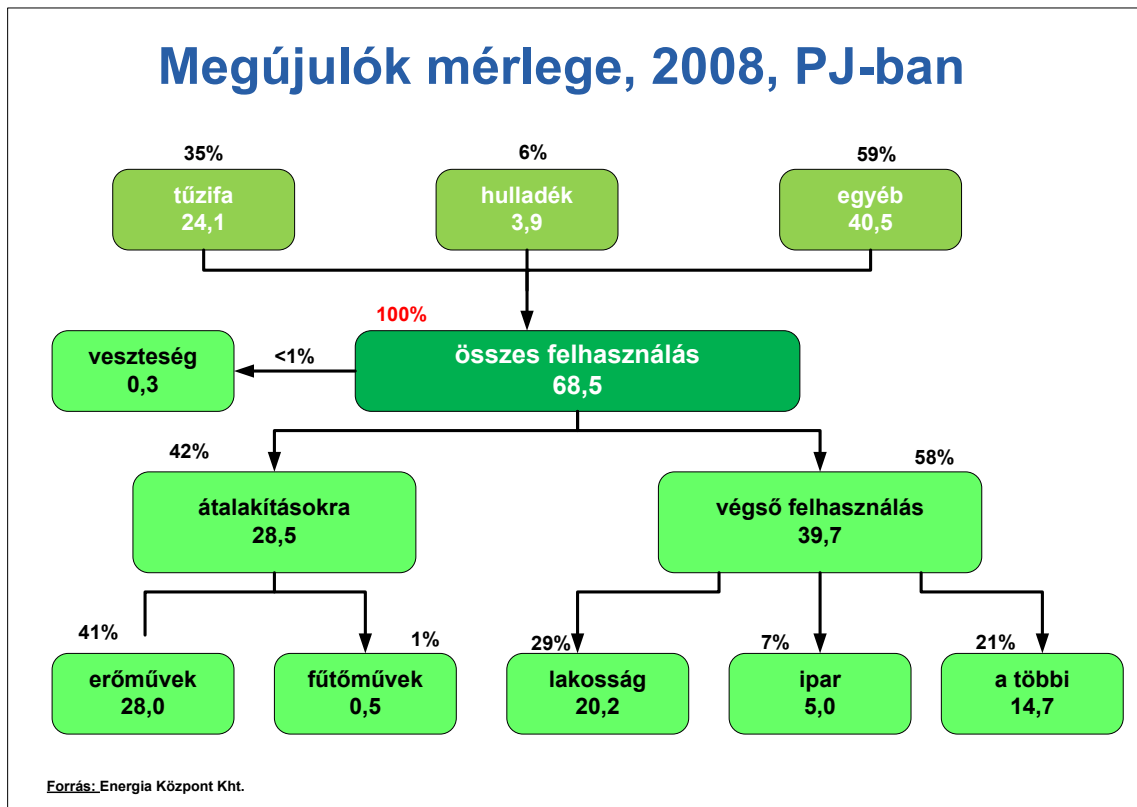


61. ábra: Magyarország villamosenergia mérlege a 2007 és 2008. években[6]



62. ábra: Magyarország hőenergia mérlege a 2007 és 2008. években[6]

A 2008. évi megújuló energia felhasználás mérlege a **63. ábra** látható.



63. ábra: Magyarország megújuló energia mérlege a 2007 és 2008. években[6]

6.6. Irodalom az 6. fejezethez

- [1] Dr.Büki G.: Energetika. Műegyetemi Kiadó Budapest, 1997.
- [2] Dr. Tóth P.- Dr. Bulla M.: Energia és Környezet, UNIVERSITAS- Győr Nonprofit Kft, az eredeti kiadvány 1999. átdolgozott 2008. évi változata alapján
- [3] Barótfi I.: Energiafelhasználói Kézikönyv, Környezet-Technika Szolgáltató Kft. Budapest, 1993.
- [4] Erdős P.: Az energiaellátási folyamat sajátosságai. Magyar Energetika, 1994/5.
- [5] Dr.Vajda Gy.: Kockázat és biztonság. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.
- [6] Dr.Strobl : Magyarország energia mérlege 2008-ban. Energia Központ Kht tájékoztatása alapján. Budapest 2010.szeptember 15.

7. Magyarország primer fosszilis és megújuló energiaforrás készletei, hasznosíthatóságuk (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós)

Széchenyi István Egyetem, Győr

7.1. Magyarország primer (fosszilis) energiaforrás készletei, ellátottsága

Magyarország primer fosszilis energiahordozó ellátottsága az **5. táblázat** látható

5. táblázat: Magyarország primer fosszilis energiahordozó ellátottsága[2]

Energiahordozó	Ellátottság (év)	
	A gazdaságosan kitermelhető ásványvagyon	A jelenlegi termelési volumen
	alapján	
Lignit	> 300	> 500
Barnaszén*	> 100	> 1000
Kőolaj	20	23
Földgáz	22	> 1000**
* Az ország jelentős feketeszén készletekkel is rendelkezik, jelenleg termelés nincs.		
** Az érték tartalmazza a Makó árokban feltárt de termelésbe még nem állított földgázt is.		

Magyarországon jelenleg az egyes primer fosszilis energiahordozók import aránya hőmennyiségben / Mt-ban ill. Mrd m³-ben a következő:

- Szén: 46% / 20%
- Kőolaj: 92% / 88%
- Földgáz: 77% / 79%

Tehát kőolaj és földgáz vonatkozásában a felhasználás döntő hányada, több mint 75%-a, importból származik.

Magyarország éves energiafelhasználása 2007-ben 1152 PJ volt, melyből 850,9 PJ *importból* származott.

Az egyes fosszilis energiahordozók import aránya hőmennyiségben / Mt-ban ill. Mrd m³-ben:

- Szén: 46% / 20%
- Kőolaj: 92% / 88%
- Földgáz: 77% / 79%
-

(Szén esetén a hőmennyiség és a tömeg mennyiségből számított arány közötti jelentős különbséget a hazai termelés alacsony fűtőértéke okozza.)

A hazai termelés volumene 2007-ben a következő volt:

- Szén összesen: 9,7 Mt, ebből 8,4 Mt volt a lignit, 1,3 Mt a barnaszén (gyakorlatilag a Vértesi Erőműhöz tartozó Márkushegyi Bányüzem mélyművelés)
- Kőolaj: 838 kt
- Földgáz: 2,65 Mrd m³

Magyarország ellátottsága a jelenlegi termelés szintjén (jelenleg gazdaságosan kitermelhetőnek [un. ipari] ítélt ásványvagyon alapján):

- Lignit: >300 év
- Barnaszén: >100 év
- Feketeszén: 2004 óta nincs termelés, de a szénvagyon jelentős
- Kőolaj: 20 év
- Földgáz: 22 év

Az összes, technikailag kitermelhető ásványvagyon gazdasági megítélése a kül- és belgazdasági helyzettől, a technikai fejlettségtől, de elsősorban az energiahordozók világpiaci árától függ, ezért időről időre változik. A magas kőolajárak hatására a hazai kőolaj-, földgáz- és szénvagyon felértékelődik, így a kitermelhető vagyonból egyre több kerülhet a gazdaságos kategóriába. Ellenkező esetben az értéke csökken.

A 6. táblázat Magyarország jelenleg gazdaságosan kitermelhető és technikailag kitermelhető fosszilis energiahordozó ásványvagyont szemlélteti. [2]

6. táblázat: Magyarország jelenlegi gazdaságosan kitermelhető és technikailag kitermelhető fosszilis ásványvagyona[2]

Magyarország jelenlegi gazdaságosan kitermelhető és technikailag kitermelhető fosszilis ásványvagyona		
Fosszilis nyersanyag	Gazdaságosan kitermelhető	Technikailag kitermelhető
Lignit	2893 Mt	4381 Mt
Barna- és fekete szén	365 Mt	4230 Mt
Szén összesen	3258 Mt	8611 Mt
Kőolaj	17 Mt	19 Mt
Földgáz	58 Mrd m ³	3355* Mrd m ³
* tartalmazza a „Makói árok” technikailag kitermelhető földgázvagyont is.		

A technikailag kitermelhető ásványvagyon alapján számított ellátási idő (a jelenlegi termelés volumene alapján):

- Lignit: >500 év
- Barnaszén: >1000 év
- Feketeszén: 2004 óta nincs termelés, de a szénvagyon igen jelentős
- Kőolaj: 23 év
- Földgáz: >1000 év (tartalmazza az un. „Makói árok” földgázvagyont)

Megjegyzendő, hogy a technikailag kitermelhető ásványvagyon egésze a jövőben sem aknázható ki gazdaságosan. A fosszilis energiahordozókra vonatkozó ellátottság és ásványvagyon alapján megállapítható, hogy Magyarország primer energiahordozókból összességében jól ellátott, azonban az egyes energetikai nyersanyagok között jelentős az eltérés.

Kőolaj esetén az ország ellátási helyzete behatárolt, jelentős újabb kőolajtelepek felfedezésének nincs esélye. Ezért továbbra is jelentős kőolaj importra szorulunk.

Földgáz esetén alapvető fontosságú a „Makói árok”-ban felfedezett gázvagyon kitermelésének megoldása. A gázlelőhely a hagyományostól eltérő, ún. *medenceközpontú*, mely nagy mélységben (3000 - 6000 m) található. Kitermelési technológiája még nem kidolgozott, az alkalmazható technológia kifejlesztése számos műszaki probléma megoldását igényli. A Falcon, az Exxon-Mobil és a MOL együttesen kívánja a technikai problémákat megoldani és a gázt kitermelni. A kitermelés költsége várhatóan jóval nagyobb lesz, mint a hagyományos földgázmezőkön. Ezzel szemben Magyarország számára a kitermelt gázt a távvezetéki szállítási költség nem terhelné. A vállalkozás gazdasági kockázata igen nagy. Siker esetén a kitermelés beindulása kb. 2011-re várható, mely pár év alatt felfuthat 10 Mrd m³/év értékre.

(Magyarországon az in situ ásványvagyon az állam tulajdona, mely a kitermelést követően – bányajáradék fizetés ellenében - kerül a bányavállalkozó tulajdonába. Tehát a bányavállalkozó a társasági adón, iparüzési adón, stb. felül bányajáradékot is fizet. Ennek számítási módját Bányatörvény (1993. évi XLVIII. Tv.) és a 118/2003 (VIII. 8.) Korm. rendelet szabályozta. Az éves bányajáradék befizetések elérték a 124 Mrd Ft-ot, melynek 98%-a kőolaj- és földgáztermelésből származott. A jelenleg hatályos (2008-ban módosított) Bányatörvény és az 54/2008. (III. 20.) Korm. rendelet a bányajáradék mértékét megváltoztatta, szénhidrogéneknél „lépcsőzetessé” tette. A szénhidrogének után fizetendő bányajáradék összege vélelmezhetően nő.)

Magyarország földgázfelhasználása – elsősorban a szénhidrogén bázisú erőművek miatt - az energiafelhasználáson belül aránytalanul magas.

A hazai erőművek 2006. évi energiahordozó-felhasználása hőre vetítve:

- Lignit 13 %
- Barnaszén 4 %
- Feketeszén (import) 3 %
- Olaj 1 %
- Földgáz 35 %
- Hasadóanyag 36 %
- Megújuló energia („biomassza”) 5%.

Magyarország hatalmas lignit vagyonnal rendelkezik. A lignitvagyon akár több ezer MW erőműi kapacitás létesítését is lehetővé tenné. Visontán, az MVM és a Mátrai Erőmű finanszírozásában 400 MW nagy hatásfokú beruházást indítottak el (200 MW kis hatékonyságú kapacitást viszont megszüntetnek). Az új , 400 MW-os erőműi blokk a bükkábrányi lignitbázisra épül, és kilátásba helyezték egy további 600 MW-os blokk építését is. Legfontosabb hazai primer fosszilis energiahordozónk a lignit. A lignitbázisú erőművek villamosenergia termelési önköltsége a többi erőműnél – kivéve a Paksi Atomerőművet - alacsonyabb.

7.2. Megújuló energiaforrások elméleti és hasznosítható potenciálja, napenergia - biomassza - szélenergia - vízenergia - geotermikus energia

A 2003- 2005. akadémiai években a Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottság Megújuló Energia Albizottság elkészítette Magyarország megújuló energia potenciálját. [5] Ennek összefoglaló eredménye :

Elméleti potenciál:

- | | | |
|---|-------------------|-------|
| • Aktív szoláris termikus potenciál | 48,815 | PJ/év |
| • Passzív szoláris termikus potenciál | 37,8 | PJ/év |
| • Szoláris termikus potenciál a mezőgazdaságban | 15,911 | PJ/év |
| • Szoláris fotovillamos potenciál | 1749,0 | PJ/év |
| • Vízenergia potenciál | 14,22-14,58 | PJ/év |
| • Szélenergia potenciál | 532,8 | PJ/év |
| • Biomassza-energetikai potenciál | 203,2-328 | PJ/év |
| • Geotermális energetikai potenciál | 63,5 | PJ/év |
| • Magyarország teljes megújuló energetikai potenciálja: | 2665,246-2790,406 | PJ/év |

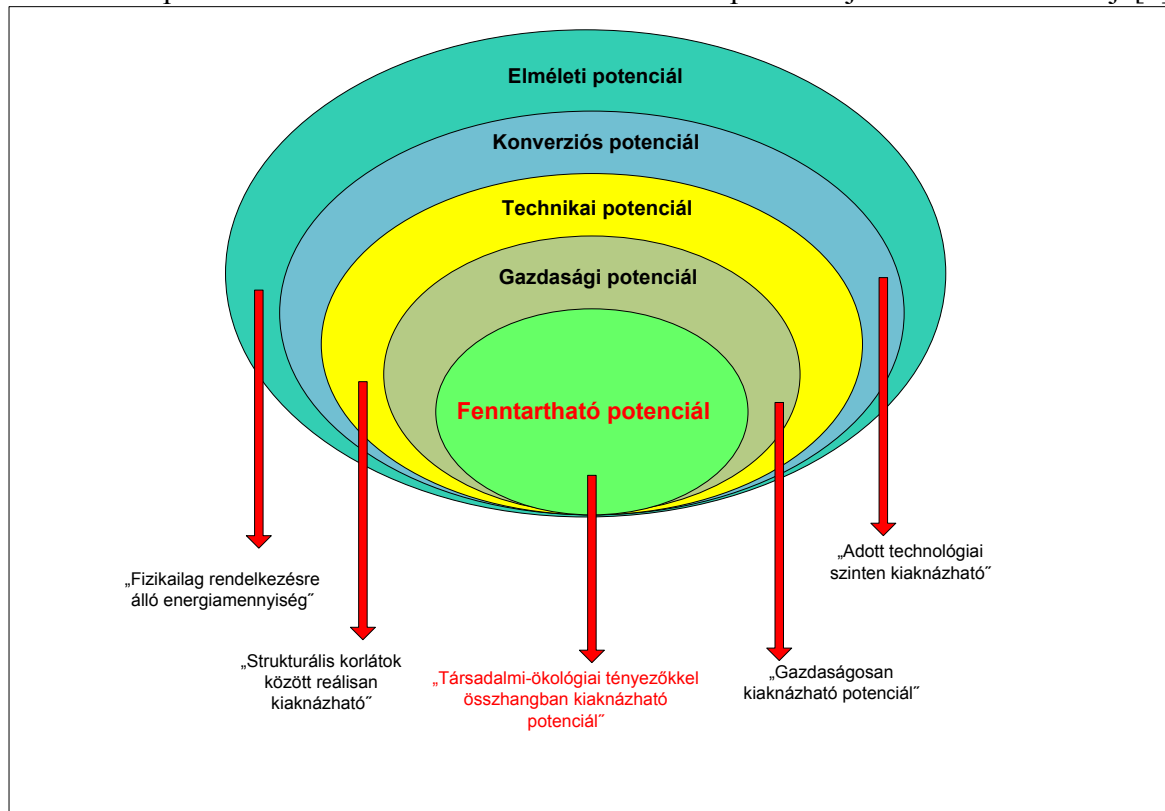
Az elméleti potenciál reálisan hasznosítható mértéke: 405 – 540 PJ/év,(a teljes potenciál 15-20 %-a), a hazai energiaigény mintegy 30-40 %-a.

(Szélenergia potenciál: H=75m, D=75m, E=56,85TWh (204,7PJ/év),

$P_{\text{éves átl}} = 6489\text{MW}$)

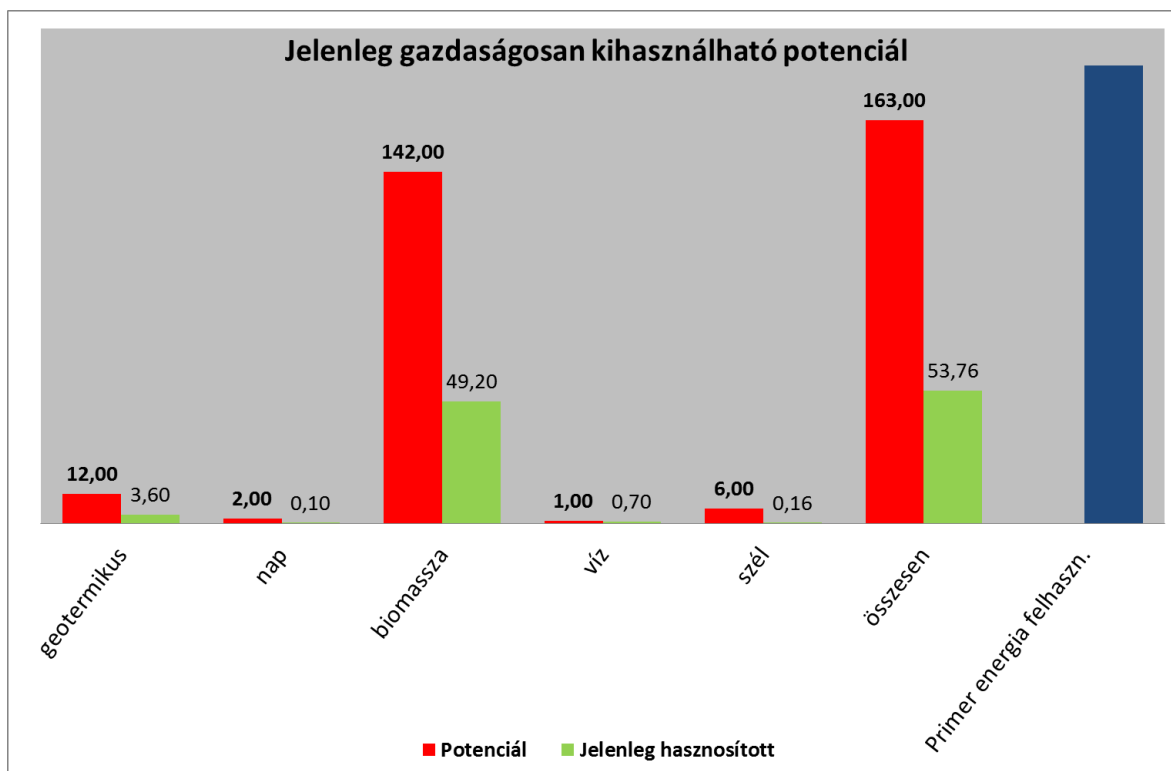
Forrás: MTA Energetikai Bizottság Megújuló Energia Albizottság, 2006.

Az elméleti potenciál fenntartható módon hasznosítható potenciálját a **64. ábra** mutatja[6]



64. ábra: Az elméleti potenciál fenntartható módon hasznosítható potenciálját[6]

A jelenleg gazdaságosan kihasználhatónak tartott potenciált a 65. ábra mutatja



65. ábra: A jelenleg gazdaságosan kihasználhatónak ítélt potenciál [4]

7. táblázat: A jelenleg gazdaságosan felhasználhatónak ítélt potenciál [4]

	MTA Megújuló Energia Albizottság felmérése (PJ/év)	Kihasználható potenciál (KHEM 2009.) (PJ/év)	Jelenlegi felhasználás (PJ/év)
Napenergia	1838	2	0,16
Vízenergia	14,4	1	0,77
Geotermia	63,5	12	4
Biomassza	203-328	142	58,9
Szélenergia	532,8	6	0,74
ÖSSZESEN	2600-2700	163	64,57

A Magyar Tudományos Akadémia Környezettudományi Elnöki Bizottság és az Energetika és Környezet Albizottság 2009-2010 évben elkészítette a „Megújuló energiaforrások és környezeti hatások” tanulmányt, melyben áttekintést adtak a megújuló energiák jelenlegi és jövőbeli hasznosíthatóságáról. (Magyar Tudomány 2010/8. szám)

A **Nemzeti Cselekvési Tervben (NCST)** a hagyományos statisztikai értékelés szerint a villamos energia termelés – tüzelőanyagban mért – megújuló energiahordozó igényét a bemenő oldali tüzelőanyagban kell mérni. Hagyományos módon értékelve a 2020. évi megújuló energiahordozó igényt a 2020. évi megújuló energiahordozó felhasználás meghaladja a a 138 PJ/év-et, így az EU metodika szerinti értéknél közel 30%-al nagyobb értéket ad.

A kétfajta értékelést a **8. táblázat** mutatjuk be.

8. táblázat: 2020. évre tervezett megújuló energiahordozó felhasználás (Forrás: NFM)

	2020. évi megújuló energiahordozó felhasználás PJ/év	
	Bruttó végső	Primer oldal (statisztika szerinti értékek)
Geotermia	16,18	18,45
Napenergia napkollektor napelem	2,67	2,67
Tűzifa és hulladék (szilárd biomassza)	51,82	76,72
Biogáz, biometán	5,67	8,39
Vízenergia	0,9	0,9
Szélenergia	5,59	5,59
Bio-üzemanyagok	22,4	22,4
Hulladékégetés	1,8	2,29
összesen:	107	138,1

A kétfajta értékelés sem a szükséges beruházási támogatásoknál, sem a folyamatos támogatási igényeknél nem jelent eltérést, de az importfüggőség mérséklődés, a környezeti hatások, valamint a vidéki foglalkoztatottság mérlegelésénél a primer oldali energiahordozó felhasználásokat kell alapul venni (így itt el kell térni az EU metodikától).

7.3. Irodalom a 7. fejezethez

- [1] Dr. Büki G.: Energetika. Műegyetemi Kiadó Budapest, 1997.
- [2] Dr. Tóth P.- Dr. Bulla M.: Energia és Környezet, UNIVERSITAS- Győr Nonprofit Kft, az eredeti kiadvány 1999. átdolgozott 2008. évi változata alapján
- [3] Dr. Strobl : Magyarország energia mérlege 2008-ban. Energia Központ Kht tájékoztatása alapján. Budapest 2010.szeptember 15.
- [4] Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Nemzeti Cselekvési Terv , Budapest 2010. szeptember
- [5] Dr. Imre László szerk.: (2006): Magyarország megújuló energetikai potenciálja. Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottság, Megújuló Energia Albizottság Szakmai Csoportja, Tanulmány, Budapest 2006.
- [6] Dr. Ádám József és Dr. Szabados László szerk.(2010): Megújuló energiaforrások és környezeti hatások, Magyar Tudományos Akadémia Környezettudományi Elnöki Bizottság és az Energetika és Környezet Albizottság tanulmánya, Magyar Tudomány 2010/8. szám

8. Az EU és Magyarország energiastratégiája (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós)

Széchenyi István Egyetem, Győr

8.1. Az EU energiastratégiája

2030-ra az EU importfüggősége várhatóan 50%-ról 65%-ra nő. Ebből adódóan alapelvek az energetikában:

- **versenyképesség növelése:** csökkenteni a költségeket
- **fenntarthatóság:** energiatakarékosság, megújuló energiák fokozott mértékű hasznosítása, innováció
- **ellátásbiztonság:** versenypiac, új kapcsolatok kiépítése

Megvalósítandó célkitűzések:

- 2020-ra el kell érni EU szinten az üvegházhatású gázok kibocsátásának 20%-os csökkentését. Az Európai Unió 2020-ra az üvegházhatású gázok kibocsátásainak 20 %-os egyoldalú csökkentését vállalta a 2005-évi szinthez képest, illetve a kibocsátásainak 30 %-os csökkentését tűzi ki célul, amennyiben a többi fejlett és haladó fejlődő ország is tesz újabb kibocsátás-csökkentési vállalásokat.
- 2020-ig 20%-al kell javítani az energiahatékonyságot ,
- 2020-ra 20%-os megújuló energiahordozó részarány elérése
- 2020-ra 10 %-os arányt kell elérniük a bioüzemanyagoknak

Az Európai Parlament és Tanács 2009/28/EK irányelve a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról:

- Rögzíti a tagállamok számára a 2020-ra elérendő célszámokat: ez **Magyarország vonatkozásában 13 %**.
- Rögzíti a **bioüzemanyagok egységesen 10 %-os** kötelező arányát és a fenntarthatóság követelményét.
- Lehetővé teszi hogy a más tagállamban felhasznált energiát – származási garancia mellett – az exportőr tagállam beszámítsa a saját energia- felhasználásába
- Lehetővé teszi hogy a közösségen kívülről importált villamosenergiát – származási garancia mellett - a tagállam beszámítsa a saját felhasználásába
- A 2001/77/EK és a 2003/30/EK irányelvet hatályon kívül helyezi, a 2010-re szóló előírások 2011 végéig maradnak hatályban.
- Előírja, hogy **2010 június 30-ig a tagállamok készítsenek nemzeti cselekvési terveket és meghatározza ezek egységes formanyomtatványát.**
- A **nemzeti jogba való átültetés** határideje 2010. december 5.
- **Jelentési kötelezettséget** ír elő 2011. december 31-ig, majd két évente további előrehaladási jelentéseket ír elő

Az Európai Unió közös energiapolitikája jelenleg formálódik. Az Unió a tagországok által elfogadott célok megvalósítása érdekében az uniós szerződésekben, irányelvekben és rendeletekben írta elő céljainak megvalósítását a tagországok számára. Az Unió energetikával kapcsolatos szabályainak végrehajtása a tagországok számára kötelező, ezért azok a magyar energiapolitika célkitűzései, a végrehajtás eszközei közé is beépültek.

Alapvető stratégiai célkitűzések a **versenyképesség**, az **ellátásbiztonság** és a **fenntarthatóság**. Ezen belül kiemelten fontosak a környezet megóvására, az energiatakarékosság előmozdítására, az átlátható piaci versenyre vonatkozó szabályok. **(Fő indikátorok.)**

Az Európai Unió tagállamainak állam- és kormányfőiből álló Európai Tanács értékelése szerint az Unió előtt komoly energetikai kihívások állnak, nevezetesen:

- a kőolaj, a kőolajtermék és a földgáz piacok jövőben felmerülő problémái;
- a behozattól való egyre növekvő függőség;
- a diverzifikáció korlátozott mértéke;
- a magas és ingadozó energiaárak;
- a világszerte növekvő energiakereslet;
- a termelő és tranzit országokat, valamint a szállítási útvonalakat érintő biztonsági kockázatok;
- az éghajlatváltozás okozta fenyegetettség;
- az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások használata terén tapasztalható lassú előrehaladás;
- az energiapiac liberalizációja mellett az energiapiacok korlátozott átláthatósága, a nemzeti energiapiacok integrációjának és összekapcsolásának korlátai, valamint az energiaágazat szereplői közötti megfelelő koordináció hiánya, miközben az energiarendszer jelentős fejlesztésére van szükség.

Az európai energiapolitikának három alapvető kiindulópontja van: az éghajlatváltozás leküzdése, az EU energetikai kiszolgáltatottságának csökkentése, a munkahelyteremtés és a gazdasági növekedés ösztönzése.

Az Unió egyik legfontosabb célkitűzése az energiatakarékosság elmozdítása, az energiatakarékosság előmozdítása. Az EU Energiahatékonysági Cselekvési Terve és az Európai Tanács 2007. évi tavaszi előírásai szerint **2020-ig az EU jelenlegi teljes energiatakarékosságához képest 20 %-os relatív energia-megtakarítást kell elérni.** Ez a célkitűzés hozzájárul az Unió versenyképességének növeléséhez, az ellátás biztonságának javításához valamint a károsanyag-kibocsátás csökkentésével a közös környezet- és természetvédelmi célok teljesítéséhez. A nemzeti és közösségi kutatási, fejlesztési és demonstrációs eszközökkel támogatni kell az energiahatékonyságot és az energiatakarékos, alacsony üvegházhatású gáz kibocsátású technológiákat.

8.2. Magyarország energiastratégiája[1]

Az energiapolitika 1993.évi megfogalmazása óta alapvető változások mentek végbe Magyarország nemzetgazdaságában, annak részeként az energiaszektorban és az energetika peremfeltételeiben. Sokszereplős és döntően magántulajdonú lett az energiaszektor, kialakult a verseny piac feltételrendszere mind a kőolajszármazékok, mind a vezetékes energiahordozók területén. Ugyanakkor tovább nőtt az importfüggőség és megmaradt a magas fosszilis energia részarány is.

Az elmúlt években drámai mértékben növekedett a kőolaj ára a nemzetközi energiapiacra, ami magával vonta a földgáz árának növekedését is. Véget ért az „olcsó” energia korszaka. **Hazánk uniós csatlakozása 2004-ben magával hozta az energetikai szabályozási feltételek megváltoztatásának igényét. Az új energiapolitikai célkitűzések :**

Az Országgyűlés elfogadta a 2007-2020 időszakra szóló új energiapolitikát (40/2008 (IV. 17.) OGY határozat), melynek fő célkitűzései:

- **Ellátásbiztonság**
Importfüggőség mérséklése, energiatakarékosság, megújuló energiahordozók felhasználása
- **Versenyképesség**
Költségek mérséklése, energiatakarékosság, megújuló energiahordozók felhasználása
- **Fenntartható fejlődés**
Környezetvédelem, energiatakarékosság, megújuló energiahordozók felhasználása

A Kormány elfogadta a Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Tervet (2019/2008 (II.23.) Korm. hat.)

A Kormány elfogadta áll az új megújuló energiahordozó felhasználás növelési stratégiát (2148/2008 (X.31.) Korm. hat.)

Az fenti energiapolitikai célkitűzéseket a gazdasági világválság és az új EU elvárások miatt módosítani kell. A szükséges módosítások legfontosabb okai [1]:

- A korábbi stratégia nem számolt a **2008-2009 gazdasági recesszió** energiaigény mérséklő hatásával. A legújabb energiaigény prognózisok –**figyelembe véve az EU időközben közzétett 2020-ra szóló energiamegtakarítási elvárásait**- lényegesen alacsonyabb 2020. évi energiaigényeket valószínűsítene, mint amit a korábbi stratégia figyelembe vett.
- A megújuló energiahordozó felhasználás nemzeti célértékeit az összenergia igény függvényében kell megállapítani, ahol –**Magyarország esetében- a 2020. évi nemzeti célérték az összenergia igény 13%-a.**
- Végezetül a nemzeti kötelezettség vállalás megalapozásánál figyelembe kell venni az adott **ország gazdasági háttérét**, a várhatóan rendelkezésre álló jövőbeni támogatási lehetőségeket. Magyarország esetében hosszabb távon kell **számolni kell a támogatási források szűkösségével**, így nemzeti célkitűzéseként az EU elvárást kell tekinteni.
- **Stratégiai cél továbbra is –az elérhető nemzeti előnyök minél hatékonyabb realizálhatósága**

Az Európai Parlament és Tanács 2009/28/EK irányelve (a továbbiakban: RED Irányelv) az alábbi, 2020-ra vonatkozó célkitűzések megvalósítását kívánja elősegíteni:

- a megújuló energiahordozó felhasználás EU szinten érje el a 20%-ot,
- a bioüzemanyag felhasználás részarány 10%-ot érjen el.

Az irányelv a 20%-os megújuló energiahordozó részarány elérése érdekében a tagállami adottságok és sajátosságok figyelembevételével minden tagállamra külön-külön elvárást fogalmaz meg. **Magyarország felé EU elvárás, hogy 2020-ra a megújuló energiahordozó felhasználás érje el az országos teljes bruttó energiafogyasztás⁵³ 13%-át.** Az irányelv előírja, hogy a tagállamok 2010. június végéig készítsenek nemzeti cselekvési terveket, amihez az Európai Bizottság 549/2009/EK határozatával egységes formanyomtatványt határozott meg. A Nemzeti Cselekvési Tervben (NCST) a megújuló energiák hasznosítására vonatkozó ütemezéshez a bázis év a 2005. év.

⁵³ RED Irányelv 2. cikk f) pont és I. melléklet „A” rész. A teljes bruttó energiafogyasztás a teljes primer energiafogyasztásnál kisebb érték, az átalakítási veszteségek levonására kerülnek.

A Nemzeti Cselekvési Terv [1]:

- Kidolgozása a 2009. 06. 30-i Bizottság határozata alapján egységes formában történik (2009/28 EU irányelv)
- A 2005-2020 energiaprognózisra kell alapozni
 - energiahatékonysági intézkedések nélküli energiaigény scenárió
 - „referencia forgatókönyv” scenárió
 - „kiegészítő energiahatékonysági intézkedések” scenárió
- A kiegészítő energiahatékonysági intézkedések prognózis 13%-a a 2020. évi megújuló energiahordozó felhasználási előjelzés
- Az energiaigény prognózisokat és a megújulós prognózisokat is „fűtés és hűtés”, villamosenergia előállítás” és”közlekedés” ágazati bontásban kell képezni
- Az ágazatokra meg kell adni az évenkénti %-os részarányokat
- Meg kell határozni a végrehajtáshoz szükséges intézkedéseket és a finanszírozási formákat
- Külön be kell mutatni az építési ágazatban a megújuló energiahordozó felhasználást
- Becsülni kell a biomassza várható forrásokat
- Meg kell becsülni a statisztikai átruházásokat (export-import)
- Többféle szöveges elemzést kell adni

A megújuló energiahordozó felhasználás szükségességét alátámasztó külső és belső kihívások a magyar energetikában(2009/28/EU irányelv) [1]

Magyarország energiaellátásában meghatározó az import magas részaránya. A hazai fogyasztás a kőolajszükséglet 80%-a, a földgázfogyasztás több mint 83%-a – elsősorban a volt FÁK országokból – származó importból származik (a hazai szénhidrogénkészlet adatok alapján a saját előállítás aránya tovább csökkenhet).

A világpiacon energiaárak növekvő tendenciája hosszú távon folytatódik. Az energia – főleg a kőolaj és a földgáz – világpiacon árák gyorsan növekedő ázsiai országok rohamos keresletbővülése mellett a kitermelési költségek növekedése és különböző politikai események hatásai következtében hosszabb távon tovább drágulhat.

A kereslet-kínálat egyensúlyának megbomlása miatt számítani kell arra, hogy **a nemzetközi piacokon az energiaforrásokért biztonságpolitikai kérdéseket is felvető globális verseny kiélesedik, a kőolaj és a földgáz folyamatos beszerzése megnehezülhet, a hiány kockázata nőhet**, ami tovább növelheti az árakat

A környezetvédelmi és klímapolitikai követelmények szigorodása kihat az energetika működési feltételeire. Az energiaellátás és az energiafelhasználás jelentős környezeti hatásokkal jár, amely hatások mérséklése az energiapolitika egyik kulcskérdése. A következő évtizedekben a környezet megóvása, a szennyezés csökkentése megkerülhetetlen kényszerré válik. **Az energetikával kapcsolatos döntések meghozatala során mind hangsúlyosabban figyelembe kell venni a klímavédelmi szempontokat**, ami a környezetvédelmi és klímapolitikai előírások szigorítását is előrevetíti.

Mindezek a tényezők két követelményt jelentenek a hazai energiapolitika számára: fokozni kell az energiatakarékosságot és növelni kell a megújuló energiahordozó felhasználás hazai részarányát.

A hazai fosszilis energia termelés az országos kőolajszükséglet ötödét, a földgázfogyasztás hatodát fedezi, az ismert, valamint a várható készletadatok ezen arányok további csökkenését valószínűsítik. Számítani kell arra, hogy **a nemzetközi piacokon az energiaigény folyamatosan nő, az energiaforrásokért biztonságpolitikai kérdéseket is felvető globális verseny zajlik, a kőolaj és a földgáz folyamatos beszerzése megnehezül, a hiány kockázata nő,** ami az árakra is azonnal kihat. **A világgpiaci energiaárak növekvő tendenciája** hosszú távon is folytatódik. Az energia – főleg a kőolaj és a földgáz – világgpiaci ára egyes gyorsan növekedő ázsiai országok rohamos keresletbővülése miatt egy-két év alatt megduplázódott és még tovább drágulhat a kitermelési költségek növekedése és a különböző politikai eseménye miatt.

A növekvő földgáz árak, a csökkenő hazai termelési részarány, a növekvő importfüggőség miatt egyértelművé vált a földgáz-takarékosság, a megújuló energiaforrások felhasználásának különös jelentősége.

Az energiafelhasználás hatékonyság javításának a közvetlen megtakarításokon túl további kedvező helyi hatásai lehetnek. A beruházások lehetőséget teremtenek helyi vállalkozók számára, csökkenhet az energiafelhasználáshoz kapcsolódó környezetszennyezés, javulhat az adott intézmények szolgáltatásának színvonala.

Az energiahatékonyság növelése alapvető prioritás, mivel ez az egyetlen olyan eszköz, amely az energiapolitika valamennyi alappillérenek teljesítéséhez hozzájárul. **Az energia felhasználás ésszerűsítésével, hatékonyságának növelésével a jelenleg felhasznált energia számottevő része hosszú távon megtérülő intézkedésekkel megtakarítható.** A hatékony energia-megtakarítás mértékét a várható technológiai fejlődés tovább növelheti. (2019/2008(II.23.)Korm. hat. Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terv)

A fenntarthatósági célok elérésének ösztönzése történhet projekt orientált műszaki fejlesztés révén, illetve a környezettudatos szemlélet elterjesztésén keresztül.

Kulcsfontosságú az épületek energiahatékonyságának javítása, mert hozzájárul a működési költségek csökkentéséhez. A „modern” építésű épületek energiahatékonyságának javítása mellett, tekintettel azok állapotára, kiemelt figyelmet kell fordítani a hagyományos technológiával készült épületek állapotának javítására, a fűtési rendszerek korszerűsítésére, a megbízható szabályozás és a hő felhasználás mérésének megoldására.

Az épületek energiatanúsítvány rendszerének bevezetésével, az építési szabványok szigorításával lehet az épületek energiafelhasználását csökkenteni.

Energiapolitikai cél, hogy új épület építésénél éppúgy, mint régi épület felújításkor is azok a korszerű energiafogyasztó készülékek, berendezések alkalmazása játssza a vezető szerepet, amelyek hatásfoka és a működéssel együtt járó környezetterhelése a legkedvezőbb.

A projekt orientált energiatakarékosság, az energiaigényesség csökkentésének hatására javul a környezet állapota, nőhet a térségi vállalkozások versenyképessége, így a munkahelyek száma, ezáltal mobilizálódhat a hazai tőke, felgyorsulhat a külföldi működő tőke és támogatás beáramlása, mérséklődhet a működtetett intézmények energiaszámlája.

Az intézmények fenntartható módon való működésének alapvető feltétele a bevett gyakorlatok, szokások módosítása. A fogyasztási szokások fenntarthatóság irányába történő megváltoztatásához a következő szempontok figyelembevétele szükséges, nevezetesen:

- a fenntartható fogyasztás előnyeinek tudatosítása, beleértve a fenntarthatósághoz kapcsolódó értékrend elterjesztését és megerősítését, hogy az ahhoz kapcsolódó előnyök személyes szinten is értelmezhetővé váljanak;
- a fenntarthatóság – mint társadalmi norma – tudatosítása;
- a berendezések fenntarthatóbb használati módjának tudatosítása.

Mindezt csak az tudja alkalmazni, aki rendelkezik környezetkultúrával! Ezért fontos feladat a környezeti nevelés. A környezeti nevelés élethosszig tart és érint mindenkit, aki az intézményeinkben él, tanul vagy dolgozik, célja a környezetkultúra megalapozása, tehát a környezettudatos magatartás, gondolkodásmód, valamint a környezetért felelős életvitel elősegítése. Olyan szokásrendszer megalapozása, érzelmi, értelmi, esztétikai és erkölcsi vonatkozásban egyaránt, amely a természet, az épített és társadalmi környezet, tiszteletére épül. Beletartozik a természet rendszerszemléletű megközelítése, a fenntarthatóság szempontjainak elfogadása éppúgy, mint az ember és természet közötti kapcsolatok értelmezése, jellemzése.

A megújuló energiahordozók részarányának növelése egyszerre csökkenti Magyarország importfüggőségét és hozzájárul a fenntartható fejlődés feltételeinek megteremtéséhez, a környezet-, természet- és klímavédelmi célok teljesíthetőségéhez. (2148/2008.(X.31.) Korm. hat.Megújuló stratégia)

Az energiapolitika célja, hogy a megújuló energiafelhasználás részaránya a gazdaság versenyképességét elősegítve, az ország, a térség, a régió mindenkori pénzügyi teherbíró képességének megfelelően növekedjen.

Az adottságok alapján megújuló energiaforrások közül elsősorban a biomassa, a szélenergia, a földhő (geotermikus energia), valamint a napenergia hasznosítása jelenthet komoly lehetőségeket.

Jelentős tartalékok rejlenek a biomassa használatában, de a tervezés és kivitelezés során a legmesszebbmenőben figyelembe kell venni az összes lényeges környezeti és fenntarthatósági szempontot is. Ennek keretében kiemelt figyelmet kell fordítani az extenzív mező- és erdőgazdálkodásból származó biomassa felhasználásra, mivel ezek esetében a környezet- és természetvédelmi, valamint a fenntarthatósági szempontok magasabb szinten érvényesülhetnek.

A megújuló energiák felhasználásánál a helyes egyensúly megtalálása érdekében az alábbiakat kell figyelembe venni:

- A megújuló energiaforrások használata általában véve drágább, mint a szénhidrogéneké. A különbség fokozatosan csökken különösen akkor, ha számolunk az éghajlatváltozás költségeivel és a prognosztizálható szénhidrogén áremelésekkel.
- A megújuló energiaforrások javítják az energiaellátás biztonságát azáltal, hogy csökkentik az import energia részarányát, diverzifikálják a beszerzési forrásokat, növelik a megyei térségekből származó energia hányadát, és ott új munkahelyeket teremtenek.
- A megújuló energiaforrások igénybevétele során egyáltalán nem (pl.: szélenergia), vagy csak csekély mértékben szabadulnak fel üvegházhatást okozó gázok.

A ma még kevésbé piacérett technológiák esetében nagy jelentősége van az első ún. pilot projektek megvalósításának, amelyek ösztönző hatást gyakorolhatnak az adott technológiák piaci elterjedésére.

Az energiapolitikai döntéseket minden szinten a klímavédelemmel összefüggő (az Európai Unióban és nemzetközileg vállalt) CO₂ kibocsátás-csökkentés és az egyéb szennyezőanyag-kibocsátási normák betartásának figyelembevételével kell meghozni. A Kiotói Jegyzőkönyv értelmében, hazánkban az üvegházhatású gázkibocsátásokat 6 %-kal kell csökkenteni a 2008-2012-es időszak átlagában az 1985-87-es időszaki szinthez képest.

Magyarország kibocsátás-csökkentési vállalása középtávon, az Európai Unión belüli tehermegosztási megállapodás függvénye. A tárgyalások során a vállalás mértékét a társadalom és a gazdaság teherbíró képességének mérlegelésével és adottságaik figyelembevételével kell Magyarországnak meghatároznia. 2030-ra a jelenleginél várhatóan jóval radikálisabb klímavédelmi követelményekkel kell számolnunk.

A klímavédelmi célok elérése érdekében egyaránt nagy jelentősége van az energiahatékonyság növelésének és a megújuló energia hasznosítás térnyerésének.

Az üvegházhatást okozó antropogén eredetű gázok kibocsátás-csökkentése tekintetében a legfontosabb és legnehezebben megválaszolható kihívás az energiafelhasználással járó széndioxid kibocsátás. Egyre határozottabb tudományos bizonyítékok támasztják alá az éghajlat változásának antropogén eredetét és negatív hatásait. Fontos cél, hogy a CO₂ kibocsátás csökkentéséhez igazodó stratégiát fogadjanak el és megvalósításának hatékony eszközeit (a megújuló energiaforrások mellett az energiahatékonyságot és takarékoságot) is építsék be az új magyar energiapolitikába.

8.3. Irodalom a 8. fejezethez

- [1] Nemzeti Fejlesztési Minisztérium(2010):Nemzeti Cselekvési Terv , Budapest 2010. szeptember
- [2] Dr.Imre László szerk.: (2006): Magyarország megújuló energetikai potenciálja. Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottság, Megújuló Energia Albizottság Szakmai Csoportja, Tanulmány, Budapest 2006.
- [3] Dr. Ádám József és Dr. Szabados László szerk.(2010): Megújuló energiaforrások és környezeti hatások, Magyar Tudományos Akadémia Környezettudományi Elnöki Bizottság és az Energetika és Környezet Albizottság tanulmánya, Magyar Tudomány 2010/8. szám

9. Fosszilis energiák-földgáz (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós)

Széchenyi István Egyetem, Győr

9.1. Bányászati technológiák

A fosszilis energiahordozókat (szén, kőolaj és földgáz) döntő részben bányásszák.

A bányászat az iparnak azon ága, amely a hasznosítható ásványi nyersanyagok kitermelésével foglalkozik. Az ásványi nyersanyag a technikai fejlődés mindenkori szintjén a társadalom számára hasznosítható ásványi anyagok (nyersanyagok és energiahordozók) összessége. Kitermelésük és feldolgozásuk sokszor káros környezeti hatással jár együtt.

Környezetvédelmi szempontból megkülönböztetünk ásványvédelmet, és ásványvagyonvédelmet. Az **ásványvédelem** a természetvédelem feladat- és jogkörébe tartozik. Jelenti az értékes ásványok, kristályok, ősmaradványok, kőületek védelmét.

Az ásványvagyon-védelem jelenti:

- a megkutatott, műre való (megművelendő) nyersanyag-készletek teljes körű kitermelésének biztosítását,
- a termelési veszteség és minőségi hígulás minimumra való csökkentését,
- a nyersanyagkészletek megvédését más tevékenységektől és beavatkozásoktól,
- szakszerű felhagyást és rekultivációt.

A *rekultiváció* a természeti jelenségek vagy az emberi beavatkozás miatt módosult, illetve megszűnt táji adottságok helyreállítása az ehhez szükséges műszaki feladatok és agrotechnikai műveletek elvégzésével.

A bányászott anyag halmazállapot szerint lehet:

- *szilárd halmazállapotú* (érc, kőszén, építőanyagok, stb.)
- *cseppfolyós halmazállapotú* (kőolaj)
- *gáznemű* (földgáz)

A Föld mélyében lévő ásványi nyersanyagok felkutatásával a geobotanika, a geokémia és a geofizika foglalkozik.

A **geobotanika** kutatásaihoz azt a jelenséget használja fel, hogy a különböző növények növekedéséhez más-más nyomelem szükséges. Az ibolya például cink jelenlétéről árulkodik, az urán a szőlő magjában halmozódik fel. A vizsgált növények részeit elhamvasztják, s fémtartalmukat színképelemzéssel határozzák meg.

A **geokémia** az elemek, főként a nyomelemek eloszlását és vándorlását megszabó törvényszerűségekkel foglalkozik. Geokémiai módszerrel vizsgálható például a források, patakok, a talaj fémtartalma: a fémek ditizonnal színes vegyületet képeznek, s ez jelezheti a Föld alatti ércek jelenlétét. A kutatást színképelemzéssel, ill. izotópos vizsgálatokkal egészítik ki.

A **geofizika** az ásványi nyersanyagok különböző fizikai tulajdonságait használja fel a kutatások folyamán. A **rétegek helyének, fekvésének, vastagságának, dőlésének és sűrűségének meghatározására általában együttesen alkalmazzák a következő fizikai jelenségek mérését:**

- gravitációs erő
- ellenállásmérés (elektromos áram terjedése)
- mágnesség
- rengéshullám (szeizmikus mérés)
- izotópok
- kozmikus sugárzás, napfolttevékenység.

A felderítés után a geológusok a kijelölt helyen kutató fúrásokat végeznek. Az ún. lyukszelvényezéssel pontosabban meghatározzák az egyes rétegek különböző fizikai tulajdonságait.

Ennek módjai:

- elektromos lyukszelvényezés
- izotópos lyukszelvényezés
- termo-szelvényezés.

Elektromos lyukszelvényezést csak olyan lyukban lehet végezni, amelyből a béléscsővet kihúzták. Az izotópos lyukszelvényezésnél a béléscső nem zavarja a mérést. A lyukba radioaktív izotópot bocsátanak le, s Geiger-Müller számlálócsővel mérik a sugarak visszaverődését. A termo-szelvényezést érzékeny hőmérők lyukba eresztésével végzik.

Ásványi nyersanyag kitermelése történhet:

- *külfejtéssel*, szilárd anyag esetén
- *mélyműveléssel*, szilárd anyag esetén
- *mélyfúrással*, cseppfolyós és gáznemű anyag esetén

A külszíni fejtés

A külszíni fejtés előnye, hogy az ásvány kitermelése egyszerűbb, gyorsabb és olcsóbb, mint mélyművelés esetén.

Gazdaságosságát befolyásolja:

- a hasznosítható réteg vastagsága
- a hasznos ásvány feletti réteg vastagsága, illetve jellege.

A fejtés során először a fedőréteget távolítják el, kotrókkal. A serleges kotró homokos, aprószemcsés talaj esetén, a kanalas lerobbantott kemény kőzet eltávolítására, a marótárcsás kőzet-fejtéskor alkalmazható. Általában teraszos kiképzést alkalmaznak, hogy az esetleges rétegcsuszamlások, omlások ne akadályozzák a munkát. A tényleges fejtést marótárcsás gépekkel végzik, illetve ha szükséges, robbantanak. A meddőt a már kitermelt területre viszik, szállítószalaggal vagy szállító járművekkel.

A kitermelt anyagot sokszor közvetlenül az osztályozó, dúsító, illetve feldolgozó üzemekbe szállítják, szállítószalagon.

A víz elvezetésére csatornákat készítenek, a zompokban összegyűlő vizet szivattyúkkal távolítják el.

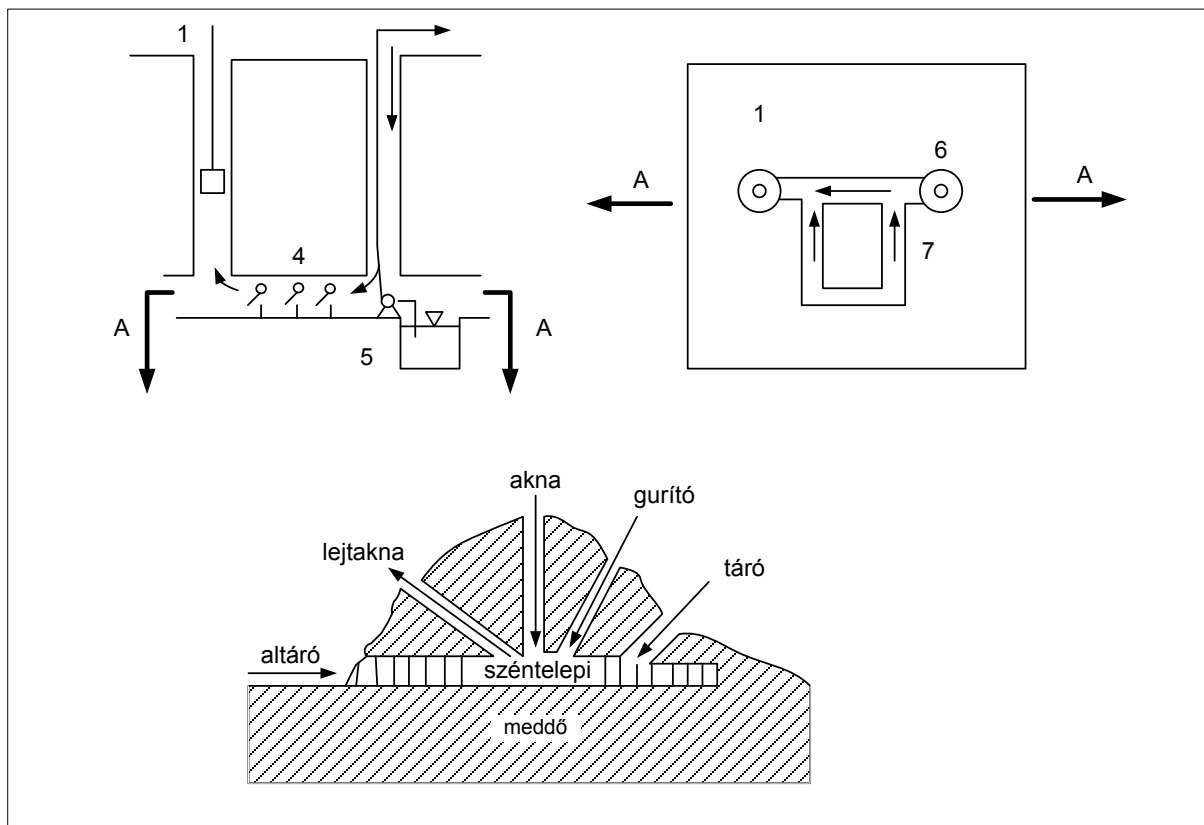
A mélyművelésű bánya

A mélyművelés a föld alatti munka-, szállító- és ellátóterek, illetve berendezések rendszeréből áll.

A haszonanyag megközelítési módja szerint megkülönböztetünk:

- aknát (függőleges járat)
- lejtaknát, gurítót, tárót (ferde járat)
- altárót (vízszintes járat)

A mélyművelésű bánya sematikus rajza a **66. ábra** látható.



66. ábra: Mélyművelésű bánya (Főbb részei: 1 - szállító akna; 2 - légakna; 3 - víz; 4 - légszilip; 5 - vízgyűjtő zomp; 6 - légakna; 7 - szállító vágat) és a haszonanyag-széntelep megközelítésének módjai [1]

9.2. Szénbányászat

A szén a szénülés folyamán keletkezett üledékes kőzet. Évezredek keresztül szilárd fosszilis tüzelőanyagként, az utolsó században kémiai nyersanyagként alkalmazzák.

A szénképződés, szénülés a kémiailag még nem teljesen felderített szénkeletkezési folyamat elnevezése. E folyamat során évmilliók alatt a friss növényből tőzegen keresztül barnaszén, kőszén, antracit és grafit keletkezik. Az illékony alkatrészek (H, O, N) mennyisége fokozatosan csökken, a széntartalom nő (közel 100 %-ig).

A szénképződés fázisai:

- a) aerob mikroorganizmusok bontó hatása (oxidációs folyamat)
- b) anaerob bakteriális redukációs folyamatok
- c) dekarboxilezés, demetanizálás

A szénülés mértékének megfelelően a következő szénfajtákat különböztetjük meg:

- tőzeg
- barnakőszén
- fekete kőszén
- antracit.

A **tőzeg** mocsarakban, lápokban felhalmozódó, elhalt vízinövények maradványaiból képződő üledék. Kevésbé szénült növényrészekből és a mikroorganizmusok hatására keletkezett humuszból áll. Nagy nedvességtartalmú (65-90 %), hamutartalma 6-30 %. Fűtőértéke általában 9 000-16 000, max. 24 000 kJ/kg.

A tőzeg felhasználási területei:

- a) szárítva tüzelőanyagként alkalmazható
- b) az építőiparban hő- és hangszigetelésre
- c) talajjavításra
- d) koks, kátrány, lepárlási gáz előállítására

Magyarországon a Hanságon, a Kis-Balatonnál és a Sárréten fordulnak elő tőzegtelepek.

A **barnakőszén** 20-30 millió évvel ezelőtt, főleg növényi részekből képződött. Színe barna, feketés-barna, ritkábban fekete. Kb. 6 % hamut és 20-70 % vizet tartalmaz. Fűtőértéke víztelenítés után kb. 27 000 kJ/kg. F fiatal geológiai kora következtében a Föld felszínéhez közel helyezkedik el, ezért legtöbbször külszíni fejtéssel bányásszák. A réteg vastagsága általában 10-20 m, néhol 100 m is lehet.

A **feketekőszén** nagy szénülési fokú (80-92 %), kis hamu- és nedvességtartalmú kőszén. Fekete, gyakran szurokszerűen vagy zsírosan fénylő, növényi eredetű üledékes kőzet. Fűtőértéke magas. Szerves vegyületek és ásványi anyagok keveréke, amelyben Si, Al, Fe, Mg, Ca és egyéb nyomelemek találhatóak. Csoportosításuk illóanyag-tartalom alapján: lángszén, gázlángszén, gázszen, zsíros szén, sovány szén.

Az **antracit** a legnagyobb mértékben átalakult szénkőzet. Barnásfekete, fénylő, kemény, kagylós törésű. Nehezen gyullad, de nagy fűtőértékű.

A szénbányák fejtési rendszerei:

A **frontfejtés** (széles homlokú fejtés) történhet:

- fúrással-robbantással: a lerobbantott szén egy része ráhullik egy kaparószalagra, a többit rálapátolják,
- szengyaluval: a gyalut kötéllel vagy lánccal mozgatják a front hosszában,
- marógépekkel: a marókések hengerekre vannak erősítve.

A bányászok omlástól való megóvása érdekében a frontot biztosítani kell. A biztosítás történhet támfával, acélszerkezettel vagy páncélpajizzsal.

A **kamrafejtés** (keskeny homlokú fejtés) 3-5 m széles vágatformában folyik, amelynek művelése hasonlít az elővájásokhoz. Az elővájás olyan vágat, amelyet szénben hajtanak ki és pl. frontoknak készítenek elő a lég- és szállítóvágatokat.

A **lépcsős fejtést** meredek telepek fejtésekor alkalmazzák. Egy lépcső szélessége 3-5 m. Minden lépcsőnél egy ember dolgozik, s 0,5-1 m-es szeletekben fejt a szenet, amely a gravitációs erő hatására lehull a szállítóvágatba. 1

9.3. Kőolaj- és földgázbányászat

Kőolajtelepek keletkezése, bányászata:

A kőolaj természetes eredetű szénhidrogének bonyolult összetételű elegye. Legfontosabb vegyülettípusaik a paraffinok, a naftének és az aromások. Emellett kén- és fémtartalmú vegyületeket is tartalmazhatnak.

Apró növények és állatok szénhidrátjából, fehérjéiből és zsírsavjaiból keletkezett, anaerob körülmények között, baktériumok, enzimek, nyomás, hő, ásványi katalizátorok hatására, sekély, partközeli vizekben, főként tengeri szerves iszapból.

A karbon és a hidrogén többsége telített szénhidrogén formájában van. Nyomokban megtalálhatók a kőolajban a következő elemek is: Cl, I, P, As, Si, K, Na, Ca, Mg, Fe, V, Al, Zn, Cu, Ni.

A kőolajtelepek kialakulása: A kőolaj és a földgáz a kőzetrétegek nyomására kipréselődött az agyagos rétegből és vándorolni kezdett a szemcsés, porózus, vagy repedezett tárolókőzetbe. A tárolókőzetben átnemeresztő kőzetek alatt, a csapdákban halmozódik fel.

A kőolajtelepen alul víz, felette kőolaj, legfelül pedig legtöbbször gáz helyezkedik el. **(67. ábra)**

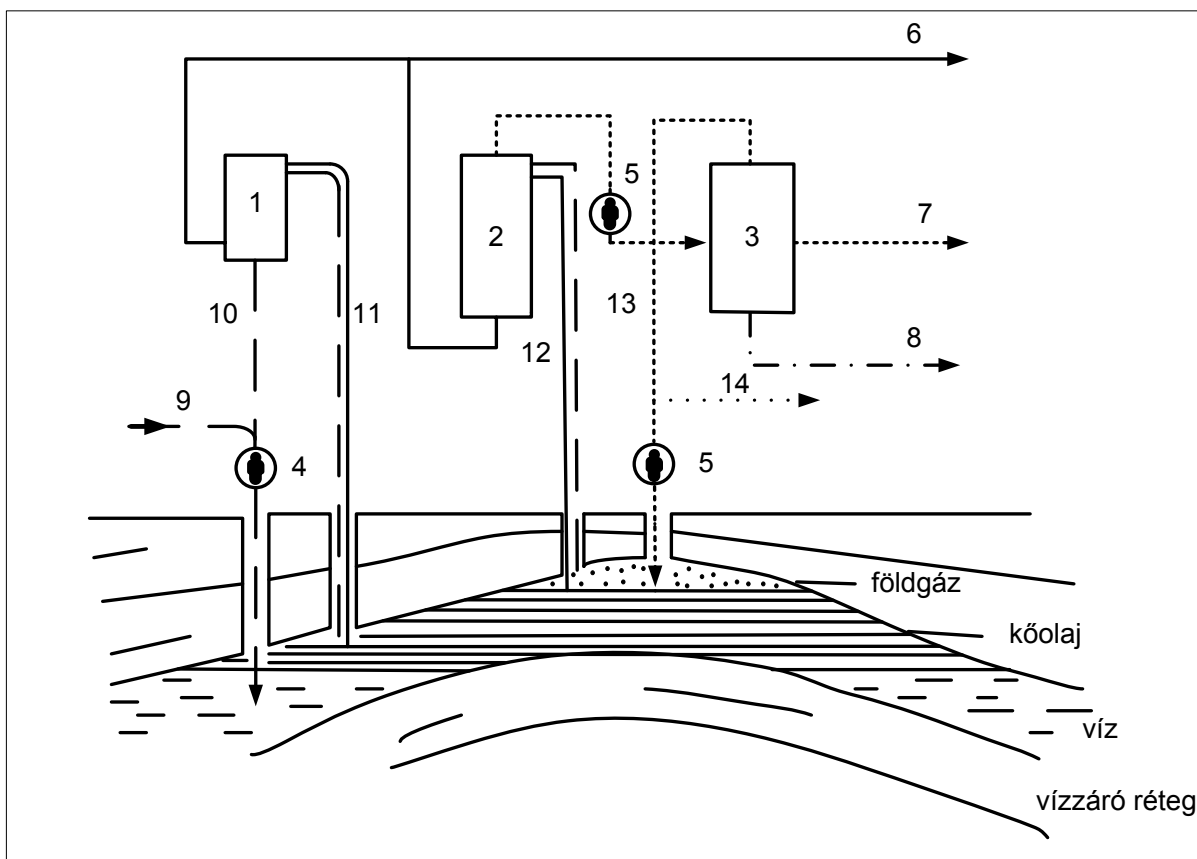
A **kőolaj bányászata** fűrótoronyok segítségével történik, melynek alapfelülete 10 x 10 m, magassága 40-60 m. A fűrókat fűróiszappal hűtik.

A kitermelés módjai:

- a kőolaj feletti gáz bepréseli az olajat a fűrólyukba
- szivattyúzás
- víz vagy gáz bepréselése
- fűróhelyek felmelegítése forró vízzel vagy gőzzel
- atommagenergia felhasználásával.

A kőolajtelepek elhelyezkedése és a rétegenergia-fenntartásának elvi vázlata a **67. ábra** látható.

A kőolajat fosszilis energiahordozóként, illetve vegyipari alapanyagként használjuk fel. Környezetszennyezést a kén-tartalmú kőolajok, illetve azok párlatai, termékei okozhatnak. Megfelelő kén-telenítéssel ez elkerülhető. Főként a lepárlási maradványok, fűtőolajok elégetése esetén nehézfém-szennyeződés veszélye is fellelhető.



67. ábra: Kőolajtelepek elhelyezkedése és a rétegenergia-fenntartásának elvi vázlata 1 – vízleválasztó, 2 – gázleválasztó, 3 – gázfeldolgozó, 4 – szivattyú, 5 – kompresszor, 6 – olajjelvezetés, 7 – gázjelvezetés, 8 – gázolinelvezetés, 9 – idegen víz, 10 – víz, 11 – gáz, 12 – olaj, 13 – gáz, 14 – gáz

9.4. A földgáz jellemzői, készletei

A fosszilis energiahordozók közül homogén összetétele és kitűnő tüzeléstechnikai tulajdonságai miatt a szénhidrogének a leginkább környezetbarát fosszilis tüzelőanyagok. Vannak azonban olyan szénhidrogén előfordulások is, melyekben domináló komponens lehet a széndioxid, a nitrogén és a kénhidrogén is. Energetikai szempontból a földgáz alatt azonban csak olyan gázkeverékeket értenek, amelyek túlnyomóan metánból (CH_4 , rövidítése C_1), és a pentánig (C_5H_{10} , rövidítése C_5) terjedő parafin szénhidrogénekből állnak.

A földgáz tipikus összetételét a **9. táblázat**: A földgáz tipikus összetétele mutatja.

9. táblázat: A földgáz tipikus összetétele

Földgáz tipikus összetétele	Részarány (%)	Fűtőérték [MJ/M^3]
Földgáz	100	31-36
Metán (CH_4)	97	35,8
Etán (C_2H_6)	0,919	60,0
Propán (C_3H_8)	0,363	93,7
Bután (C_4H_{10})	0,162	118,0
Szén-dioxid (CO_2)	0,527	
Oxigén (O_2)	0-0,08	
Nitrogén (N_2)	0,936	
Nemesgázok (A, He, Ne, Xe)	nyomelemként	

A földgáz fűtőértéke $33-38 \text{ MJ/Nm}^3$ (101 kPa nyomásra és 15°C hőmérsékletre számítva). A földgáz keletkezéséről megoszlanak a vélemények. Az egyik nézet szerint a szapropelemből keletkezett a földgáz, csak eltérő módon, mint a kőolaj. A másik nézet szerint a földgáz a kőolaj lebomlásából származik. A földgáz leletek mintegy egyharmada a kőolajjal együtt található.

A világ feltárt földgáz készlete 70 Tm^3 , a kitermelhető potenciális készletet $300-600 \text{ Tm}^3$ -re becsülik.

A földgáz a világ energiaszükségletének a 22 %-át teszi ki mely abszolút mennyiségben évente $2,3 \text{ Tm}^3$ felhasználást jelent. A legmélyebb földgáz kutak ma már 7,5 km mélyek. Magyarország ma ismert földgáz készletét 120 Gm^3 -re becsülik a szakemberek.

9.4.1. A földgáz kitermelése, előkészítése szállításra

A magyarországi hagyományos földgázmezők a Pannon medence üledékes kőzeteiben (polidénkori homokkőben) találhatóak, metán tartalmuk 89-96 %. Egy részük a kőolajjal együtt termelhető, máshol a termásvíz kísérője a földgáz. A hagyományos mezők jellemzője az, hogy a tároló kőzetbe lefűrt kúthoz a kőzeten át áramlik a földgáz, a kőolaj és a rétegvíz is, mert a kőzetben a szénhidrogént és a vizet tartalmazó pórusok között kis csatornák vannak.

A hazai földgáz termelés súlypontja ma a Dél-alföldön (Algyő, Szank) van. A napi magyarországi földgáztermelés ma 9 millió m^3 .

Az éves gáztermelés ma mintegy 3 Mrd m^3 .

Nagy mennyiségű magas szén-dioxid tartalmú földgáz készletünk is van.

A nagy inert gáz tartalmú földgáz kitermelése, szállítása, szolgáltatásra történő előkészítése csak nagy tökeigényű, drága eljárásokkal biztosítható. Ezeknek a gáz előfordulásoknak a hasznosítása még várat magára.

Nem hagyományos földgázkészleteink is vannak. Ezek az ország egész területe alatt, a nagy mélységben lévő alapkőzetben találhatóak. Az alapkőzetben zárt pórusokban a földgáz, a kőolaj és a víz is megtalálható. A nem hagyományos gázmezők jellemzője, hogy a tároló kőzetbe lefűrt kúthoz a kőzetben át nem áramlik a földgáz, a kőolaj és a rétegvíz, mert a kőzetben a szénhidrogént és vizet tartalmazó pórusok között nincsenek is csatornák.

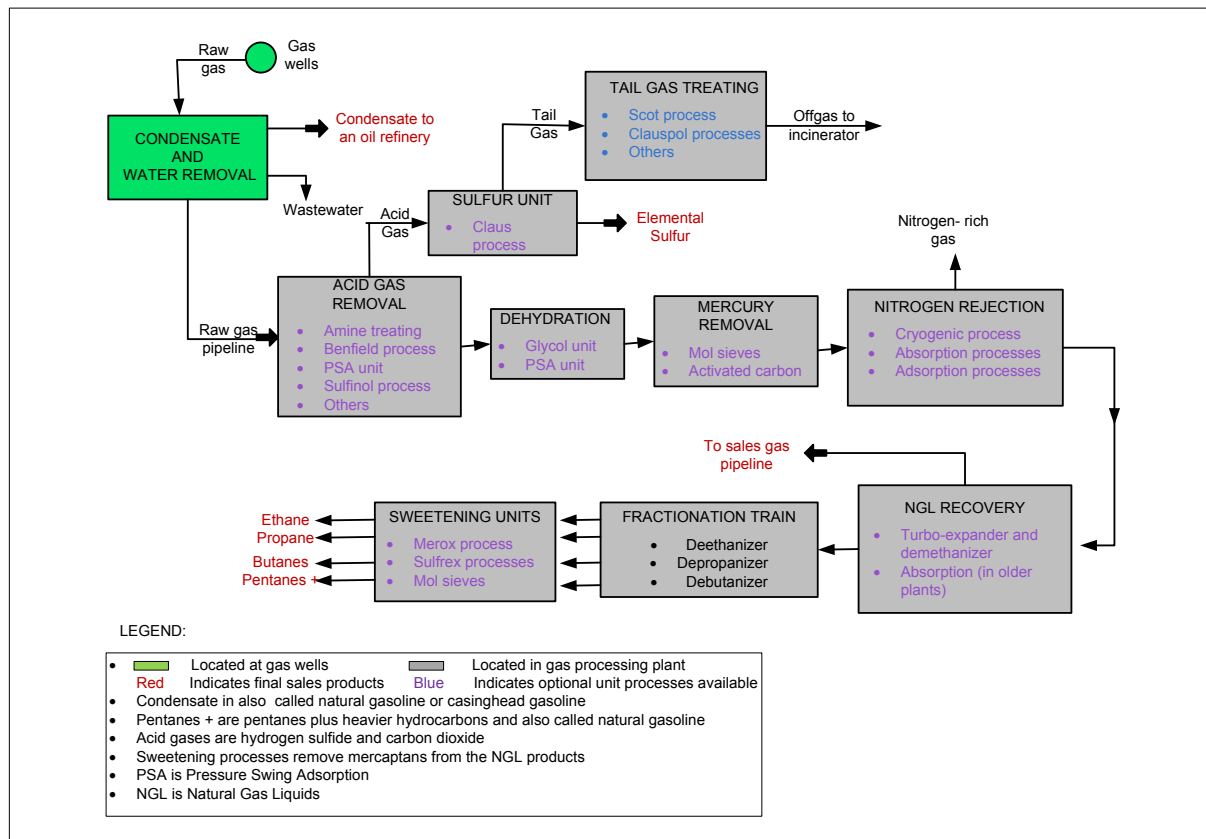
Ezeket a csatornákat a rétegben ki kell alakítani általában a réteg felrepezésével. A nagy mélységgel (5000 m) együtt jár a magas közet hőmérséklet és a nagy nyomás. A különleges körülmények és a földgáz termelés speciálismódszere drágává teszi a termelést. Hiába van sok milliárd m^3 kutatásokkal igazolt földgáz ezekben a rétegekben, ha kitermelésük többre kerül, mint az import földgáz, ezért jelentős importra szorulunk.

9.4.2. A földgáz tisztítása, előkészítése szállításra.

A földgázt a mezők közelében, földgáz gázüzemekben tisztítani kell, és elő kell készíteni szállításra. A feldolgozás szempontjából száraz és nedves földgázt különböztetnek meg. A száraz földgáz alapvetően metánból (80-99 %) és etánból áll (1-15 %) áll.

A kőolajat kíséri a nedves gáz amelyeket, melyet a kőolajból a légköri nyomáson el lehet távolítani. Ebben a metán 30-40 %, a propán részaránya elérheti a 20-25 %-ot is.

A gáztisztítás elvi folyamatábráját a **68. ábra** mutatja.



68. ábra: A földgáz tisztítás elvi folyamatábrája

A kitermelt földgázt a szállításra elő kell készíteni, ami a mezők közelében létrehozott földgázüzemben történik:

- szeparálás (a folyadékok leválasztása szeparátorokban),
- a szilárd szennyező anyagok leválasztása elektrosztatikus leválasztókkal,
- a különböző frakciók szétválasztása a gázolin üzemben (propántól felfelé a szállítás nagyobb nyomásán a komponensek kondenzálódnak),
- vízgőz leválasztása (szárítással vagy hűtéssel),
- H₂ elválasztása hűtéssel, kén-hidrogén és szén-dioxid eltávolítása abszorbensekkel.

9.4.3. A földgáz szállítása, tárolása

A gázüzemekben megtisztított földgáz szállítása túlnyomó részben csővezetékeken történik. A gázszállító vezetékek felosztása a nyomás fokozatok szerint:

- nagynyomású (p = 64 – 25 bar)
- nagyközépnomású (p = 25 – 4 bar)
- középnomású (p = 4 bar)
- kisnyomású (p = 1,03 – 1,08 bar)

A tranzit szállítások a nagynyomású vezetéseken történnek, a nyomásfokosát földgáz tüzelőanyagú gázturbinás kompresszorokkal biztosítják. A nagynyomású rendszerekhez gázátadó-gázfogadó állomásokon (közel 400 db üzemel) nyomáscsökkentőkön keresztül csatlakoznak a nagyközépnomású illetve nagynyomású hálózatok. A magyarországi gázszállító vezeték-rendszer naponta az ukrán-magyar határon hazai célra 30 millió m³ gázt tud

átvenni, az osztrák-magyar határon 12 millió m³-t, a hazai termelésből 9 millió m³-t, a földalatti gáztárolókból 53 millió m³ gázt tud fogadni, szállítani.

A magyarországi földgázzállító rendszer mintegy 5300 km hosszú, 100-800 mm átmérőjű acél vezetékekből felépített, teljesen automatizált üzemi rendszer.

A földgáz tárolása

Hazánkban a földgáz tárolására a kitermelt gázmezőket veszik igénybe. A kimerült gázmezőt újabb kutak fúrásával, a meglévő kutak átalakításával és a rétegben végrehajtott kezelésekkel lehet tárolására alkalmassá tenni. A tárolóhoz tartozik még a felszínen egy kompresszor állomás és a tárolóból kivett gáz tisztítására megfelelő előkészítő üzem.

A földalatti tárolóban mindig kell tartani annyi földgázt (úgynevezett párnagáz), hogy a földgáz nyomása a rétegszerkezetet változatlanul megtartsa, a rétegen belüli áramlás fennmaradjon, és a tárolóval kapcsolatban álló rétegvíz szintje és elhelyezkedése megfelelő legyen. A tárolóba benyomható és az abból kivethető földgázmennyiséget (mobil készlet) és sebességet a réteg geológiai szerkezete határozza meg, és a fúrt kutak számával ez nagyon tág határok között nem változtatható. A tároló ürítésekor a kitermelt földgázt ugyanannak a tisztítási eljárásnak kell alávetni, mint a termelésből származó földgázt szilárd szennyeződéstől, víztől, nehezebb szénhidrogénektől kell elválasztani.

A földalatti tárolókat áprilistól szeptember végéig töltik, a téli időszakban pedig ürítik. Jelenleg üzemel 3,8 milliárd m³ mobil kapacitású kereskedelmi tároló, és épül 1,2 milliárd m³ tárolására alkalmas stratégiai tároló. Az előbbi a szokásos téli-nyári fogyasztáskülönbség kiegyenlítésre szolgál, az utóbbi nem várt eseményekre (import kimaradása, extrém hideg tél) tartalékol földgázt, mindenekelőtt a lakosság ellátásának biztosítására.

A kereskedelmi tároló (2009/2010 telén) 53 millió m³ kitárolás kapacitást jelentett, a stratégiai tárolónak az év végétől napi 20 millió m³ kapacitással kell rendelkezésre állni.

Újabb belföldi célú földalatti tároló létesítés is napirenden van, több beruházó bonyolításában. A nagy nemzetközi földgázzállító vezetékekkel (Nabucco, Dél Áramlat) kapcsolatban felmerült egy mintegy 10 milliárd 3 mobil kapacitású tároló létesítése is Magyarországon, a tranzitszállítások biztonságának növelésére.

Az országban tárolnak még földgázt és biogázt, különböző nagyságú, kisnyomású, föld feletti tárolótartályokban, de összességében jelentéktelen mennyiségben.

A hazai földalatti gáztárolók adatait a **10. táblázat** foglaltuk össze, míg a nagynyomású gáztávvezeték rendszert és a földalatti gáztárolókat a **69. ábra** és a **70. ábra** mutatják.

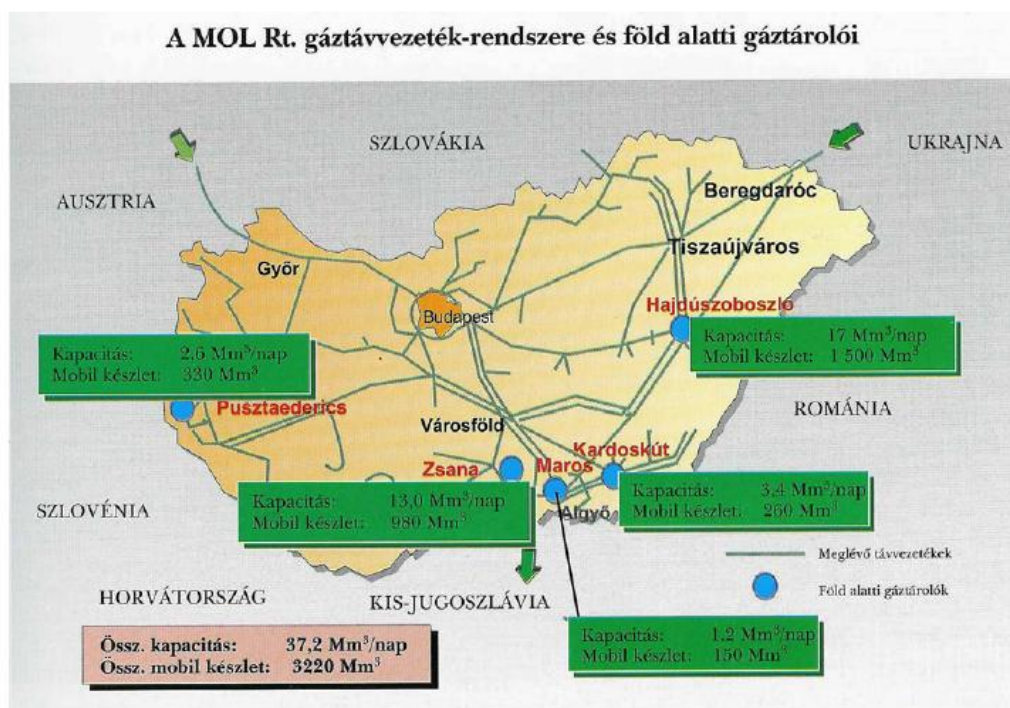
10. táblázat: Hazai földalatti gáztárolók

Hely (tárolás kezdete)	Nyomás [bar]	Tárlókapacitás [milliárd Nm ³]	Kiemelés (MNm ³ /nap)
Hajdúszoboszló (1978)	60-95	1,5	17,0
Kardoskút		0,26	3,4
Pusztaderics (1979)	86-143	0,33	2,6
Maros (1991)	110-135	0,15	1,2
Zsana	96-120	0,98	13,0
Összesen		3,22	37,2

Tárolt térfogat: jelenlegi követelmény 50 napi csúcspozasztás.



69. ábra: A magyarországi nagynyomású gázvezeték rendszer



70. ábra: A magyarországi föld alatti gáztárolók

Földgáz elosztás, felhasználás

A földgáz elosztása

A tíz gázelosztó társaság feladata a gázátadó állomástól a fogyasztó telekhatáráig szállítani a földgázt, és átadni a fogyasztónak megfelelő nyomáson. A majd 80 ezer km elosztóhálózaton több ezer nyomásszabályozó állomás üzemel, és évente épül 300-500 km új vezeték is. Az elosztó tulajdonában van a háztartási fogyasztók nyomáscsökkentője és a mérője. A 3,5 millió

fogyasztó zavartalan ellátása hatalmas informatikai és logisztikai rendszer üzemeltetését jelenti: a fogyasztó rendelkezésére kell állni minden üzemzavar vagy hiba esetén. A magas ellátottság mellett még most is 30-40 ezer új háztartást kapcsolnak be évente az ellátásba.

A földgázelosztás a különböző nyomásfokozatú vezetékrendszeren történik. A fogyasztók legtöbbje kisnyomáson kapja a gázt.

A gázelosztó vezetékek zöme az elosztó társaságok tulajdonában van, de vannak önkormányzati és társasági tulajdonban is elosztó vezetékek.

A földgáz felhasználása

Hazán éves földgázigénye mintegy 13-15 milliárd m³, az időjárástól függően.

Ebből:

- Villamos energia termelés: 4,5 milliárd m³ (erőművek, CHP)
- Lakossági felhasználás: 4 milliárd m³
- Egyéb ipari fogyasztók: 4 milliárd m³

A 3,2 millió földgázzal ellátott háztartás 72 %-os telítettséget jelent, és a bekapcsolt települések száma is magas a 2700 település 80 %-os ellátottságnak felel meg. A nem lakossági fogyasztók száma 230 ezer körül van.

Az éven belüli fogyasztás erős szezonalitást mutat: a napi gázfogyasztás télen elérheti a 90 millió m³-t, nyáron azonban esetenként még a 20 millió m³-t sem. Az erős szezonális hőmérsékletfüggő gázfogyasztás magas hányadát jelzi, ezért a biztonságos téli ellátás érdekében nyáron tárolni kell a földgázt. Ha a földgázimport zavartalanul érkezik az országba, akkor a szokásos hőmérsékletű télen 3,8-4,4 milliárd m³ tárolt gázra van szükség a megnyugtató ellátáshoz.

A földgáz felhasználása villamos energiatermelésre

A villamos erőművek földgázszükséglete a hazai gázigények meghatározó része. Az össze megtermelt villamos energia harmadát földgázból nyerik. A szén-, fatüzelésű blokkok, vagy az atomerőmű egyes blokkjainak váratlan leállása esetén földgáztüzelésű tartalékokat kell beépíteni.

A magyarországi erőműveket és tüzelő anyagikat a **11. táblázat** foglaltuk össze.

11. táblázat: Magyarországi erőművek

Erőmű neve	Létesítés időszaka	Teljesítmény (MW)	Blokk száma (db)	Egység-teljesítmény (MW)	Fűtőanyag
Ajkai Hőerőmű	1957-1962	100	3	33	faapríték
Borsodi Hőerőmű	1951-1957	200	8	5, 32	barnaszén
Csepeli Gázturbinás Erőmű	1995-2000	390	2	118, 136	földgáz, gázolaj
Debreceni Kombinált Ciklusú Erőmű	1999-2000	99	1	99	Földgáz
Dunai Vasmű Erőműve	1950-1956	84	5, 21	5, 16	barnaszén, barna gáz, kohógáz
Dunamenti Gázturbinás, hőhasznosító blokkok	1989-1998	385, 145, 156, 60	4	24	földgáz
Dunamenti Hőerőmű I.	1960-1973	600	7	25, 21, 41, 50, 150	tüzelőolaj, földgáz

Erőmű neve	Létesítés időszaka	Teljesítmény (MW)	Blokk száma (db)	Egység-teljesítmény (MW)	Fűtőanyag
Dunamenti Hőerőmű II-III.	1969-1976	1290	6	215	tüzelőolaj, földgáz
Gázturbinás Erőművek (Litér, Sajószöged)	1995-1998	240	2	120	gázolaj
Kelenföldi Gázturbinás Erőmű	1990-1996	136	1	136	földgáz, gázolaj
Lőrinci Gézturbinás Erőmű	1997-2000	150	1	150	gázolaj
Mátrai Erőmű (Gagarin)	1965-1973	800	5	100, 200	lignit, barnaszén
Mátravidéki Hőerőmű	1947-1953	128	4	32	lignit
Nyíregyházi Kombinált Ciklusi Erőmű	2006-2007	49	1	49	földgáz
Oroszlányi Hőerőmű	1957-1963	200	4	52	barnaszén
Paksi atomerőmű	1973-1986	1760	4	440	urán
Pécsi Hőerőmű	1955-1966	215	6	23, 30, 50	földgáz, faapríték
Tatabányai Erőmű (VE)	1950-1954	21	2	17, 4	barnaszén
Tatabányai Hőerőmű (Bánhida)	1963-1967	100	1	100	barnaszén
Tiszai Hőerőmű	1971-1979	860	4	215	tüzelőolaj, földgáz
Tiszapalkonyi Hőerőmű	1952-1959	200	4	50	barnaszén, földgáz

9.5. Propán-bután felhasználás (<http://www.shellgas.hu>)

Kőolaj-finomítókban, valamint a földgázmezők gázfeldolgozó üremeiben választják le a nyersolajból és a nyers földgázból a két szénhidrogén terméket, a propán (C₃H₈) és a butánt (C₄H₁₀) (a cseppfolyósított propán-bután (PB) gázt).

Ezekből energetikai (főzés, fűtés) célokra háromféle termék kerül kereskedelmi forgalomba:

- a propán –gáz: közel tiszta (minimum 95 tömeg %) propán és propén,
- a bután-gáz: közel tiszta (minimum 95 tömeg %) bután és bután,
- a PB-gáz: a propán és a bután keveréke, amely legfeljebb 60 tömeg % butánt tartalmaz.

A cseppfolyós PB-gázok magas fűtőértéke (45,5 – 46,5 MJ/kg) és egyéb értékes tulajdonságai alkalmassá teszik arra, hogy lehetővé tegyék a földgázvezetéstől távol eső fogyasztók energiaellátását.

A cseppfolyós PB –gázok eredeti állapotukban színtelenek és szagtalanok, ezért forgalomba hozataluk előtt oly mértékben szagosítják őket, hogy esetleges szivárgásuk határozottan felismerhető legyen már 1:250 gáz-levegő aránynál is. Egy tonna PB-gázhoz kb. 30 gramm

etilmerkaptánt, vagy vele egyenértékű, kellemetlen szaghatású kénvegyületet kevernek. Ezen adalék egyébként a felhasználás során semmiféle külön veszélyt nem jelenthet, a gázzal együtt elég és az égési tulajdonságokat nem befolyásolhatja. Az égés során keletkező égéstermék már teljesen szagtalan.

A PB-gáz normál légnyomáson légnemű, csak nagyon alacsony hőmérsékleten vagy nagy nyomáson válik cseppfolyóssá. A gázt általában nagy nyomáson, cseppfolyós formában tárolják, ami megkönnyíti szállítását, palackban vagy tartályban történő tárolását. Magyarországon közel 4500 Prímagáz cseretelep található és több, mint 5 millió PB-gázpalack van forgalomban. A PB-gáz forgalmazásához, mint háztartási palackok, 11,5 és 23 kg-os névleges töltetű palackok vannak forgalomban. A 11,4 kg-os palackok a Prímagáznál csak alumíniumötvözetből készülnek. A tartályos PB-gáz felhasználásával nagy mennyiségű gáz tárolására van lehetőség (4-5 m³). A virágtermesztők PB-gázzal működő fűtőcsöves rendszereket használnak, nagy mennyiségben használják fel takarmányszárításnál. Felhasználható még ventilátorok, ipari motorok és villás targoncák áramellátását biztosító készenléti generátorok működtetésére, valamint gázhegesztők és izzítókemencék ellátására. Egyéb felhasználási területei: blokkfűtőerőműben elektromos energia és központi fűtés, vízmelegítés egyidejű biztosítása (CHP).

Közlekedés

Az autógázt több mint 601 éves használják, és az eddigi vizsgálatok bebizonyították biztonságosságát. A kereskedelemben kapható üzemanyagok közül a PB-gáz égéstermékei bomlanak le a leggyorsabban, így az üvegházhatás kialakulásában kisebb a szerepük. Az autógáz üzemű motorok kisebb mennyiségben bocsátanak ki szmogot okozó égéstermékeket, mint más motorok.

9.6. A földgázfogyasztó rendszer környezetbiztonsága

A fogyasztó telekhatárán belül a gázellátási létesítmények a fogyasztó tulajdonát képezik, ő felelős ezek szakszerű használatáért és biztonságáért. A háztartási fogyasztónál a nyomáscsökkentő és a mérő az elosztóé, fenntartásuk, ellenőrzésük rendben folyik. A háztartásban a vezetékek, a gázkészülékek és az égéstermék-elvezető rendszerek karbantartása, biztonsága sok kívánnivalót hagy maga után, annak ellenére, hogy a fogyasztói jogszabály kötelezi a földgáz felhasználókat legalább ötévenkénti biztonsági felülvizsgálat elvégzésére.

A nem lakossági fogyasztók nagyobb részét a kommunális fogyasztók jelenti, a háztartásokhoz nagyon hasonló műszaki berendezésekkel és fogyasztói felelősséggel. Ezeknél a fogyasztóknál a mérő és a nyomásszabályozó részben a fogyasztó tulajdonában van.

Az ipari gázellátó rendszereknél általában van szakképzett személyzet, akik a gázellátás eszközeit felügyelik, szakszerű karbantartásukról tudnak gondoskodni. A 100 m³/óránál nagyobb teljesítményű fogyasztók gázmérőjét folyamatosan működő távadóval is felszerelik, ezzel az országos földgázfogyasztás meghatározó részét pillanatról pillanatra ellenőrizni lehet. A gázellátó rendszer része az égéstermék szabadba vezetése. A legutóbbi halálos balesetek rávilágítottak arra, hogy szükség lenne arra, hogy a fogyasztók nagyobb figyelmet fordítsanak a kémények és az égéstermék-elvezetők állapotára és arra is, hogy ezeket a kéményseprő szakszolgálat évente alaposan vizsgálja át.

9.7. A földgáz felhasználás környezeti hatásai

A fosszilis energiaforrásokból történő energiatermelés kapcsán a földgáz a legkörnyezetkímélőbb, a „legtisztább”. Jól szállítható. Elégetése során égésterméke csak széndioxid és víz. Az emisszió mértéke a szén/kőolaj/földgáz tüzelés esetén úgy aránylik egymáshoz mint 5:4:3. A tüzelés jól automatizálható, az energiatermelés jó hatásfokú. 10 kW-tól 200 MW-ig terjedő tartományban fejlesztettek ki földgáz üzemanyagra belsőégésű motorokat, turbinákat, az utóbbi időkben tüzelőanyag elemeket (cellákat).

A földgáz a legmagasabb komfort fokozatú fosszilis energiaforrás tüzelőanyagnak és üzemanyagnak egyaránt.

9.8. Irodalom a 9. fejezethez

- [1.] Földgáz Összefoglaló, BME
<http://www.energia-bme.hu/docs/notes/energ/FGSZALL.DOC>
- [2.] Szerves kémiai technológia; kőolaj, földgáz, szén, biomassza, mint nyersanyag:
<http://aktweb.chem.u-szeged.hu/Technologia/technologia7.pdf>
- [3.] Földgáz története, feldolgozás, erőművi felhasználás, szekunder tartalék
<http://www.sulinet.hu/tart/fncikk/Kice/0/3115/gazvan.html>
http://www.mvm.hu/engine.aspx?pace=gyorsinditasu_tartalek_eromuvek
- [4.] Földgázrendszer BME
<http://www.energia.bme.hu/docs/notes/energ/foldgazrendszer.ppt>
- [5.] Dr. Csete Jenő: A földgázellátás biztonsága Magyar Energia Hivatal, 2002.
http://www.eh.gov.hu/gcpdocs/200310%Cellatas_1.pdf
- [6.] Nemzetközi Energiaügynökség jelentéseiről 2005, 2006.
<http://www.euractiv.hu/modul.asp?name=cikk> file=articlesid=4397
<http://mol.hu/cikk/42343/>
- [7.] Dr. Pátzay György: Magyarország energiafelhasználás szerkezete 1973-2020
<http://www.kankalin.bme.hu/Dok/energia3.pdf>
- [8.] A propán és bután gáz felhasználása
<http://www.shellgas.hu/>
- [9.] Horváth Miklós honlapja lexikonja
<http://hmika.freeweb.hu/>
- [10.] ENSZ EGB Gáz Munkabizottságának éves plenáris ülése, Genf, 2006.jan.24-26.
<http://www.eh.gov.hu/gcpdocs/200603/tijelgenf06012426.doc>
- [11.] Hazai földgáztermelés, a magyar földgázellátás rendszere
- [12.] <http://epuletgepesz-mernok.hu/nyomtat.php?id=31>
- [13.] Dr. Halász István: Tüzeléstechnika, ISBN-szám: 978-963-029-3, Tankönyvkiadó, Budapest, 2008.

10. Földgáz tüzelőanyagú energiatermelés, villamosenergia-termelés (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós)

Széchenyi István Egyetem, Győr

A legnemesebb, s egyben legdrágább energiafajtát a villamos energiát erőművekben állítják elő. Ez az energiafajta jelenleg a **legjobban szabályozható, legsokoldalúbb, jó hatásfokkal felhasználható, tiszta, s a felhasználás helyén a környezetet nem szennyező energiaféleség.**

Napjaink villamosenergia-igényének zömét földgáz tüzelőanyagú **hőerőművekben, gázturbinás erőművekben állítják elő.**

10.1. Kondenzációs gőzerőművek (hőerőművek)

Hőerőmű a természetes energiahordozók kémiai kötött energiáját hasznosítja, többlépcsős energiaátalakítás révén.

A kémiai energia hővé történő átalakítása a tüzelőberendezéssel ellátott **kazánokban** történik meg, s a tüzelőanyaggal bevitt energia 70-90 %-a gőzhő formájában lép ki a kazánból.

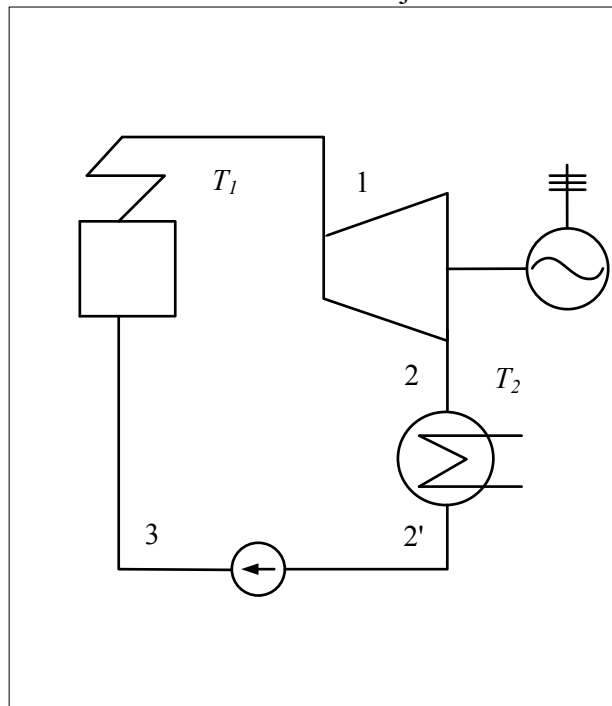
A kazánból kilépő túlhevített **gőz a gőzturbinában alakul át mechanikai munkává, s ezt a mechanikai munkát a generátor alakítja át villamos energiává.** A turbinába belépő gőz hőtartalmának csak **egy része hasznosul a turbinában. Nagyobbik hányada a turbinát elhagyó munkát végzett gőz "rejtett hője" a turbina után kapcsolt kondenzátorban a hűtővíznek adódik át és az energiarendszer részére elvész.** A turbina pontosabban a **kondenzációs turbina, átalakítási hatásfoka csak 30-40 % közötti. A generátor viszont igen jó 95-97 %-os hatásfokkal alakítja át a mechanikai energiát, villamos energiává.**

Ha a kazánba bevitt tüzelőanyagot vesszük alapul, a bemutatott többlépcsős energiaátalakulás **eredő hatásfoka a 23-35 %,** tehát igen alacsony. 25 %-os hatásfokot véve alapul 1 kWh villamos energia (1 kWh hőegyenértéke: 3600 kJ) előállításához négyszer annyi energiát reprezentáló tüzelőanyagot (15075 kJ) kell a kazánba beléptetni.

Előbbi szám adatok a kondenzációs turbinában illetve turbógenerátorban fejlesztett villamos energiára vonatkoznak. Ha az erőművek térségében jelentősebb hőfogyasztó van (pl. ipari üzem, nagy város jelentős kommunális fogyasztóval) a villamos energia-fejlesztést össze lehet kapcsolni hőenergia-szolgáltatással és ebben az esetben a hőerőmű hatásfokát 60-75 %-ra lehet emelni. Ha megvan a hőszolgáltatásnak ez a lehetősége, akkor a kondenzációs turbinák helyett elvételes - kondenzációs vagy ellennyomásos fűtőturbinát alkalmaznak, s az egyébként kondenzátorba küldött rejtett hő részbeni vagy teljes hasznosításával az átalakítás hatásfokát jelentősen meg lehet emelni. A villamos energia fejlesztés lehetőségét csökkentik bizonyos mértékben a fentiek, de összességében igen gazdaságos eljárás. Korlátozó tényező a fogyasztói hőigények évszakonkénti erős ingadozása. A hőerőművekben fejlesztett villamos energia hátránya, hogy igen bonyolult, tőkeigényes berendezések szükségesek előállításukhoz, s ezen túlmenően a hőerőművek jelentős környezetszennyező hatást fejtenek ki, s további jelentős, eszközigenyes beavatkozással lehet csak a szennyezést az elfogadható érték alatt tartani. Költségnövelő tényező még az a tény is, hogy a villamos energia nem tárolható, s így az erőműveknek minden pillanatban készen kell lenniük a többletterhelés felvételére, illetve leadására. Az összes berendezést a várható maximális igényre kell méretezni és az igények változását rugalmasan kell követniük. Ez utóbbi igen jelentős műszaki problémát, a berendezések - főleg kazánok - rugalmasságát veti fel. (Hazai

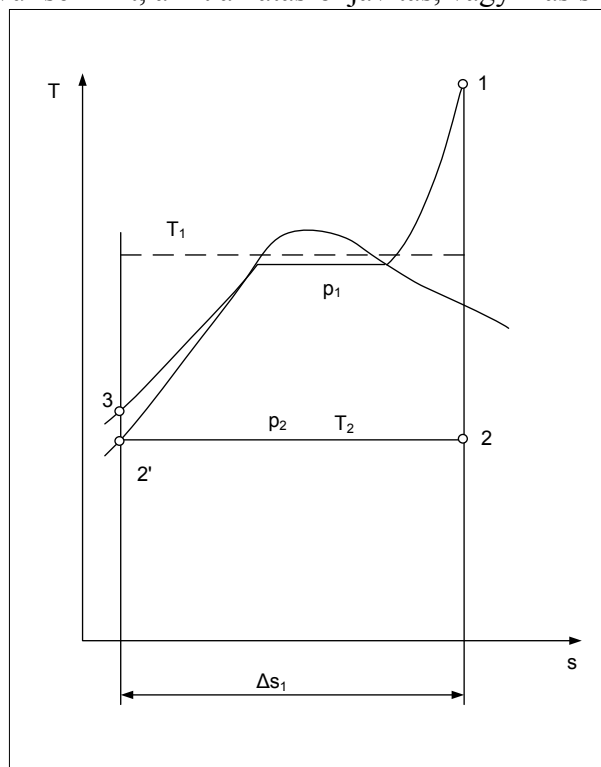
vonatkozásban 24 órán belül 100 % és 45-50 % között is változhat az igény pl. az éjszakai terhelésvölgy és az esti csúcsfogyasztás között.)

Egy kondenzációs hőerőmű kapcsolási vázlatát és a gőzközegű energiaátalakítás alapsémáját a Rankine-körfolyamatot a **71. ábra** és **72. ábra** mutatják.



71. ábra: Kondenzációs hőerőmű kapcsolási sémája, a Rankine-körfolyamat [1] [2]

A gőzközegű erőművi energiaátalakítás alapsémája a Rankine-körfolyamat tartalmaz minden elemet, amely az energiaátalakításban nélkülözhetetlen (kazán, turbina, hőcserélő és szivattyú), de rajtuk kívül semmit, amit a hatásfokjavítás, vagy más szempont indokolna.



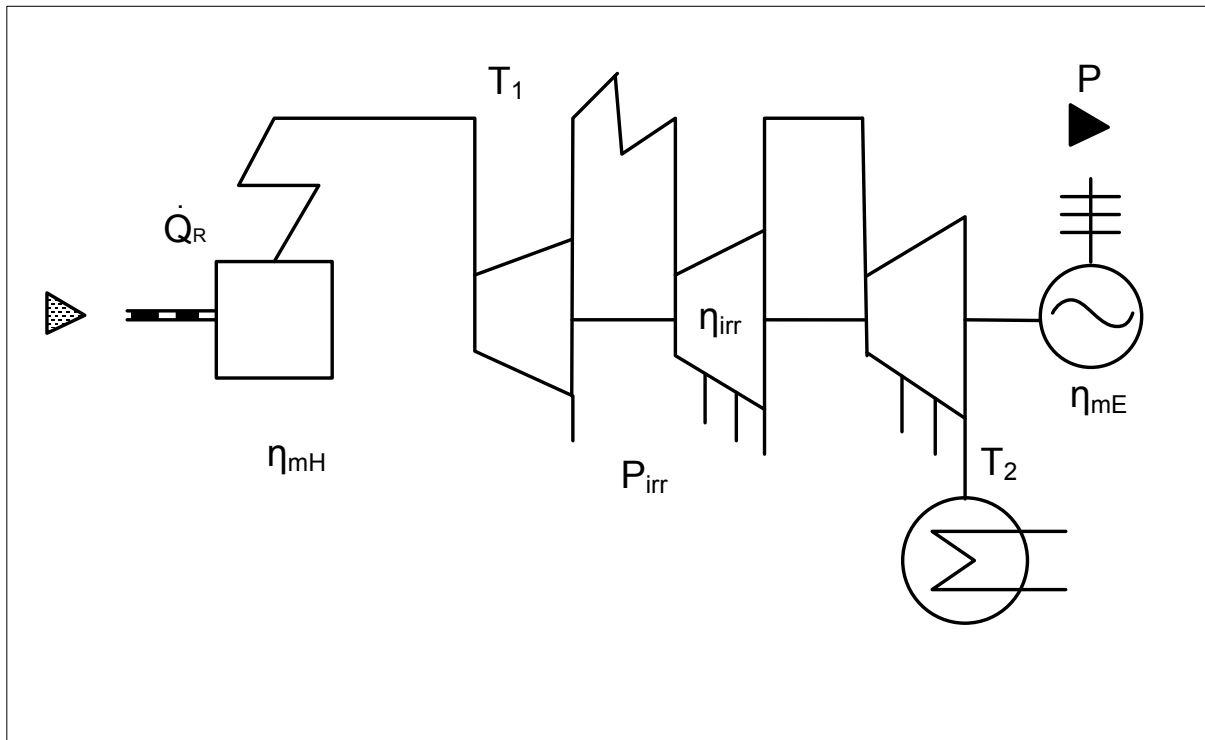
72. ábra: A reverzibilis Rankine-körfolyamat TS diagramja [1] [2]

A reverzibilis körfolyamat közelítő hatásfoka a szivattyúzás elhanyagolásával és a fajlagos entalpiák használatával:

$$\eta_{OR} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'}$$

A pontos hatásfok a szivattyúzás figyelembevételével határozható meg. A fenti összefüggés mégis használható, mert az együttes eltérés kicsi. [1]

Egy kondenzációs gőzerőmű elvi sémáját a **73. ábra** szemlélteti [1]



73. ábra: Kondenzációs gőzerőmű elvi sémája [1]

Az erőmű \dot{Q}_i tüzelőhő felhasználásával és az expanzió lehetséges határait kihasználva kizárólag villamos energiát (P) termel.

Veszteségmentes esetben az energiaátalakítás Carnot-hatásfoka [1]

$$\eta_{KEo} = \frac{P_o}{\dot{Q}_i} = 1 - \frac{T_2}{T_1} > \eta_{KE}$$

A kondenzációs villamosenergia-termelés hatásfokát ill. fajlagos tüzelőhő felhasználását a termodinamikai átlaghőmérsékletek, a lokális illetve az expanzióval arányos irreverzibilitások és az energiaátalakítás mennyiségi hatásfokai befolyásolják.

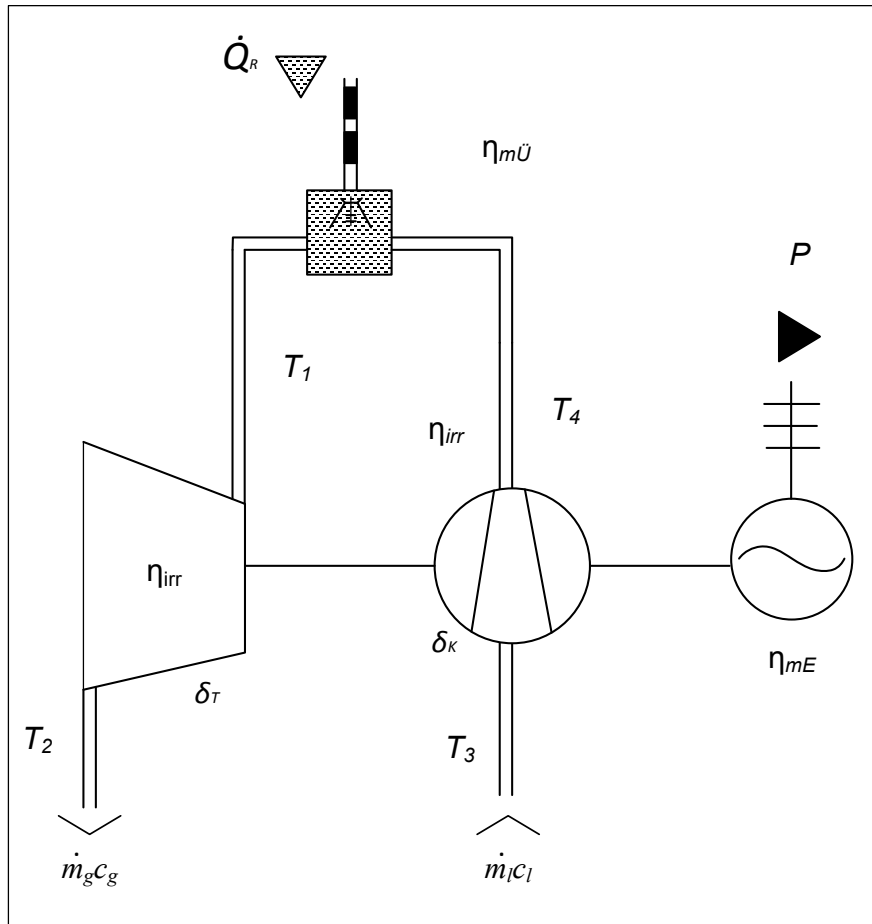
A szén-, olaj- és földgáz-bázisú hőerőműveket az irodalom "hagyományos" erőműveknek nevezi, megkülönböztetésül az ugyancsak gőzenergiát hasznosító atomerőművekkel szemben, ahol a gőzt nem az elsődleges energiahordozók elégetése révén, hanem az atomreaktorban lejátszódó maghasításkor felszabaduló hőből állítják elő. A hagyományos erőművekre még a hosszú távú energetikai programok is számolnak, s belátható időn belül az emberiség nem mondhat le a "fosszilis" tüzelőanyagokra (szén, olaj, gáz) alapozott energia-átalakításról. Ezért a hagyományos erőművekre a jövőben is szükség lesz, és a felhasznált alapenergia

hordozók vonatkozásában a földgázra mint a fosszilis energiák közül legkisebb környezetterhelést jelentő energiaforrásra várhatóan nagyobb szerep fog jutni.

10.2. Gázturbinás erőművek

- **nyitott körfolyamatú gázturбина**

A nyitott körfolyamatú, belső tüzelésű gázturбина \dot{Q}_u tüzelőhő teljesítmény esetén P villamos teljesítményt ad. Nyitott körfolyamatú, belső tüzelésű gázturбина kapcsolási sémája a **74. ábra** látható.



74. ábra: Nyitott körfolyamatú, belső tüzelésű gázturбина kapcsolási sémája [1] [2]

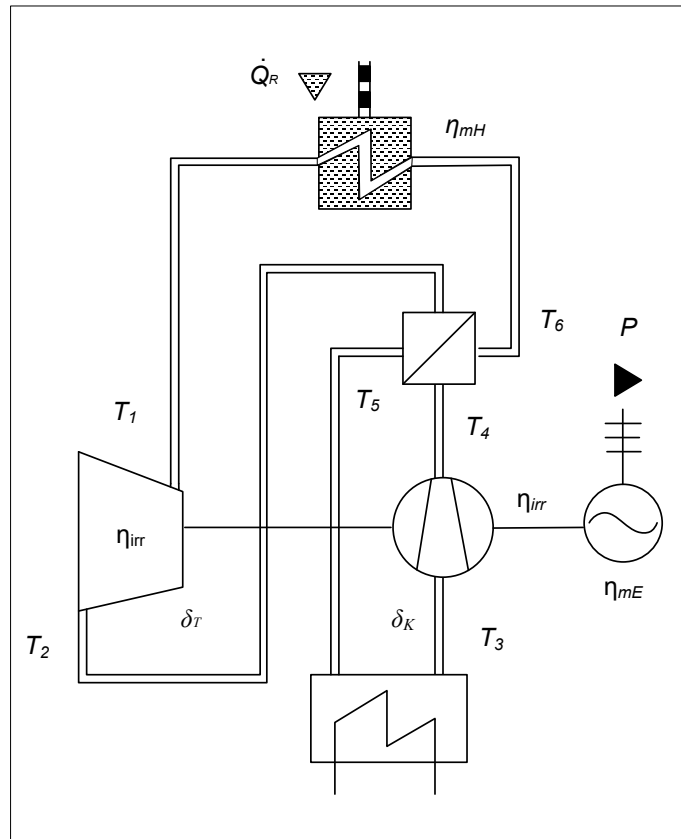
A nyitott körfolyamatú gázturбина hatás foka reverzibilis esetre [1]

$$\eta_{GT0} = \frac{P_o}{\dot{Q}_u} = \frac{(T_1 - T_{20}) - (T_{40} - T_3)}{T_1 - T_{40}} > \eta_{GT}$$

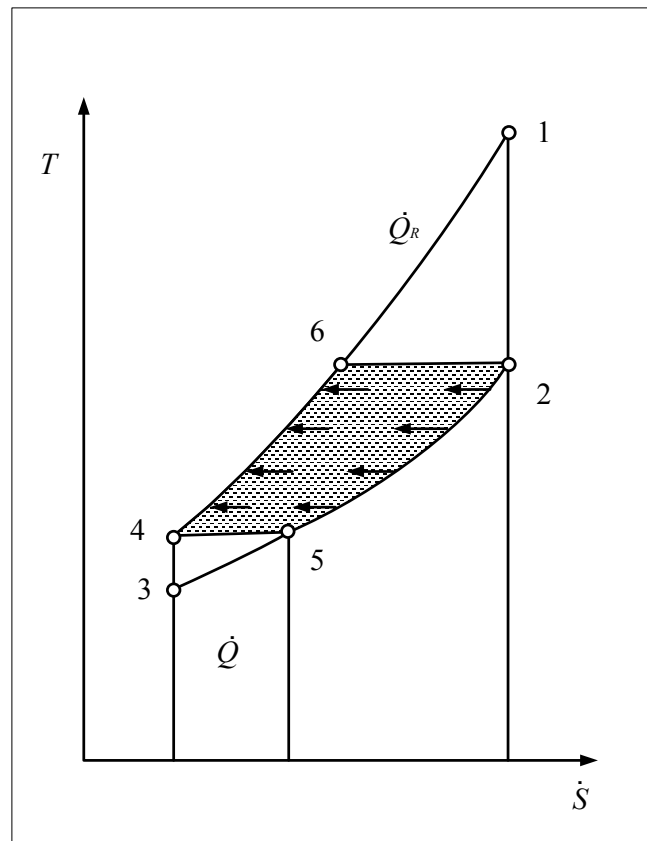
A nyitott gázturбина hatásfokát számos tényező befolyásolja [1]. Legjelentősebb hatása a T_1 belépő hőmérsékletnek van.

- **Zárt körfolyamatú gázturбина**

A zárt körfolyamatú, külső hevítésű gázturбина kapcsolási sémáját a **75. ábra** ábra, míg reverzibilis körfolyamatát a **76. ábra** mutatja. [1] [2]



75. ábra: Zárt körfolyamatú, külső hevítésű gázturbina kapcsolási sémája [1]



76. ábra: A reverzibilis zárt gázturbinás erőmű TS diagramja [1]

A reverzibilis zárt gázturbinás erőmű hatásfoka:

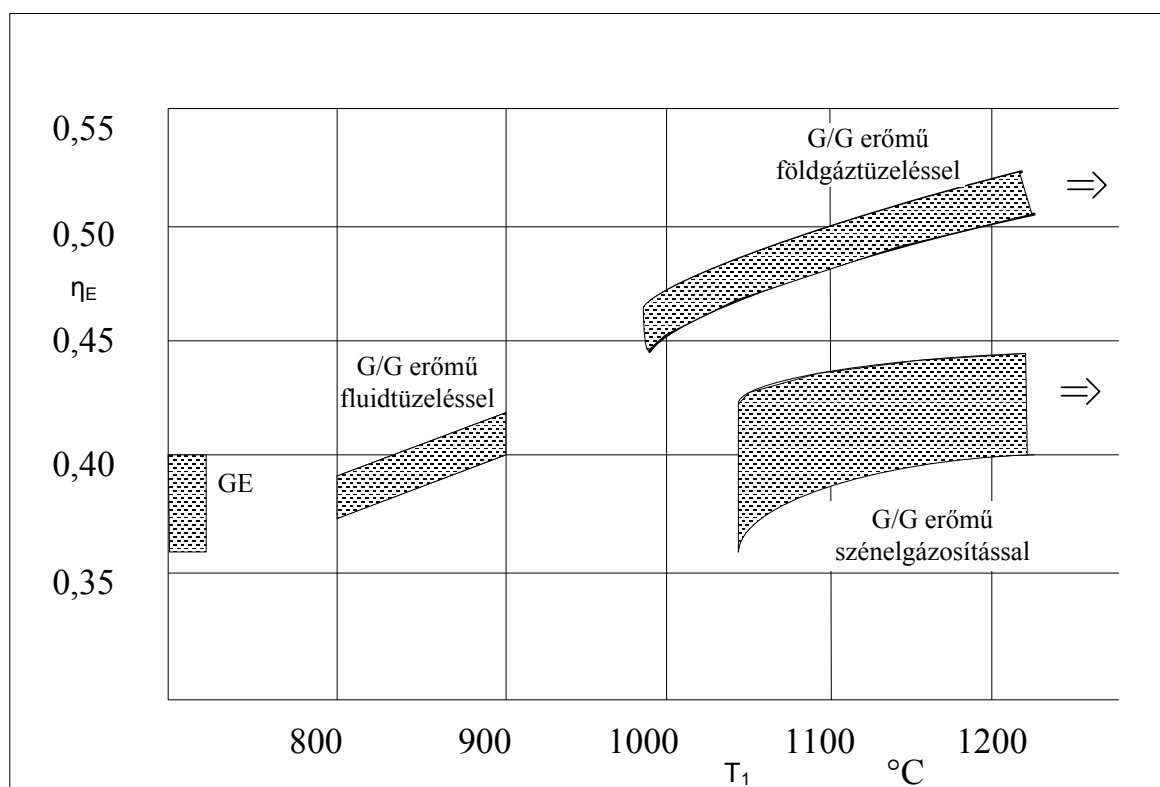
$$\eta_{GT0} = \frac{(T_1 - T_{20}) - (T_{40} - T_3)}{T_1 - T_{40}} = 1 - \frac{T_{40} - T_3}{T_1 - T_{20}}$$

A zárt gázturbina hatásfokában meghatározó szerepe van az expandált és a komprimált gáz közötti hővisszanyerésnek. Hőgenerálás következtében a mérsékelt, $T_1 = 800 - 900 \text{ °C}$ belépő gázhőmérséklet esetén is mintegy $\eta_{GT} = 0,42 - 0,44$ hatásfokot lehet elérni valóságos viszonyok között. A zárt és külső hevítésű turbina csak olyan helyen alkalmazható, ahol nem okoz gondot az égéstermék megfelelő lehűtése.

• Kondenzációs kombinált gáz/gőzerőművek

A kombinált gáz/gőzerőművek alaptípusai, s ezeken belül lehetséges megoldások közül - azok részletes ismertetése nélkül - csak azokat a kondenzációs erőműveket foglaljuk össze, amelyeket vagy már jelenleg is széles körben építenek vagy a jövő szempontjából perspektivikusak. Alkalmazásukat - jelenleg és a jövő szempontjából - a minél jobb hatásfok és a minél kisebb környezetszennyezés elérése indokolja.

Gázturbinához kapcsolt kondenzációs hőhasznosító gőzerőmű (az ún. kombiblokk). Az ilyen típusú gáz/gőzerőmű hatásfoka $\eta_{G/G} = 0,48 - 0,54$ értéket érhet el. Az igen jó hatásfokot az teszi lehetővé, hogy ez a kapcsolás a gázturbinából kilépő hulladékot a legkoncentráltabban hasznosítja. Az erőművek, köztük a kombinált gáz/gőzerőművek várható hatásfokát a **77. ábra** mutatja. Az egyik szélső értéket a hagyományos gőzerőművek (GE) jelenlegi 40 % alatti hatásfoka, míg a másik szélső pólust a földgáztüzelésű kombinált gáz/gőzerőművek (G/G) jelentik 50 %-ot jóval meghaladó hatásfokkal.



77. ábra: A különböző gáz/gőzerőművek hatásfoka [1] [2]

10.3. Gázégők [3] [4]

A gázégőket többféleképpen csoportosíthatjuk:

- a láng fajtája szerint (világító láng, *Bunsen*-láng, injektoros égők);
- a láng elrendezése szerint (egyes égők, csoportos égők gyűrűformában, síkban, egyéb felületek mentén elhelyezve);
- a gáz fajtája szerint, (városi gáz, földgáz, többféle gáz elégetésére alkalmas, illetve minden gáz elégetésére alkalmas égők);
- a gáz nyomása szerint (kisnyomású: 5–50 mbar nyomású, illetve nagynyomású 0,5–3,0 bar nyomású égők);
- a szabályozás módja szerint (kézi szabályozású, félautomatikus és automatikus égők);
- a gáz és a levegő találkozási helye szerint (színgázégők, előkeveréses gázégők, utókeveréses égők);
- a gáz-levegő keverék előállításának módja szerint (természetes és kényszerlevegős égők).

A csoportosítási lehetőségek pontosítása érdekében először meg kell fogalmaznunk a gázégők feladatát, ami leegyszerűsítve a következő:

- a gáz tüzelőanyag és a az égéshez szükséges levegő bejuttatása,
- a gáz és a levegő összekeverése,
- a keverék meggyújtása és az égési reakció stabilizálása.

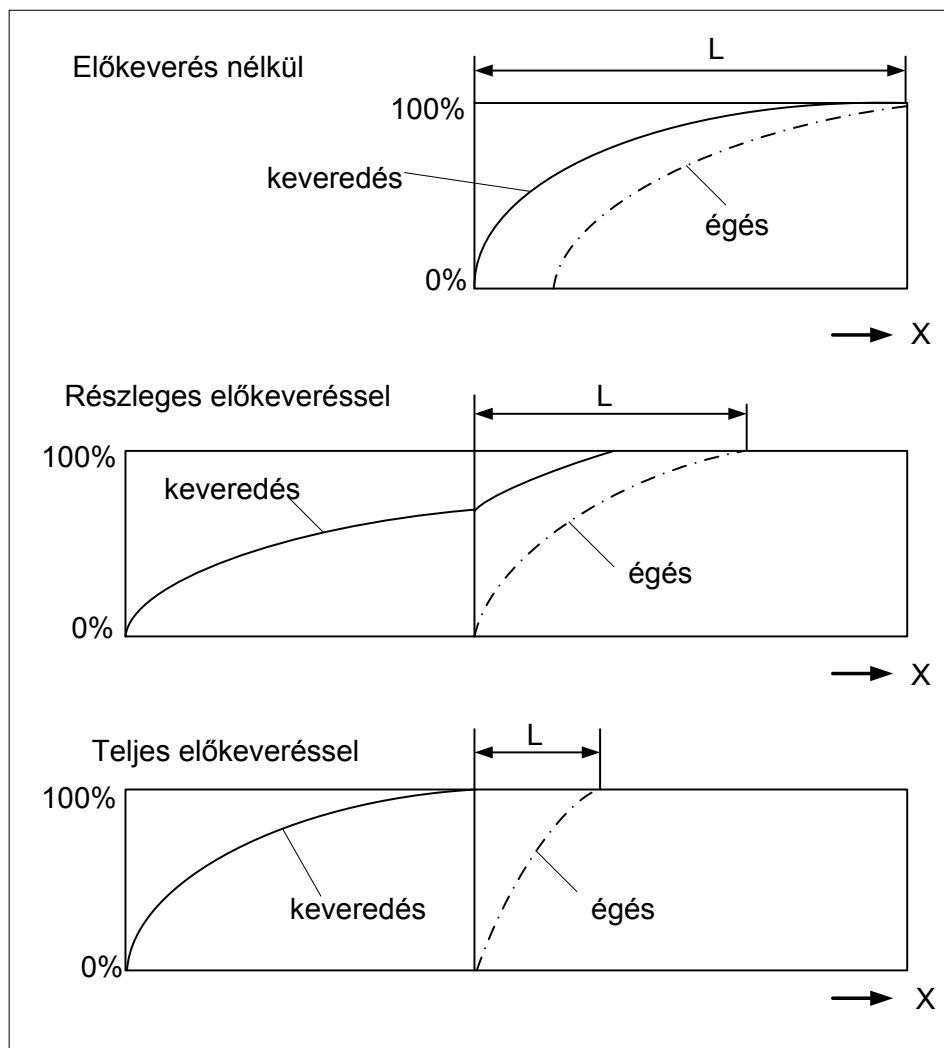
A gáz és az égési levegő bejuttatásának módja szerint megkülönböztetünk:

- természetes levegőellátású, „atmoszférikus” égőket, ahol az égéshez szükséges levegőt a nagy sebességgel beáramló gázszugár szívja be az injektorhatás révén, és
- mesterséges levegőellátású, „kényszerlevegős” égőket, ahol a levegőt ventilátorral létrehozott nyomáskülönbség segítségével juttatjuk az égőbe.

A gáz és a levegő összekeveredésének helye szerint megkülönböztetünk:

- előkeverés nélkül üzemelő égőket, ahol az égés és az égési levegő bejutásának helye megegyezik (ezek az ún. diffúziós égők),
- részleges előkeveréssel működő égőket, ahol az égési levegő egy része még az égés helye előtt keveredik a gázzal, a többi része pedig az égés helyén, valamint
- teljes előkeverésű égőket, amelyeknél az égési levegő még az égés helye előtt teljesen összekeveredik a gázzal.

A gáz és a levegő keveredésének helye szerinti csoportosítás lényegét szemléletesen mutatja a **78. ábra**. Érdemes figyelni az égés hosszára (L), aminek a károsanyag-kibocsátás szempontjából még jelentősége lesz.



78. ábra: Az égők csoportosítása a keveredés helye szerint [3]

Az előkeverés nélküli – külső keveréses, ún. „színgáz” – égő, vagy más néven diffúziós égő esetében az égési levegő csak a gáz kilépése után, az égés helyén keveredik a gázzal. A részleges előkeveréses égők jellegzetes típusa a Bunsen-égő, amelyet inkább csak laboratóriumi célokra használnak. Ide sorolható azonban például a gáztűzhelyek, valamint sok háztartási készülékek égője is.

A nyugat-európai előírások, valamint ma már az ezeknek megfelelő magyar szabvány is az égőket, illetve a készülékeket a szerint is csoportosítják, hogy hány gázcsaláddal működtethetők.

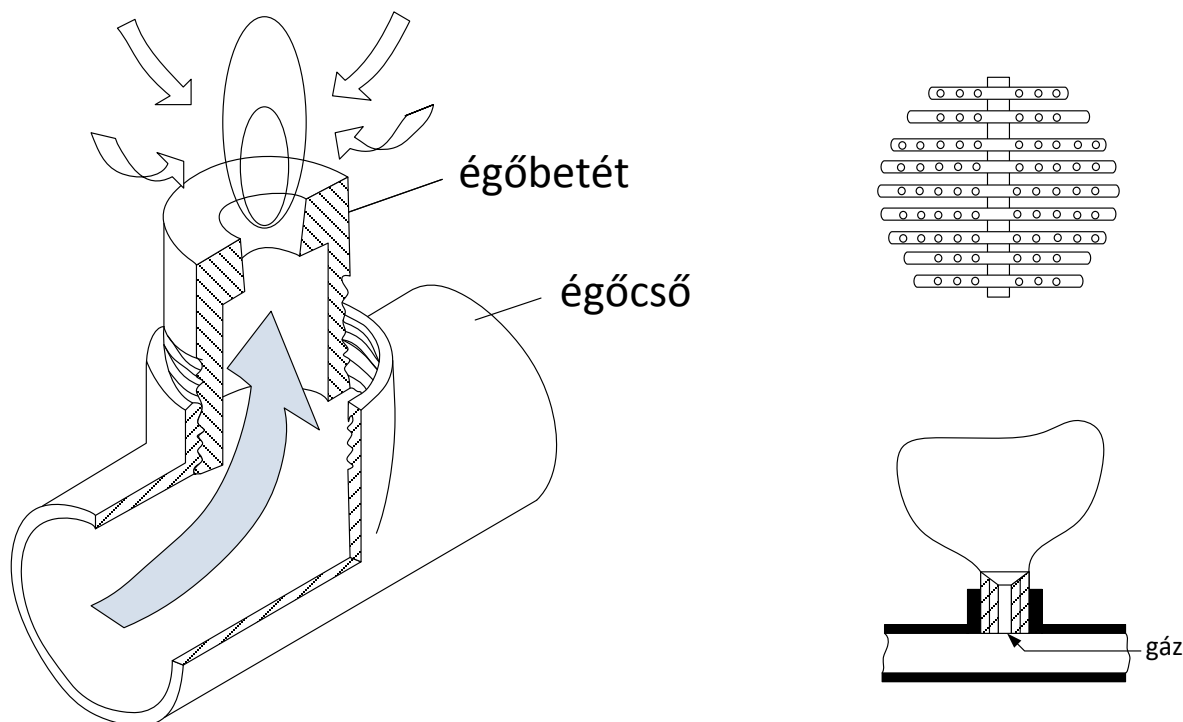
Eszerint:

- I. kategória: kizárólag egyetlen gázcsaláddal, és ennek gázcsoportjaival működtethető készülékek. Például: I2H, I2S, I3B/P, I3P, I3B;
- II. kategória: két gázcsaláddal működtethető készülékek. Például: II2H3B/P, II2H3P;
- III. kategória: három gázcsaláddal működtethető készülékek. Hazánkban nem használják, az EU egyes tagországaiban előfordul.

A jelölésekben a kategóriát mutató római szám után indexben arab számmal a gázcsalád jele (1, 2, 3) és a családon belüli gázcsoport jelölése látható (H, S, B/P stb.).

Természetes levegőellátású égők Előkeverés nélküli, diffúziós égők

Az előkeverés nélküli, diffúziós vagy más néven ún. színgázégő mindössze egy fűvókából áll, az ebből kiáramló gázhoz a levegő diffúzió útján keveredik, ezért más szempontból ez az égőfajta a természetes levegőellátású, utókeveréses égők családjába tartozik. Ezt az égőt a korábbi, városi gázzal működtetett, egyszerűbb háztartási fűtőkészülékeknél és vízmelegítőknél alkalmazták, ahol a nagyobb teljesítmény miatt már nem egyetlen fűvókát használtak, hanem a gázáramot több részáramra osztották. Így alakultak ki az ún. fésűs égők (79. ábra).



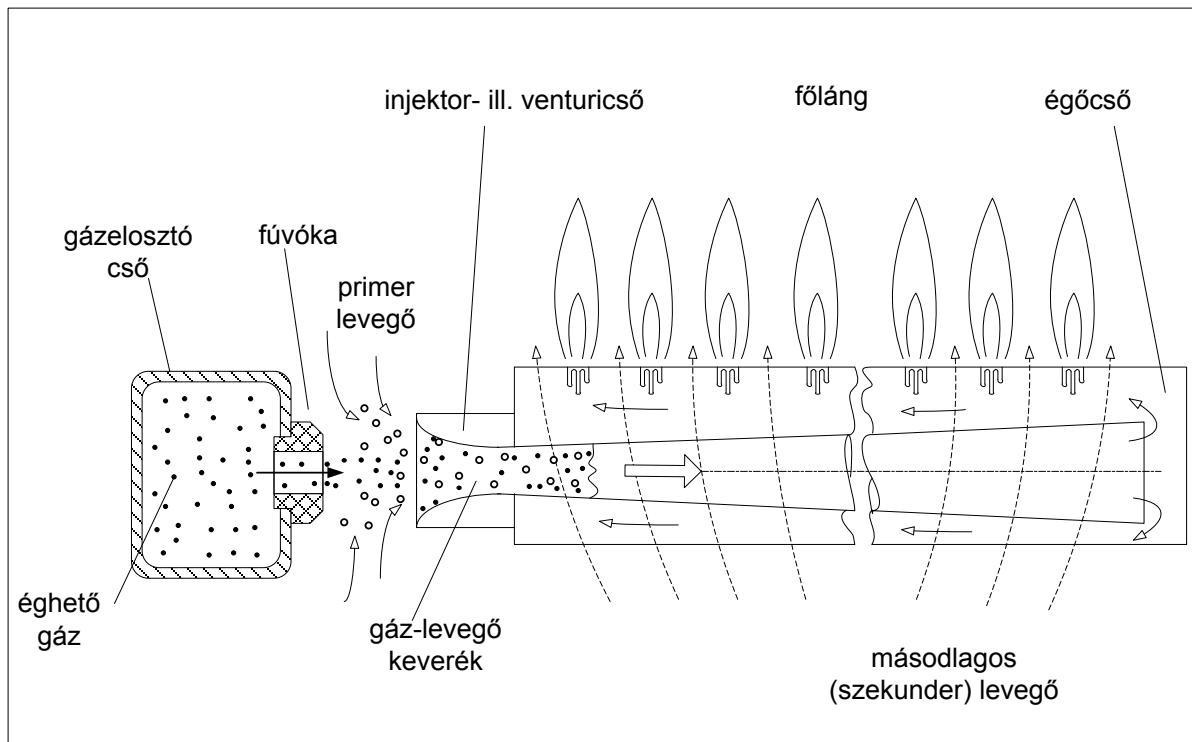
79. ábra: Előkeverés nélküli, diffúziós égő [3]

A földgázra való átállással megszűnt az égő létjogosultsága, mert földgáz alkalmazása esetén a kis hőterheléseknél „leszakad a láng”, hiszen a földgáz égési sebessége kisebb, mint a nagy hidrogéntartalmú városi gázé.

Természetes levegőellátású, részleges előkeveréses égők

Ezt az égőtípust előnyös tulajdonságai miatt – egyszerű szerkezet, nem tartalmaz mozgó alkatrészeket, zajszegény működés – széles körben alkalmazzák a háztartási gázkészülékekben.

A 80. ábra bemutatott szerkezet működésének lényege, hogy az osztócsőből az éghető gáz a fűvókán keresztül nagy sebességgel beáramlik az injektor csőbe, amely Venturi-cső alakú, és ezzel az áramlási törvényszerűségeknek megfelelő mennyiségű égési levegőt szív be. A kb. 35–50% primer levegő összekeveredik a gázzal és ez a keverék áramlik ki az égő nyílásain. Az égés csak a keveredés után jön létre, és a láng diffúzió révén szekunder levegőt von magához. Az égők fűvókacserével és a primer levegő szabályozásával más gázfajtára is átállíthatók.



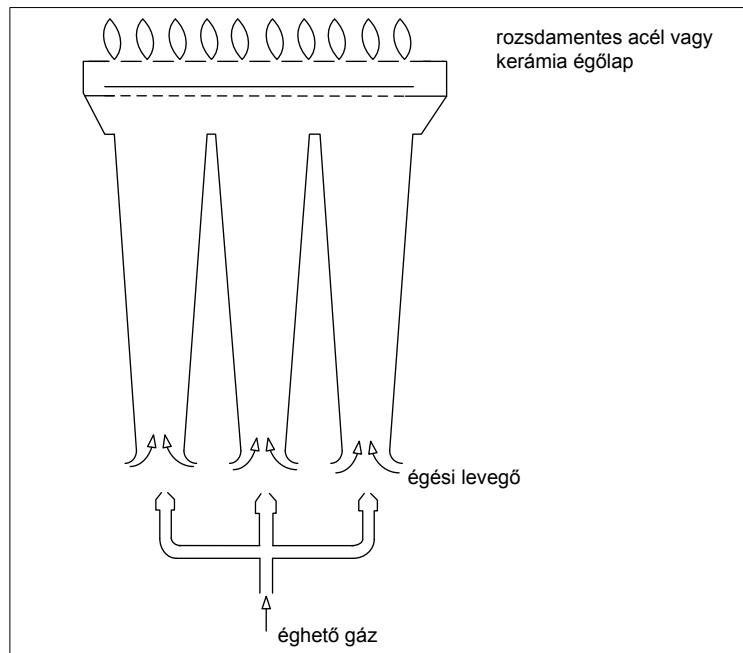
80. ábra: A természetes levegőellátású, részleges előkeveréses égő elve [3]

A természetes levegőellátású, részleges előkeveréses égő alkotóelemei a következők:

- az égőcső az injektor (*Venturi*-) csővel, valamint a gáz elosztócső a főfúvókával,
- a szabályozó szerelvények
- a gyújtószerkezet
- a lángór és
- az égővezérlés

Természetes levegőellátású, teljes előkeveréses gázégők

A környezetvédelmi követelmények szigorodásával, a károsanyag kibocsátás csökkentése érdekében fejlesztették ki a teljes előkeveréses égőket. E fúvókából kiáramló gáz a hosszú keverőcsőbe a szükséges égési levegő teljes mennyiségét beszívja, és ott a gáz a levegővel teljes mértékben összekeveredik. Az égőfelületen szekunder levegő hozzákeverésére már nincs szükség, az égés nagyon rövid lánggal, vagy láng kialakulása nélkül megy végbe (**81. ábra**).

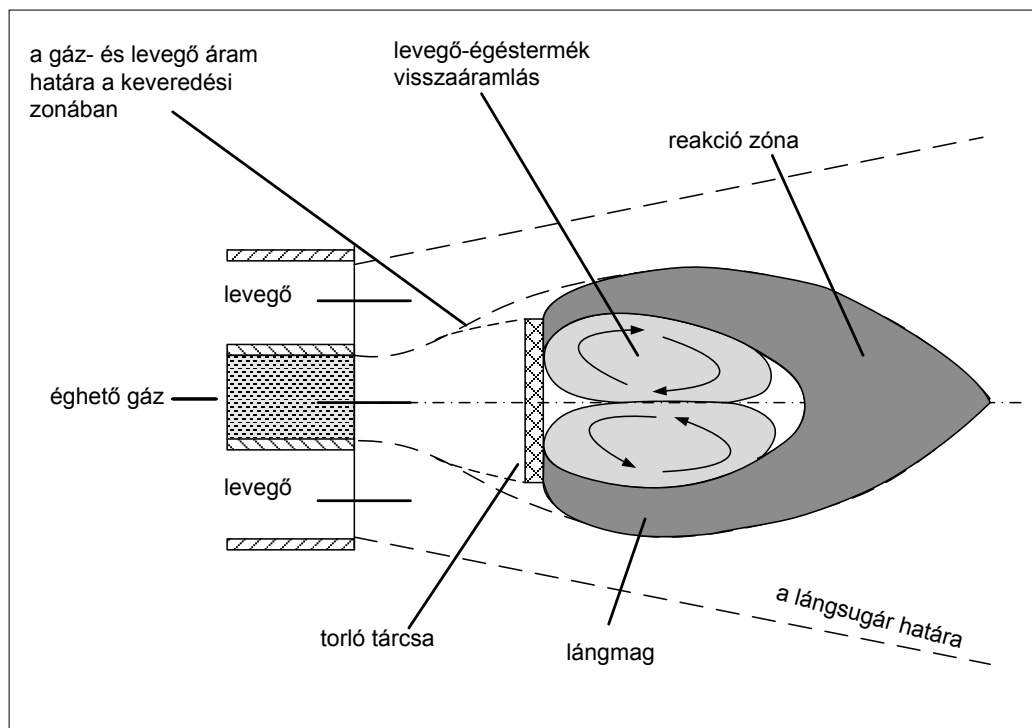


81. ábra: Természetes levegőellátású, teljes előkeveréses égő [3]

Mesterséges levegőellátású, ventilátoros gázégők

Előkeverés nélküli, diffúziós égők

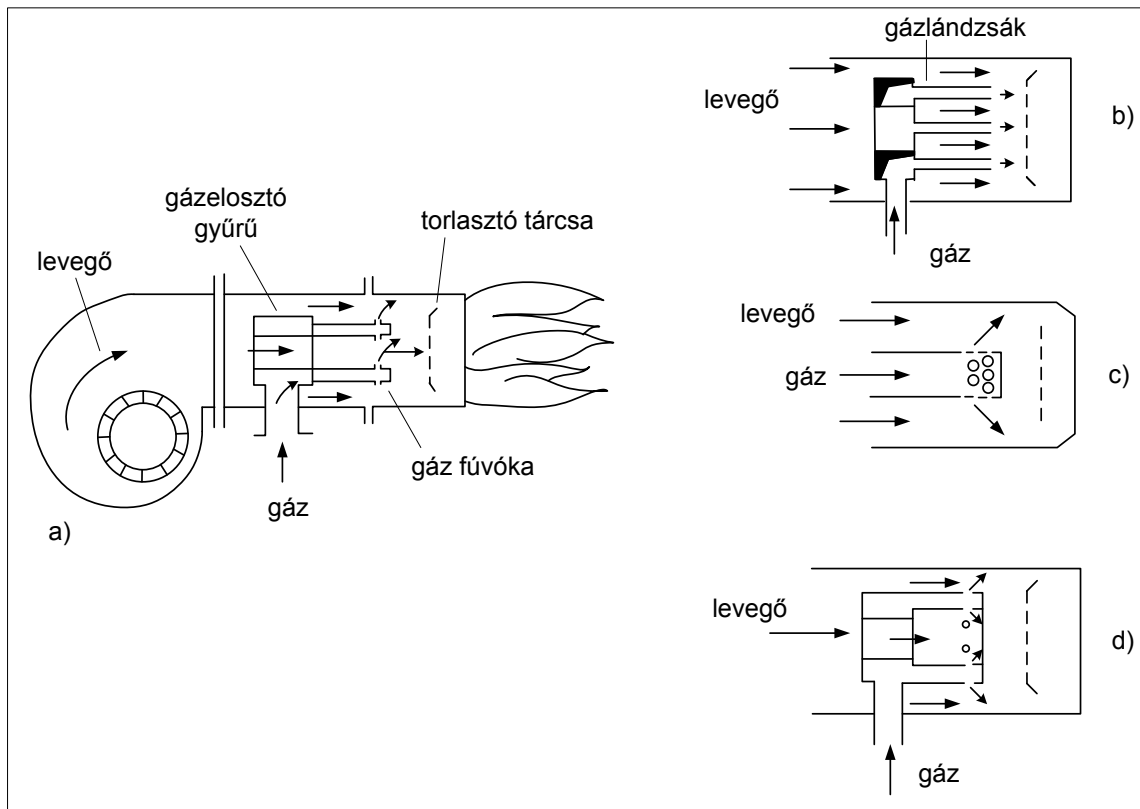
Ezeknél az égőknél az éghető gáz a fűvókából kilépve keveredik a ventilátorral oda szállított égési levegővel. A jobb keveredést torlótárcsa is segíti. A működés elvét jól szemlélteti a **82. ábra**. A megoldás előnye az, hogy független a környezeti nyomástól és egyéb körülményektől, a visszagyulladás kizárt, így üzembiztos és teljesen automatizálható.



82. ábra: Előkeverés nélküli, diffúziós gázégő elve [3]

Ezeket az égőket korábban csak nagy teljesítmények és ipari berendezések esetén alkalmazták, ma azonban az energiagazdálkodási verseny miatt kisebb teljesítményű gyártmányokat is találunk a kommunális hőellátás területén (a teljesítmény egészen 3,0 kW értékig csökkenhet).

A ventilátoros gázégők felépítése és fűvóka kialakítási lehetőségei a **83. ábra** láthatók.



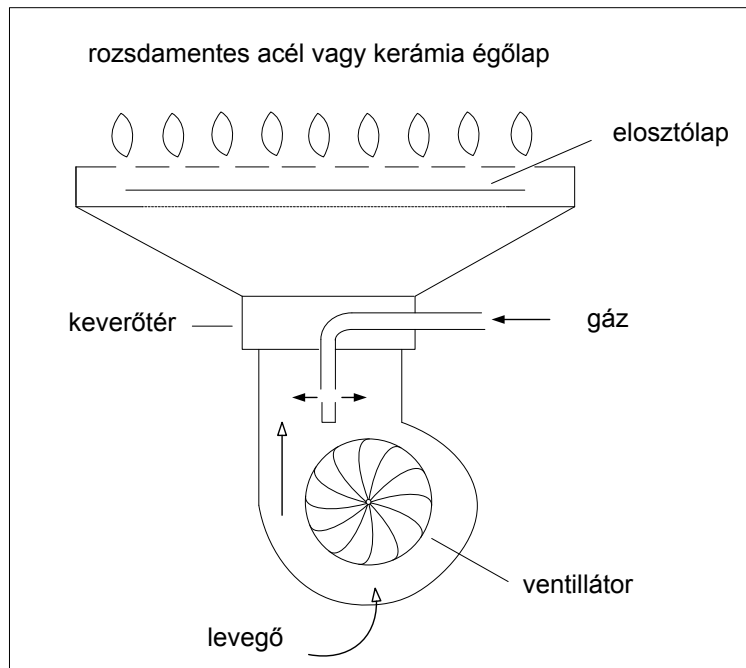
83. ábra: Mesterséges levegőellátású, diffúziós gázégő felépítése, valamint a gáz- és levegő bevezetésének elve a) felépítés; b) párhuzamos áramlású égőfej; c) keresztáramlású középcsöves égőfej; d) keresztáramlású lándzsae égőfej [3]

Mesterséges levegőellátású, részleges előkeveréses égők

A mesterséges levegőellátású, részleges előkeveréses égőknél az égési levegő egy részét már a gáz kilépése előtt hozzákeverik a gázhoz. Az intenzív keveredés miatt, és a visszagyulladás elkerülése érdekében a keverőtérben nagy sebességű áramlásra van szükség. Bár az előkeverés előnye a stabil láng, a szabályozási feltételek rosszabbak, ezért a diffúziós égők mellett ezek a kialakítások háttérbe szorultak.

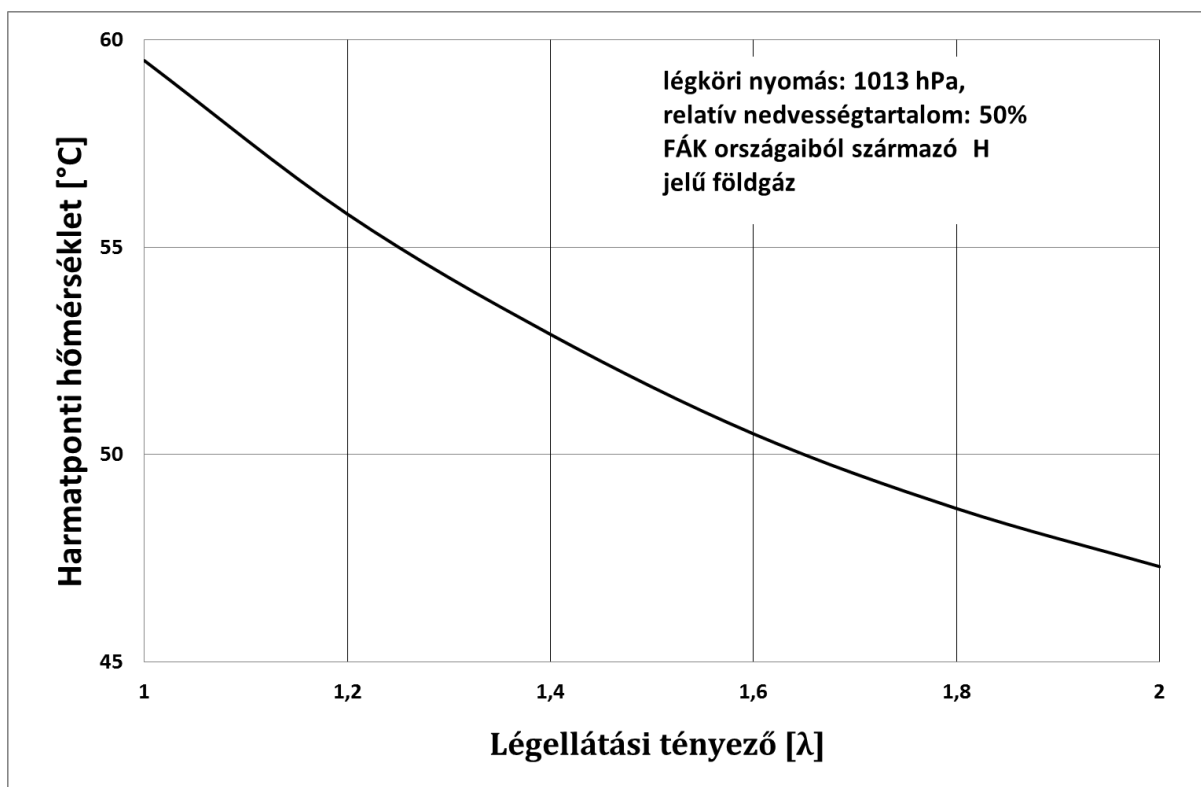
Mesterséges levegőellátású, teljes előkeveréses égők

A természetes levegőellátású égőknél már említett környezetvédelmi szempontok miatt a mesterséges levegőellátású égők esetében is kifejlesztették a teljes előkeveréses szerkezeteket (**84. ábra**).



84. ábra: Teljes előkeveréses ventilátoros égő [3]

Ezek az égők nagy szerepet kapnak a kondenzációs kazánok kialakításánál, amelyek értelemszerű igénye a kis légellátási tényező, az ezzel együtt járó kis CO_2 tartalom az égéstermékben és a minél nagyobb harmatponti hőmérséklet. Az égéstermékben lévő vízgőz harmatpont ugyanis erőteljesen függ a légellátási tényezőtől (85. ábra). Kis légellátási tényező esetén a nagyobb fűtővíz hőmérsékleteknél is elérhető a megfelelő kondenzációs mérték, igen kismértékű CO és NO_x emissziós érték mellett.

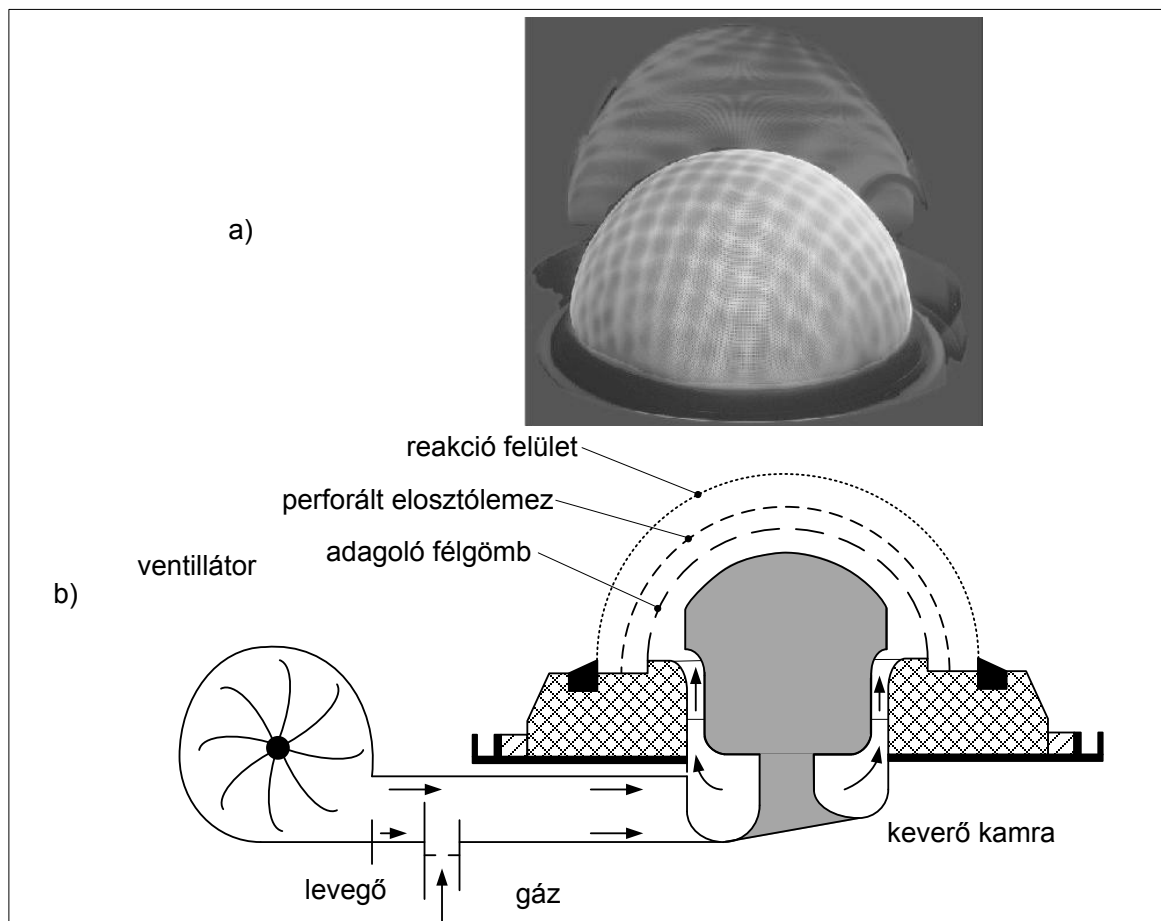


85. ábra: Az égéstermék vízgőz harmatpontja a légellátási tényező függvényében [3]

Ilyen, teljes előkeveréses égőt mutat példaként a **86. ábra**. Ezeknél, a kondenzációs készülékekben időközben uralkodóvá vált égőknel számos újfajta és javított megoldást találunk az égési felületek kiképzésére kerámiából, szálás kerámiából, perforált fémlemezről, fémlamellákból és fémszövetből. A jövőben a megfelelő teljesítménytartományban ezek a megoldások válhatnak általánosan elterjedté.

Előnyük:

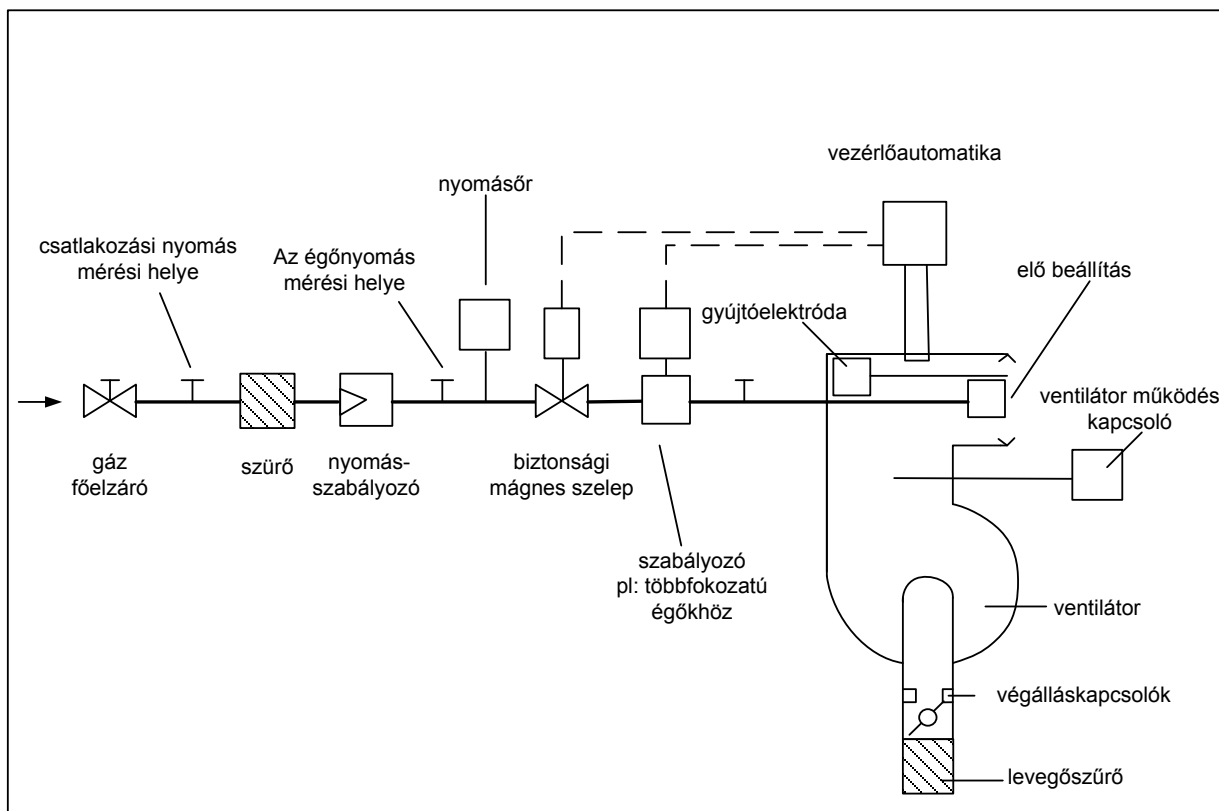
- a flexibilitás, mely miatt az égő formája és az égési levegő hozzavezetése szinte tetszőlegesen illeszthető a tüztérhez és a hőcserélőhöz,
- a klasszikus túlnyomásos égőkkel szemben csekély NO_x emisszió (általában 20–40 mg/kWh),
- az alacsony zajszint és
- a rendkívül kicsi tüztérmetret, ami a lakásépítésben alkalmazott kompakt, zárt égésterű, fali készülékeknél igen előnyös,
- a tüztér és az égéstermék-elvezető rendszer különböző nyomásviszonyainál is nagyon stabil égés,
- a többnyire elektronikusan szabályozott égéslevegő ventilátorok révén egyszerű a szabályozási beavatkozás lehetősége, ugyanis az égési levegő a ventilátor fordulatszámára a mindenkori teljesítményigényhez illeszthető.



86. ábra: Teljes előkeveréses felületi égő gömbsüveg égőfelülettel (Viessmann mátrix-égő) a) üzemi állapot; b) szerkezeti metszet [3]

Fentiekén túlmenően a fejlesztések további iránya és eredménye a kétlépcsős, vagy az ún. modulációs égők kialakítása. Ezekkel a kapcsolási gyakoriság csökkenthető, és a kazán

pillanatnyi teljesítménye jobban illeszthető változó hőigényekhez. Ezeknél a megoldásoknál az éghető gáz és az égési levegő biztos adagolása, illetve állandó aránya rendkívül fontos. Az első, teljesen elektronikus megoldású gáz-levegő arány szabályozók mellett kialakult a pneumatikus gáz-levegő arány szabályozók családja is. A mesterséges levegőellátású égők tüzelőanyag-ellátó vezetékében és magában az égőben szükséges szabályozó, gyújtó- és biztonsági szerelvények a **87. ábra** láthatók.



87. ábra: Mesterséges levegőellátású égő tüzelőanyag útja a szabályozó, gyújtó- és biztonsági szerelvényekkel [3]

10.4. Irodalom a 10. fejezethez

- [1] Dr. Büki G.: Energetika. Műegyetemi Kiadó Budapest, 1997.
- [2] Dr. Tóth P.- Dr. Bulla M.: Energia és Környezet, UNIVERSITAS- Győr Nonprofit Kft, az eredeti kiadvány 1999. átdolgozott 2008. évi változata alapján
- [3] Gázüzemű tüzelőberendezések. (www.host.epgep.bme.hu)
(http://www.google.hu/search?q=g%C3%A1z%20%C3%A9g%C5%91k&hl=hu&rlz=1T4SUNA_enHU311HU311&ei=iC-4TJecOJDGswatwJWuDQ&start=20&sa=N) ;(2010.10.15.;12:28)
- [4] Dr. Halász István: Tüzeléstechnika, ISBN-szám:978-963-275-029-3, Tankönyvkiadó, 2008. Budapest

11. Energiaigény; előrejelzése. Várható fogyasztás modellezése. Energiafogyasztás menedzselése: fogyasztásmérés – fogyasztó ki- és bekapcsolása. Statikus és dinamikus árazás (Dr. Benkő Zsolt István)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Minden emberi tevékenység energiaigényes. Az ipari termelés és szolgáltatás más igényeket támaszt, mint a lakosság energiával történő ellátása.

Lokális szinten az energiaigény előrejelzése egy-egy létesítmény várható energiafogyasztásának becslését jelenti. Tervezési szakaszban ez a becslés számítások alapján történhet. Figyelembe kell venni minden tényezőt. Magyarországon szükséges a téli fűtés. A mai hatályos jogszabályok szerint épületek tervezésekor kötelező a hőtechnikai számításokat is elvégezni. E számítások elvégzéséhez pontosan kell ismerni, hogy az épületet milyen anyagból emelik (falazat), milyenek lesznek a nyílászárók hőtechnikai adatai; ha szükséges meg kell tervezni a légcserét és a légcseréhez tartozó hőcserélő kialakítást vagy berendezést is.

A teljes energiafogyasztás előrejelzéséhez szükséges ismerni az épületben használandó eszközök egyedi (gyári) fogyasztását is. Például egy lakóház esetén az épület hőtechnikai számításai alapján meg lehet becsülni a fűtés energiaigényét. Lakóház esetén számítani kell hűtőgépre, mosógépre, egyéb konyhatechnikai és szórakoztató elektronikai berendezésekkel. A modern lakások tipikus nagyfogyasztójává lépett elő az LCD vagy plazma TV. Míg egy hagyományos katódsugárcsőes TV 50-60 W elektromos teljesítményt használva működik, addig egy LCD TV 100-250 W, egy plazma TV 300-400 W teljesítményt is igényelhet. Nagyfogyasztó az asztali számítógép is (> 400 W). A mosógépek tipikus igénye 2 kW, de ezt a teljesítményt nem veszik fel folyamatosan, csak a víz felmelegítésének időtartamára. Egy modern, A+ energia besorolású, fagyasztótérrel is rendelkező hűtőgép éves fogyasztása akár 259 kWh/év is lehet (Bosch KIL38A51), ami átlagosan csak 30 W teljesítményigényt jelent! Háztartási nagyfogyasztó lehet az elektromos vízmelegítő is. Régi készülékek esetében érdemes kalkulációt készíteni: ha lecseréljük például az elektromos vízmelegítőt egy korszerű modellre, akkor lehet, hogy a kisebb fogyasztás miatt, már akár fél-egy év alatt is megtérül a befektetés.

Régebbi épület esetében a fűtés korszerűsítése is akár két-három szezon alatt megtérülhet. Sokszor elegendő a kazánt kicserélni egy újra. A mai berendezések energiahasznosítása sokkal jobb, mint akár a tíz évvel ezelőtti készülékeké.

Energetikai szempontból a legjobb épületfűtési megoldás a távfűtés. A nagyméretű kazánok minden szempontból előnyösebbek, mint a kisméretűek. Hatékonyabban használják fel a keletkező hőt, és a lakóegységre jutó karbantartási költségek is kisebbek, mint az egyedi fűtésrendszereknél. Természetesen akkor működik a legjobban, ha az egyedi lakásokban is meg van teremtve a lehetőség a fűtés helyi szabályozására (termosztikus radiátorszelepek; költségmegosztó mérőeszközök).

Lokálisan energia megtakarításával járhatna a világítási rendszer korszerűsítése is: a kompakt fénycsövek fényhasznosítása nagyobb, élettartama hosszabb, mint a hagyományos izzóké. Elméleti szinten valóban ez a helyzet. Alaposan megvizsgálva a problémát, már nem ennyire egyszerű a választás. Tény, hogy a kompakt fénycsövek ugyanakkora fény mennyiség produkálásához 75%-kal kevesebb villamos energiát fogyasztanak. De ez csak akkor igaz, ha a fénycső már bemelegedett, azaz legalább 20-30 perce folyamatosan világít. A bemelegedési időszak alatt a fogyasztása magasabb is lehet, mint a hagyományos izzóé.

Ahhoz, hogy ténylegesen kevesebb összefogyasztást lehessen mérni, a kompakt fénycsövekkel legalább néhány órán keresztül érdemes egyvégtében világítani. Olyan helyiségekben, ahol huzamosabban tartózkodunk (nappali, konyha, hálószoba), megéri ezeket alkalmazni, de ahol csak rövid ideig vagyunk (WC, fürdőszoba, kamra), ott energiapazarlás a kompakt fénycső használata. Ráadásul a kompakt fénycső érzékeny a gyakori kapcsolgatásra; ennek hatására a tényleges élettartama a névlegesnek akár a tizedére (vagy még kevesebbre) is lecsökkenhet.

Ha figyelembe vesszük a kompakt fénycső teljes élettartamát, a helyzet még kétségesebb: egy kompakt fénycső előállításának energiaigénye körülbelül 6-szor akkora, mint egy hagyományos izzólámpáé. A fénycső nagyon sok környezetre veszélyes, mérgező vegyületet tartalmaz, emiatt az elhasznált fénycső gondos kezelést, és ezzel együtt újabb, nem kevés energia felhasználását igényli.

Világítani mindenhol kell, így ez az energiagazdálkodás olyan része, mely mindenkit érint. A hagyományos izzók fokozatosan kivezetésre kerülnek, de helyettük lehet a halogén töltésű izzókat használni. Ezek hasonlóképpen működnek, mint a hagyományos izzók, csak a burában nemesgáz helyett halogéngáz van, emiatt magasabb hőmérsékletre hevíthető az izzószál, s így a fogyasztásuk csak 2/3-a azokénak. A legjobb megoldást valószínűleg a LED alapú lámpák jelentik majd, kicsi fogyasztással, hosszú élettartammal, bemelegedési idő nélkül. A LED alapú lámpák csak rövid ideje van még a piacon. A gyártástechnológia még nem eléggé kiforrott; a hosszú távú hatásokat még nem lehet felmérni.

Érdemes odafigyelni az olyan elektromos eszközökre is, melyek készenléti állapotba helyezhetők. Ha csak 1 W a készenléti üzemmód által igényelt teljesítmény, éves szinten akkor is 8,76 kWh villamos energiát fogyaszt, ami körülbelül 400,- Ft (2011.01.01-i árlista alapján). Sok készüléknek ettől magasabb is lehet a készenléti állapotban a fogyasztása. Éves szinten komoly összegeket lehet megtakarítani egy kis odafigyeléssel: ha nincs szükség valamilyen eszközre, akkor érdemesebb inkább kikapcsolni, vagy kihúzni az aljzatból. Azon felül, hogy pénzt takarítunk meg, az így megtakarított villamos energiát elő sem kell állítania az erőműveknek, s ez által a természeti környezetünket is kímélhetjük.

A takarékos energiafelhasználást elősegítik a különféle fogyasztásmérők. Ezek segítségével a szolgáltatók számlázzák a fogyasztásunkat, de a mérőórák rendszeres ellenőrzésével mi is tudunk változtatni a saját fogyasztási szokásainkon, s így jobban felhasználhatjuk az otthonunkba eljuttatott energiát.

Kaphatók elektromos aljzatba csatlakoztatható fogyasztásmérők is, melyek használatával hamar felderíthetők a legtöbb villamos energiát fogyasztó eszközök egy háztartásban.

Globális viszonylatban (település, régió, ország, kontinens, Föld) az energiafelhasználás mértéke csak becsülhető az előző időszakok tényleges fogyasztási adatai alapján. Ami nagy bizonyossággal megállapítható: az emberiség energiaigénye folyamatosan nő.

11.1. Árképzés

Az energiatermelés és az energiaforrások kereskedelme globális, az egész Földre kiterjedő mértékben összefügg.

A közgazdaság tanítása szerint minden áru annyit ér, amennyit a vevő hajlandó fizetni érte. Az elmúlt 100-150 évet megelőzően ez így is működött. A piacon minden vevő alkudhatott az eladóval; ha sikerült megegyezniük, akkor létrejött az üzlet. Ha nem tudtak megegyezni, akkor a vevő átment egy másik árus pultjához. Nagyvállalatok között az alkudozás a mai napig természetes része az üzletkötésnek. Csak igen fontos termékek esetében – az energia ilyen termék – fordul elő, hogy az állam beavatkozhat az árképzésbe. Globális – államok hatáskörén túlnyúló – kereskedés esetében azonban az állam nem tud beavatkozni. A nyersolaj árát nem egy állami szervezet határozza meg, hanem az adott pillanatban mérhető szükségletek és a fizetőképes kereslet alapján döntenek együtt az olajkitermelő országok

(vállalatok) képviselői. Ha nincs meg a megfelelő kereslet, akkor az olajkitermelő országok csak annyit tehetnek, hogy a kitermelést egy időre visszafogják. A nyersolaj ára ennek megfelelően pillanatról pillanatra változik; ez jól nyomon követhető a tőzsdén. Tehát a nyersolaj világpiacon változó, dinamikus ár. Az energiaszektor más területein is általában a jó alkupozícióban lévő (kellően erős) nagyvállalatok egyedi árakat tudnak kialkudni az energiaszolgáltatókkal.

A nagyméretű iparosítás, gépesítés, tömegtermelés következtében eltávolodott egymástól az egyedi (lakossági) fogyasztó és az energiaszolgáltató. Ez utóbbi a gazdasági erőfölényét kihasználva rászoktatta az utóbbi 100-150 évben a lakossági fogyasztókat arra, hogy fix árak vannak; ezeket el kellett fogadni. A vásárló passzív, árelfogadó szerepbe kényszerült: ez a statikus árképzés.

Az informatikai eszközök fejlődésével és az Internet megjelenésével változások történtek. Lehetővé vált, hogy egy zalaegerszegi előfizető például egy észak-magyarországi áramszolgáltató vagy gázellátó cégtől vásárolja otthonába a villamos energiát vagy a gázt, mint energiahordozót. Az előfizető az Internet segítségével összehasonlíthatja a különböző szolgáltatók árait, dönthet, és át is jelentkezhet. Ez esetben a szolgáltatók – szintén az Internet segítségével – akár egyedi, személyre szabott ajánlatokkal is megkereshetik a lakossági fogyasztókat. Az eddig egyoldalú árképzés kicsit kiegyensúlyozottabbá válik. Az árképzés dinamikus lesz.

Ha hatósági árakat szab meg az állam (statikus árképzés), akkor ezzel az energiaszektor egyes résztvevőit igen nehéz helyzetbe hozhatja: például ha a gázturbinás erőmű a gázt szabadáras termékként vásárolja, de a megtermelt villamos energiát hatósági áron tudja csak értékesíteni, akkor előfordulhat, hogy az erőmű veszteségesé válik. Hosszú távon akár meg is szűnhet. Ez esetben a kieső termelést pótolni kell: külföldről kell megvásárolnia az államnak, mégpedig piaci áron. Így a rövid távú (látszólagos) nyereség később egyértelmű veszteséggé válhat. Az energiaszektorban létrejövő/létrehozott problémák – természetüknél fogva – minden más szektor számára is problémaként fognak jelentkezni.

12. Energiatermelés rendszere (Dr. Pitrik József)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Az energiatermelés az emberrel összefüggő fogalom. Az ember energetikai szükségleteinek kielégítésére irányuló tevékenység. Az energiatermelés során az ember számára használhatóbb állapotú energiahordozót hoz létre. Ahhoz, hogy a különféle energiahordozókat hasznosíthatóvá alakítsuk, „egy sor technikai tevékenységre, értékteremtő munkára van szükség.”⁵⁴

Az energiatermelés lényegileg az energiahordozó állapotának átalakítása. Az állapotváltoztatások energiatárolással járnak, azaz az átalakítás hatásfoka kisebb, mint 100%.¹

Az életfunkciók ellátásához szükséges energiát táplálékkal viszi be az ember a szervezetébe. Ennek energiataralma naponta 10–13 MJ. Ez fedezi a belső életfunkciók energiáját, a test hőmérsékletét, a fizikai mozgást, a munkavégzést. Az ember naponta ~3 MJ munkavégzésre képes. Az emberi izomerő teljesítménye optimálisan: 100 W.⁵⁵

Feladat

Számolja ki az alábbi adatokat! A szükséges alapadatokat a 7.3. táblázatból keresse ki!

Egy évre eső órák száma:

Egy évre eső munkaórák száma:

Egy liter benzín/gázolaj/propán-bután/... fűtőértéke:

Az évi munkaóra (fizikai) üzemanyagra átszámolt hőegyenértéke:

Az ember igényei egyre inkább nőttek, ezért az izomerő már nem felelt meg a szükségletek kielégítésére. Ezek: az anyagok mechanikai, kémiai, fizikai átalakítása, szállítása, világítás, hő felhasználása,... Az alapvető szükségletek mellett mind előtérbe kerültek a kényelmi (és a luxus) szükségletek, amelyek kielégítése a természeti erőforrások kiaknázásával, felhasználásával történt. Az embernek nem az energiára, hanem az energia nyújtotta szolgáltatásokra van szüksége. Az emberi fejlődés során mindig újabb és újabb szükségletek lépnek fel, s ezek az energiapotenciál mind jobb felismerésére és kihasználására ösztönzi az emberiséget, az egyes országokat.

Az emberi izomerő „kímélésére” kezdetben az állati vonóerőt alkalmazták, majd a szél és a víz energiáját hasznosították, elsősorban a szállítás, és az anyagok megmunkálása területén. A tűz energiáját melegedésre, főzésre, világításra, információ továbbításra is használták. A tüzelőanyagot a lakókörnyezet közelében gyűjtötték, a növények megújulását nem gátolták. A Nap energiáját szárításra, tartósításra, melegedésre közvetlenül hasznosították, de közvetett alkalmazások (víz melegítése, „fotoszintézis tudatos alkalmazása”) is kezdtek előtérbe kerülni.

A rövid történeti összefoglalóból is világosan látható, hogy az ember – az ipari forradalomig – a megújuló energiákat használta, nem megújuló energiaforrásokat csak esetenként alkalmazta.

12.1. Energiatermelés szerkezete

Az energiatermelés tehát tudatos tevékenységek együttese, amely tartalmazza az energiaforrás megismerését, felismerését, a kiaknázás megoldását, a szükséges átalakítások tervét és időben, térben való rendelkezésre állását. Ha az energiahordozó közvetlenül igénybe vehető, akkor elsődleges (primér) forrásokról beszélünk. Ha átalakítás után használjuk fel:

⁵⁴ Szűcs Ervin–Schiller István: technika és energia II. Tankönyvkiadó, 1987. pp. 28–86.

⁵⁵ Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, 2001. pp. 13–15.

másodlagos, harmadlagos,... energiahordozónak tekintjük. Így valamely alap energiahordozóból kiinduló energiaátalakítási láncot vertikumnak nevezzük. Mivel az energiahordozók egy jelentős része makro szinten is „tanulmányozható”, ezért a kiindulást jelentő nyersanyag-energia kapcsolatot felismerhetjük, jellemezhetjük.

12.1.1. Tűzifa

Történeti példaként említhetjük, hogy az ember környezetében lévő természetes erdőségek terméseit élelmezésre, a lehullott leveleket, ágakat égetésre, füstölésre használták, a fatörzsekből használati tárgyakat (bútorokat, csónakokat, házakat, ...) készítettek, gondosan ügyelve arra, hogy az erdő ökoszisztéma a lehető legkevésbé sérüljön. A fejlődés felgyorsulása következtében mind több fatörzset tüzeltek el, így a megújulás lehetőségét gátolták. Az egyes energiatermelési módok tehát folyamatosan változtak. Az ember tudat alatti (ösztönös) vagy tudatos környezeti szemléletének függvényében úgy is átalakíthatta környezetét, hogy az hosszabb távon is „rendelkezésére” álljon. A mai tudatos erdőgazdálkodás fontos elemei: az élőfa készlet változás adatbázisa, a fahozamok ismerete és a termelési módok és megoszlásuk ismerete (**88. ábra**: Tüzelési célú rönkök átmeneti tárolása (Fotó: Révész T.)).

Egy adott – faanyag kitermelést szolgáló – erdőterületen az alábbi kitermelési módok lehetségesek (**12. táblázat**):

- *Minőségi fatermelési cél* esetén legalább 25 cm (kéreg nélküli) mellmagassági átlagátmérő elérése és a bruttó fakészlet 20%-ának I. osztályú fűrészrönkként és falemezipari alapanyagként való felhasználása.
- *Mennyiségi fatermelési cél* esetén (kéreg nélküli) mellmagassági átmérő nem érheti el a 18 cm-t és a kivethető rönk aránya a bruttó fakészlet 15%-alatt marad.
- *Alternatív fatermelési cél*: esetén az adottságok jobbak a mennyiségi fatermelési célnál.⁵⁶

12. táblázat: Fatermelési cél szerinti területmegoszlás hazánkban, 2001-ben Forrás: Állami Erdészeti Szolgálat: Magyarország erdőállományai 2001. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest, 2002. pp. 62–63.

	Minőségi fatermelés	Alternatív fatermelés	Mennyiségi fatermelés	Készlet megőrzés	Összes erdő
	ezer hektár				
Mindösszesen	90,1	594,5	487,9	2,0	1174,5
%	7.7%	50,6	41,5	0,2	100%

A biomassza és ezen belül a tűzifa közvetlen energetikai felhasználása az utóbbi évtizedekben visszaszorul. A fahulladék hasznosítására fabrikettet és fagranulátumot (pellet) állítanak elő. Ezek korszerű tüzeléstechnikai eszközökben jó hatásfokkal eltüzelhetők. Mivel a fa energetikai hasznosítása megújuló energiaforrásnak tekinthető, ezért az utóbbi években alternatív és kapcsolt rendszerekben alkalmazzák. Alapvető tulajdonságaik: a tömör szerkezet, kis víztartalom, magas fűtőérték és jó kezelhetőség.

⁵⁶ Állami Erdészeti Szolgálat: Magyarország erdőállományai 2001. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest, 2002. pp.58–63.



88. ábra: Tüzelési célú rönkök átmeneti tárolása (Fotó: Révész T.)



89. ábra: Fabrikált pellet (Forrás: <http://brikett.ewk.hu/a-rikettalasarol>)

12.1.2. Szén

Az ásványi szén főként mocsár- és láperdőségekből katasztrófa (földkéreg mozgások, jégkorszakok) hatására keletkezik speciális feltételek (nagy nyomás és hőmérséklet) mellett. A lebontást a ráakodott ásványi anyagok gátolják, szabályozzák. Az ún. szénülés folyamatában az illó anyagok egy része eltávozik, a széntartalom növekszik, a víz és meddő tartalom csökken.

A víz egy része a szállítás és feldolgozás során kerül a szénbe, másik része a higroszkopikus víz, amelyet a szén felülete abszorbeál és a kapillárisokban tárol. A nedvességtartalom gátolja az égést, elpárologtatására hőt von el, így az égés bizonytalanná válik. A nedvességtartalom közvetlenül és közvetve is (az SO_2 és az SO_3) kénessavvá és kénsavvá való átalakulása) korróziót hozhat létre.

Az égés utáni szilárd maradék a hamu, amely származhat az eredeti fatestekből (primér), a letakaró rétegekből (szekunder) és a fejtésből-szállításból (tercier). A szén hamutartalmának fő alkotói: ⁵⁷

SiO ₂ – kavasav: 11–60%	Al ₂ O ₃ – alumínium-oxid: 6–35%
Fe ₂ O ₃ – vas-oxid: 2–35%	MgO – magnézium-oxid: 0,3–9%
P ₂ O ₅ – foszfor-pentoxid: 0–3%	CaO – kalcium-oxid: 1–30%.

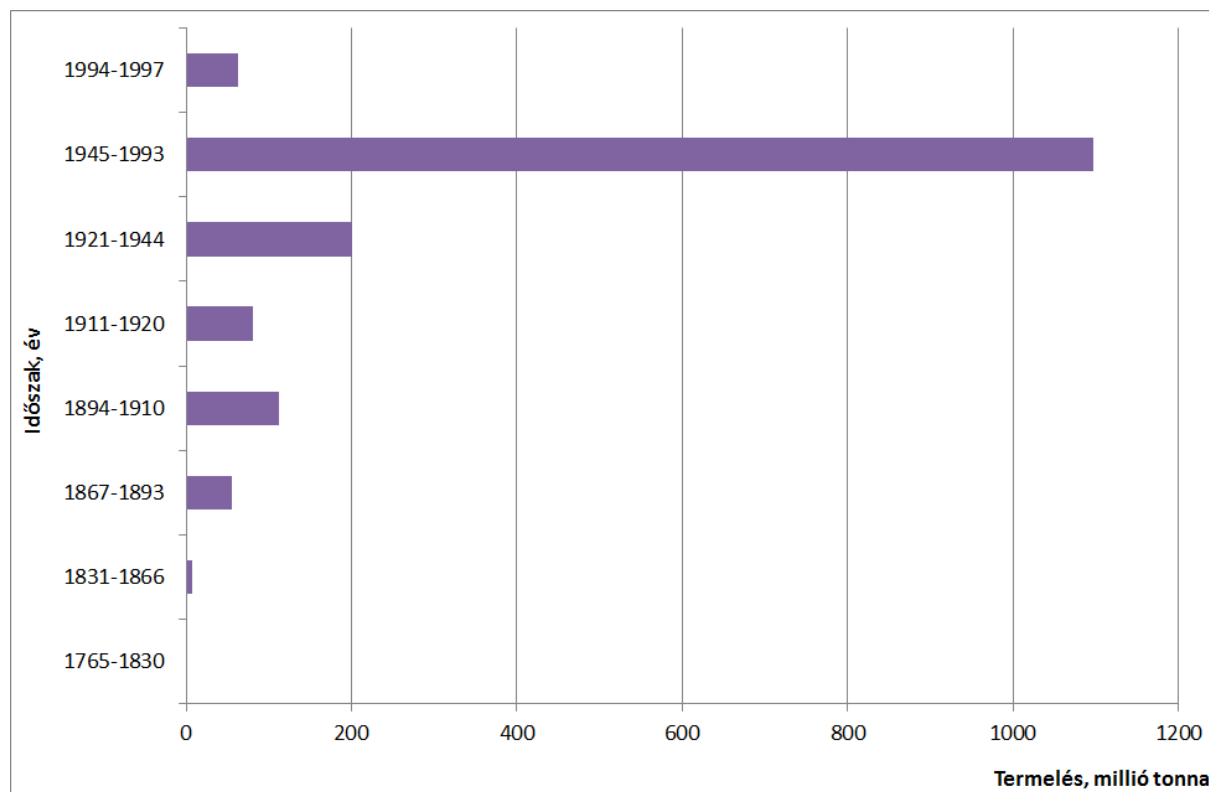
A szenek kora néhány millió évtől mintegy 0,6 milliárd évig terjedhet. A legfiatalabb hazai szén a lignit, melynek szerkezete még fás jellegű. A barnaszeneink 60–75 millió évesek, míg a feketeszenek kora 300–350 millió év.

A szeneket különböző telepkibúvások révén régóta ismeri az ember, de szervezett felhasználása az ipari fejlődés következménye. Hazánkban 1753-ban Brennbergbányán nyitották az első bányát. Ezt továbbiak követték: Verőce – 1768; Dorog – 1782; Vasas – 1786; Sajókaza – 1786. ⁵⁸ Kőszenekeket és külszíni fejtést mutat a **90. ábra**.

A termelt kőszén mennyiségét a **13. táblázat** mutatja 1765-től 1997-ig. A hazai termelés legnagyobb értéke a hatvanas években: ~31 millió t/év. 1765–1997-ig a termelés meghaladta a az 1,6 milliárd tonnát, amely a jelenleg ismert hazai szénvagyon (~ 10000 millió tonna) ~ 16%-a. ⁵

A hazai primér és szekunder energiaforrások fontosabb jellemzőit a **14. táblázat** foglalja össze.

13. táblázat: Magyarország kőszéntermelése Forrás: Mészáros E.–Schweitzer F. (szerkesztők): Magyar Tudománytár – Föld, Víz, Levegő. MTA Társadalomkutató Központ – Kossuth Kiadó, Budapest, 2002. pp. 297–306.



⁵⁷ Szűcs Ervin–Schiller István: Technika és energia II. Tankönyvkiadó, 1987. pp. 28–86.

⁵⁸ Mészáros E.–Schweitzer F. (szerkesztők): Magyar Tudománytár – Föld, Víz, Levegő. MTA Társadalomkutató Központ – Kossuth Kiadó, Budapest, 2002. pp. 297–306.

14. táblázat: Primér és szekunder energiahordozók fűtőértéke Forrás: <http://brikett.ewk.hu/futoertek> (Égéshő: az a hőmennyiség, amely 1kg tüzelőanyag elégetésekor keletkezik. Fűtőérték: az anyag égéshőjéből kivonjuk a füstgázzal együtt gőzként távozó

	Fűtőérték, MJ/kg,	Nedvességtartalom, %	Megjegyzés
Fafajták			
Frissen vágott	6,8		
Bükk	15,12	15	
Tölgy	15,12	15	
Akác	14,76	15	
Gyertyán	15,12	15	
Nyár	15,12	15	
Lucfenyő	15,84	15	
Fabrikett	16–19		
Pellet	18		
Biobrikettek	14,5		
Búzaszalma	15,42	6,3	
Kukoricaszár	15,49	6,2	
Napraforgóhéj	17,22	7,1	
Repce, szója	14,87	8,7	
Fűrészpor	16,84	6,1	
Szenek			
Lignit	3,5–10		
Barnaszén	10–17		
Feketeszén	17–33		
Szén brikett	20		
Koksz	23,5		
Kőolaj	44		
Benzin	42,5		
Gázolaj	44,5		
Petróleum	42,0		
Földgáz	39,5		
PB-gáz	52,0		
Hidrogén gáz	120,5		
Biodízel	37		



90. ábra: Gyöngyösvisontai külszíni fejtés Külszíni bánya / Szállítószalag; Széntér / Szénfelszedő; Bánya víztelenítő rendszere (Fotó: Pitrik J.)

12.1.3. Kőolaj, földgáz

A kőolaj és a földgáz különböző szénhidrogén vegyületek keverékéből áll. A szénhidrogének a tengerekben és tavakban lerakódó üledékek szerves eredetű anyagaiból keletkeznek, betemetődés és magas hőmérséklet (70–150 °C) esetén. A szénhidrogénre a vándorlás jellemző, amely addig tart, amíg a folyékony részek mozgását zárórétegek meg nem akadályozzák. A csapdába került gáz, kőolaj és víz a tároló kőzetekben víz-, kőolaj- és földgáztesteket alkot.

A szénhidrogéneket – mai ismereteink szerint – Mezopotámiában és Kínában használták először: kötőanyagként (aszfalt), víztaszító, világító és fűtési anyagként. Pennsylvániában

Edwin L. Drake ezredes 220 m-re fűrt, s onnét naponta 20–25 hordó (42 gallonos (=159 liter)) kőolajat termelt. Hazánkban 1075-ben a szurok, 1309-ben az olaj szavakat említik írásbeli források. 1536-ban éghető „ragacsos” földről tesznek említést, azzal a megjegyzéssel, hogy szaga kellemetlen. Megismerésére mind több „energiát” fordítottak, 1860-ban megjelentek az első petróleum lámpák, majd olajfinomítók létesültek, amelyek külföldi olajokat dolgoztak fel. A hazai kutatások és termelés 1937-ben indult el Budafapusztán (=Bázakerettye). Főbb szénhidrogénmezők: Lovászi – 1940, Nagylengyel –1951, Hajdúszoboszló – 1958, Üllés – 1962, Zsana – 1978, ...^{59, 60}

2007. évi hazai adatokat tekintve:⁶¹

– Földtani kőolajvagyon	207,0 Mt
– Még kitermelhető kőolajvagyon	19,2 Mt
– 2007-ben kitermelt kőolaj	1,9 Mt
– Földtani földgázvagyon	5307,05 Gm ³
– Még kitermelhető földgázvagyon	3355,29 Gm ³
– 2007-ben kitermelt földgáz	2,65 Gm ³

12.2. Energiatermelés harmonizálása

A nem megújuló energiahordozók (primér és szekunder) aránya és termelt mennyisége természetesen az emberiség története során különböző okokból kisebb-nagyobb mértékben változott. A közvetlen – lokális – okok mellett közvetett okok is mind nagyobb szerepet kapnak a szerkezet változásában.

A termelt energiának meg kell felelnie a szükségleteknek. Globális egyeztetés nem elegendő, hiszen például a főzéshez, fűtéshez az emberiség története során főként a tradicionális energiahordozók feleltek meg. Az egyensúly hiánya problémafelvetéseket generált, melyre az adott kornak megfelelő válaszokat tudták adni, annak szellemében tudtak beavatkozni.

A harmónia érdekében az alábbi szempontok kerültek előtérbe:

- Az egyes energiahordozók „termelését” a szükségletekhez kell igazítani térben és időben. Ez a problémakör szerteágazó: ha a gőzmozdonyok üzemeltetéséhez szükséges erdőt kivágták, akkor azt helyettesítő szén feltárására és bányászatára volt igény. A szén szállításához újabb vasút vonalakat kellett építeni és mind kisebb fogyasztású gőzmozdonyokat kellett konstruálni.
- A különböző energiahordozókhöz való hozzáférési adottságok eltérőek, így egyes helyeken olcsón, nagy mennyiségben tudtak termelni, míg más területeken hiány lépett fel és a költségek egyre magasabbra emelkedtek. Egyszerre volt (van) jelen a túltermelés és a hiány. Ez az állapot vezetett az energia import-export kialakításához, a függőségi viszonyok létrejöttéhez. Ez a folyamat ma is megfigyelhető a földgáz import-export ügyleteknél.
- Folyamatosan újabb és újabb forrásokat kell feltárni és olyan átalakítási technológiákat kell kidolgozni, amelyekkel előállított energiahordozók kiválthatják a hiányt, vagy alternatívát kínálnak egyes hordozók „cseréjére”.
- Az energiafogyasztás és az ezzel összefüggő CO₂ szennyezés főbb mutatóit foglaltuk össze az alábbi táblázatban (2004).

⁵⁹ E-jegyzet: Optimalizálás az olajiparban. Pannon Egyetem-BME, 2008. pp. 1–17.

⁶⁰ Mészáros E.–Schweitzer F. (szerkesztők): Magyar Tudománytár – Föld, Víz, Levegő. MTA Társadalomkutató Központ – Kossuth Kiadó, Budapest, 2002. pp. 287–297.

⁶¹ Magyar Bányászati és Földtani Hivatal: <http://www.mbfh.hu>

15. táblázat: Energiafogyasztási és szennyezési adatok összehasonlítása

	EU-27	Magyarország
Egy főre jutó energiafogyasztás	3689 kgoe/fő	2591 kgoe/fő
Energiaimport függőség	50,1%	60,8%
CO ₂ kibocsátás	2,2 tCO ₂ /toe	2,1 tCO ₂ /toe
Egy főre jutó CO ₂ kibocsátás	8180 kg/fő	5365 kg/fő

Az energiatermelés-fogyasztás összefüggésben van a különböző földrészek fejlettségével, a lakosság életszínvonalával. A primér tüzelőanyagok felhasználása (1994): Észak-Amerikában 325 GJ/fő/év, Ausztrália-Óceániában 205 GJ/fő/év, Nyugat Európában 136 GJ/fő/év., Közép- és Délamerikában 35 GJ/fő/év, Ázsiában 24 GJ/fő/év, Afrikában 13 GJ/fő/év. Az egyes országok világátlagához viszonyított egy évre eső fejenkénti végső energiafelhasználás arányai jelentősen eltérnek: USA: 4,10; Magyarország: 1,50; Kína: 0,33. Nyugat-Európa: 2,20.⁶²

⁶² Kovács F.–Lakatos I.: Globális kőolajkészletek és ellátottság a XXI. Században – történeti áttekintés. In: A Miskolci Egyetem Közleményei. A sorozat. Bányászat. 75. kötet (2008). Pp. 65–101.

13. Energiatermelő rendszerek üzeme (Dr. Pitrik József)

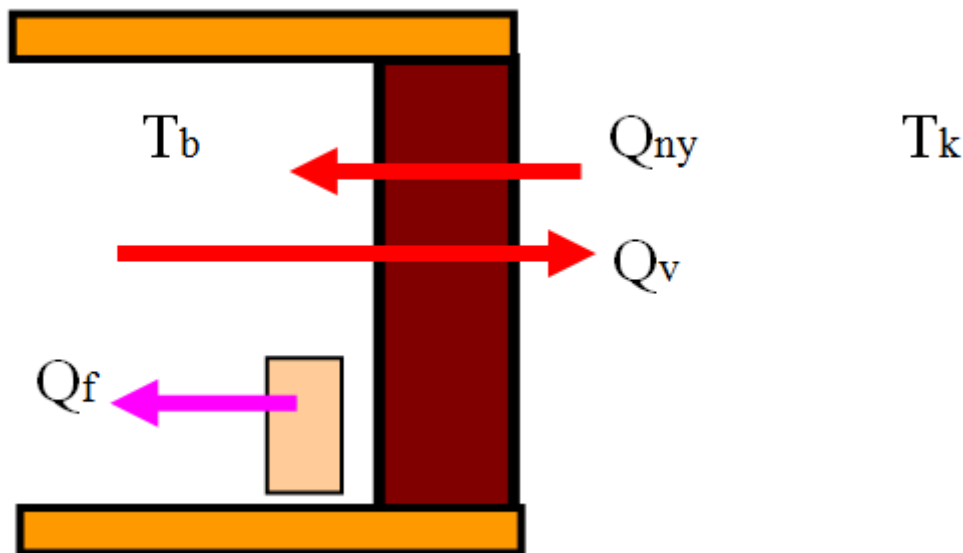
Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Az energia „termelését” (=átalakítását) műszaki berendezésekben valósítjuk meg. Az ember sütési-főzési feladatokra tűzhelyeket, fűtés biztosítására: kandallókat, kályhákat alkalmaz.

A klasszikus berendezések szilárd tüzelőanyaggal működnek, de ma már gáz-, olaj-, elektromos működtetésű berendezéseket is alkalmaznak. Az ún. egyedi fűtés esetén a fűtendő helyiségbe szállított kémiai, vagy villamos energiát a helyiségben alakítják át hővé.

13.1. Hőszükségletszámítás alapjai

Az épületekben, a lakásokban kellemes közérzetet (és hőérzetet) kívánunk biztosítani. Az elvárt helyiség-hőmérsékletet (T_b) biztosítására hőt vezetünk be, vagy hőt vezetünk el. Téli, fűtési időszakban a hőveszteség és a hőnyereség különbözetét (a hőszükségletet: Q_f) kell közölni a helyiséggel, hogy az „elvárt” hőmérsékletet biztosítani tudjuk.⁶³ A hőszükséglet számítását gondolatmenetét a **91. ábra** követhetjük.



91. ábra: A hőszükségletszámítás elvi ábrája

A szomszédos helyiségek felé irányuló hőveszteséget vagy onnan származó hőnyereséget általában 4 °C hőmérsékletkülönbségnél szokás figyelembe venni.

A helyiség teljes hőveszteségét úgy számolják, hogy különböző pótlékokkal növelik, a Q_v számított transzmissziós hőveszteséget. A hőveszteségszámításnál a speciális adottságokat a következő pótléktényezőkkel szokás figyelembe venni.⁶⁴

⁶³ A hőnyereség (Q_{ny}) adódhat a szomszédos helyiségekből, a talajból-padozatból, a födéből, a Nap sugárzásából; A hőveszteség (Q_v) a falazatokon, födemen és padozaton átáramló hő, amely függ: a felület-elemek területétől, a „falazat” hőátbocsátási tényezőjétől (k) és a belső-külső hőmérsékletkülönbségtől:

$$Q_f = \sum_i^n F_i k_i (T_b - T_k)$$

⁶⁴ Részletesen: Dr. Párkányi György: Kályhák kiválasztása, elhelyezése, gazdaságos üzemeltetése. Műszaki Könyvkiadó, 1988. pp. 30–40.

szélpótlék: p_1 - normál szél (0,5...3 m/s) esetén: 10%; erős szél (3,5...6 m/s) esetén: 20%;
felületi pótlék: p_2 - üzemszünetről függően (8...12...16 óra): 10/15/20%;
kürtőhatás pótlék: p_3 - szinttől függően: 10/0%,
égtájpótlék: p_4 - É, ÉK, ÉNY esetén: 5%, D, DK, DNY esetén: -5%;

A korigált teljes hőveszteség (Q_k) egy helyiség esetén:

$$Q_k = Q_v(1 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4), W$$

A helyiségek hőveszteségeit az épület szerkezeti anyagainak és nyílászáróinak hőátbocsátási tényezője alapvetően befolyásolja. A már meglévő épületeket folyamatosan korszerűsíteni és karban kell tartani. Az elmúlt években sok nagyvárosban az ún. panelprogram keretében a házgyári lakások fa ablakait műanyag ablakokra cserélték, falazatait pótlólagos hőszigeteléssel látták el (92. ábra).



92. ábra: Szegedi panelházak külső fal felújítása és nyílászáró cseréje (2010)

A hőátbocsátási tényezők értékei anyagfüggőek.

Egy hagyományos külső téglafal esetén, vakolattal (38 cm): 1,5 W/m², K.

Vályogfal (50 cm): 1,5 W/m², K.

12 cm-es vasbeton födém és 4,5 cm-es hőszigetelés: 0,64 W/m², K.

Panelfal: 0,8–1,1 W/m², K.

Felújított panelfal és műanyag nyílászárók: 0,38–0,48 W/m², K.

A fűtőberendezések kiválasztásához a hőszükségletet gyakorlati tapasztalat alapján is meg lehet állapítani. Ekkor a helyiség funkcióját, elhelyezkedését, tájolását szokás paraméterként figyelembe venni. Pl. földszinti helyiségek, déli tájolása esetén: 20...25 W/m³ hőszükségletet alkalmazhatunk.⁶⁵

Feladat

Számolja ki egy házgyári lakás szabadon álló külső oldalfalának hőveszteségét felújítás előtti és felújítás utáni állapotra!

A vizsgált fal felülete: 30 m²

A régi fal hőátbocsátási tényezője: $k_1 = 0,9$ W/m², K

A szigetelt fal hőátbocsátási tényezője: $k_2 = 0,48$ W/m², K

A lakás elvárt belső hőmérséklete: $t_1 = 20$ °C

A figyelembe vett külső (méretezési) hőmérséklet: $t_2 = -20$ °C

⁶⁵ Részletesen: Dr. Párkányi György: Kályhák kiválasztása, elhelyezése, gazdaságos üzemeltetése. Műszaki Könyvkiadó, 1988. pp. 30–31.

13.2. Egyedi fűtőkészülékek működése

A lakások fűtéséhez ma még gyakran egyedi fűtőkészülékeket alkalmazunk. Ha mindazon helyiségekben, ahol hőszükséglet van külön berendezést használunk, a lakásban kellemes hőérzetet tudunk biztosítani.⁶⁶

A hagyományos egyedi berendezésekben a tüzelőanyag kémiaileg kötött energiája az égés során felszabadul. Az égéshez szükséges: az éghető tüzelőanyag, levegő és aktiválási energia (hő). Az égési folyamat egy láncreakció, melynek létrejöttét az aktiválási energia (vagy tüzeléstechnikai nyelven: a gyulladási hőmérséklet váltja ki. Az égés akkor tökéletes, ha a tüzelőanyag részecskéi megfelelő hőfokot eléri és a levegő minden éghető részecskével (C, H₂, S) találkozik. Az égés során keletkező gázok (CO₂, H₂O, CO, NO, NO₂, O₃) mellett, korom, pernye, hamu, salak is keletkezhet.

Az égési folyamat egymástól elválaszthatatlan részfolyamatok együttese. Ezek közül néhány: az égéshez szükséges primér levegőt a szerkezeti anyagok és a már részben elégett tüzelőanyag maradványok előmelegítik; az aktiválási hő előállítását könnyen éghető anyaggal (pl. gyújtóssal); a tüzelőanyag előmelegítése a szerkezet és a füstgáz által; a füstgáz és a sugárzó hő felmelegíti a hőtermelő falazatát; a falazat hője hőátadás révén a „kályha” külső felületére jut; a felület sugárzás / kontakt hőleadás / konvekció révén átadja a hőt a környezetnek, a füstgáz felmelegíti a kémény falazatát és környezetét és a szabad térbe jut; a füstgáz ún. transzmissziós folyamatban vesz részt, mely során légszennyezőanyag tartalma hígul, átalakul.

Mivel a berendezés által termelt hő a helyiségben hasznosul, tüzelési „veszteségnek” csak a kémény felületén és a kéményen át távozó füstgázhőt tartjuk. Természetesen nem minden éghető anyag fog elégni, ezért az ez által képviselt hőt le kell vonni a bevitt hőből. A rendszerre vonatkozó tüzeléstechnikai hatások:

$$\eta = \frac{E_h}{E_b}$$

Ahol: E_h – a hasznos energia, E_b – a bevezetett energia.

Természetesen a hatásfok nem állandó, például terheléscsökkenés esetén a hatásfok csökken. Ennek következménye, hogy az igénynek megfelelő kapacitású hőtermelőt kell üzemeltetni.

13.3. Egyedi fűtőkészülékek

13.3.1. Kemence

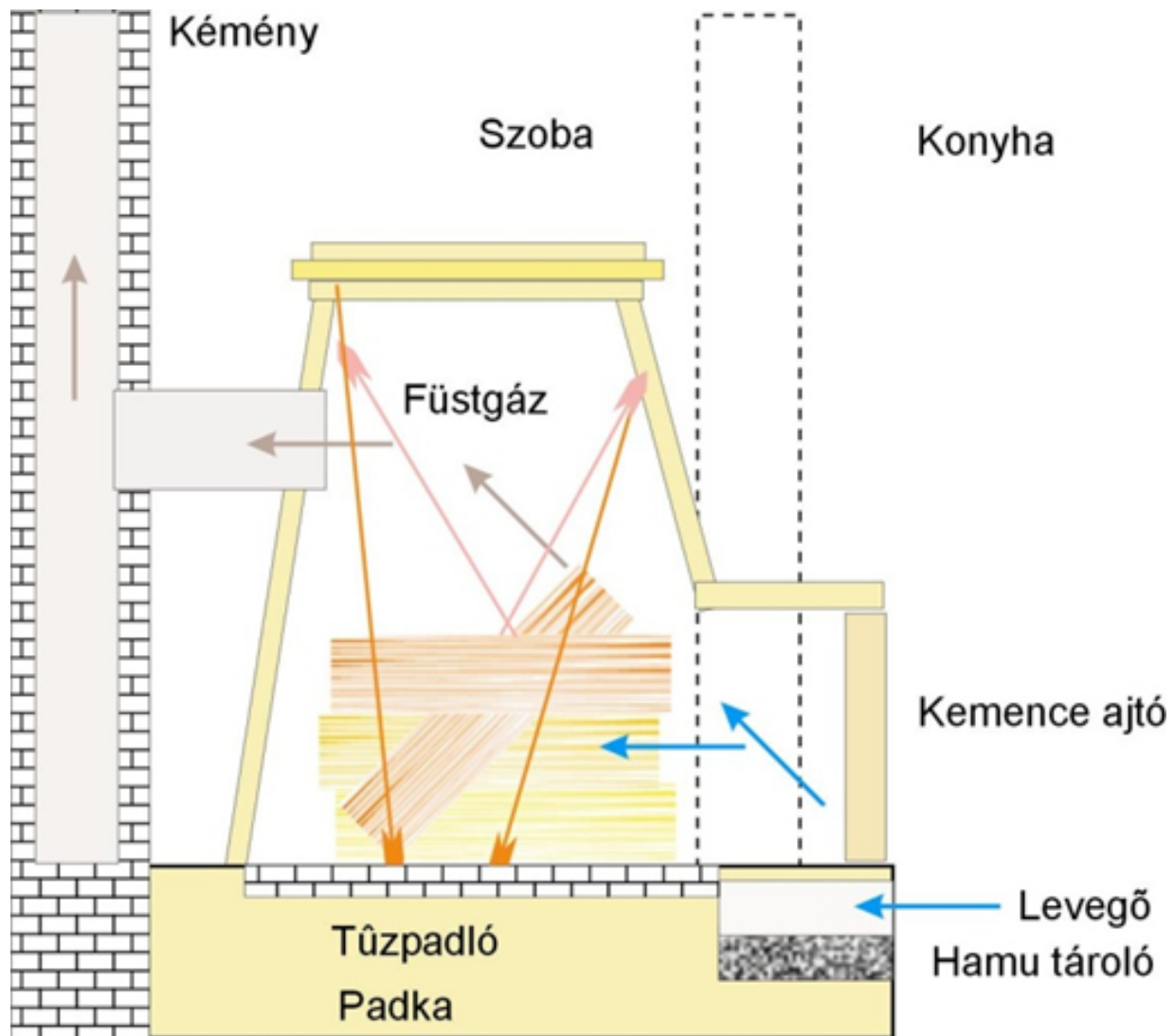
A kemence a magyar tanya jellegzetes sütő-főző fűtő rendszere. Lángkemence, azaz a tűztérben nagy lánggal égő természetes anyagokat, melléktermékeket tüzelnek el: szalmát, kukorica szarát (=száriziket), kukorica tövet, kukorica csutkát, venyigét.

A kemence szakaszos „üzemmódban működik: felfűtik, a láng látható tartományba eső fénysugárzása a boltívről visszaverődik és a téglából (esetleg tűzálló samott) álló tűzpadlót felmelegíti. A tüzelőanyagot elézése után a hamutérbe húzzák ki, majd a kemence tűzterét kisöprik és a kenyeret bevetik, vagy az ételt edényekbe behelyezik. A boltíves részt készíthetik agyagból, törekes agyagból, téglából, cserépből.⁶⁷

⁶⁶ Amennyiben a lakás helyiségeiből csak egyben, vagy néhányban fűtünk, a kellemes közérzet csorbul, s kedvezőtlen folyamatok is „beindulhatnak”: így nedvességtartalom növekedése, penészesedés, szerves építőanyagok bomlása (vályog), kellemetlen szagok létrejötte, a falazat szilárdságának csökkenése, ...

⁶⁷ Szeged környékén vesszőből készített vázszerkezetet tapasztják meg törekes agyaggal. A belső térbe a sugárzó hő jobb hasznosulása érdekében üvegcserépeket nyomnak.

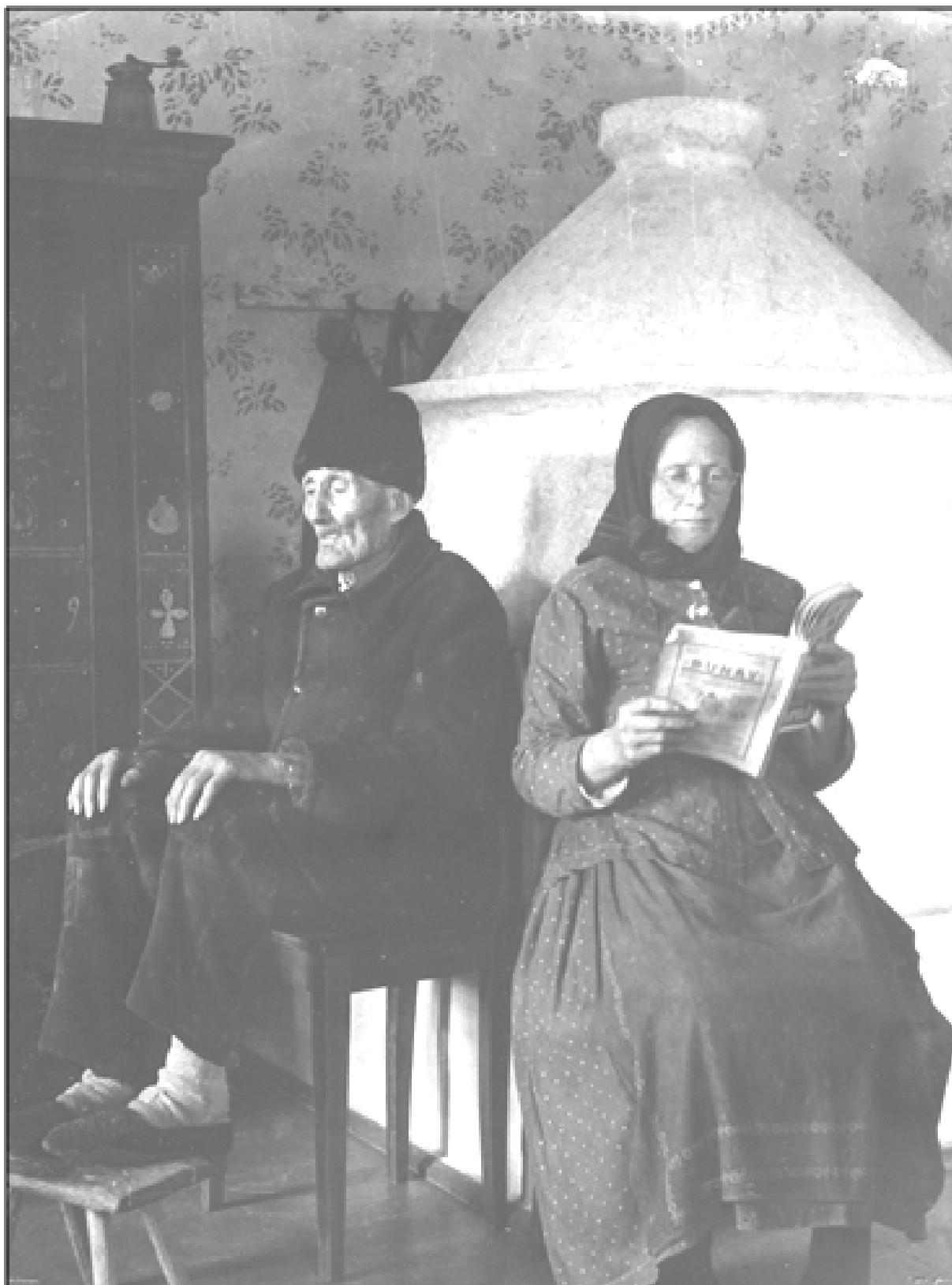
A kemence elsősorban főző-sütő berendezés, ezért a kemence ajtó (törekés agyagból készült félkör alakú tárcsa) a konyhára néz. A felfűtést is itt végzik. A kemence „test” a tisztaszobában helyezkedik el, gyakran egy sarokban. A kemencét „ülő alkalmatossággal (padkával) építették meg. Melegedni csak kontakt hőátadás révén, nekitámaszkodva lehet. A kemence a szoba fűtésére alkalmatlan, mert a felületi hőmérséklete alacsony. (93. ábra, 94. ábra, 95. ábra)



93. ábra: Kemence működési elve (Szerkesztette: Pitrik J.)

13.3.2. Kandalló

A kandalló tipikus fűtőberendezés, amelynek belsőépítészeti térformáló szerepe is van. Hagyományosan nyitott tűzterű, falazott rendszer, amely a kéménnyel gyakran egy egységet alkot. Tüzelőanyaga a fahasább, melynek lángja sugárzó hőt bocsát ki és a kandalló előtt tartózkodókban kellemes hőérzetet vált ki. Konvekciós hatás minimális. Egyre inkább terjed a öntöttvasból készített, üvegajtóval ellátott kandalló. A kandalló nem csak nagy terű helyiségekben, hanem szabadterén is használható (96. ábra).



94. ábra: Kemence, mint kontakt hőleadó



95. ábra: Elhagyott tanyák kemencéi. (Fotó: Hegedűs A.)



96. ábra: Kandallók. (Fotó: Pitrik J.)

13.3.3. Cserépkályha, kandalócserépkályha

A cserépkályha kályhacsempékből gyártott falazott, nagy felülettel rendelkező fűtőberendezés, amelynek tüzelőanyaga lehet: fa, szén, gáz. Általában több huzammal rendelkezik. Kontakt és konvekciós hőátadást valósít meg.

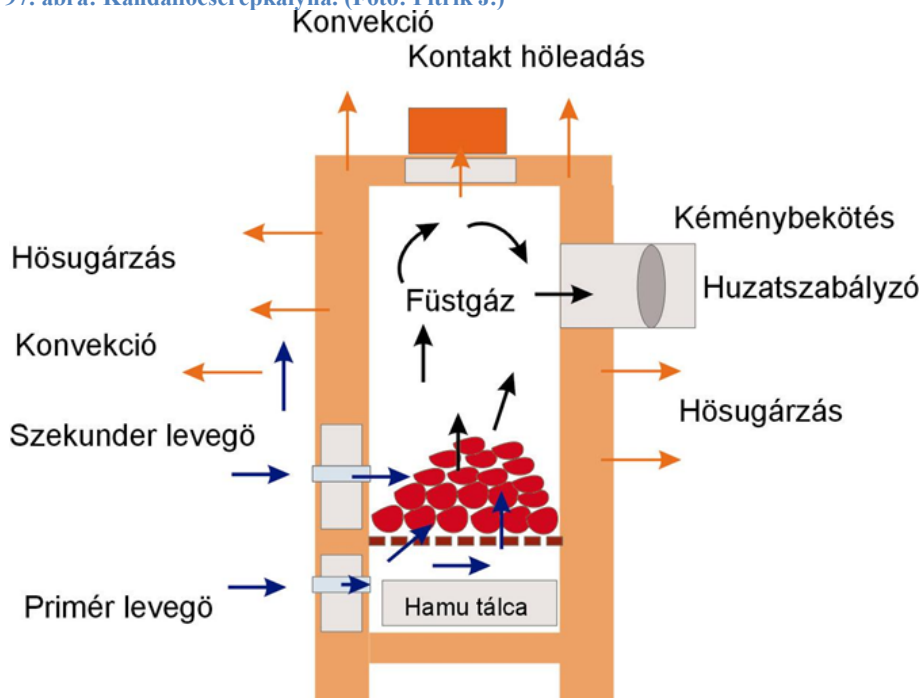
A kandalócserépkályha egy öntöttvas kandalóbetétből és a köré épített falazott cserépkályhából áll. Tüzelőanyaga: a tűzifa, melynek sugárzó hője felmelegíti a cserépkályha falazat belső felületét és az üvegajtón keresztül hőszugárzás érvényesül. A kandalóbetét és a cserépkályha közötti levegő felmelegszik és a kályha szellőzőnyílásán keresztül feláramlik, ezzel konvekciós körforgást hoz létre. (97. ábra)

13.3.4. Kályha

A kályha klasszikus tüzelőeszköz, melynek számtalan szerkezeti változata ismert: egyszerű lemez (dob) kályhák, egyaknás öntöttvas kályhák, egy és kétaknás falazott kályhák. Tüzelőanyaga lehet: tűzifa, pellet, fűrészpor, szén (barnaszén, iszapszén, brikett, koks), tüzelőolaj, propán-bután gáz, földgáz. A kályha fő szerkezeti részeit és működésének elvét a **98. ábra** szemlélteti.



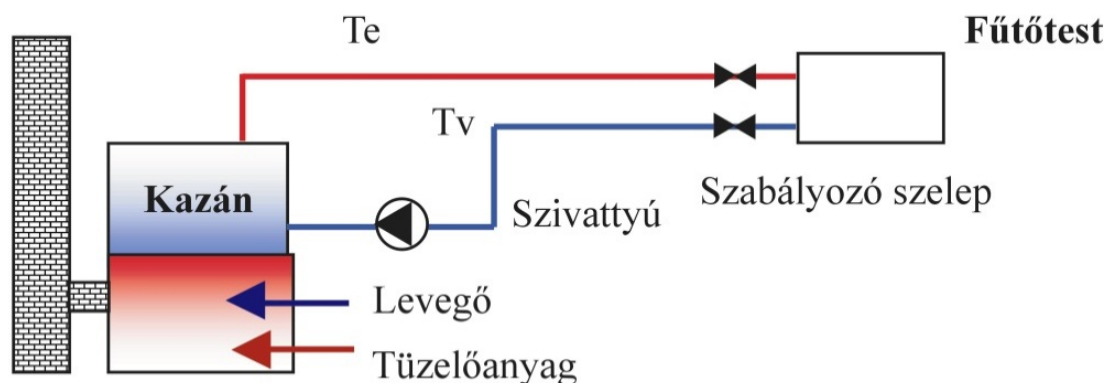
97. ábra: Kandallócserepékályha. (Fotó: Pitrik J.)



98. ábra: A kályha szerkezete és működése (Szerkesztette: Pitrik J.)

13.4. Központi fűtőkészülékek működése

Az egyedi fűtés munkaigényes, teret foglaló és költséges megoldás, de a legfőbb ok, amiért évezredek óta központosított rendszerek tervezésére és megvalósítására törekedtek, az, hogy a fűtőberendezés folyamatosan, „rejtve” működjön. Ehhez az egyedi fűtőberendezés három funkcióját: a *hőtermelést*, a *hőszállítást* és a *hőleadást* szét kell választani. A fűtési rendszer egyik lehetséges megoldását a **99. ábra** szemlélteti.



99. ábra: Melegvíz központi fűtés elve (Szerkesztette: Pitrik J.)

A tüztérben elégetett tüzelőanyag (gáz, fa, szén, olaj) felszabadult hője felmelegíti a kazánban lévő vizet, melyet melegvíz, forróvíz vagy gőz formájában a fűtőtestbe vezetjük. A fűtőtest leadja a hő egy részét a környezeti levegőnek, miközben lehül. A lehült vizet egy szivattyú segítségével nyomjuk be a kazán vízterébe.

A kazán tüztére és víztere egységet alkot, a víztér lehet egy kazándob, egy csővezeték-rendszer vagy a kettő kombinációja. A csővezetékben áramló víz hőmérsékletét az égés szabályozásával, illetve a víz mennyiségi szabályozásával lehet kézben tartani.

A hálózat lehet: egyszintes, két vagy többszintes. A többszintes rendszer lehet: felső-, alsó és vegyes elosztású. Többszintes rendszereket egycsöves vagy kétcsöves szerkezetben tervezik. A fűtőtestek hőleadása lehetséges: konvekcióval, konvekcióval és sugárzással, sugárzással és kontakt módon. Konvektor: olyan fűtőtest, mely főként konvekcióval (70–90%) adja le a hőt. Radiátor: esetén a konvektív / sugárzó hő aránya ~60/40%, sugárzó fűtőtestek esetén 90/10%.

A központi fűtésrendszer méretezésének alapelvei megegyeznek az egyedi fűtésnél bemutatott eljárással.

13.5. Központi fűtések

A központi fűtésekre vonatkozó fenti leíráson túl néhány fontos jellemzőt és műszaki megoldást emelünk itt ki.

A központi fűtések a kiterjedésük nagyságával is lehet jellemezni. A legegyszerűbb megoldás az ún. *lakásfűtés*. A hő előállítása, elosztása és leadása egy lakótérben történik. Ide sorolhatók azok a lakóház fűtések is, melyekben egyetlen lakás van. A *házfűtés* többszintes, egy közös hőelőállító (hőcserélő) berendezéssel rendelkezik. Ezeket a tetőtérben vagy a pinceszinten szerelik. Működésük automatikus. Lakótelepek, nagyobb lakóegységek fűtésére

használják a *távfűtést*, városrészek fűtési rendszere a *városfűtés*. A központi fűtés ezen nagyrendszerek tervezése során energetikai, biztonságtechnikai és gazdasági szempontokat vesznek figyelembe.

A távfűtéses rendszerekhez kapcsolt házak fűtését gyakran függetlenül kívánják üzemeltetni, ilyenkor olyan hőközpontokat alakítanak ki, amelyek hőmennyiség mérővel (és gyakran a radiátorokon hőmennyiség elosztóval van ellátva).

A hagyományos központi fűtőrendszereket gravitációs fűtésként alakították ki, ma már az anyagtakarékosabb szivattyús fűtések alkalmazásának.

A fűtési rendszereket biztonsági berendezésekkel (biztonsági szelepekkel, hasadó tárcsákkal, szintmérőkkel, hőmérőkkel, légbeszívókkal és tágulási tartállyal) kell felszerelni.

13.6. Egyedi és központi energiatermelő rendszer üzeme

A fűtés alapvető célja a kellemes közérzet biztosítása. Ezt ésszerű takarékosan szeretnénk biztosítani. Esetenként eltérünk az „ideális” hőmérséklettől (Pl. szellőztetéskor, főzéskor, éjszaka, elutazáskor,...), de általában kerüljük a túlfűtést.⁶⁸

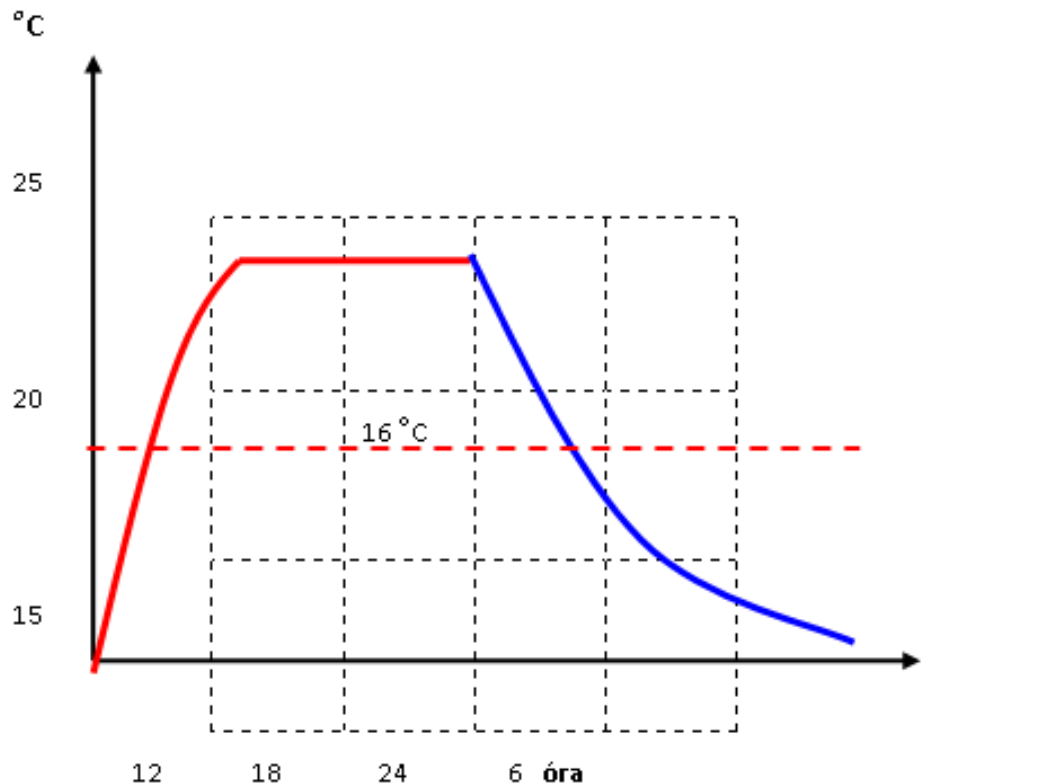
Egyedi fűtés esetén a szabályozást a tüzelés tudatos irányításával, a helyiség hőmérséklet és a hőérzetünk figyelésével, a kályha-levegő és huzat célszerű beállításával érhetjük el. A helyiség fűtése *szakaszos*, mert kezdeti felfűtést egy állandósult üzem, majd egy lehülési folyamat követi. A kezdetben közölt többlet hő egy része a falakat felmelegíti, így a lehülést a falakban tárolt hő késlelteti. Ez a hőmérsékletváltozás a falakban jelentős hőingadozást okoz. A túl nagy hőingadozás a padozat, a bútorzat, az ember számára sem kedvező.

Központi fűtés esetén az egész házra, lakásra vonatkozóan egyenletes, *folyamatos*, szabályozott fűtést tudunk megvalósítani, így a felfűtési veszteségektől eltekinthetünk. Az állandó hőmérséklet biztosítása nem minden esetben szükséges, ezért akár egy napon belül különböző igényeknek megfelelő *programozott* menetrend biztosítható.

Természetesen az egyedi fűtés esetén is megvalósítható a folyamatos, illetve a programozott menetrend (Pl. gázkonvektor, elektromos kályha, szabályozott olajkályha esetén).

A központi fűtés egy nagyrendszer, amely általában egy hőtermelő berendezésből, egy kiterjedt csőhálózatból és különböző szinteken elhelyezett hőleadókból áll. Klasszikus esetben a hőleadók homogének, de ma már radiátorok, csőregiszterek, padló / fal hőleadók változatos rendszere alkotja.

⁶⁸ Dr. Párkányi György: Kályhák kiválasztása, elhelyezése, gazdaságos üzemeltetése. Műszaki Könyvkiadó, 1988. pp. 24–25



100. ábra: Fűtött helyiség napi hőmérséklete – szakaszos fűtés (Szerkesztette: Pitrik J.)

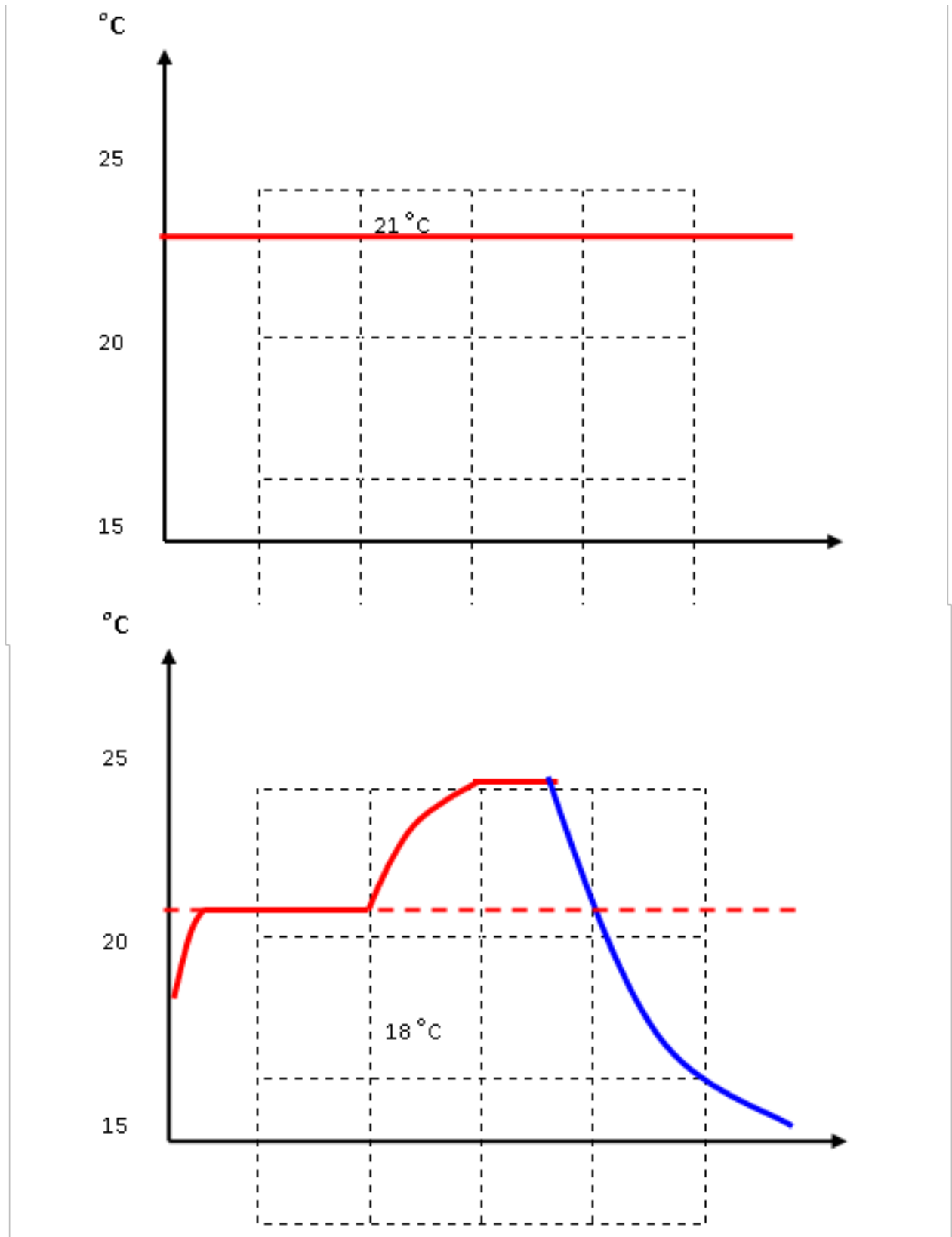
13.6.1. Stacioner és instacioner állapot

A fentiek alapján érzékelhető, hogy a fűtés elsősorban a környezeti meteorológiai állapot (hőmérséklet, páratartalom, szélsébség,...), az épület tájolása, az épület szerkezeti tulajdonságainak, a fűtőrendszer működési jellemzőinek és az egyéni igénynek a függvénye. Szakaszos fűtési menetrend esetén a felfűtés során bevezetett energia egy jelentős része a tüzelőanyag előmelegítésére, meggyújtására, és a fűtési rendszer előmelegítésére szolgál. Az égés kezdeti szakaszában a veszteségek jelentősen nőnek: sok az elégetlen tüzelőanyag, a füstgáz koromtartalma magas, hőmérséklete alacsony. Ez a szakasz a füstgáz vizsgálatával követhető. A kezdeti instacioner szakasz után kialakuló kvázistacioner állapotban a veszteségek csökkennek, a hőveszteségekkel arányos hőleadás történik.

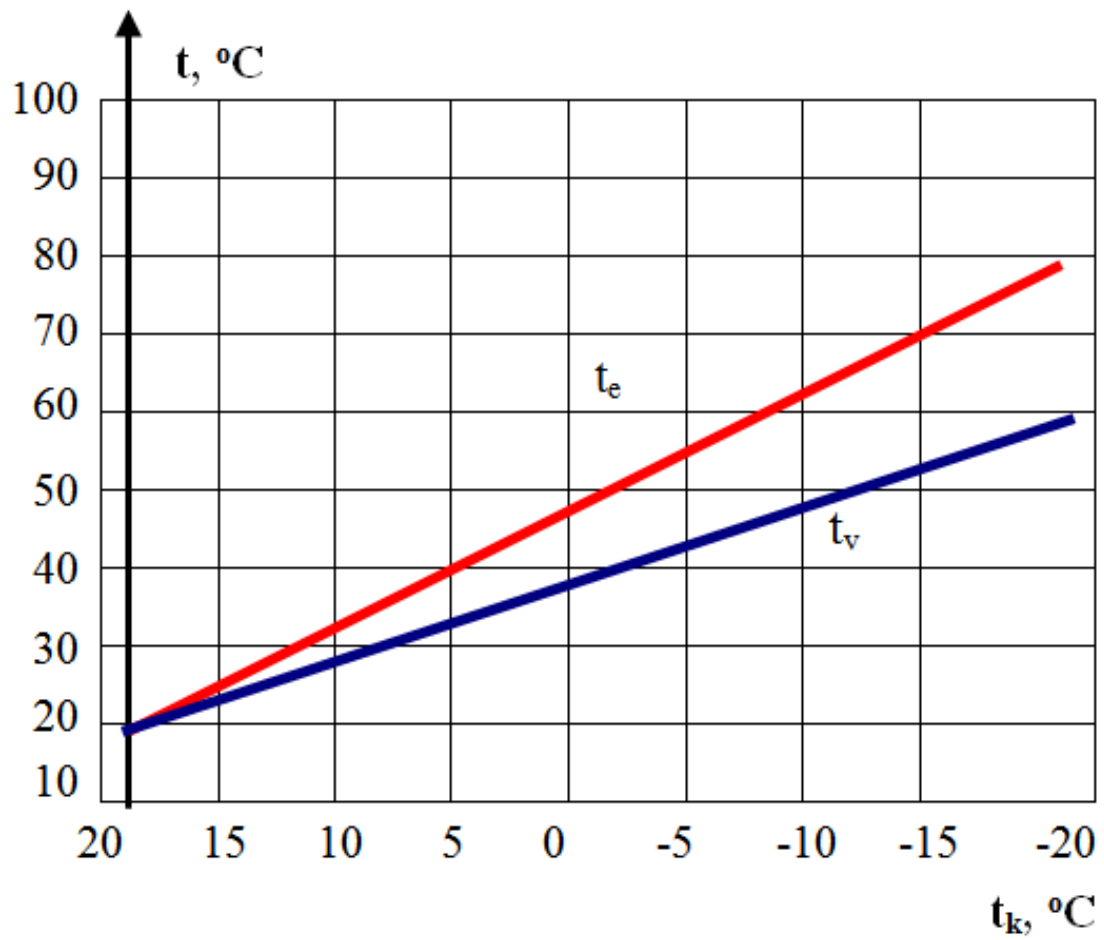
Folyamatos fűtés esetén lényegileg csak a hőveszteséget kell pótolni, ez azonban napi-havi-évi intervallumban is lényegileg a T_b és a T_k különbségétől függ. Ez természetesen azt jelenti, hogy instacioner, vagy kedvezőbb esetben (lassú változások esetén) kvázistacioner üzemmód áll fent.

A programozott fűtés ad megoldást a legkedvezőbb hőtani tulajdonságok elérésére. Minimalizálhatók a veszteségek és a költségek.

A probléma és az összefüggések feltárását segíti a **102. ábra**, amely egy melegvízes központi fűtés szabályozási diagramját mutatja egyszerűsített formában.



101. ábra: Fűtött helyiség napi hőmérséklete – folyamatos / programozott fűtés



102. ábra: Központifűtés szabályozási diagram elve

14. Centralizált és decentralizált energetikai rendszerek és együttműködésük (Dr. Pitrik József)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

A korábban vázlatosan bemutatott – történeti aspektust is érintve – a legfontosabb (nem megújuló) primér energiaforrásokat, ezek keletkezésének és felhasználásának legfontosabb területeit, valamint azokat a berendezéseket, amelyekben ezeket átalakíthatjuk igényünknek megfelelően.

A bemutatott rendszerek hőtermelő berendezések, amelyek – mérsékelt égővi – életünk meghatározó eszközei. Az energiatermelés az energiafelhasználás igényeit „szolgálja”, az összes energiaszükséglet 60–70%-át adja a hőfejlesztés.

14.1. Hővé való átalakítás módszerei⁶⁹

14.1.1. Természeti hő közvetlen hasznosítása

A Nap energiájának Föld felszínén számítható átlagos besugárzási teljesítménysűrűsége: 150 W/m². A sugárzó energia közvetlen hőhasznosítására csak kis berendezésekben van lehetőség, mert az energiasűrűség rendkívül kicsi. Elsősorban szárításra, aszalásra, fóliásátorban, üvegházban és építményekben hasznosítható (**103. ábra**). A hő nagy felületekről való koncentrációja jelenleg csak kísérleti stádiumban van. Ennek ellenére a Nap energiájának hasznosítása egyre inkább a középpontba kerül. Olyan berendezések létesítésére kell törekednünk, melyek versenyképesek a nem megújuló energiák hasznosításával.

Hazánkban a napenergia hőként való hasznosításának egyik fő területe – az üvegházhatás hasznosításával – a fóliásátrás termelés. A látható sugárzás bejut a sátorterbe és ott a talajról, a fólia felületéről és a növényekről hőszugarak formájában verődik vissza, közben felmelegíti a léteret. Üvegházak esetén további energiahasznosítási lehetőségek és technológiai megoldások is lehetségesek (**104. ábra**).

Ugyanezt a jelenséget használja fel a napkollektor, amely segítségével használati melegvizet (HMV) lehet előállítani és átmeneti időszakban fűteni lehet. Kialakításai közül a legismertebb síkkollektor és vákumcsöves kollektor (**105. ábra– 106. ábra**).

A Földkéreg geotermikus energiája a földkéreg és a földköpeny radioaktív bomláshőjéből (60%), a felső köpeny kristályosodási folyamataiból (10%) és a magban lezajló kémiai folyamatokból (30%) ered. Az átlagosan figyelembe vehető hőmérsékleti gradiens kontinens átlaga 3 °C/100 m, hazánkban: 5 °C/100 m. A hőfluxus értéke: 0,09–0,1 W/m², illetve 0,062 W/m². Ennek a hatalmas energiának csak a koncentrált részét (termálhő) tudjuk hő formában hasznosítani.

A két természetes erőforrás együtt nem éri el az 1% hasznosítást az összes energiához viszonyítva. Az utóbbi időszakban jelentős műszaki fejlesztések történtek a megújuló energiák hasznosítására. A **107. ábra** a termálvíz hőhasznosításának két lehetőségét szemlélteti.

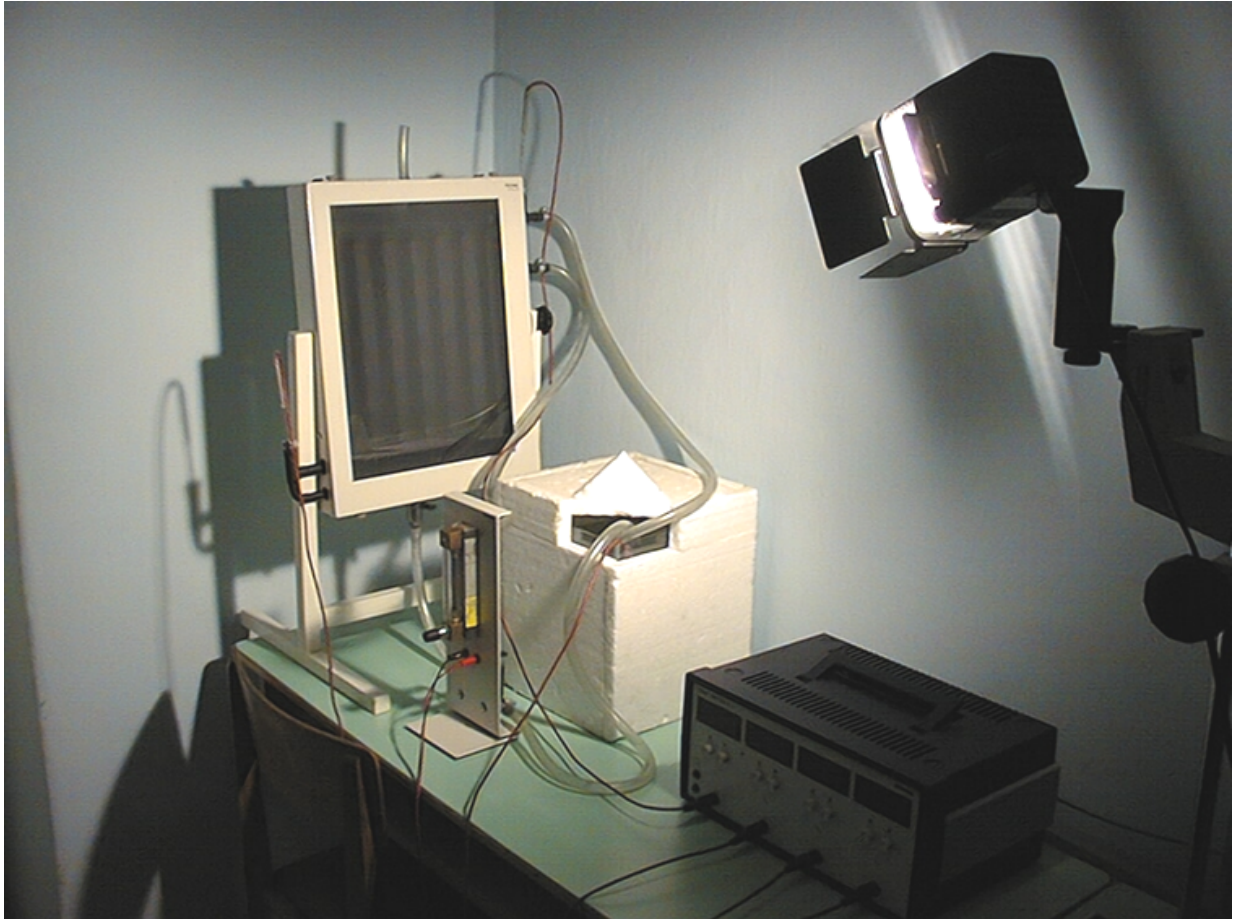
⁶⁹ Vajda György: Energiapolitika. Magyar Tudományos Akadémia, 2001. pp. 16–39.



103. ábra: Kerti aszaló berendezés



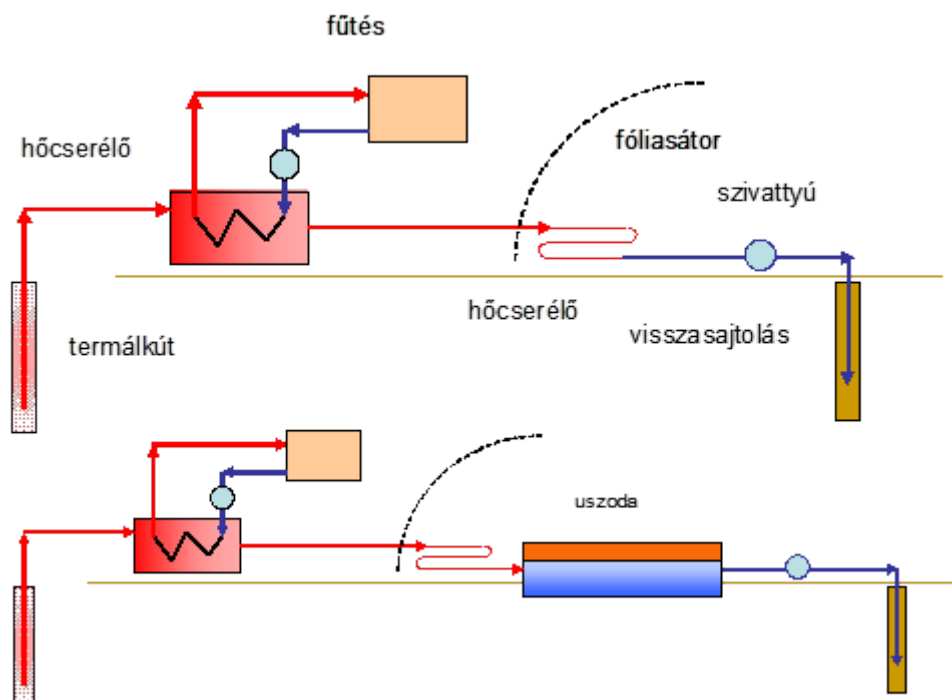
104. ábra: Üvegház energia ellátása és felhasználása



105. ábra: Síkkollektor modell mérőeszközökkel



106. ábra: Vákumcsöves napkollektor: Hortobágyi Nemzeti Park Látogatóközpont



107. ábra: Termálvíz hőhasznosításának két megoldása

14.1.2. Tüzelőanyag égetése, a hő hasznosítása

A termikus energiaátalakítás legegyszerűbb módszere a tüzelőanyag elégetése és a keletkezett hő közvetlen, vagy hőhordozó közvetítésével való hasznosítása. A primér energiaforrás: tűzifa, szén, kőolaj származékok, hulladék. Az előállítás főbb berendezései: tüzelőberendezések, külső és belsőégésű motorok. A hőhordozó lehet: levegő, víz, gőz, gáz, speciális folyadék, ... Az összes felhasznált hő ~87%-át ezzel a módszerrel állítjuk elő.

14.1.3. Nukleáris hőfejlesztés és a hő hasznosítása⁷⁰

Ellenőrzött és szabályozott módon atomerőművekben tudunk hőt előállítani. A reaktor üzemeltetésére olyan „fűtő”anyagokat használnak, amelyekben egy neutron kötési energiája elegendő egy újabb hasadás létrehozásához. Ezek: az urán 235, amely a természetes uránban 0,715%-ban fordul elő; az urán 233, amely a tórium 232-ből keletkezik a reaktorban; a plutónium 239-ből, amely az urán 238-ból keletkezik a reaktorban. A kiégést az egy tonna hasadóanyagra eső energiatermeléssel (MWnap/tonna) vagy a hasadásban résztvevő urán 235-ös %-os arányával fejezik ki. Jól jellemzi az atomerőmű és a hagyományos szénerőmű közötti különbséget: 1 kg szén CO₂-vé való égése során 9,3 kWh hő szabadul fel, míg 1 kg urán 235-ös hasadásakor (kiégésekor) $2,9 \cdot 10^7$ kWh keletkezik.

Hazánkban az összes felhasznált hő ~12%-át nukleáris energiahordozóval állítjuk elő. Hazai viszonylatban ez a Paksi Atomerőmű 4 blokkjának hőtermelését jelenti. Ezt a hőt villamos energia előállítására használjuk fel. A folyamat primér szakasza a hő előállítása a reaktorban, amelyet (nyomottvízes rendszer esetén) hőcserélő berendezésben a szekunder gőzkörbe adjuk át, mely a gőzturbinában forgó mozgássá alakul, s ez a mozgás hozza létre a generátorban a magasfeszültségű villamos energiát, melyet elektromos rendszereken (transzformátorok alkalmazásával) szállítunk a fogyasztóhoz. Az energialánc elemeinek harmonikusan együtt kell működni.

⁷⁰ Bernhard Bröcker: SH atlasz, Atomfizika. Springer-Verlag, Budapest, 1995. pp. 202–223.

Hő előállítása egyéb módszerekkel

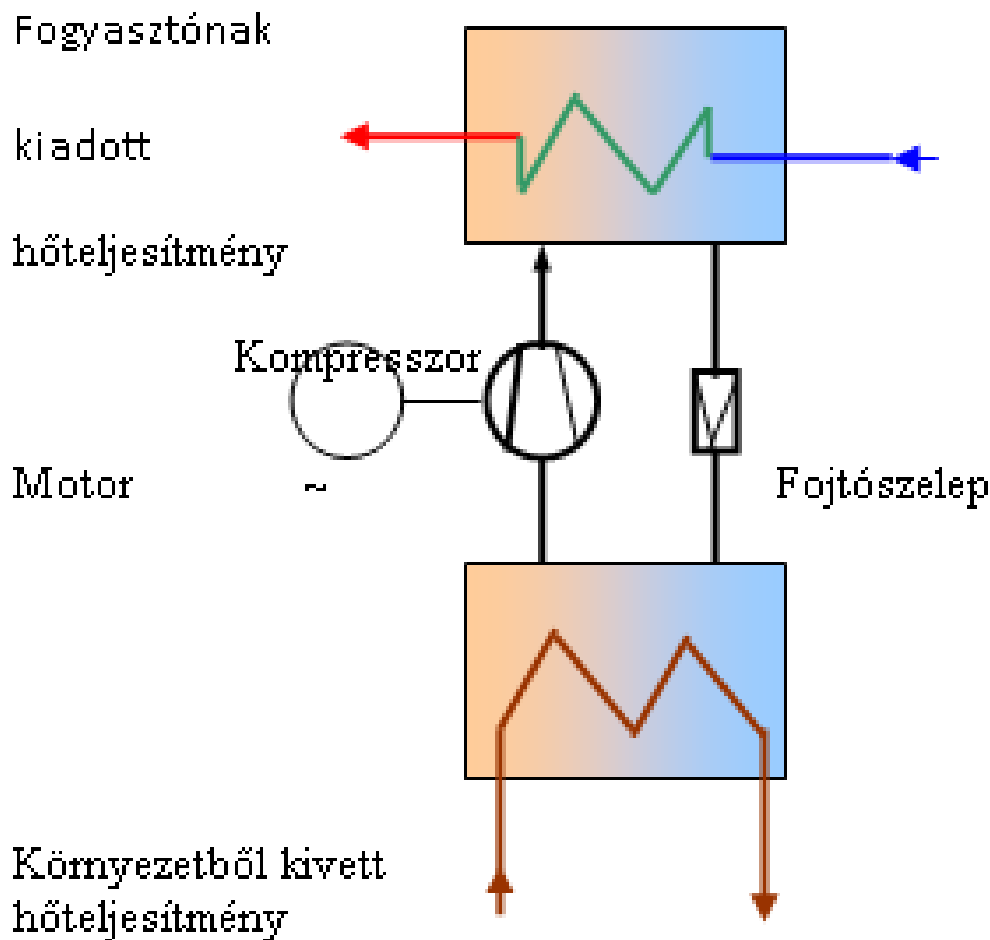
A hő előállításának legkellemesebb módja, a villamos energiából való hőnyerés. A villamos hőfejlesztés történhet: ellenállásfűtéssel, ív képzéssel, indukciós elven, infravörös sugárzással, mikrohullám alkalmazásával, lézeres hőközléssel.

Feladat

Keressen 3-3 példát a villamosenergiából való hőnyerési elvekre!

Az utóbbi évtizedben egyre jobban terjed a hőszivattyú alkalmazása. A talajban, vízben, vagy levegőben tárolt hőt a hőszivattyú segítségével magasabb hőfokszintre emeljük villamos energia bevezetésével (108. ábra).

A két eljárással az összes felhasznált hő ~1%-át tudjuk előállítani.



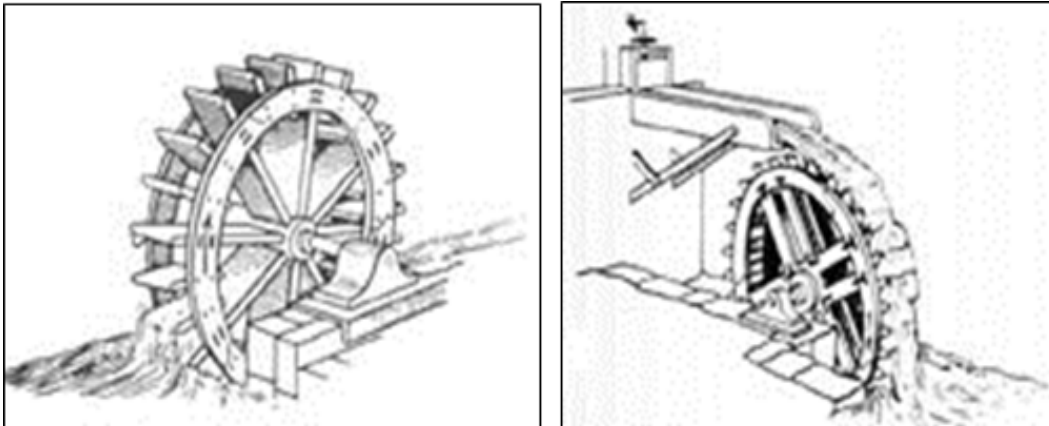
108. ábra: Hőszivattyú működésének elve

14.2. Mechanikai munka előállítás módszerei

Az emberiség történetének kezdetén már nagy szerepet játszott a „gép” létrehozása.⁷¹ A gép megkönnyíti az ember munkáját. Az ember tudatosan kereste azokat a módszereket, amelyekkel hatékonyan tud mechanikai munkát létrehozni és alkalmazni. Az ember az összes energiafelhasználásának 20–30%-át fordítja mechanikai energia előállítására.

14.2.1. A víz energiájának hasznosítása

Az áramlatokat, vízfolyásokat szállításra, közlekedésre az ember régóta alkalmazza. Az emberi és az állati munka kímélésére törekedett, így a víz energiáját gépek működtetésére kezdte használni. Kezdetben egy erőgéppel egy munkagépet (kovácsműhely: kalapács, fűjtató; kötőrő; malom; textiltég; esztergagép; fűrészgép, ...) hajtott meg, később a transzmissziós hajtás alkalmazásával egy nagyobb teljesítményű erőgépről több munkagépet működtetett. A két klasszikus vízkerék típus: a *felülsapott* (amelyet a „dobozokba” befolyó víz súlyereje működtet) és az *alulcsapott* (melyet a fellépő az impulzuserő nyomatéka hajt).⁷² A vízkerékek kis teljesítményük miatt, az ipari forradalmat követő időszakban már nem feleltek meg az igényeknek (109. ábra és 110. ábra).



109. ábra: Felülsapott és alulcsapott vízkerék működési elve



110. ábra: Felülsapott és alulcsapott vízkerék modellje

⁷¹ Klasszikus értelemben a gép olyan rendszer, amelyben mechanikai energiaátalakítás történik.

⁷² Az alulcsapott vízkerék hatásfoka kisebb, mint 10%. Részletesen. Pattantyús Ábrahám Géza: A gépek üzemtana. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983. pp. 252–260.

14.2.2. A szél energiájának hasznosítása

A szél energiája jól ismert az ember előtt, hiszen károkat, katasztrófákat okoz a természeti és a művi „alkotásokban”. Ez döbentette rá az embert, hogy keresse a szél energiájának hasznosítási lehetőségeit. Így születtek meg a szélérőgépek, melyek csak kisegítő erőforrásként, szolgáltak időszakosságuk és változó erejük miatt. Ezek csak a kis magasságú áramlatokat hasznosították. Jellegzetes típusa a Holland szélkerék, mely a tengerparti szelet hasznosította és festékmalomként, gabonaőrle malomként, zsilipeket működtető erőgépként hasznosítottak (111. ábra).



111. ábra: Szélmalom hajtóműve – Ópusztaszeri Nemzeti Emlékpark

14.2.3. Hőerőgépek

Ebbe a családba soroljuk mindazon erőgépeket (motorokat), melyek kémiai kötött energiából (tüzelőanyagból) mechanikai energiát állítanak elő. A külső- és belsőégésű motorok ma már az élet minden területén használatosak, de legfőbb felhasználója a közlekedés (66%), az egyéb felhasználók (~34%) közül a legjelentősebbek a darabolás, a rakodás, az emelés, mozgatás gépeinek működtetése.

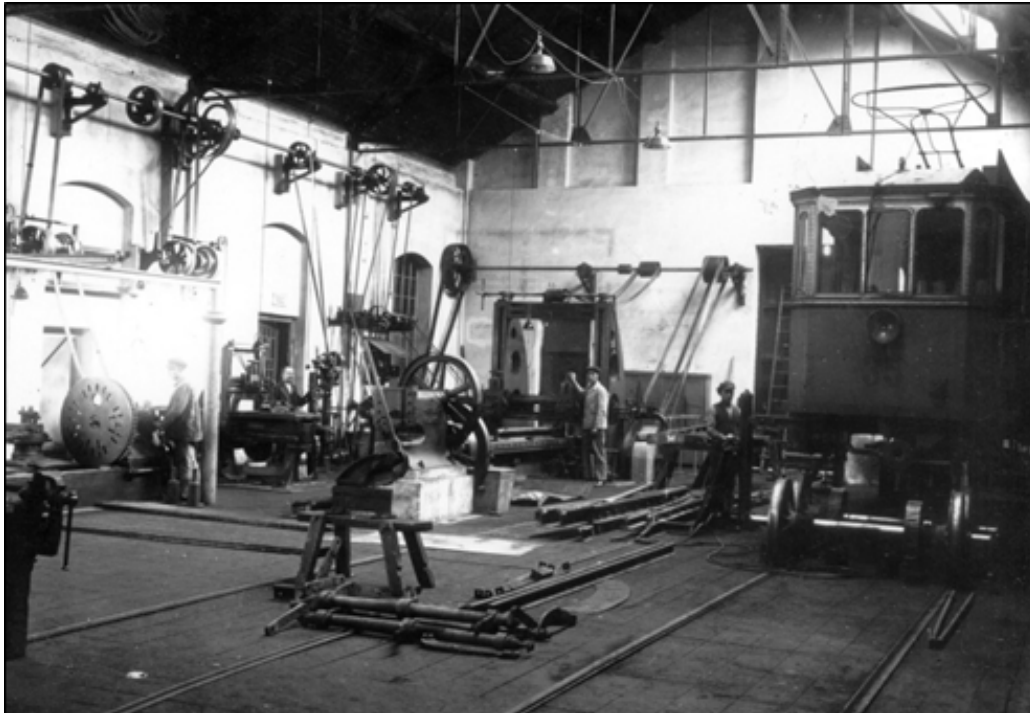
14.2.4. Villamos motorok

A villamos motorok a különböző módon előállított villamos energiából mechanikai energiát állítanak elő. Az utóbbi 100 évben jelentős mértékben elterjedtek, amelyet elsősorban jó erőtani tulajdonságaiknak, jó szabályozhatóságuknak, kedvező méreteiknek, árfekvésüknek és jó hatásfokuknak köszönhető. Az első energetikai vertikumok (Pl. gőzkazán → gőzgép → generátor → villamos hálózat → fogyasztók (világítás, villanymotor, ...) szűk területeket

feddtek le, később a villanytelepek, majd a villamos hálózati rendszerek tették lehetővé a villanymotorok általánossá válását.⁷³ (112. ábra)

14.2.5. Egyéb rendszerek

A mechanikai munka előállítására további közvetlen és közvetett eljárásokat fejlesztettek ki, de ezek általában csak szűk körben használatosak. Néhány ismertebb elv: a lendítőkerék tárolt energiájának, a súlyerőnek, a rugóerőnek, a folyadék és a levegő energiájának hasznosítása, a sugárhajtómű alkalmazása.



112. ábra: Műhely transzmissziós hajtással (Szeged)

14.3. Centralizált és decentralizált rendszerek

A fejezet eddigi részeiből érzékelhető, hogy az energiatermelés és ellátás több szintű, egymással lazább vagy szorosabb kapcsolatban lévő rendszereket jelent, melyek különböző „területeket” szolgálnak, vagy szolgálhatnak ki.

A Nap energiája szórt formában – az időjárástól függően – hasznosítható. Ez az energia hasznosítható napelemmel (5–15% hatásfokkal). Jelenleg a világ összes villamosenergia felhasználásának csak ~1%-át állítják elő ily módon. Ennek az energiának „kézzel fogható” hasznosítására óriási felületeket kellene kialakítani. Ezzel létrehozható energia reálisan csak lokális igényeknek tud megfelelni.⁷⁴ A másik lehetőség, hogy szintén nagy földi felületeken tükrök segítségével koncentráljuk az energiát, és technológiai vagy energetikai (ST = Szolártermikus erőmű) célra hasznosítjuk. A Naptorony nagy földi felületeken létesített „napkollektor”, amelyenél a felmelegedett levegő a magas kéményben nagy sebességgel áramlik, s ez légturbinát hajt, melynek mechanikai energiáját generátor alakítja villamos energiává. Mindhárom eljárás rendkívül költséges.

⁷³ Részletesen: 100 éves a Dél-Aföldi Áramszolgáltató Rt., Szeged, 1995. p. 472.

⁷⁴ Részletesen: Dr. Giber János: Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban. B+V Kiadó, Budapest, 2005.

A geotermikus energia termálvíz technológiákkal való hasznosítása során olyan helyeket keresnek, ahol a hő koncentrálódik, s ezt rendszerint centralizált „fogyasztókkal” hasznosítják. Ha a kút üzeme hosszú távon biztosítható és az „elhasznált” termálvíz környezetbarát módon kezelhető, az eljárás hatékony és gazdaságos.

A talajban, vízben, levegőben tárolt hő hőszivattyú segítségével magasabb hőfokszintre emelhető és általában gazdaságosan hasznosítható. A szonda rendszer – néhány speciális esetet kivéve (magas hőfokú csatorna, csurgalékvíz) – az átlagos eloszló hőt hasznosítja egy koncentrált rendszerben (családi házban). Az így nyert hő általában csak kiegészítő fűtésre elegendő.

A hőtermelés nyersanyagait nyerhetjük dekoncentrált rendszerekből (erdők, termőföldek) és koncentrált bányákból, kutakból. A hőtermelés berendezései gyakran dekoncentráltan elhelyezkedő hőtermelők–hőleadók: kályhák, kazánok, melyeket viszonylag rossz hatásfokkal üzemeltetnek a kevésbé hozzáértő tulajdonosok. A nagy rendszerek: házak, lakótelepek, városok, erőművek működtetése szakszerűen, jó hatásfokkal megoldható. A probléma rendszerint a kapcsolódó távvezetékekkel van, melyek veszteségei „elfogyaszthatják” a koncentrált rendszer adta előnyöket.

A nukleáris hőtermelés és hasznosítás egy többszörösen centralizált nagyrendszer, amely rendkívül szigorú – nemzetközileg egyeztetett – protokoll szerint működik. Ez a rendszer gazdaságosan, biztonságosan üzemeltethető. A környező lakosság bizonytalansága egyrészt a „monstrumból” fakadó félelemből, másrészt a szakmai tájékozatlanságból eredhet. A probléma kezelése egyre nagyobb odafigyelést igényel.

A mechanikai energiaellátás esetén is többféle rendszerrel találkozhatunk.

A vízkerekeket a patakok, folyók legjobb adottságú helyeire telepítették, s a nyert mechanikai energiát közvetlenül, a kerék mellé telepített műhelyben hasznosították. Lényegileg az erőgép és a munkagép tökéletes koncentrációját valósították meg.

A szélkerekek esetében hasonló módon biztosították az erőgép–közlőmű–munkagép koncentrációt.

A hőerőgépek a legváltozatosabb energiaátalakítást biztosítják. A helyhez kötött nagy rendszerek esetén biztosítani kell a tüzelőanyaggal való egyenletes ellátást, ezért tartalékolni, pufferalni kell a tüzelőanyagot. A termelt energiát (rendszerint villamos) továbbítani kell a decentralizált fogyasztókhoz.

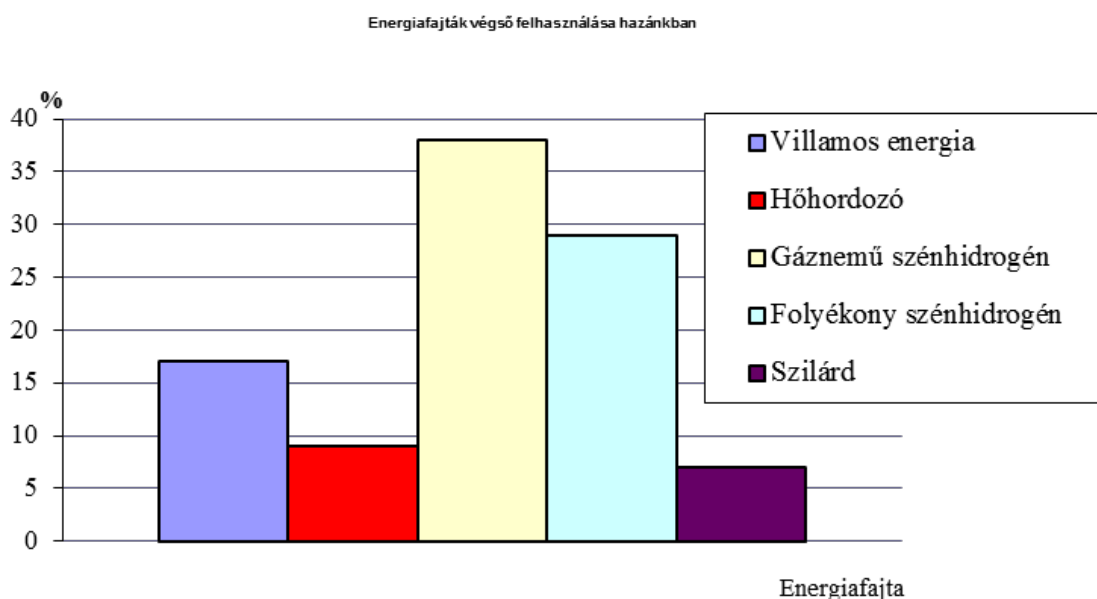
A mobil rendszerek általában rendkívül bonyolultak, különféle elven működnek (gépjárművek, hajók, repülők, rakéták, űrhajók, ...). Ha csak a gépjárműveket vizsgáljuk, megállapíthatjuk, hogy itt teljes körű a dekoncentráció: különböző üzemanyagokat használó, különböző elven működő, különböző terhelésnek kitett, különböző útvonalakat bejáró eszközökről van szó. Az üzemeltetők hozzáértése eltérő, így a környezeti hatások nehezen felmérhetők. Az ilyen bonyolult, többszörösen decentralizált rendszerekről korrekt adatokhoz csak modellezéssel juthatunk. A gyártók figyelembe véve a felhasználók eltérő „hozzaállását és szakértelmét” a modernizálásra, a számítógépes folyamatirányításra, a biztonságos üzemeltetésre fektetik a hangsúlyt.

A villamos motorok a kiterjedt, villamos hálózathoz nyerik a felhasználás helyén a szükséges energiát. Mivel a felhasználás rendkívül széleskörű, a hatásfokok, a beruházási és üzemeltetési költségek eltérőek. Például: ha egy régi háztartási hűtőgép villamosenergia fogyasztását lemérjük, megfigyeljük, kiszámítjuk, kiderülhet, hogy jobban járunk, ha egy korszerűbb berendezésre cseréljük.

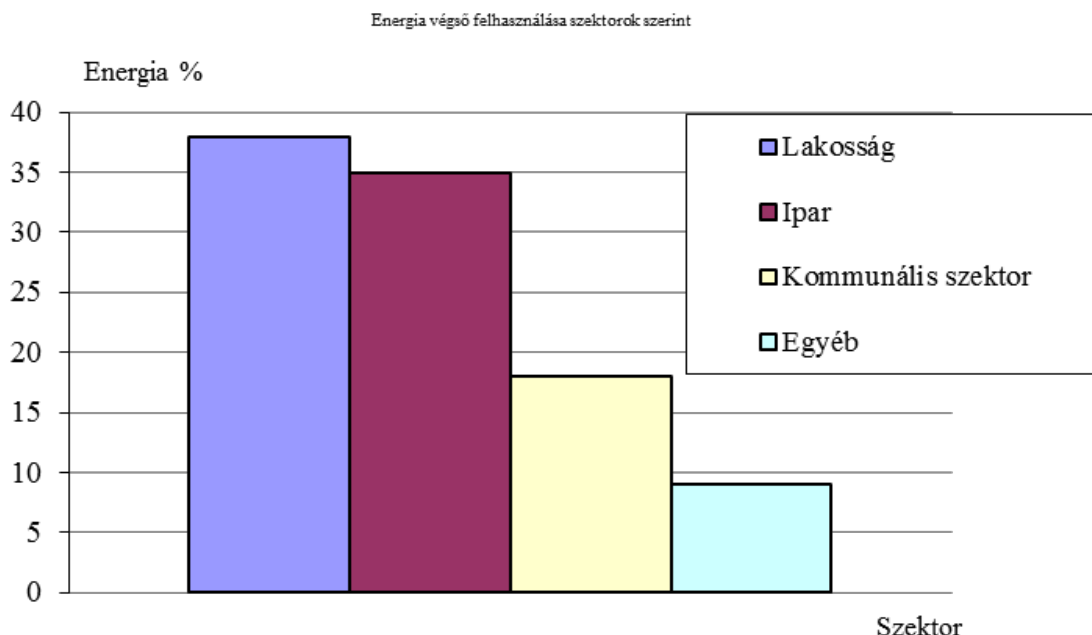
14.4. Az energia „végső” felhasználása

Az energiaellátás legfontosabb követelménye, hogy az energiahordozónkénti energiatermelés és fogyasztás egyensúlyát folyamatosan biztosítani tudjuk. Ez azt is jelenti, hogy az energia export–import az egyensúly biztosításának fontos eszköze. Másrészt az is fontos, hogy egyre több berendezést úgy alakítsanak ki, hogy többféle üzemanyag alternatív fogadására legyen alkalmas.

Az energiafajták szerinti végső felhasználást a 113. ábra, az energia szektorok szerinti végső felhasználását a 114. ábra szemlélteti.⁷⁵



113. ábra: Energiafajták végső felhasználása hazánkban



114. ábra: Energia szektorok szerinti végső felhasználása hazánkban

⁷⁵ Vajda György: Energiapolitika. Magyar Tudományos Akadémia, 2001. pp. 16–39.

A felhasznált energiák energialáncon követhetők, melynek a végső felhasználó a végállomása. Általában igaz, hogy ha egy energia féleség hosszú utat tesz meg, többszörösen átalakításra kerül, a költségek is jelentősen megnövekednek. Ezért a különböző hordozók reális költség összehasonlítása nem egyszerű.

A probléma érzékelésére tekintsük át, hogy az összes (különböző célú) hőfejlesztés hogyan oszlik meg a végső felhasználók között.⁷⁶ Térfűtésre 50%-ot használunk fel, ebből 63% a lakások, 27% a közületek, kommunális épületek fűtésére, 10% a termelésre és a járművek üzemelésére fordítódik. Az életkörülmények biztosítására, tisztálkodásra, HMV előállítására ~10%-ot, technológiai célokra ~40%-ot fordítunk.

⁷⁶ Emlékeztetőül a hőfejlesztésre az összes energia 60–70%-át fordítjuk.

15. Villamos erőművek és energetikai összehasonlításuk (Dr. Pitrik József)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

A villamos erőművek olyan nagyrendszerek, amelyek különböző energiahordozókból villamos energiát állítanak elő.

A világ első villamos erőművét Edison alkotta meg, amikor erőgépként gőzgépet, munkagépként egyenáramú dinamót alkalmazott.⁷⁷ Ez a villamos erőmű konkrét célra készült, de hamarosan a villamos energiaátvitel került előtérbe. Deprez az 1882-es müncheni kiállításra egy 57 km hosszú kísérleti távvezetékét építette. Egy gőzgép hajtotta generátor egyenáramával, 1500–2000 V feszültségen működtette a kiállítási helyszínre telepített villanymotort.

A villamos energia távolsági átvitelében igazi áttörést a váltakozó áramra való áttérés jelentette. A váltakozó áram alkalmazásával lehetővé vált a transzformátorok széles körű, szervezett használata. A villamos erőátvitel újabb jelentős állomása a háromfázisú transzformátor alkalmazása.

15.1. Hőerőművek

A hőtermelést követő folyamatok alapján különböző energiaátalakítók kapnak szerepet. Főbb lehetőségeket a 115. ábra szemlélteti.⁷⁸

A klasszikus hőerőművekben a tüzelőanyag elégetésével felszabaduló hő a gőz közvetítésével a gőzturbinában az expanzió révén forgó mozgássá alakul, mely a generátor forgatásával villamos energiát generál.

15.1.1. Gőzturbinás erőművek

A kazán tűzterében elégetett tüzelőanyag (szén, fűtőolaj, hulladék, biomassza) hője felmelegíti a kazán-dob-csővezeték rendszerben lévő nagynyomású vizet, amely gőzzé párologva a túlhevítőben magas hőmérsékletű gőzzé alakul. Ez a gőz expandál a gőzturbinában, a fáradt gőz hőtartalmát kondenzátorban vonják el. A kondenzátumot tápszivattyú juttatja a kazán vízterébe. A rendszer hatásfoka a Ran-

Közbenső energiák

E_1 – primér energiahordozó kötött energiája
 Q – hő
 W – munka
 E_2 – villamos energia

Energiaátalakító berendezések

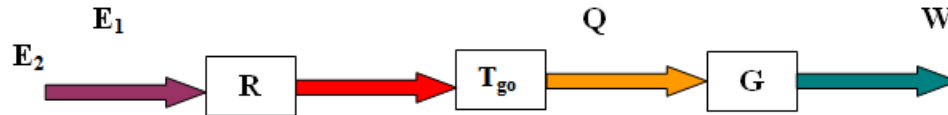
K – kazán
R – atomreaktor
T_{go} – gőzturbina
T_{ga} – gázturbina
G – generátor
É – égéstér
MHD – generátor
TC – tüzelőanyag cella

⁷⁷ 1882. New York – vasútállomás megnyitása – Thomas Alva Edison. Orłowski – Pezylowski: Találmányok könyve. Móra Ferenc Könyvkiadó, 1982. pp.61.

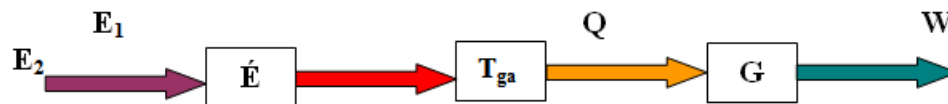
⁷⁸ Büki Gergely: Erőművek. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004. pp. 15–20.



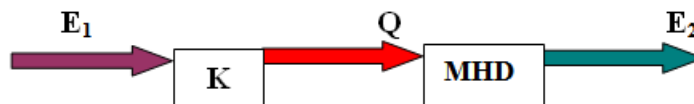
Atomerőmű energiaátalakítási folyamata



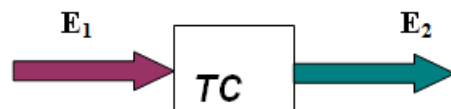
Gázturbinás hőerőmű energiaátalakítási folyamata



Magnetohidrodinamikai hőerőmű energiaátalakítási folyamata



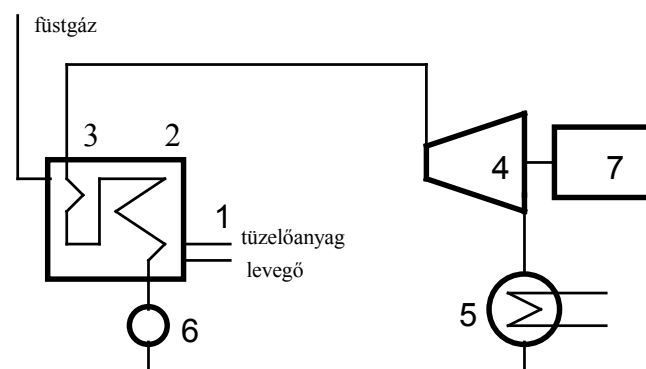
Tüzelőanyag cella energiaátalakítási folyamata



115. ábra: Hőerőművek energiaátalakítási folyamatai

kin–Clausius körfolyamat alapján elsősorban a kazántér nyomásától, a túlhevítés hőfokától és a kondenzációs hőmérséklettől függ.

A gőzturbinás hőerőmű elvi vázlatát a **116. ábra** szemlélteti. A legfontosabb egységeket (kazán, turbina, generátor, kondenzációs hűtőtorony, pernyeleválasztó, kéndioxid leválasztó, gipszüzem, ...) a **117. ábra - 126. ábra** mutatják.



116. ábra: A gőzturbinás erőmű folyamatábrája

- | | | |
|---------------|----------------|-----------------|
| 1. Tüztér | 2. Kazán | 3. Túlhevítő |
| 4. Gőzturbina | 5. Kondenzátor | 6. Tápszivattyú |
| 7. Generátor | | |

Hazánkban a hagyományos hőerőművek fontos szerepet játszanak a villamosenergia ellátásában. Jelentősebb hazai gőzturbinás erőművek a **16. táblázat** szemlélteti.

16. táblázat: Jelentősebb hazai gőzturbinás erőművek ⁷⁹

Erőmű neve	Teljesítmény	Fűtőanyag	Építés időszaka
Paksi atomerőmű	2000 MW	urán-oxid	1973–1986
Mátraaljai hőerőmű	800 MW	lignit, biomassza	1965–1973
Tiszai hőerőmű	860 MW	gudron, tüzelőolaj, földgáz	1971–1979
Pécsi hőerőmű	215 MW	földgáz, biomassza	1955–1966



117. ábra: Erőművi blokk: kazán, szénórló malom



118. ábra: Szénórló malom kopása / Tűztér ellenőrző nyílása

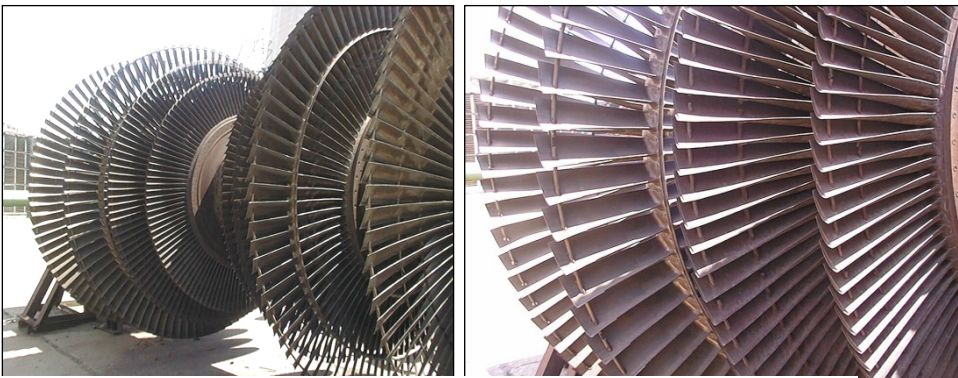
⁷⁹http://hu.wikipedia.org/wiki/Magyarorsz%C3%A1gi_er%C5%91m%C5%B1vek_list%C3%A1ja



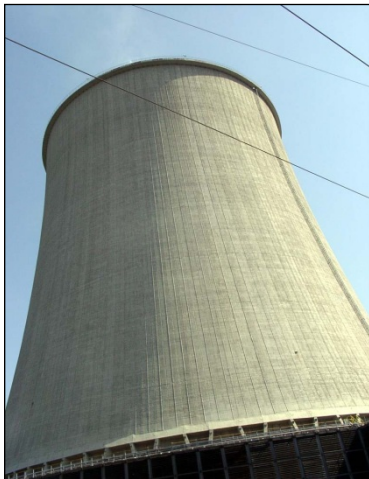
119. ábra: Turbina és generátor szint



120. ábra: Szétbontott gőzturbina



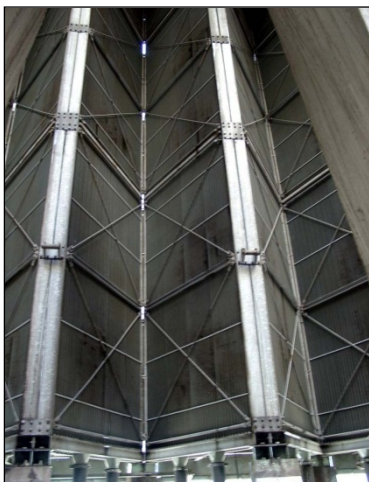
121. ábra: Gőzturbina járókereke



122. ábra: Heller-Forgó hűtőtorny



123. ábra: Kéntelenítő berendezés



124. ábra: Hűtőelemek



125. ábra: Blokkirányító



126. ábra: Az erőmű blokkjainak elrendezése

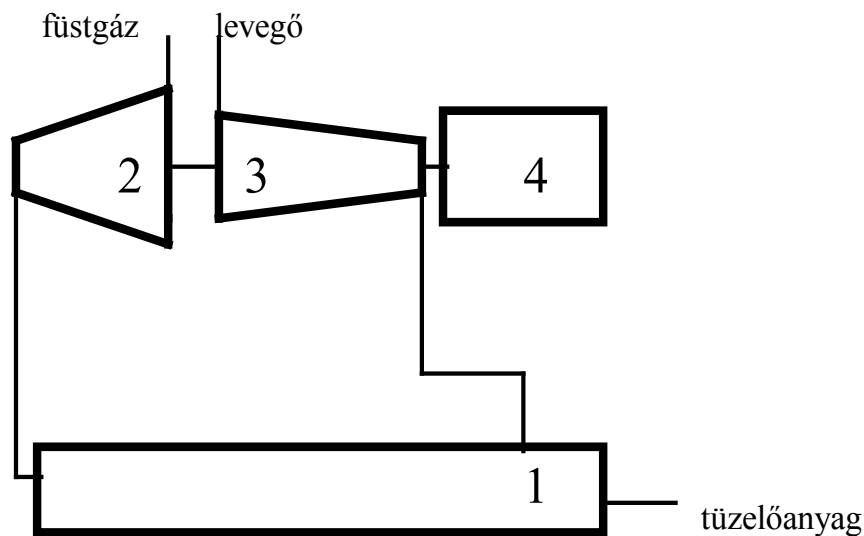
A klasszikus gőzturbinás erőművi blokkokat főként alaperőművi funkcióban üzemeltetik, de ma már gyakori a különböző kapcsolt üzemmódú működtetés is. A leggyakrabban alkalmazott módozatok: épületek hőigényének biztosítása, technológiai hőigények kielégítése, kombinált gáz/gőzerőművek létesítése.

A szén tüzelőanyaggal dolgozó gőzerőművek gőzkazánjai régebben többnyire rostélytüzelésűek voltak, ma már szénportüzelést és fluidágyas tüzelést alkalmaznak. Ezt a változtatást a tüzelőanyag váltás (lignit) és a környezetvédelmi előírások korlátozzák. Porszentüzelés esetén oxigénhiányos, többlépcsős égés hozható létre, amely az NO_x csökkentését jelentheti. Fluidágyas rendszernél mészkőpor adagolásával a SO_2 -t és az SO_3 -t lehet csökkenteni, s a korlátozott tüztéri hőmérséklet miatt az NO_x képződés is csökken.

A szén alapú kazán tüzelés esetén a pernye leválasztásáról és a füstgáz kéntelenítéséről gondoskodni kell. A pernye elhelyezése külön feladat. A kén leválasztás után keletkezett gipsz hasznosítható.

15.1.2. Gázturbinás erőművek

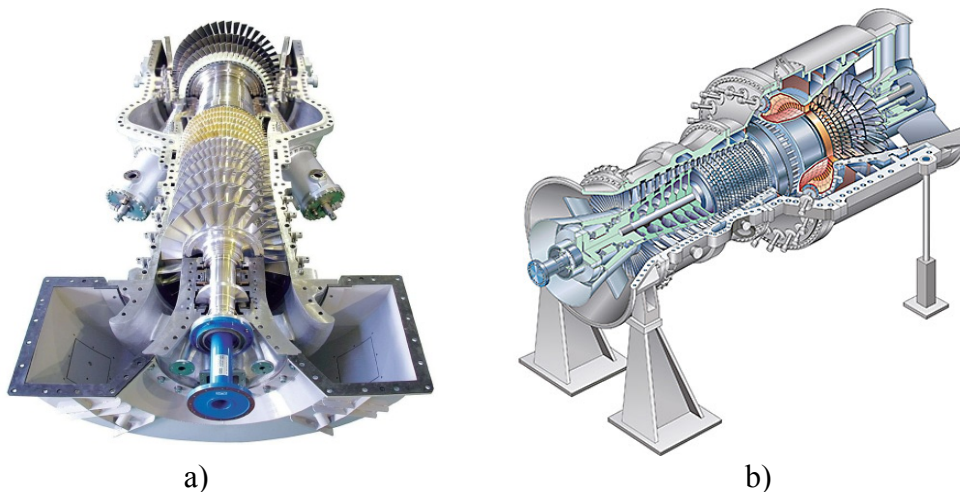
A gázturbina az elégetett tüzelőanyag füstgázának energiáját hasznosítja, a turbinában lezajló expanzió során (127. ábra).



127. ábra: A gázturbinás erőmű folyamatábrája

- | | |
|----------------|---------------|
| 1. Tüztér | 2. Gázturbina |
| 3. Kompresszor | 4. Generátor |

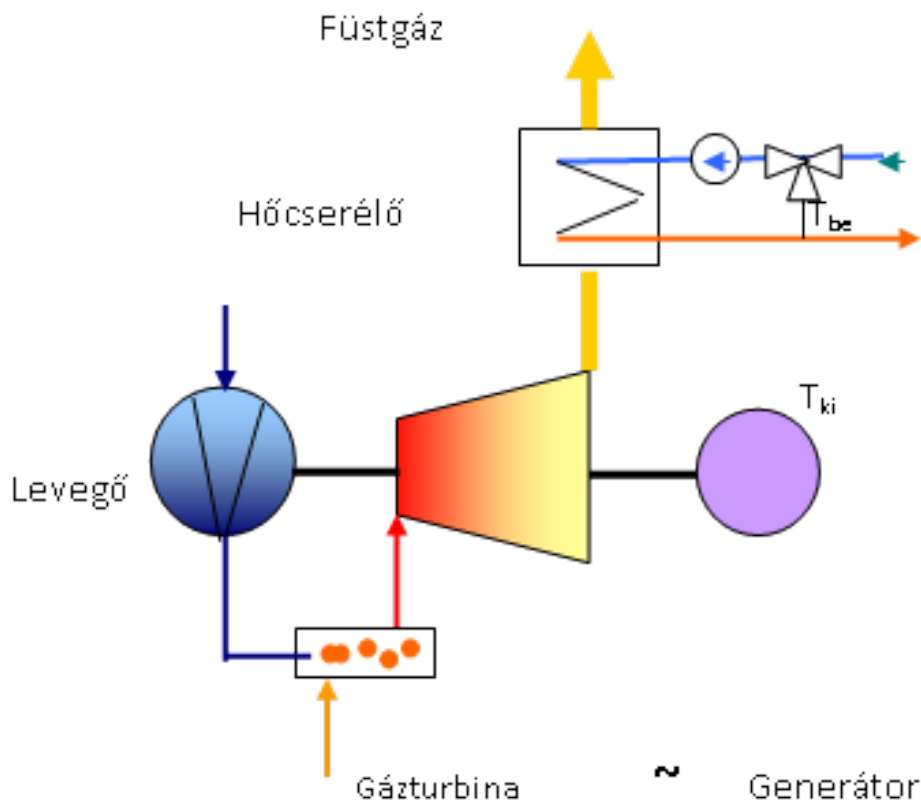
A klasszikus gázturbinás erőműveket rendszerint csúcsra járatott egységként használták. A gázturbina felépítését a 128. ábra (a, b) szemlélteti.



128. ábra: A gázturbina felépítése

A nagyméretű szénhidrogén tüzelőanyagú gőzerőmű egységeket az utóbbi időszakban kombinált gáz-/gőzerőművi blokkokra cserélik.

A mai alkalmazások többsége ún. kapcsolt hő és energiatermelés, azaz a gázturbina után füstgázhoz hasznosító hőcserélőt szerelnek, amely forróvizet (HMV) vagy gőzt állít elő (129. ábra).



129. ábra: A gázturbinás erőmű kapcsolt forróvíz termeléssel

A jelentősebb hazai gázerőmű adatait a **17. táblázat** táblázat szemlélteti.

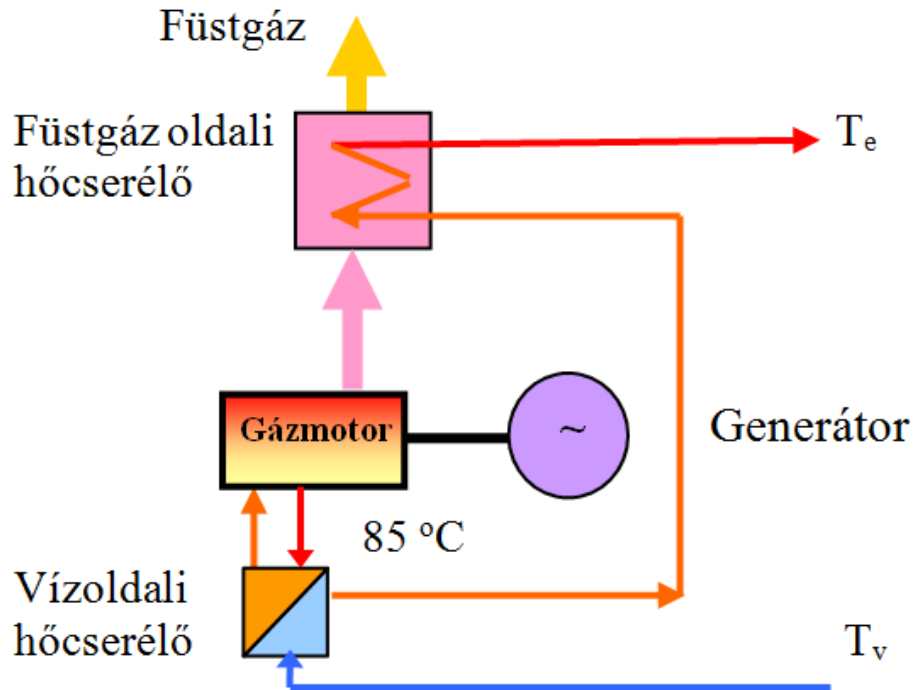
17. táblázat: Jelentősebb hazai gázturbinás erőművek

Erőmű neve	Teljesítmény	Fűtőanyag	Építés időszaka
Inotai gázturbinás csúcserőmű	200 MW	gázolaj	1971–1975
Kelenföldi gázturbinás erőmű	136 MW	földgáz, gázolaj	1990–1996
Csepeli gázturbinás erőmű	390 MW	földgáz, gázolaj	1995–2000
Nyíregyházi Kombinált ciklusú erőmű	49 MW	földgáz	2006–2007

15.1.3. Gázmotoros erőművek

A gázmotorokat régóta alkalmazzák biogázok (állattartó telep, szennyvíztisztító iszap) hasznosítására. Az előállított villamos energiát általában helyi célra, sziget üzemmódban alkalmazzák. A **131. ábra** a hódmezővásárhelyi szennyvíztisztító szennyvíziszap feldolgozása során nyert gáz tárolását, a **132. ábra** a nyitrai szennyvíztisztító gáztároló egységét mutatja. A **130. ábra** egy a gázt helyi célra hasznosító gázmotort, a **134. ábra** földgázzal és biogázzal is működőképes gázkazánt mutat.

Az utóbbi időben előtérbe került a kis teljesítményű gázmotorok alkalmazása fűtőblokként távfűtési vagy házfűtési rendszerekben. Kiderült, hogy ezek a kapcsolt rendszereket kis teljesítménynél kedvező hatásfok jellemzi (**130. ábra**).



130. ábra: A gázmotoros erőmű kapcsolt forróvíz termeléssel



131. ábra: A hódmezővásárhelyi Szennyvíztisztító gáztározója



132. ábra: A nyitrai Szennyvíztisztító gáztározója



133. ábra: Gázmotor részlet



134. ábra: Kombinált gázkazán

1 GJ hő átviteléhez szükséges vízmennyiség különböző visszatérő hőmérséklet esetén (18. táblázat).^{80 81}

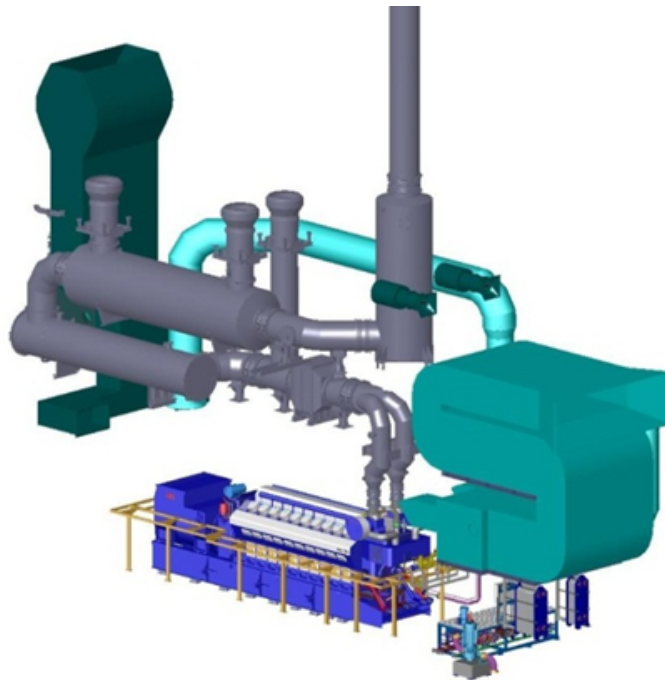
⁸⁰ Balikó Sándor: Gázmotor fűtési rendszerbe illesztése. Energiagazdálkodás 2002, 1. pp. 29.

⁸¹ A villamos- és a hőteljesítmény arányai: Pl. a Kiskunhalasi Távhőszolgáltatónál: 320 KWe/ 535 KWth. Forrás: Bercsi Gábor: Gázmotoros kapcsolt energiatermelés helyzete az ezredfordulón. Energiagazdálkodás 2001. 5. pp. 16–19.

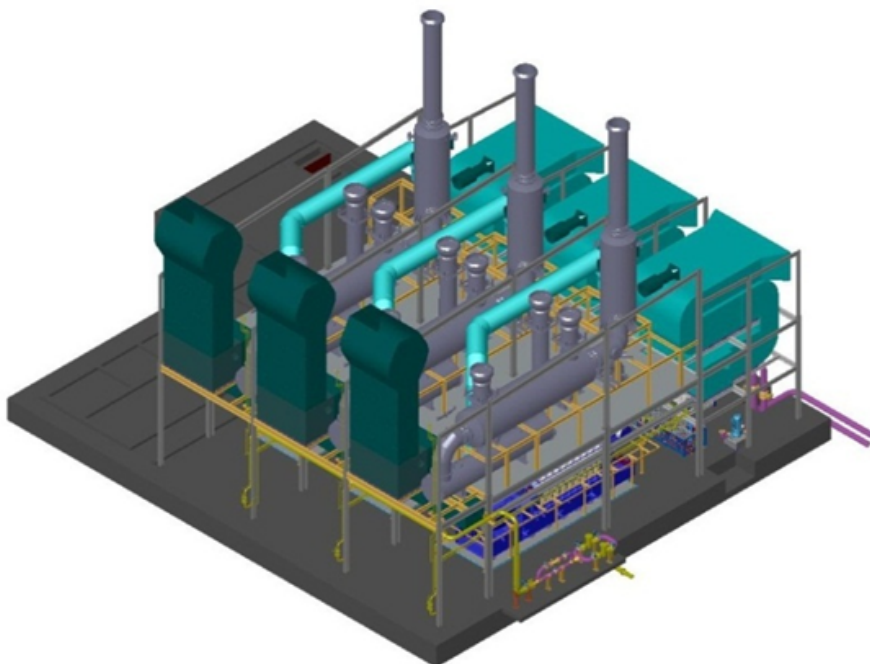
18. táblázat: Gázmotor hő és víztérfogat viszonyai

Belépő hőmérséklet	Kilépő hőmérséklet	Fajlagos víz szükséglet
60 °C	106,84 °C	21,35 m ³ /GJ
70 °C	98,11 °C	35,58 m ³ /GJ
80 °C	89,37 °C	106,74 m ³ /GJ

Az újpalotai gázmotoros erőmű néhány 3D-s szimulációját mutatják a következő ábrák.



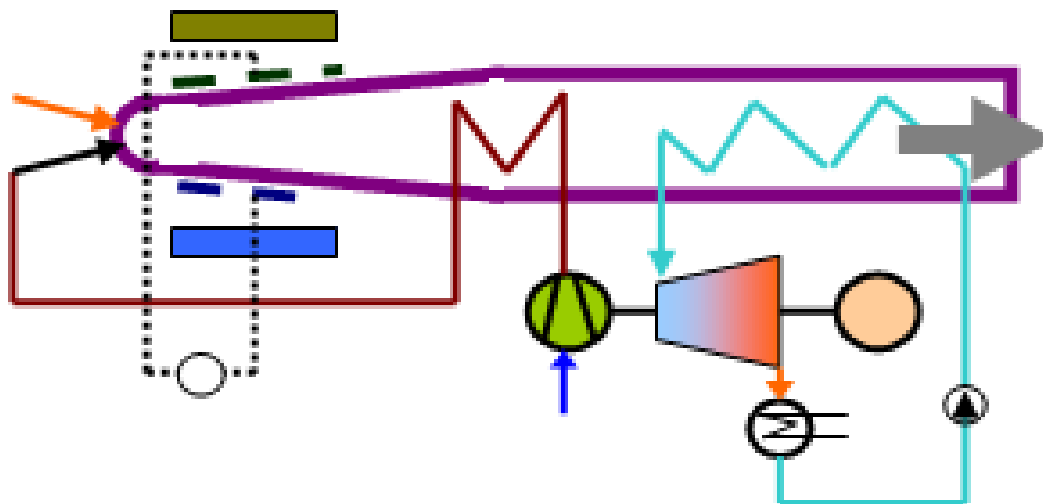
135. ábra: Gázmotoros fűtőerőmű egy blokkjának főbb egységei



136. ábra: Gázmotoros fűtőerőmű három blokkjának elrendezése

15.2. MHD generátor

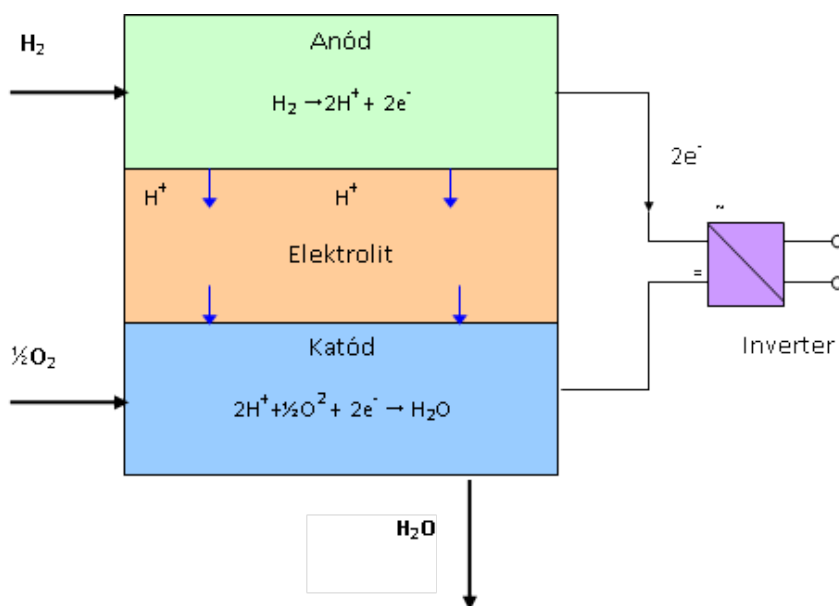
Közvetlen energiaellátás, mely során a füstgáz egy magnetohidrodinamikuss rendszerben ionizálódik és a felszabaduló elektronok a gázt vezetővé teszik. Az ionizált és vezetővé tett gáz nagy sebességgel áramlik. Hatásfoka kedvező, ha a hőmérséklet magas és kilépő hőgőzerőmű tovább hasznosítja (137. ábra).



137. ábra: MHD generátor elvi elrendezése

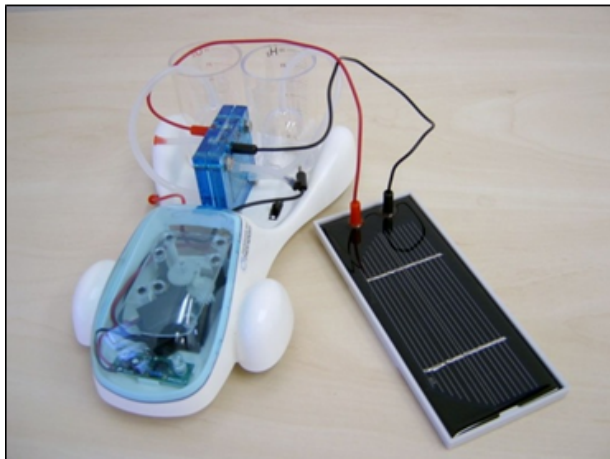
15.3. Tüzelőanyag cella

A tüzelőanyag cella a tüzelőanyagból közvetlenül villamosenergiát termel. Ha a tüzelőanyag hidrogén, akkor a hidrogén és az oxigén elektrokémiai reakciójából víz keletkezik és az anód és a katód között elektronok áramlanak, mely az inverterben váltakozó árammá alakítható. A rendszer jellemzőit mutatja a 138. ábra.⁸² Tüzelőanyag cellás autó modelleket a 139. ábra szemléltetik.



138. ábra: Hidrogén tüzelőanyag cella működési elve

⁸² Büki Gergely: Kapcsolt energiatermelés. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007. pp. 225–233.



139. ábra: Tüzelőanyag cellás modellek (Modellre szerelt napelemmel; Modellhez kapcsolható napelemmel; Hidrogén-oxigén kutató működtető napelemmel; A napelemek a vízbontás energiáját fedezik.)

15.4. Napenergia hasznosítása

15.4.1. Napelemek alkalmazása

A napelemek (PV) félvezető technológiát alkalmazó fotoelektromos berendezések. Legkisebb egységei a cellák, amelyeket modulokká kapcsolnak. A hálózati modulok ~240 cellából állnak, melyek által előállított egyenáramú villamos energiát váltakozó árammá kell alakítani. A napelemek hatásfoka 5–15%. Jelenleg a világ összes villamosenergia felhasználásának csak ~1%-át állítják elő ily módon. Ennek az energiának „kézzel fogható” hasznosítására óriási felületeket kellene kialakítani. Ezzel létrehozható energia jelenleg reálisan csak lokális igényeknek tud megfelelni.⁸³ Különböző kísérletek folynak, s amennyiben a napelem modulok ára és a kapcsolódó berendezések költségei csökkennek, van remény arra, hogy a napelem felületek nőnek. A 141. ábra egy napelem telepét mutat be (Portugália). A 140. ábra képei helyi alkalmazásokat szemléltetnek.

⁸³ Részletesen: Dr. Giber János: Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban. B+V Kiadó, Budapest, 2005.

A **19. táblázat** megépült napelem parkok főbb jellemzőit foglalja össze.

19. táblázat: Működő napelem parkok a világon (50 MW_p felett) ⁸⁴

Erőmű neve	Teljesítmény	Helyszín	Építés időszaka
Sarnia Photovoltaic Power Plant	97 MW _p	Canada	2009–2010
Rovigo Photovoltaic Power Plant	70 MW _p	Italy	2010
Olmedilla Photovoltaic Park	60 MW _p	Spain	2008



140. ábra: Egyszerű napelem alkalmazások

⁸⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_plan



141. ábra: Napelem telep (Portugália)

15.4.2. Naperóművek

A Nap energiájának legegyszerűbb alkalmazása a közvetlen hasznosítás. Azokon a földrajzi helyeken, ahol a Nap energiáját közvetlenül hasznosították az elmúlt évezredekben, most új eszközökkel hatékony, jól felhasználható energiához juthatunk. A **142. ábra** a halszárítás hagyományos módját mutatja be, mely és a napelempark közötti analógiát könnyen fel lehet ismerni.

A termikus naperómű lényegileg egy 50–60 m magas toronyban elhelyezett „kazán”, amelyet a körkörös elhelyezkedő tükörrendszerrel érkező napsugarak felmelegítenek. Ideális meteorológiai viszonyok esetén gőz állítható elő, amely gőzturbinában hasznosítható és villamos energia fejleszthető (**143. ábra**⁸⁵).

A rendszer hatékonysága fokozható, ha a tükrök szöge állítható, és ha nem síktükröket, hanem parabolatükröket alkalmaznak (**145. ábra**).

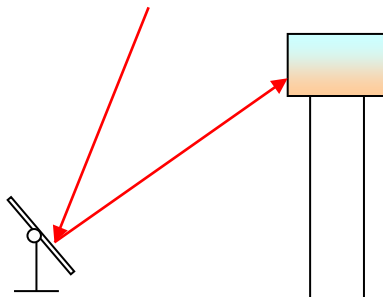
A naperómű mintájára *napkohók* is építhetők, melyeket elsősorban metallurgiai kísérletekhez használnak.

A naperómű egyik változatában vízszintes *csőregisztereket melegítenek parabolikus tükrökkel*, így torony építésének költségei megtakaríthatók (**144. ábra**).

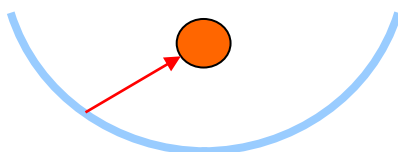
⁸⁵ Naptorony épült Spanyolországban, 83 m-es toronnyal. A napsugarakat gyűjtő felület (300 darab, egyenként 40 m²-es tükrökből áll (heliostat). Népszabadság, 2011. január 12.



142. ábra: A Napenergia hagyományos és modern felhasználási módjai között analógia van



143. ábra: Naptorony



144. ábra: Parabola teknős naperőmű hőgyűjtő rendszere



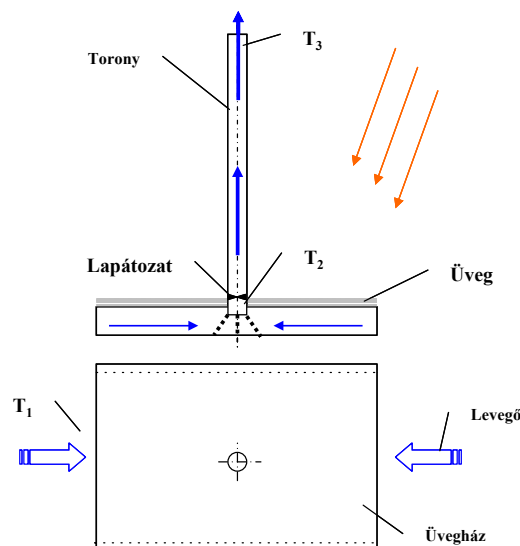
145. ábra: Parabola tükrös napkonyha

15.4.3. Naptorony

A naptorony egy magas kémény, melynek környezetében hőgyűjtő felületeket (üvegház és napkollektor kombinációja) állítanak fel, s az üvegházhatás során felmelegedett levegő egy turbinát hajt. A friss levegő a vákuum hatására beáramlik a hőgyűjtőbe, s felmelegedve fenntartja a folyamatot. A napkémény modelljét és elvi rajzát a **146. ábra** szemlélteti.



146. ábra: Napkémény modellje és működési elve



15.4.4. Szélenergia hasznosítása

A szélenergia hasznosítására – a gyakorlati tapasztalatok szerint – ott van lehetőség, ahol a szélesség értéke 5–10 m/s közé esik. A szélesség átlagértéke és a szeles órák száma

elsősorban a tengerparti régiókban magas. Így vált Hollandia, Dánia és Németország szélérőmű „nagyhatalommá”. A kinyerhető valóságos teljesítménysűrűség: $30\text{--}1000\text{ W/m}^2$. A hazai szélvagyon főként a Kisalföldre, a Bakony északi és északnyugati részére és Szolnok megye területeire koncentrálódik. A szélkerekek a nagy magasság miatt rendkívül költségesek, de egyértelműen megújuló energiának tekinthetők. Kedvezőtlen környezeti hatásuk a zajhatás, mely céltudatos telepítéssel elkerülhető.



147. ábra: Függőleges és vízszintes tengelyű szélkerekek



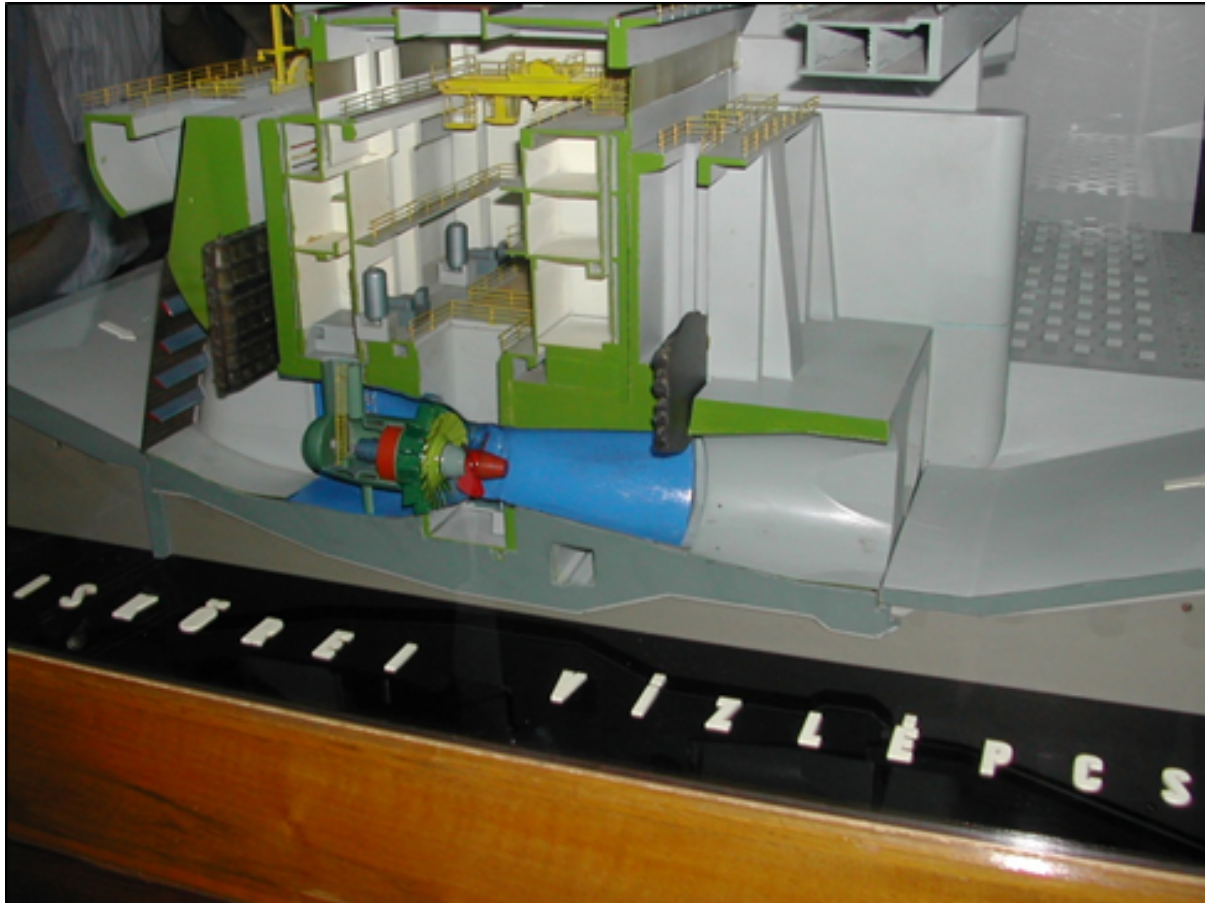
148. ábra: „Kapcsolt” energiátalakító rendszerek

15.4.5. Vízenergia hasznosítása

A vízenergia villamos energia előállítására való hasznosítása egyidős a villamos energia ellátással. A vízerőművek adják a világ villamos energia termelésének ~20%-át. A vízerőművek főbb típusai:

- *Átfolyós vízerőművek*, melyeket a nagy vízhozamú, de kis esésű folyókra építenek. A vízesés nem sokat változik.
- *Tározós vízerőművek*, amelyek a naponta, vagy meghatározott periódusonként gyűjtik össze a vizet. Magas gátrendszert igényel. Általában csúcsüzemben működtetik.
- *Üzemvíz csatornára telepített erőművek*, melyek építése a legkevesebb környezeti beavatkozással jár.
- *Szivattyús tárolós vízerőművek* többféle üzemmódban működhetnek. Leggyakoribb, hogy csúcsra járatják, azaz a felső víztározót akkor töltik fel, amikor nincs villamos csúcs és akkor engedik le a vizet, amikor a villamos energiaigény megnőtt. Ma már motor-generátor és turbina-szivattyú üzemmódú gépeket is alkalmaznak.
- *Árapály erőművek* és a *hullám erőművek* alkalmazása is előtérbe került, de ezek többsége még kísérleti szakaszban működik.

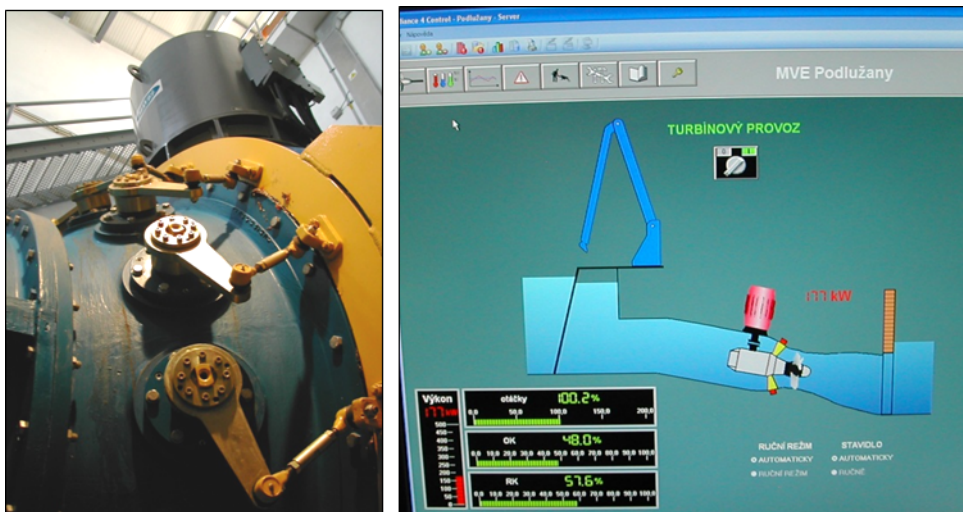
A hazai vízerőművek közül a Kiskörei erőmű a legnagyobb beépített teljesítményű: vízesése 6,7 m, vízhozama: 560 m³/s, villamos teljesítménye: 28 MW, 4 db csőturbina szolgáltatja az energiát. Tározó hasznos térfogata: 132 millió m³.



149. ábra: A kiskörei vízerőmű modellje, billenő szegmensei



150. ábra: Mini vízerőmű a Nyitra folyón, partfal karbantartása



151. ábra: A turbina elhelyezése, a vezétkerék szabályozó rendszere

16. Energiatudatosság. Személyes-, települési- és gazdasági érdekek (Dr. Pitrik József)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Az ember – céljai elérése érdekében – környezete átalakítására törekszik. Ehhez kezdetben a saját testi energiáját mozgósította, de mivel ez „kicsinek” bizonyult, összefogott embertársaival és különböző eszközöket szerkesztett, melyek könnyítették munkáján. Így alkotta meg az ember a csuszkát, a görgőt, a kereket, amelyek segítségével a szállításra fordított munkáját mérsékelte. A körmozgás megismerése után már speciális „gépeket” készített és működtetett. Ezek közül a legismertebb a kézi malom, a lábhajtású fazekaskorong, az íjhajtású eszterga. Az állati erőt vontatásra (kocsi, eke), őrlésre hasznosította. Újabb és újabb „munkagépeket” gondolt ki (vízszállításra, vízemelésre, melegítésre), melyeket egyre bonyolultabb mechanizmusok segítségével működtetett. Olyan eszközöket szerkesztett, amelyek a modern gépek és eszközök előfutárának tekinthetők.

Az emberiség történetének vázlatosan bemutatott szakaszában az ismert erőforrásokat már tudatosan használták, s az eszköztárat egyre bővítették.

„Minden anyagi rendszer működéséhez szükség van energiára.”⁸⁶ A földi tér folyamatai jelentős energiafelhasználók és -közvetítők. A vulkáni tevékenység, a gleccserek létrejötte és mozgása, a földcsuszamlások, a tektonikai lemez elmozdulások, a vízköri és a légköri áramlások energiája folyamatosan mozgásban tartja a „teret”.

Az energiaátalakulás következményeként alakultak ki a fotoszintetizáló növényi szervezetek, melyek a Nap energiáját hasznosítják. Más kemoszintetizáló növények a kémiai energiát használják fel a szervezet építéséhez és működtetéséhez. A heterotróf szervezetek más növényi és állati szervezetek szerves anyagaiban tárolt energiát használják fel. Ebben a biológiai láncban foglal helyet az ember, s biológiai energiaigényét élelemmel veszi fel.

Az ember a környezetéből egyre nagyobb teret ismert meg, így élményeket gyűjtött a természetben lezajló eseményekről. Valószínűsíthetjük, hogy kereste a különböző „csodákra” a megoldást, így: a kőzetomlásokra, árvizekre, földrengésekre, a szélre, az ár-apály-ra, a hullámmásra, a csapadékokra, a felhőkre, a viharra, a villámlásra, a Nap sugárzására és más természeti eseményekre. Valószínűleg egyre több hasznos információt szerzett az élettelen és az élő környezetről. Az összefüggések ösztönös keresése vezethetett ahhoz, hogy felismerte az ok-okozat kapcsolatokat. Így jutott el oda az ember, hogy értelmezte az „eleven erőt”, az energiát.

Az emberiség létszámának növekedése és az emberi célú energiafelhasználás szoros kölcsönhatásban van egymással:

- az ember energiaigénye nő,
- az energiaigény és a felhasználás jelentősen elvált egymástól. Egyes területeket energiapiazarlás, más területeket kritikusan alacsony szintű energiafelhasználás jellemez.

A társadalom fejlődése a biológiai igényen túli energiafelhasználást generál. Például: lakásépítés, gépjármű-közlekedés, használati tárgyak, -eszközök gyártása.

⁸⁶ Kerényi Attila: A termelés energiafüggősége és a környezet hierarchiája. In: Dövényi Z. – Schweitzer F (szerkesztők): A földrajz dimenziói. MTA, Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 2005. pp.349–363.

16.1. Energiahatékonyság

Az energia ellátás biztosítására – bármely korban – műszaki berendezésekre és tőkebefektetésre volt szükség. A köznap elemzésekben gyakran a műszaki berendezések energetikai hatásfokának javítását tekintik mindenhatónak. Ma már tisztán érzékelhető, hogy a hatásfok javítás önmagában nem elegendő az energiaellátás biztosítására. Az igény folyamatosan nő, s ez a gazdasági fejlődés „mozgatórugója”.

Az energiahatékonyság egy gazdasági mutató, amely (az ország, a régió) 1 főre vetített GDP értéke és az 1 főre eső energiafelhasználás hányadosa (n/e). Szokásos mértékegysége: USD/GJ. A világátlag ~30; az OECD országok átlaga: 95; fejlett országok esetén: 60–100, fejlődő országok tartománya: 5–10, Magyarország mutatója: ~30. Ennél az adatsornál pontosabb, realisabb adatot szolgáltat, a vásárlóerőt figyelembe vevő index.⁸⁷

Az energiahatékonyság javítása lehetséges:

- új, modern műszaki eszközök bevonásával;
- termelési szerkezet váltásával (energiaigényes tevékenység visszaszorításával).

A problémát elsősorban az jelenti, hogy az alkalmazott technológia műszaki színvonala, a termelékenység, az ár, a munkaerő kvalifikációja, ... rendkívül eltérő. Hazai viszonylatban a hozzáadott érték is rendkívül alacsony.

Az energiahatékonyság foka egy ország energetikai ellátásának értékelésére alkalmas.

Ahhoz, hogy egy ország energiahatékonysági szintjét emeljük, meg kell találni azokat a beavatkozási pontokat, amelyekkel a gazdasági fejlődés biztosítható. Az egyén, aki részese az energiafogyasztásnak, gazdasági és műszaki értelemben is keresi azokat a mozgástereket, amelyek a „pozícióját” javítják.

16.2. Energiatudatosság

Az ember – amint ezt már részletesen kifejtettük – *tudatos energiatermelő* és *energiafogyasztó*. A tudatosság kezdetben: a tűz megőrzésére; a tüzelőanyagok tárolására; a folyók, patakok tavak és tengerek áramlási viszonyainak „kiismerésére” és használatára; a szelek irányának, erősségének és ismétlődésének jellemzőire; a napenergia évszaki és napi „viselkedésének” megértésére; a természeti hőforrások alkalmankénti használatára irányult. Bizonyosak lehetünk abban, hogy a megújuló energiaforrások felhasználása a környezet megóvására, fenntarthatóságának biztosítására, az energiával való takarékosagra ösztönözte az embert.

A nem megújuló energiák használatára lényegileg két okból kényszerült az ember.

Egyrészt létszáma rendkívüli mértékben növekedett, így egyre nagyobb teret „foglalt el” a természettől, a rendelkezésre álló megújuló forrásokat „túlhasználta” a fenntarthatóság határát túllépte. Újabb területeket vett használatba, sokszor olyanokat is, amelyek nem „hasonlítottak” a kezdeti, kedvező feltételekhez. Az ember azonban tudatosan kereste a megoldásokat problémáira, így az energiaigény kielégítésére is.⁸⁸

Másrészt az emberi kultúra fejlődésével energiaigénye is jelentősen nő. A mai ember olyan eszközök sorát alkalmazza ma, melyekről a 19–20. században is csak az „álmódosók” gondoltak. Mindenki számára világos, hogy a közvilágítás, a tömegközlekedés, a

⁸⁷ Részletesen: Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, pp.54–57.

⁸⁸ Egyes szélsőséges éghajlati területeken: pl. Tundraklíma tájon a Föld területének 8,9%-án a Föld népességének 0,3 %-a él. A Meleg, télen száraz klímáján az arányok: 8,4% területen 27,6 % népesség. Részletek: Becsei József: Népeességföldrajz. Ipszilon Kiadó Kft., Békéscsaba, 2004. pp. 161–165.

telekommunikációs eszközök – és sok más rendszer – használata életünk fontos része, a Föld népességének egy része számára ezek hozzáférhetőek, mások számára nem.

Az emberiség hosszú ideig fizikai munkavégző képességét hasznosította. Ez a kis potenciál biztosította a társadalmi fejlődést, a civilizáció megalapozását.⁸⁹

A tudatos emberi tevékenység eredményeként létrejött természeti – társadalmi – technikai környezetet folyamatosan változás jellemzi. Így az ember minden cselekedete egy társadalmi közegben valósítható meg. Az elképzelések megvalósításának ez a környezet támogatója és ellenzője is lehet. Leegyszerűsítve ezt a kapcsolatrendszert, azt mondhatjuk, hogy az eredményes megvalósításhoz érdekek egyeztetésére, támogatások „kijárására” van szükség.

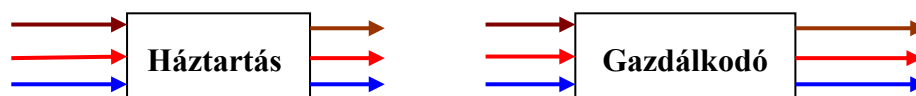
Az érdekek felmérése, egyeztetése különösen nagy hangsúlyt kapott az energia hasznosítás területén. Vázlatosan bemutatjuk a problémakört Vajda György munkájának⁹⁰ felhasználásával.

16.2.1. Személyes érdekek

Az ember környezetét formálva igényei mind jobb kielégítésére törekedett. Szálláshelyét – lakóházát „komfortossá” alakította, olyan tűzhelyet épített, mely konyhai és fűtési funkciókat is ellátott. A füst elvezetését is úgy oldotta meg, hogy a kedvezőtlen hatásokat „minimalizálja”. Készülékét folyamatosan korszerűsítette. Munkaeszközeit saját magához „idomította”. Technológiákat fejlesztett, ezek működtetéséhez mind több energiára volt szüksége, ezért „megtanulta” az energiagazdálkodás főbb szabályait. Hamarosan kiderült, hogy az emberek különbözőek, – képességeik, adottságaik, tanult ismereteik alapján – eltérő szinten képesek eszközöket, tárgyakat, berendezéseket készíteni, így egy természetes elv szerinti munkamegosztás alakult ki a közösségek tagjai, majd a társadalom „szereplői” között. Ez az egyéni érdekek „megfogalmazásához”, érdekcsoportok kialakulásához és ezekhez való csatlakozáshoz vagy eltávolodáshoz vezetett.

Ezen az alapon „építkezve” a mai ember személyes érdeke, hogy bármely időpontban, bármely helyen elegendő mennyiségben és formában álljon energia rendelkezésére.⁹¹

A kereslet és a végső felhasználó szempontjából két fontos fogyasztói csoportot értelmezhetünk: a háztartásokat és a gazdálkodó egységeket. A **152. ábra** vázlatosan szemlélteti azt a különbséget, amely e két rendszercsoport sajátossága: a háztartás az energiafogyasztásra determinált (a GDP felhasználásához kapcsolódik), a gazdálkodó egység a termelésre determinált.



Jelmagyarázat: anyag: → energia: → információ: →

152. ábra: Háztartás és a Gazdálkodó, mint technikai rendszer

⁸⁹ Magyarország munkaképes lakosságának elméleti munkavégző képessége 4 PJ/év, ez a felhasznált primér energia 0,4%-a. A ló teljesítőképessége ideális esetben az emberi teljesítőképesség 15-szöröse. Lásd. Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, pp. 74–75.

⁹⁰ Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, pp. 337–349.

⁹¹ Forman Balázs: Energiagazdálkodás. In: Bora Gyula–Korompai Attila (szerk.): A természetes erőforrások gazdaságtana és földrajza. Aula kiadó, Budapest 2001. pp. 72–80.

Az energiatudatosság néhány jellemzője az egyén szintjén:

- a lakótér kis energiaszükségletű legyen;
- a lakótérben folyó tevékenységek során a károsanyag kibocsátás minimális legyen (fűtés, háztartási gépek);
- az épület minél több megújuló energiát hasznosítson;
- a gépjármű-közlekedést minimalizáljuk;
- a háztartás ne terhelje környezetet felesleges hulladékokkal.

16.2.2. Települési érdekek

Az egyén általában nem elszigetelten él, ezért különböző mértékben, de alkalmazkodnia kell embertársai elképzeléseihez is. A település az a nagyobb egység, ahol rendszerint megfogalmazzák a környezettudatosság és az energiatudatosság főbb pilléreit. Az első településeken a legjobb lakóterületeknek a vízparti, de részben védett dombos magaslatok bizonyultak. Ilyen helyre azonban csak néhányan költözködhettek a szűk „keresztmetszet” miatt. Az új lakok csak a kedvező adottságoktól távolabb települhettek le. Érdekük azt kívánta, hogy a vízparti területeket közösen használják, így rendszerint átalakították a korábbi felhasználást: kikötőket, közösségi tereket hoztak létre. Az érdekek közös képviselője a fejlődéssel egyre inkább előtérbe került. A közvilágítás létrehozása⁹², a közösségi közlekedés megszervezése⁹³, ... mind-mind energetikai együttgondolkodást tételez fel.

A villamos energia felhasználásának kezdeti időszakában – amint azt már láttuk, városi villanytelepek létesültek a helyi, majd a regionális igények kiszolgálására. Ezek mintegy „húzóágazat” működtek, mert a munkahelyteremtést, az infrastruktúra fejlesztést szolgálták. Később más érdekek mentén – főként gazdasági szempontokból – regionális, majd globális erőmű fejlesztések mellett döntöttek. Ezek reális értékelése több évtizedet vett igénybe, s mára a lakosság jelentős része nem kedveli a „monstrumokat”, kevésbé fél a decentralizált erőművektől, a helyi lehetőségekhez igazodó (Edison elvet követő) erőműveket létesítene. Ugyanakkor más települések lakossága fél a mobil erőművektől, a (gyakran gusztustalan, fertőző) hulladékot égető mini erőművektől. A megegyezések csúsznak, a problémák tovább élnek. Hasonlókat tapasztalni a közlekedés területén, a mezőgazdaság energiaigényének kielégítési folyamatában, a geotermikus energia hasznosításában, a radioaktív hulladék kezelésében is.

A települési önkormányzatok létesítmények engedélyezésében mind nagyobb szerepet játszanak, így akár a személyi érdekek, akár a gazdasági érdekek mentén konfliktusok keletkeznek. Ezeknek az érdekeknek a harmonizálása sokszor a továbblépés feltétele.

16.2.3. Gazdasági érdekek

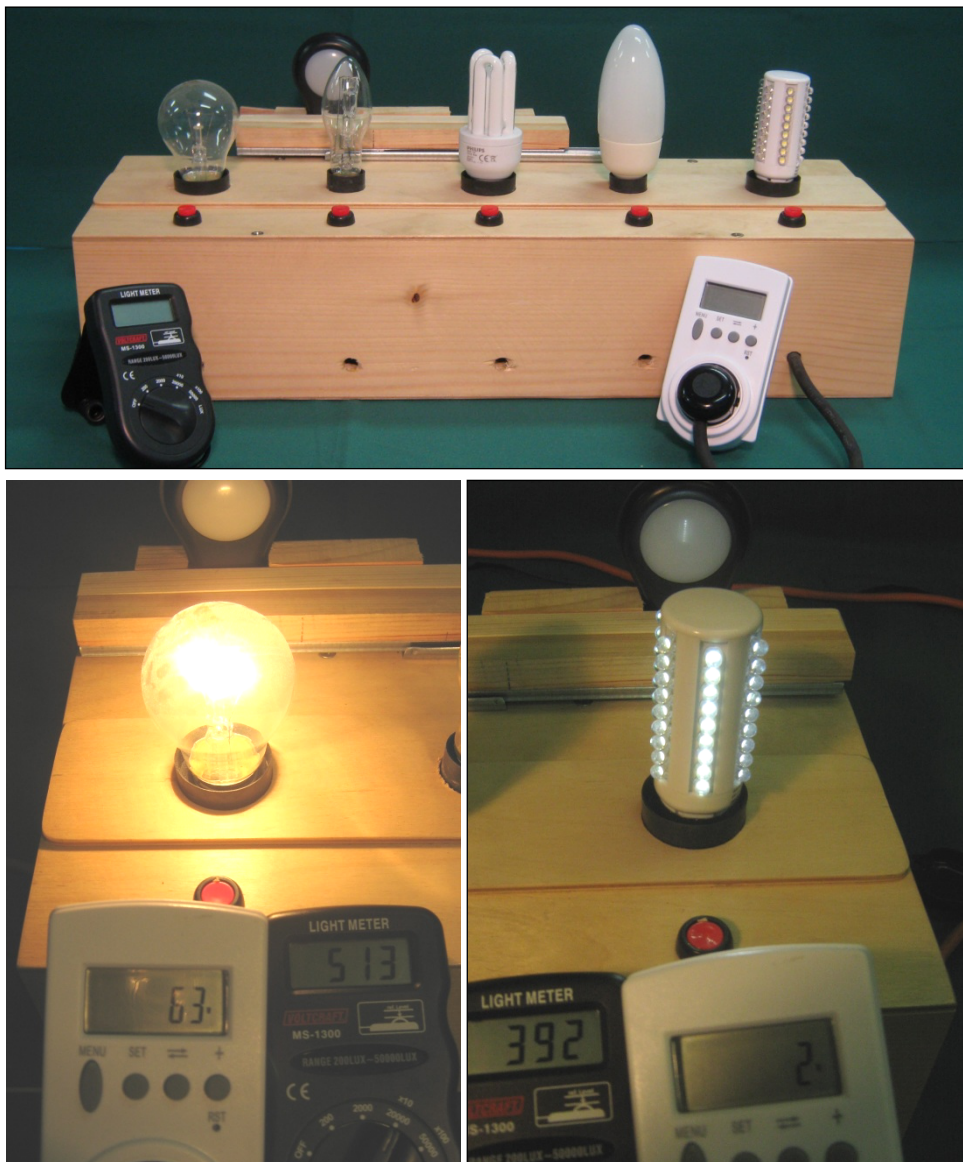
Az energiahatékonyság bevezetése során kifejtettük, hogy az 1 főre eső GDP termelést az 1 főre eső felhasznált energia (GJ) függvényében vizsgáljuk. A gazdaság szereplőinek érdeke, hogy minél nagyobb volumenben, minél többféle energiahordozót értékesítsenek. Ugyanakkor személyes, de gyakran önkormányzati érdek is, hogy a technikailag a legkorszerűbb, legtakarékosabb eszközöket használjuk fel. Sajátos ellentmondás, hogy a lakosság világitásra az összes energiának mindössze 1%-át használja fel, ugyanakkor ezen a területen képes a legjobban takarékoskodni. Erre a gazdaság szereplői olyan izzó választékkal

⁹² Pompeiben Kr.u. 79-ben már fáklyás közvilágítást alkalmaztak.

⁹³ 1857. március 1-én megindult Szegeden az első Omnibusz járat a vasútállomás és a belváros között, 1884. május 23-án nyitották meg a városi közúti vaspályát, melyen gőzvontatást alkalmaztak. Ezen pálya egy részén 1884. május 26-án lóvasúti közlekedést indítottak. 1908. október 1-én indult az első szegedi villamos a városi vasúti hálózaton.

léptek a piacra, amely kisebb üzemi költséggel jár(hat), de rendkívül drága a beszerzésük és az élettartam garanciák is bizonytalanok. Így a gyártó munkahelyek számának csökkentését hajtotta végre, újabb konfliktusokat generálva. Ugyanakkor valós gazdasági érdeke a családoknak, hogy kisebb villamos teljesítménnyel arányosan nagyobb megvilágítási értéket (lux) létesítsenek (**153. ábra**).

Hasonló konfliktusok ismertek a gépjármű üzemanyag termelés és fogyasztás területén, az energiatakarékos termékek gyártásában, az energiaszegény – passzív ház építésben, a megújuló energiák térnyerésének erősítésében a fosszilis energiafelhasználás visszaszorításában. Érdekek ütköznek, érdekérvényesítő csoportok „lobbizznak”. Rendkívül fontosak azok az európai törekvések, amelyek megértésre, megegyezésre, önkorlátozásra ösztönöznek és nyilvánosságot biztosítanak.



153. ábra: Hagományos és korszerű izzók vizsgálata

Balról jobbra: wolframszálás izzó; halogén izzó; kompakt izzó; kompakt, burkolt izzó; LED-es izzó

Bal oldal: 63 W villamos teljesítmény / 5130 Lux; Jobb oldal: 2 W villamos teljesítmény, 3920 Lux

17. Energia és a társadalom (Dr. Pitrik József)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Ahhoz, hogy a mai társadalmak energiához kapcsolódó viszonyát felismerhessük, megérthessük át kell tekintenünk a múltat, azt a csodálatos fejlődést és környezet átalakítást, mely az elmúlt 35 ezer évet jellemezte.

Amint azt már bemutattuk, az első emberi közösségek harmóniában éltek a természettel, kímélték, ugyanakkor használták. Sikertelenül olyan dinamikus egyensúlyt teremteni, amelyet egy teljesen természetes fenntarthatóság jellemzett, anélkül, hogy ez tudatossá és elvonttá vált volna. Ebben az időszakban az ember biológiai energiaigényét közvetlenül, a még majdnem háborítatlan természeti környezetből vonta el. Természetesen a termések „begyűjtése”, az elhullott és sérült állatok húsának fogyasztása, az élő szervezetek életterét befolyásolta, rendszerint csökkentette. Az ember igényei azonban egyre nőttek, kezdetben csak saját erejét hasznosította munkavégzésre. Az energiafelhasználását ~10 MJ/nap-ra becsülték.⁹⁴ Ez az érték még csak a kezdeti „tápláló tüzelés” energiáját vette figyelembe, de a tűz „konyha-technikai”, melegedési, világítási, erdőirtási, famegmunkáló alkalmazásával, az állatok háziiasításával és a mezőgazdasági- és kézműves termeléssel (szerszámkészítés, termékgyártás, kerámia készítés és fémfeldolgozás) egyre több energiát használt fel az ember. A napi energiafelhasználás a 19. századra elérte a ~350 MJ/nap értéket. A termelés és a fogyasztás összhangja általában nem sérült, de bizonyos helyszíneket rendkívüli éhínség, elszegényedés jellemezte. Az energiafelhasználás még döntő módon a megújuló energiákból történt.

Az ipari forradalom időszakától származtathatjuk a fa intenzív – megújulást gátló ütemű – felhasználását, a nem megújuló energiaforrások igénybevételét. A külső-, majd a belső égésű motorok megjelenése, a földgáz közvetlen vagy közvetett fűtési felhasználása, a villamosenergia előállítása és sokoldalú felhasználása, az „egekig” emelte az energiafogyasztást. A mai kor energiafelhasználása rendkívül összetett, területileg aránytalan, csak Európában a primer tüzelőanyag felhasználás: 136 GJ/fő, év. A világ összes primerenergia felhasználásának figyelembevételével, 2000-es becslés: az egy főre eső világ-átlag: ~70 GJ/fő,év.⁹⁵ A fogyasztás szerkezetét szemlélteti a **154. ábra**, amely a primer energia eloszlást és a villamosenergia termelésben való részesedést mutatja 2001-es adatok alapján.

Az Unió Megújuló Energia Direktívája szerint az EU-ban 2020-ra a teljes energiafogyasztás 20%-nak megújuló energiaforrásból kell származnia. Magyarország 13%-ot vállalt (jelenlegi hányada: 3%).⁹⁶

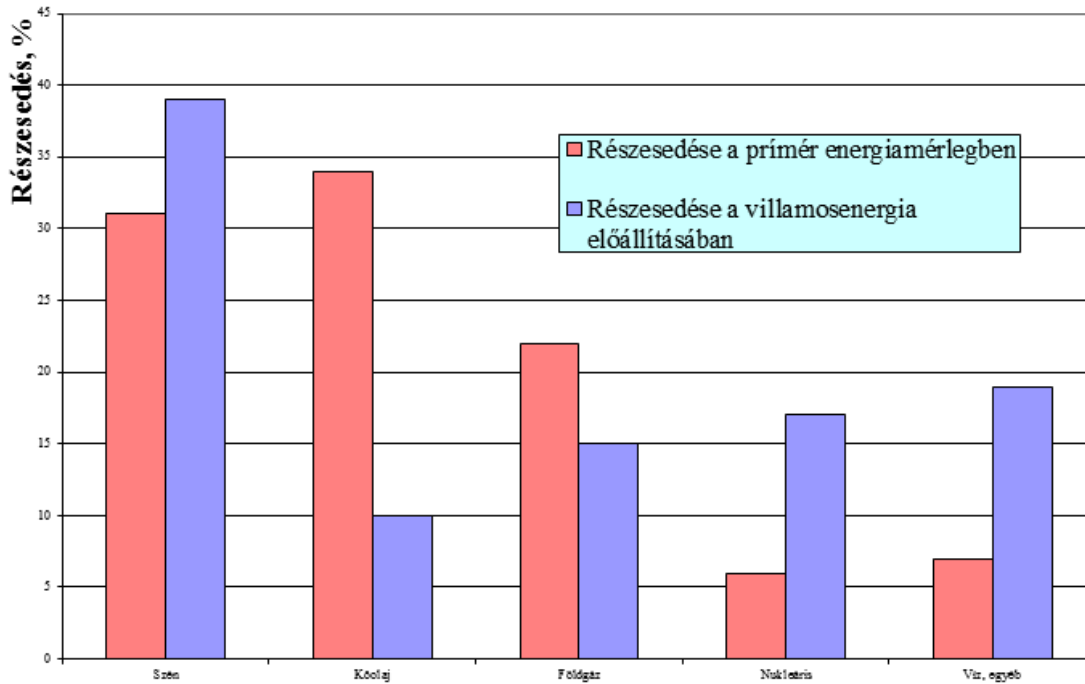
A hazai primer energiaszerkezet 2001-es állapotát a 155. ábra mutatja. A grafikon a hazai és az import adatokat együttesen tartalmazza, a szén helyett az összes szilárd energiahordozóra, illetve az összes folyékony (kőolaj frakciókra is) energiahordozóra vonatkozik.

⁹⁴ Szűcs Ervin–Schiller István: Technika és energia II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1987. pp. 123–128.

⁹⁵ A mai napi energiafogyasztás személyenként, átlagban 70000 MJ, amely 7000 őskori ember (~ ugyanennyi természeti civilizációban élő ember) fogyasztásával egyenértékű. A hazai végső primerenergiafelhasználás 1999-ben 68 GJ/fő,év.

⁹⁶ Népszabadság, 2011. január 29. 3. oldal; Hargitai Miklós

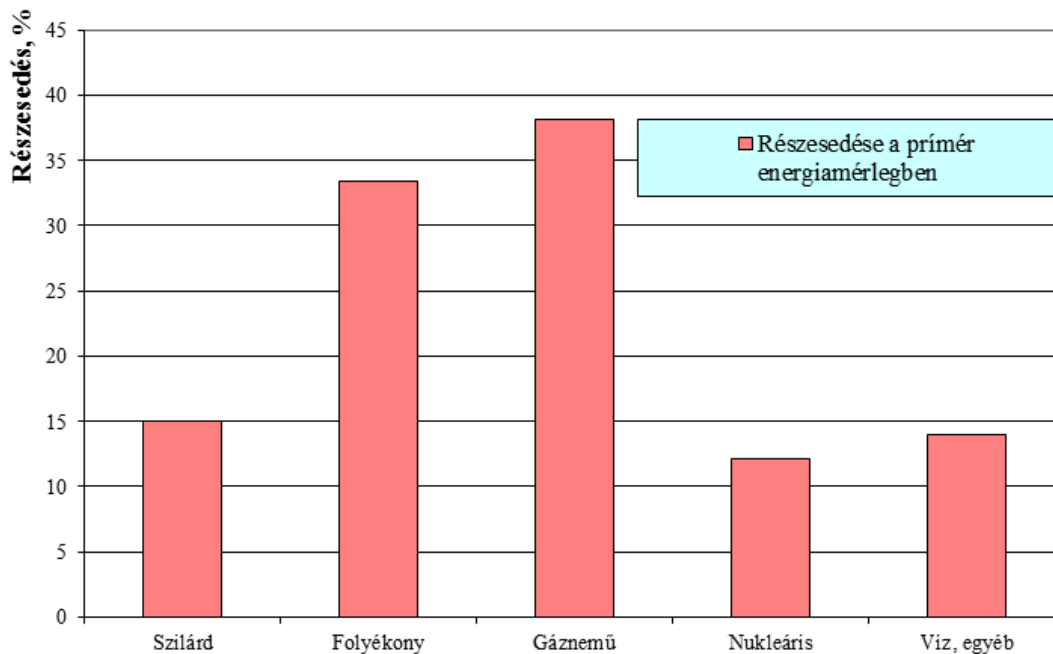
A világ energiaszerkezete



Energiahordozó

154. ábra: A világ energiaszerkezete Forrás: Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, 2001. pp.34–35.

Magyarország energiaszerkezete



Energiahordozó

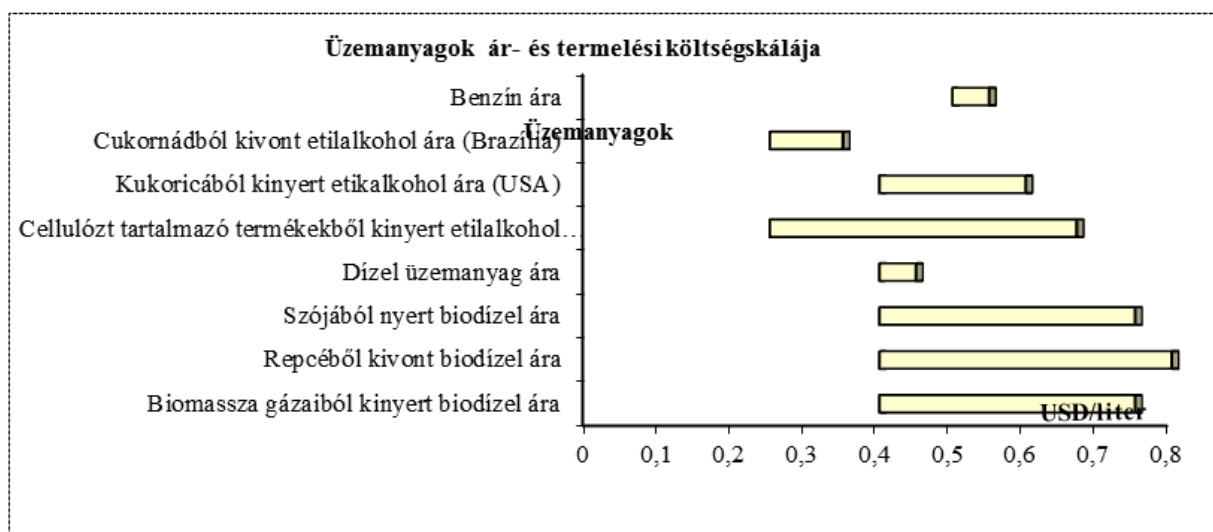
155. ábra: Magyarország energiaszerkezete Forrás: Vajda György: Energiapolitika. MTA, Budapest, 2001. pp.36–37.

A fenti, rövid vázlatból is érzékelhető, hogy az energia felhasználás szoros kapcsolatban van a vizsgált terület energetikai adottságaival, műszaki infrastruktúrájával, társadalmi viszonyaival, a lakosság életszínvonalával, életmódjával. Fontos észrevenni, hogy a különböző országok ma már kevésbé elszigeteltek egymástól, ezért olyan fejlődést elképzelni, amely szerint egyes országok „régimódon” elzárkóznak és csak kívülállóként figyelik más országok „kiugrását” szinte lehetetlen. A mobilizáció, a migráció a telekommunikáció révén a kapcsolatok mélyülnek, a változások lehetőségei egyre inkább fenn állnak.

Az energetikai nyersanyagok gyakran a kevésbé fejlett területeken állnak még rendelkezésre, ezért ezek mind korszerűbb eszközökkel való kiaknázása, exportálása hatást fejt ki a közösségekre, a társadalmakra.

A kínai gazdaság „viselkedésének” megismerése segíthet abban, hogy egy változó társadalom és az energia néhány összefüggését megérthessük. Kína ma a világ 2. legnagyobb kőolajfogyasztója. Az olaj importálása jelentős terhekkel jár, ezért 2005-től bioüzemanyag termelési közösségi programokat vezettek be. 2020-ra az ország energiafelhasználásának 10%-át megújuló energiával kívánják kielégíteni. Ma Kínában mintegy 200 etilalkohol gyártó üzem működik, az ország benzin fogyasztásának ~2,5%-át adja. 2020-ra Brazíliát és az Egyesült Államokat kívánják utolérni. A tervek és a megvalósítás tapasztalati nyomán azonban több kétség is megfogalmazódott: ha sok gabonából bioüzemanyagot készítenek, az élelmezési gabona ára növekszik, importálni kell a gabonát, így a nagy volumenű autógyártás – vevő híján – megghiúsulhat.⁹⁷

A különböző gépjármű üzemanyagok árviszonyainak összehasonlítása segíthet a problémakör megértésében. (156. ábra)⁹⁸



156. ábra: Üzemanyagok nagykereskedelmi és termelési költségeinek skálája Forrás: Suzanne C. Hunt–Janet L. Sawin–Peter Stair: Megújuló energiaforrások fejlesztése. In: A világ helyzete, 2006. Föld Napja Alapítvány, 2006. pp. 98–99.

⁹⁷ Suzanne C. Hunt–Janet L. Sawin–Peter Stair: Megújuló energiaforrások fejlesztése. In: A világ helyzete, 2006. Föld Napja Alapítvány, 2006. pp. 93–114.

⁹⁸ A táblázat a benzin és a dízel üzemanyag árait 60 USD / hordó kőolaj áron veszi figyelembe. Jelenleg a kőolaj világpiaci ára ~80 USD / hordó.

17.1. Beruházások, fejlesztések

A különböző energetikai tervek akkor valósíthatók meg, ha azokhoz a szándékon kívül az anyagi fedezetek is rendelkezésre állnak. Az energetikai beruházásoknak manapság a következő típusait ismerhetjük fel:

- A meglévő berendezések kedvezőtlen környezeti hatásainak mérséklése (légszennyező anyagok (por, pernye, korom, CO, NO_x, SO₂) kibocsátásának csökkentése, zajhatás csökkentése, talaj és a vizek károsításának gátlása, tájrendezés);
- Megújuló energiák alkalmazása villamos energia előállítására (Nap, szél, víz, hullám, ár-
apály, földhő, biomassza) sziget és park üzemmódban;
- Nem megújuló energiák felhasználásának mérséklése, pótlásuk bioüzemanyagokkal;
- Energiatakarékos, passzív épületek tervezése és kivitelezése;
- Energiatakarékos berendezések (közösségi járművek, háztartási gépek, ...) kifejlesztése, használata);
- Műszaki megoldások határfokainak javítása;
- Energiahatékonyság növelése;
- Beruházások új szemléletű előkészítése (nyílt és tárgyyszerű tájékoztatás, civil szervezetek bevonása);
- Környezeti hatástanulmányok elkészítése. elemzése és bemutatása;
- Nemzetközi egyezmények betartása, szomszédos országokkal egyeztetések megszervezése;

Az energetikai beruházásokra vonatkozóan néhány fő szakmai irányt lehet felismerni:

- Az „Edison” elvű energetikai beruházásokat támogatják, mert ezek a termelést decentralizálják, így egyéb gazdasági és foglalkozáspolitikai hatásaik is érvényesülnek. Ezek a lakossági félelmeket mérsékelik. Ellenpontként a nagy monstrum erőműveket (atom-, víz-) be kívánják zárni.
- A megújuló energiaforrásokat részesítik előnybe, ezek közül is elsősorban a napenergia és a szélenergia hasznosítását. Két álláspont fogalmazódik meg:
 - Ezek a beruházások rendkívül drágák, megtérülésük hosszú ideig tart, ezért elsősorban lokális alkalmazásukra van lehetőség. Jelentős erőművi felhasználás esetén rendkívül nagy felületeket igényelnek, így kedvezőtlen gazdasági hatásokat (pl. a mezőgazdaságban) generálnak.
 - A jövőnek a legpotenciálisabb összetevője: a napenergia. Fotelektromos elemekkel az emberiség jelenlegi energiaigényét a földfelszín viszonylag kis felületén elő lehetne állítani (pl. a Szahara 600 km²-es felületén). Hasonlóan kedvezőek a szél energetikai felhasználásra vonatkozó elképzelések (pl. Európa teljes villamosenergia igényét lehetne szélerőmű farmokkal biztosítani. E két forrásból nyert energia szolgálhatná az alapot a hidrogén előállításához.⁹⁹
- A hő és a villamos energia kombinálásának technológiájával (CHP=Combined Heat and Power) a hatékonyság nő (pl. biomassza erőművek esetén).
- A megújuló energiák épületen belüli alkalmazásában terjednek a „mikroenergetikai” rendszerek. Ezek segítségével új szemléletű energiaellátás valósítható meg. Az un. „energiainternet” kis hálózatai önállóan és kapcsolva is képesek működni.⁵

A társadalom működésének egyik fontos pillére a növekvő energiaigények megfelelő szinten való kielégítése. Az energiatermelés és elosztás azonban visszahat a társadalomra a környezeti hatásokat mérsékelni kell, hogy a jövő társadalmi is működőképesek, fenntarthatók legyenek.

⁹⁹ Jeremy Leggett: A fele elfogyott. Typotex, Budapest, 2008. pp.184–189.

18. Energetikai–környezeti problémák és hatásrendszerek (Dr. Pitrik József)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

A mai kor főbb energetikai problémái abból adódnak, hogy egyre több energiát fordítunk közlekedésre, szállításra, miközben a kedvezőtlen hatásaival egyre nehezebben birkózunk meg. Nem mondunk le a lakásaink, épületeink fűtéséről–hűtéséről, folyamatosan kellemes közérzet elérésére törekszünk. Elektromos energiaigényünk növekedését is egyre nagyobb erőfeszítésekkel, költségekkel és környezeti károsítással érjük el.

Ebben a fejezetben a közlekedés hatásrendszerét vázoljuk fel és az épületek energetikájának néhány időszerű kérdését elemezzük.

18.1. Közlekedési hatásrendszer

A településekhez kapcsolható közlekedés hatásrendszere a fenti elvi rendszer alapján megfogalmazható. Példaként a gépjármű-közlekedés hatásrendszerének vázlatát mutatja be az **20. táblázat**.

20. táblázat: /1: Települési gépjármű-közlekedés hatásrendszere (vázlat) [Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: BAKÁCS T.–BARNA B. 1999, RÉDEY Á.–MÓDI M. 2002a]

Konfliktust kiváltó ok	Elsődleges hatás	Másodlagos hatás	Harmadlagos hatás	Hatásviselő	
Gépjárműforgalom	Utak állagának romlása	Porképződés	Lerakódás növényekre	ÉLŐVILÁG	
			Lerakódás épületekre	ÉPÍTETT KÖRNYEZET	
			Kocsi mosás	VÍZ, TALAJ	
		Műszaki károk		Költségnövekedés	EMBER
				Alkatrész selejtezés	FÖLD, TÁJ
		Forgalomlassulás		Idegi hatások	EMBER
				Légszennyezés nő	LEVEGŐ, EMBER
		Balesetveszély		Költségnövekedés	EMBER
				Egészségkárosodás	EMBER
	Levegő szennyezése	Levegőminőség romlás		Növény károsodás	ÉLŐVILÁG
				Lerakódás épületekre	ÉPÍTETT KÖRNY.
				Korrózió	ÉPÍTETT KÖRNY.
				Légúti betegségek	EMBER
		Szmogképződés		Légúti betegségek	EMBER
Egészségkárosodás				EMBER	
Idegi terhelés				EMBER	
		Költségnövekedés	EMBER		

	Zajsztint nő	Állatvilág zavarása		ÉLŐVILÁG
		Idegi terhelés		EMBER
		Halláskárosodás		EMBER
		Védőfalak létesítése	Területfoglalás	ÉPÍTETT K., TÁJ
			Költségnövekedés	EMBER
			Esztétikai beavatkozás	TÁJ
Gépjárműfor- galom	Rezgések	Épületek károsodnak	Költségnövelés	ÉPÍTETT K., EMBER
		Egészségkárosodás		EMBER
	Parkolási igény nő	Forgalomtorlódás	Idegi terhelés	EMBER
			Balesetveszély	EMBER, ÉPÍTETT K.
			Légszennyezés nő	LEVEGŐ, EMBER
		Területfoglalás	Költségnöveke- dés	ÉPÍTETT K., EMBER
			Zöld felület csökken	ÉLŐVILÁG
			Talaj vízháztartása v.	VÍZ, FÖLD
		Információs táblák l.	Esztétikai beavatkozás	ÉPÍTETT K., TÁJ
	Információs túlterhelés		EMBER	
	Egyéni közlekedés akadályozása	Idegi terhelés	EMBER	
	Gj. mosási igény nő	Víz-, vegyszerigény nő	Költségnövelés	EMBER, FÖLD, VÍZ
			Víz tisztító létesítése	Költségnövelés
		Befogadók terhelése nő	FÖLD, VÍZ	
	Utak karbantartása	Forgalomtorlódás	Balesetveszély	Költségnövelés
Forgalomlassulás			Idegi terhelés nő	EMBER
Légszennyezés		Levegőminőség romlása		LEVEGŐ
			Légúti megbetegedések	EMBER, ÉLŐVILÁG
Zaj, rezgés		Idegi terhelés		EMBER
		Épületek károsodnak	Költségnövelés	ÉPÍTETT K., EMBER
Elkerülő utak létesítése		Forgalomnövekedés	Idegi terhelés	EMBER
			Taposási károk	ÉLŐVILÁG, FÖLD
		Úthossz növekedése	Költség nő	EMBER

Utak építése	Területfoglalás	Termelés felhagyása	Jövedelem elmaradás	EMBER
		Erdők irtása	Ökoszisztémák tönkretétele	ÉLŐVILÁG
	Vízszennyezés	Vízrendszer módosítása	Földmunkák	VÍZ, FÖLD
	Erdősávok létesítése	Költségek növekedése		ÉLŐVILÁG, EMBER
	Kerítések készítése	Vadak útjának bef.	Vadállomány csökk.	ÉLŐVILÁG
	Munkagépek üzeme		Légszennyezés	
Zaj, rezgés				ÉPÍTETT K., ÉLŐVILÁG
Gépjármű karbantartás	Gumibroncs kopása	Légszennyezés	Növényzet károsodása	ÉLŐVILÁG
	Gumia. selejtezése	Helyfoglalás	Esztétikai beavatkozás	FÖLD, TÁJ
		Égetés	Légszennyezés	ÉLŐVILÁG, EMBER
	Akkumulátor-csere	Helyfoglalás	Esztétikai beavatkozás	FÖLD, TÁJ
		Savgőzők	Légszennyezés	LEVEGŐ
			Talajszennyezés	FÖLD
			Vízszennyezés	VÍZ
		Ólomvegyületek	Talajszennyezés	FÖLD
			Vízszennyezés	VÍZ
	Ökoszisztémák kár.		ÉLŐVILÁG, EMBER	

18.2. Épületek környezeti kapcsolatai

Ebben az alfejezetben a lakóépületek energetikai problémáit foglaljuk össze. Bemutatjuk, hogy van mozgástér az energia megtakarítására és a tudatos építészetre és üzemeltetésre. David J.C. MacKay nyomán az Egyesült Királyságban a jelenlegi és a jövőbeni három alapenergia fogyasztás eloszlását a **21. táblázat** mutatja.¹⁰⁰

21. táblázat: Nagy-Britannia egy főre eső energia felhasználása

	2008	2050
<i>Elektromos berendezések</i>	18 kWh/nap	18 kWh/nap
<i>Közlekedés</i>	40 kWh/nap	20kWh/nap
<i>Fűtés</i>	40kWh/nap	30 kWh/nap

Az épületek üzemeltetésére fordított *fűtési energia* (fűtési hőszükséglet) a hőátbocsátási és szellőzési eredő *hővesztések* és a *hőnyereségek* (napenergiából nyert, belső) különbsége.^{101 102}

¹⁰⁰ David J.C. Mackay: Fenntartható energia – mellébeszélés nélkül (www.withouthotair.com).

¹⁰¹ Adolf-W. Sommer: Passzívházak. PHM, 2010.

A lakóépületek adottságai jelentősen befolyásolják a fűtésre fordítandó energiahányadot. Ezek közül a legfontosabbak:

- az építőanyagok;
- a tájolás;
- hőszigetelés;
- hőhidak;
- nyílászárók üvegezése;
- légtömörség;
- közműrendszer hővisszanyerése;
- szellőzés hővisszanyerése.

A kedvező kialakítások mellett is általában szükség van kiegészítő *aktív berendezésekre*, így napkollektorokra (HM, fűtést segítő átmeneti időszakban), napenergia tároló rendszerekre, hőszivattyúkra, napelemekre, (kiegészítő) fűtésre. A hazai lakosság komfort elvárása általában túlfűtést igényel. Külön berendezéseket kell beépíteni fürdőmedencék, szaunák, fürdőszobák üzemeltetésére, melyek az egész ház energetikáját és energia igényét meghatározhatják.¹⁰³



157. ábra: Belvárosi ház belső terének élhető kialakítása energiatakarékos is

¹⁰² Zöld András: Energiatudatos építészet. Műszaki könyvkiadó, 1999.

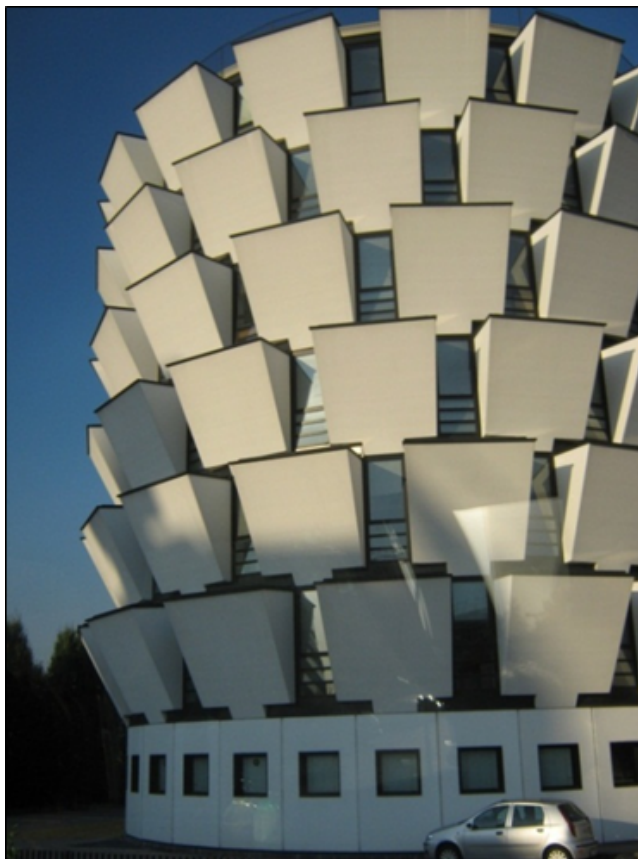
¹⁰³ Gyakorlati tapasztalat: 1 °C belső hőmérsékletcsökkentés (termosztát átállítás) közel 10% fűtési energia megtakarítást jelenthet.



158. ábra: Szoláris építészeti elemeket felvonultató, jól tájolt lakóház



159. ábra: Ökocentrikus házak



160. ábra: Modern, klímataudatos építészet? Milánó



161. ábra: Korszerű lakás épületgépészeti részlete



162. ábra: Uszodai épületgépészet részlet



163. ábra: Uszómedence hőszigetelő zsaluval



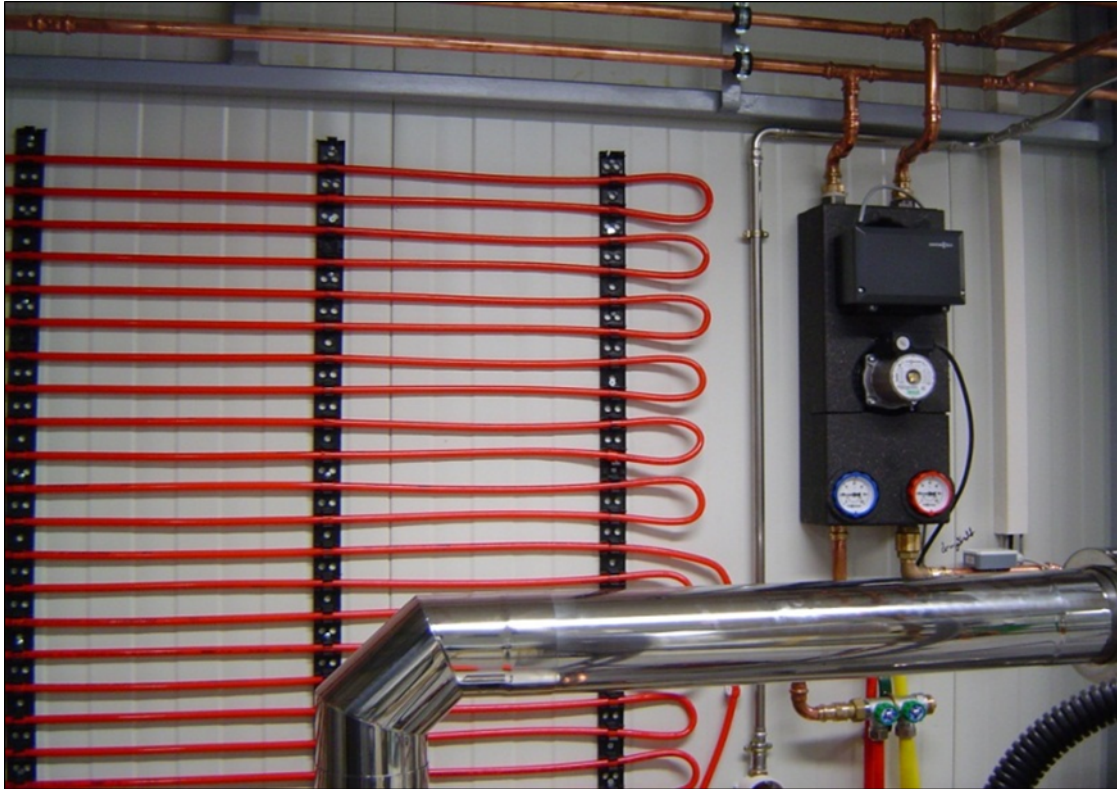
164. ábra: VITOCROSSAL 300 gázkazán¹⁰⁴



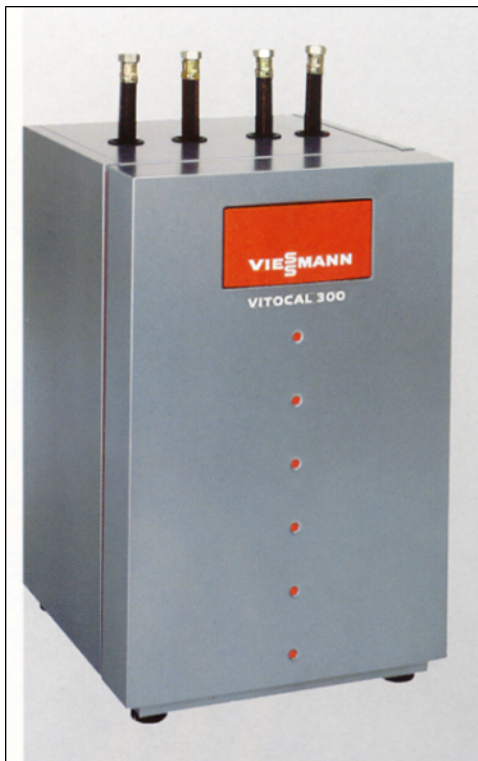
165. ábra: Gázkazán szerelés alatt

¹⁰⁴ VITOCROSSAL 300

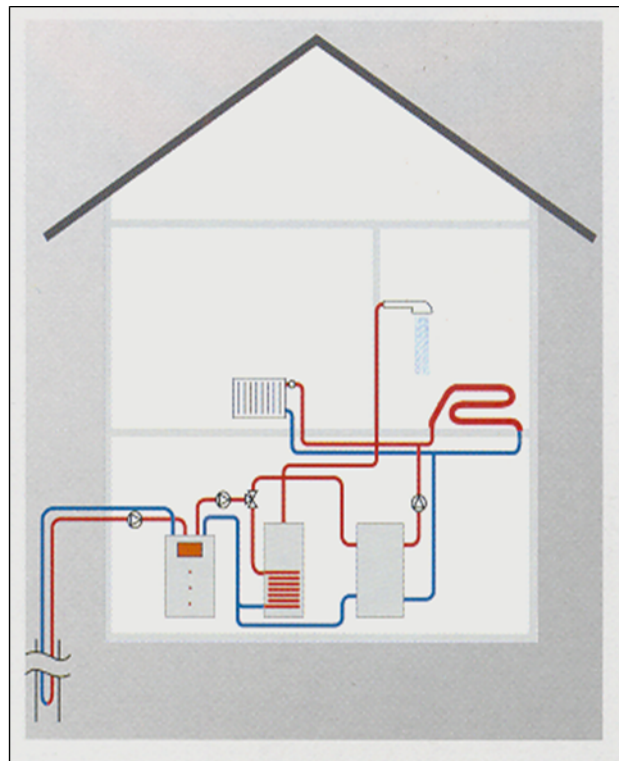
Folyamatos szabályozású gázüzemű kondenzációs kazán Inox-Crossal fűtőfelülettel MatriX sugárzóegővel. Névleges hőteljesítmény: 8,4-65 kW
13.7-13.10. képek: a felhasználó engedélyével.

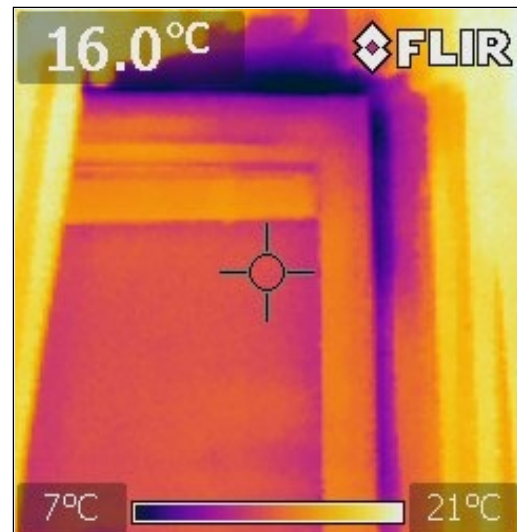
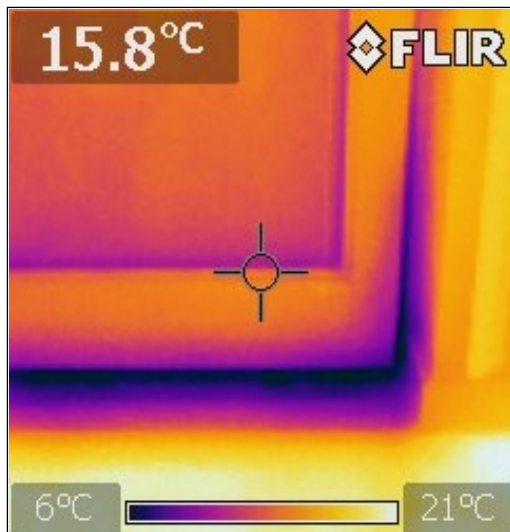


166. ábra: Rehau falfűtési rendszer laboratóriumban

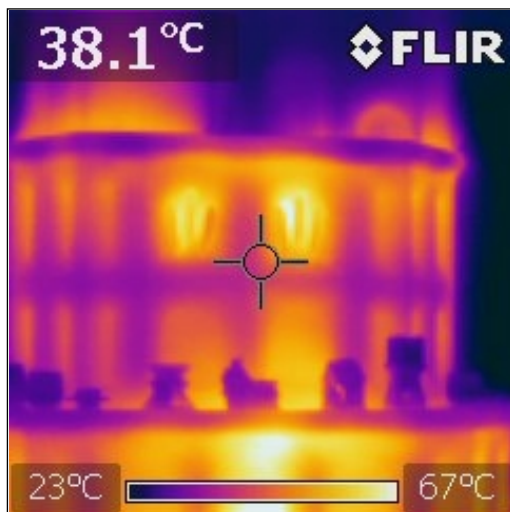


167. ábra: Vitocal 300 hőszivattyú rendszer

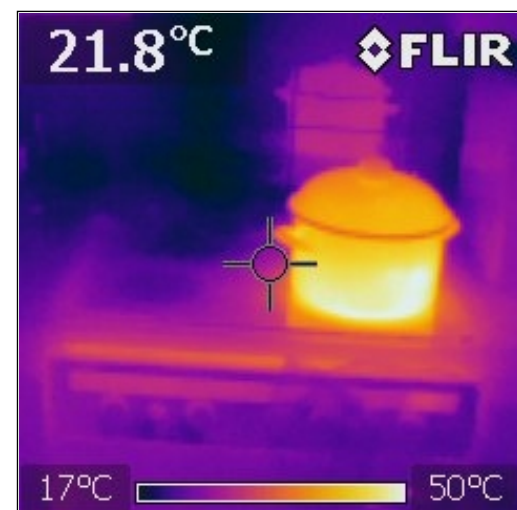




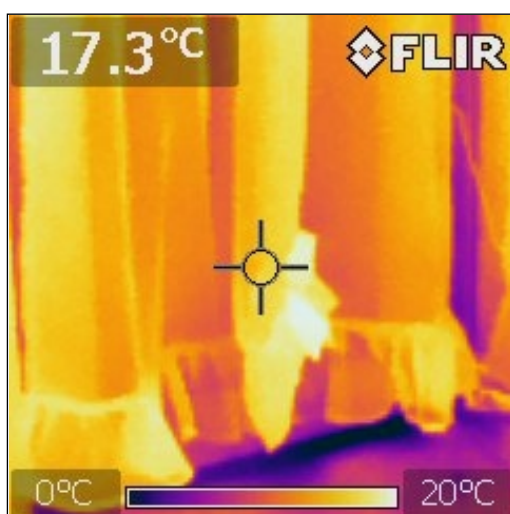
168. ábra: Teraszajtó alsó és felső sarkának belső termikus képe



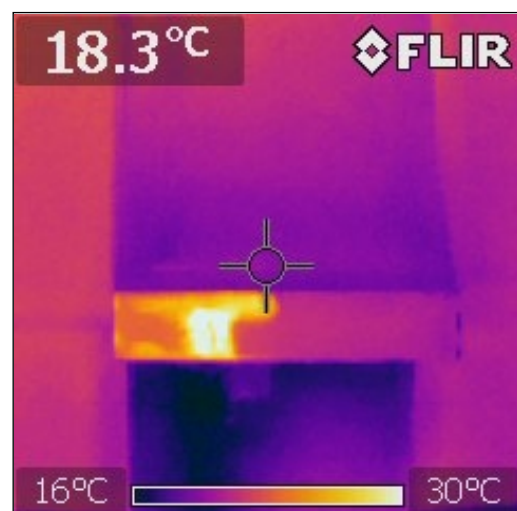
169. ábra: Kandalló cserépkályha felfűtés alatt



170. ábra: Keramialapos tűzhely használat közben



171. ábra: Teraszajtó előtti függöny hatása



172. ábra: Konyhai elszívó hatása

19. Energiamenedzsment rendszerek a közlekedésben I. (Dr. Pitrik József)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Az energiamenedzsment¹⁰⁵ – értelmezésünk szerint – az energiákkal való gazdálkodás irányítása. Ez vonatkozhat a primér és a feldolgozott energiákra és mindazon rendszerekre, amelyek energiát termelnek, szállítanak, vagy felhasználnak.

Az energiamenedzsment rendszereket az energiahatékony megoldásokra, az energia felhasználás csökkentésére, a biztonságos működtetésre, ... irányuló törekvés jellemzi.

Az energetikai rendszerek életünkben fontos szerepet töltenek be. Ezek közül elsőként a közlekedési rendszerhez kapcsolódó megoldásokból mutatunk be néhányat. Egy gépjárműtechnikai rendszer adatokat, mérési értékeket, működési jelzéseket, hibajelzéseket, karbantartási jelzéseket szolgáltat és végrehajtja a tervezett programokat.

Az emberiség által felhasznált energia jelentős részét a közlekedésben használják fel.¹⁰⁶ A városok (települések) közlekedése két alapelv szerint szervezhető:

- Az extenzív koncepció szerint: a mobilitás fontosságát hangsúlyozzák, az újabb közlekedési feladatok ellátására újabb közlekedési pályákat építenek. Hazánkban az új autópályák átadásával a forgalom növekedésére lehet számítani.
- Intenzív koncepció szerint, a közlekedési szükségletek csökkentésére törekednek (közlekedési térátmérő csökkentése, úthossz rövidítés, sebesség növelés).

Felismerhető törekvés a közlekedési idő és a felhasznált energia csökkentése. Ha a közlekedési idő csökkentésére törekszünk, akkor ez a sebesség növekedéséhez, a parkolási idő meghosszabbításához vezethet. A felhasznált energia csökkentésére számtalan mód van, de ezek többsége ellentétes hatásokat exponál.¹⁰⁷

19.1. A városi közlekedés energetikai megközelítése

A gépjármű-közlekedés anyagi infrastruktúrájának meghatározó eleme az energiaellátás, melynek közvetlen és közvetett hatásrendszere csak részben feltárt nemzetgazdasági, regionális és helyi szinten.

19.1.1. A primér energetikai folyamat

A hagyományos üzemű gépjárművek működtetéséhez felhasznált energiahordozók (gáz, benzin, gázolaj) kémiai formában tartalmazzák azt az energiát, mely a járműmotorban égési folyamat révén hővé, majd ennek a hőnek egy része – a termodinamika második főtétele értelmében – mechanikai munkává alakul, míg a többi a környezetbe kerül.

19.1.2. Az üzemanyag-fogyasztás jellemző értékei

A gépjárművek üzemanyag-fogyasztása számtalan tényező függvénye. Ezek közül kiemelhetők: az üzemanyag tulajdonságai, az erőgép konstrukciós és üzemi jellemzői, a jármű konst-

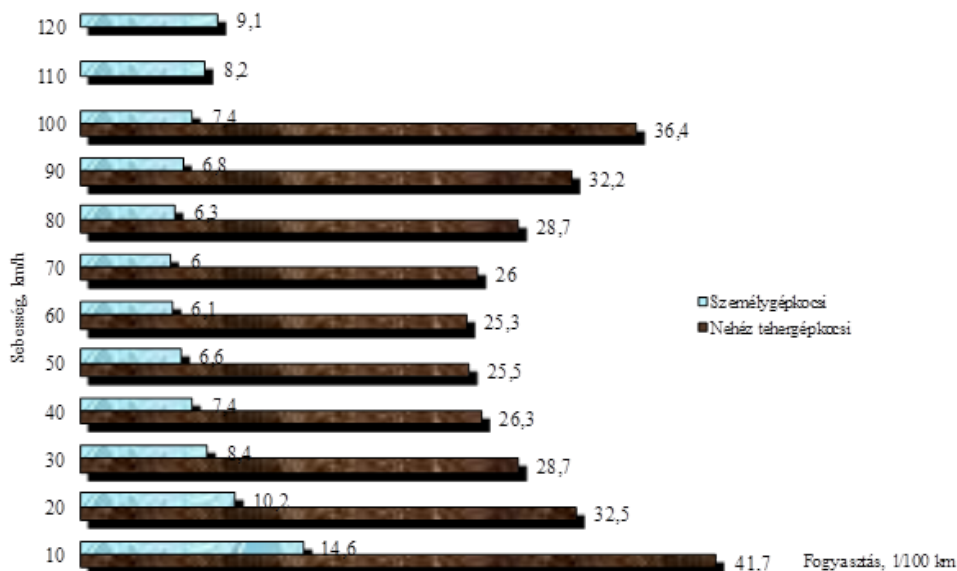
¹⁰⁵ Power Management=PM

¹⁰⁶ David J.C. Mackay: Fenntartható energia – mellébeszélés nélkül (www.withouthotair.com). Az Egyesült Királyságban napi 50 km autózáshoz 40 kWh/nap energiafelhasználást jelent. Ezt az energiát elő lehet állítani: 20 kWh/nap szélenergia, 13 kWh/nap napkollektor hő és 4 kWh/nap hullámenergia összegével.

¹⁰⁷ Erdősi Ferenc: A kommunikáció szerepe terület- és település fejlődésében. VÁTI, 2000, Budapest, pp. 342–345.

rukciós és üzemi jellemzői, a forgalmi-logisztikai jellemzők és a gépjárművezető üzemeltető tevékenysége.

A 173. ábra egy átlag személygépkocsira és egy átlag nehéz tehergépkocsira vonatkozó, különböző sebességekre érvényes fogyasztási adatokat mutatja be. A 40–70 km/h sebesség közötti tartomány – ahol a legkedvezőbbek a fogyasztási adatok – nem jellemző sem a városi, sem a városon kívüli územre.



173. ábra: Gépjármű üzemanyag-fogyasztása a sebesség függvényében [Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: SCHUCHMANN G.–KISGYÖRGY L. 2004. p. 82.]

19.2. Globális és lokális energiafelhasználás, veszteségcsoportok

A belsőégésű motor üzem során – a szabályozó rendszerek együttműködése révén – a mindenkori igénynek megfelelő energiaátalakítás történik. Az erőgép elméleti hatásfoka ~30%. A motor termikus veszteségei mellett jelentős energiahányad fordítódik a közvetlen és közvetett áramlási és mechanikai veszteségekre. Ezek közül néhány: a szelepek okozta veszteségek, az üzemanyag-ellátás okozta veszteségek, a kipufogógázt tisztító segédberendezések működési veszteségei, az elektronikai berendezések veszteségei. Ebbe a csoportba sorolhatók tehát a légszennyezés csökkentésére felszerelt oxidációs-, redukációs kamrák, a hármashatású katalizátorok és a részecskeszűrők is. Ezek fojtó hatása következtében a jármű(motor) fogyasztása jelentősen növekedhet. Ez a veszteségcsoport csak konstrukciós beavatkozásokkal és az elektronikus szabályozási rendszer korszerűsítésével csökkenthető. Így a motor „tényleges” hatásfoka ~20–25%.

Az erőgép és a munkagép üzemét – megfelelően választott szabályozási elvek alapján – a közlőmű biztosítja. Ez az összetett rendszer felel az instacioner és a stacioner üzemmódban a megfelelő együttműködésért. A forgalom diktálta instacioner üzemmódban megvalósított üzem ún. integrált fogyasztása kétszerese ugyanazon út közel állandó sebességű megtétele esetén.¹⁰⁸ Ez az arány jól tükröződik a személygépjárművek városi és városon kívüli közúti közlekedési fogyasztásainak összehasonlításánál, de a különböző gépjárművek kis és nagy sebességű

¹⁰⁸ Michelberger P. 1997: *A közlekedés hatása az ipar feladataira*. In: *Közlekedési rendszerek és infrastruktúrák*. Magyarország az ezredfordulón. MTA, Budapest, pp. 55–71.

haladása esetén mérhető fogyasztás során is (174. ábra). Ez a veszteségsorozat mintegy ~15% további hatásfokcsökkenést okoz.

A hajtóműn áthaladó energiacsúszmány részben a jármű mozgatására, részben a segédberendezések közvetlen vagy közvetett energiaellátására fordítódik. Az energiacsúszmány legfontosabb tényezői: a menetellenállás, a légellenállás, a terhelés és terhelési tömeg, a segédberendezések üzemvitele.

A jármű globális energiacsúszmánya jelentős mértékben függ a forgalmi-szervezési-logisztikai összetevőktől, a telekommunikáció fejlődésétől és a önkormányozás szintjének változásától.

Az energiacsúszmány és a veszteségek fenti elemzése alapján nyilvánvaló, hogy fontos feladat a közlekedés össz-energetikai hatásfokának javítása. Helling vizsgálatai alapján a gépjármű-közlekedés végső energetikai hatásfoka ~10 %. Vizsgálati módszere hasznosnak tekintette a jármű mozgatásához szükséges összes mechanikai munkát, bevezetett energiának pedig a nyers üzemanyag energiatartalmát (veszteségnek tekintve a hozzá kapcsolódó előállítási, szállítási, feldolgozási munkákat). Az utas vagy teher nélküli részmozgásokat 0 hatásfokúnak tekintette, így a szállítási hatásfok csak ~5%.¹⁰⁹

Az energiaveszteségek és a közlekedés hatásfokának növelése tehát alapvető feladat. Erre vonatkozóan Michelberger három energia-megtakarítási csoportot különböztet meg:

<i>Primer megtakarítás</i>	az erőforrás hatásfokának javításával;
<i>Szekunder megtakarítás</i>	a jármű fejlesztésével;
<i>Tercier megtakarítás</i>	forgalom- és fuvarszervezéssel, logisztikával.

A csökkentéshez tudatos, összehangolt fejlesztésekre van szükség, de a települések szintjén is van lehetőség az energiacsúszmány csökkentésére és – a fentiek alapján értelmezett – hatásfok javítására. Ezt szemlélteti a **174. ábra**, amely összefoglalja az energiacsúszmány főbb csoportjait, bemutatja a közlekedés energetikai hatásfokának értelmezését, az energia megtakarítás főbb csoportjait és azok érvényesülési területeit.

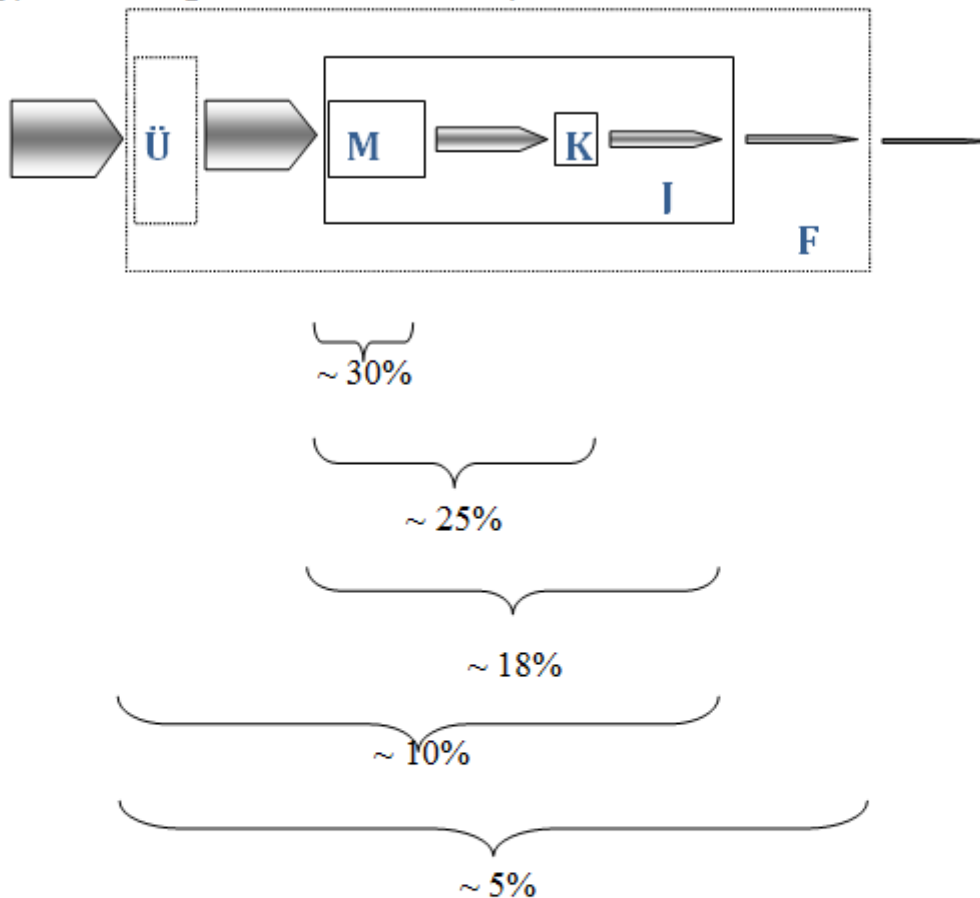
19.3. Az energiacsúszmány csökkentése települési szinten

Feltehető a kérdés: A közlekedés energiacsúszmánya csökkenthető-e növekvő mobilizáció mellett? – A fentiek alapján megadható a válasz: igen. Ennek feltétele, hogy a fejlesztések hatására az energia-megtakarítások üteme nagyobb mértékben csökkenjen, mint az újonnan belépő járművek energiacsúszmánya. A probléma természetesen összetett, mert a kiterjedt motorizációjú országokban mind újabb és újabb modern műszaki paraméterekkel rendelkező járműveket alkalmaznak, és a járműállomány a telítettség határán van, tehát itt tényleges lehetőség van az energiatakarékosságra. A kevésbé motorizált országokban a járműállomány jelentős növekedésére lehet számítani, de ez a növekedés a rossz műszaki paraméterű, máshol már „selejtezett” járműállomány újbóli üzembehelyezését jelenti. Ez a folyamat jól megfigyelhető Nyugat-Európa és Magyarország, de Magyarország és a szomszédos kelet-európai országok között is.

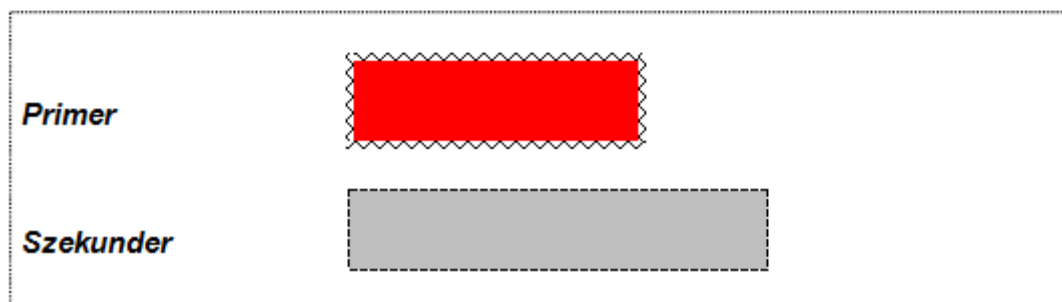
¹⁰⁹ Michelberger P. 1997: *A közlekedés hatása az ipar feladataira*. In: Közlekedési rendszerek és infrastruktúrák. Magyarország az ezredfordulón. MTA, Budapest, pp. 55–71.

A szerző szerint a különböző közlekedési ágazatok fajlagos (tkm-re vagy utaskm-re vonatkozó) energiacsúszmánya különböző: a vízi szállítási energiacsúszmánya 1-nek véve, a vasúti szállítás: ~10, a közúti szállítás: ~100, légi szállítás: ~1000.

Gépjármű energiafelhasználási sémája



Energiamegtakarítási csoportok



174. ábra: Az energiafelhasználás és az energiamegtakarítás összefüggései

A műszaki jellegű fejlesztések – a primér és szekunder megtakarítás eszközei – lényegileg a felhasználóktól függetlenül folynak, erről a járművezető legfeljebb „ismeretterjesztő szinten” kap információt.

A felhasználóhoz kapcsolható tercier beavatkozás lehetőségei azonban kitágultak az utóbbi időszakban. Az úthálózat fejlesztése, az utak minőségének javítása, a településeket elkerülő utak létesítése, a lámpás csomópontok körforgalommal való felváltása, a települések forgalmi rendjének gyökeres megváltoztatása – a tömegközlekedés fejlesztése, új logisztikai központok létesítése olyan változtatások, amelyek lehetővé tehetik a közlekedés energia fogyasztásának csökkentését, de oly összetettek, hogy további problémák generálásához vezethetnek.

19.4. A primér energetikai folyamat által generált környezeti folyamatok

A működő gépjármű néhány, jól követhető környezeti folyamat kiindulópontja. Ezek közül a legismertebbek: a levegő szennyezése a füstgáz és összetevői által, a környezet zaj- és hőszennyezése, a kopó anyagok (gumiköpeny, fékbetétek, fémek) környezetbe jutása, a meghibásodásból eredő részecskék (olaj, üzemanyag, hűtővíz, leváló festékek / műanyagok / üveg / fémek) környezetbe kerülése, az üzemvitel segédanyagainak (savgőz, ablakmosó folyadék) környezetbe jutása.

A mozgó gépjármű természetesen koptatja az utak anyagát, s azokat az útfelszínre rakódott részecskékkel együtt felveri, diszperziós folyamat révén lebegő részecskékké alakítja. A felvert részecskék egy része ismét lerakódik az utakra, az út menti talajokra, növényekre, építményekre és a közlekedési eszközökre.

A részfolyamatok és a generáló folyamat összefüggéseinek vizsgálatától eltekintve itt egyetlen problémakör emelhető ki, a kipufogógázzal kikerülő szennyezőanyag mennyiségének és eloszlásának energetikai vonatkozásai.

19.4.1. Az üzemanyag-felhasználás jellemzői

Az égési folyamat rendkívül rövid idő alatt játszódik le¹¹⁰, így az éghető anyag egy része nem képes elégni, az a kipufogógáz égéstermékeivel együtt a légtérbe kerül. Ez a hányad függ a konstrukciótól, üzemállapottól, az üzemviteltől és az üzemanyagtól. Teszt vagy fékpadi mérések során a kipufogógáz térfogatszázalékában vagy ppm-ben adják meg a C_xH_y (CH) mennyiségét, ez azonban nem tükrözi megfelelően az üzemmódtól való függést.

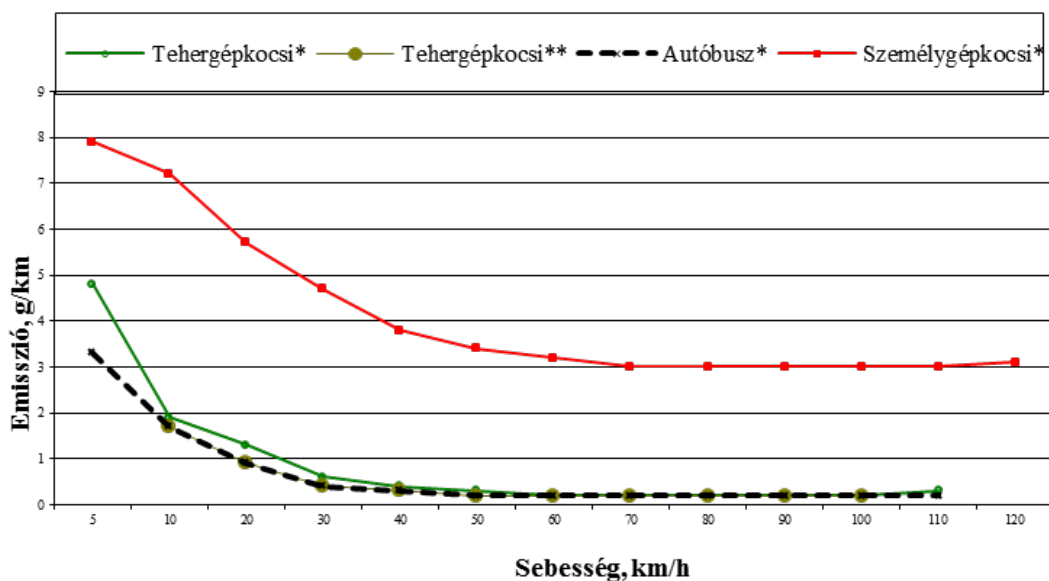
Részletes modellszámításokhoz jobban használhatók az 1 km megtett útra vonatkozó emissziók (g/km). A mérési-számítási adatokon alapuló adattáblák diszkrét pontjait jelöli a 175. ábra különböző járműkategóriák és sebességek esetén. Az összetartozó diszkrét pontokat összekötő törtvonalat a trend érzékeltetése miatt szemlélteti a grafikon.¹¹¹

A grafikon tanulmányozása alapján könnyen belátható, hogy egy személygépkocsi 3–8 g elégtelen szénhidrogént bocsát ki km-enként. Ha 40 km/óra átlagsebességgel számolunk, és 8 l / 100 km fogyasztást (0,8 g/cm³ sűrűséggel számolva ~6,5 kg / 100 km) veszünk figyelembe, ez azt jelenti, hogy a „modell” jármű 65 g üzemanyagot fogyaszt 1 km-en, és ebből 4 g-t (~6%) elégtelenül bocsát ki.

Az elégtelen üzemanyag hányadának csökkentése fontos energetikai és környezeti feladat, amelyet többirányú beavatkozással érhetünk el.

¹¹⁰ Ha egy négyütemű motor fordulatszáma $n=3600$ 1/min, az expanzió ideje $\sim 1/120$ sec. Ez alatt játszódik le a komplex égési folyamat.

¹¹¹ A 7/2002 (VI. 29.) GKM-BM-KvVM együttes rendelet 2. számú melléklete alapján a gyári kibocsátási értékeket kell a hagyományos Otto-motoros gépkocsik környezeti felülvizsgálatánál megengedett értéknek tekinteni. Ha ez nem áll rendelkezésre, a gyártási év függvényében adják meg a megengedett CH kibocsátásokat. A rendelet tetszőleges értéket enged meg az 1969. 07. 01. előtti gyártmányokra, a kétütemű motorokra: 2000 ppm, az 1990–1969 között gyártott motorokra 1000 ppm, az egyéb négyütemű motorokra 600 ppm, míg a négyütemű katalizátoros motorokra 400 ppm értéket enged meg. Négyütemű motorokra tehát a maximálisan megengedett érték 1000 ppm, amely a kipufogógáz térfogatára vonatkoztatva 0,1 tf%-ot jelent.



175. ábra: Elégtelen üzemanyag mennyisége[Szerkesztette: Pitrik J.; Forrás: *Rédey Á.– Módi M. 2002. pp. 28–29.; **Schuchmann G.–Kisgyörgy L. 2004. p. 82.]

19.5. Az ember szerepe a közlekedési-energetikai-környezeti problémák megoldásában

Régóta ismert, hogy a gépeket használók többsége nem ismeri „megfelelő szinten” a gépek működésével kapcsolatos természeti törvényeket, és egyénisége nem képes alkalmazkodni a gép használata során fellépő folyamatokhoz időben vagy térben. Ez a problémakör, a *biológiai inkompatibilitás* különösen fontos szerepet kap a közlekedésben.¹¹² Ebből a komplexumból – a témához kapcsolódóan – csak néhányat emelünk ki:

- A gépjárművezető (általában) nem érzékeli a gépjármű fogyasztása és a jármű üzeme / terhelése / útviszonyok közötti összefüggést. Általában a sebességgel hozzák kapcsolatba a fogyasztást, anélkül, hogy a karakterisztika valóságos menetét ismernék. Azt kevesen látnák be, hogy a kedvezőtlen fogyasztás jelentős része a szakszerűtlen vezetéstechnika következménye.
- A gépjárművezetők többsége nem ismeri járművének műszaki paramétereit, jellegzetességeit, így az átmeneti üzemmódban gyakran ösztönösen és helytelenül járnak el. (Nagy gázfröccsök, hirtelen fékezések, a sebességfokozat rossz megválasztása jellemző a városi közlekedésben.)
- A közlekedők többsége nem érzékeli a pillanatnyi mozgási energia és a jármű sebessége közötti összefüggést, a követési távolság, a fékút kapcsolatrendszerét. Az összefüggések ismerete hiányában gyakran csak a baleseti kockázat tudata tartja vissza a nagy energiafelhasználástól a járművezetőket.
- Energiatudatos magatartás helyett a közlekedők többségére ösztönös vagy tanult környezettudatos-magatartás jellemző. Így a zsúfolt városok lakói tudják, hogy a tömegközlekedési eszközök fajlagos légszennyező hatásai kedvezőek, gyalogosan és kerékpárral kellene közlekedni, a városok centrumait a gépjárműforgalomtól el kellene zárni és a tömegközlekedési eszközökre kellene átváltani. Ismert az is, hogy a korszerű

¹¹² Michelberger P. 1997: *A közlekedés hatása az ipar feladataira*. In: Közlekedési rendszerek és infrastruktúrák. Magyarország az ezredfordulón. MTA, Budapest, pp. 55–71.

járművek környezeti paraméterei kedvezőek, ezek azonban csak szakszerű üzemeltetés esetén érvényesülnek.

- A települések lakói aggódnak egészségükért, de mégis sokan a személygépjárműveket választják. Gyorsabbnak, kényelmesebbnek vélik (ez sokszor igaz is), ezért döntenek így.
- A településeken – valós vagy vélt érdekek alapján – a közlekedési úthálózat „korszerűsítésére” törekednek. Minden ’valamire való’ település igyekszik elkerülő utat kiharcolni, hogy a lakóknak kedvezőbb életminőséget biztosíthasson. A tapasztalat azonban gyakran kedvezőtlen: mégsem kerülik el a települést a járművek, pótlólagos beruházásokra van szükség, a települések „kereskedelmi-kulturális” vonzereje nem érvényesül (Pitrik J. 2004a).

Összegezve megállapítható, hogy a közlekedés energetikai problémáit a lakosság közvetlenül általában nem érzékeli, de érzékeli és aktívan reagál a közlekedés forgalmi és környezeti problémáira.

20. Energiamenedzsment rendszerek a közlekedésben II. (Dr. Pitrik József)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

A közlekedés – és ezen belül a gépjármű közlekedés – növekedése kedvezőtlen társadalmi és környezeti hatásokat generált. Ezek közül kiemelhetők a közlekedési balesetek, a gépjárművek légszennyezési hatásai és a kedvezőtlen forgalmi állapotok kialakulása.¹¹³

A gépjármű egy energia átalakító rendszer, mely „érzékeny” kölcsönhatásban van környezetével. A tapasztalatokat figyelembe véve már a 70-es években elkezdték a gépjármű gyártók az aktív és a passzív biztonsági rendszerek fejlesztését.

20.1. Aktív biztonsági rendszerek¹¹⁴

Az aktív biztonság célja, a balesetek elkerülése.

20.1.1. ABS – blokolásgátló¹¹⁵

Lényege, hogy intenzív fékezés esetén nem lép fel a kerékabroncs blokkolása, optimális lesz a fékút, a jármű kormányozható marad, az abroncon nem alakulnak ki intenzív helyi kopások.

A blokolásgátló rendszer legfontosabb érzékelője a kerékfordulatszám érzékelő. Az un. referencia sebességet hasonlítják össze az egyes kerekek sebességével. Ha az kisebb, mint egy meghatározott küszöbérték, az elektronika a fékrendszernek nyomásesökkentési parancsot ad ki. A hatásáról a kerékfordulatszám érzékelő visszajelzést ad az elektronikának.

Az utóbbi években az un. aktív kerékfordulatszám érzékelők terjedtek el, amelyek kis sebességtartományban is sokkal pontosabb jelet adnak. Ezeket a jeleket a fedélzeti számítógépek többcélúan is fel tudják használni.

20.1.2. ESP – menetstabilizáló¹¹⁶

Azt tapasztalták, hogy a magas építésű járművek nagy sebességű irányváltás és kanyarodás esetén borulékonyak.¹¹⁷

A kormánykerék elfordítás érzékelője alapján az elektronika „megtervezi” a vezető szándékának megfelelő menetpályát. A perdülés és kereszt irányú gyorsulás érzékelő alapján az elektronika meghatározza a gépkocsi tényleges menetpályáját. A két pálya összehasonlítása alapján történhet a beavatkozás.

20.1.3. Fékasszisztens

A fékasszisztens működése azon a megfigyelésen alapszik, hogy a járművezető veszély észlelése esetén hirtelen „lekapja” a lábát a gázpedálról, mert fékezési szándéka van.

¹¹³ Az autó 100 éve alatt (1885–1985) 25 millióan haltak meg a közutakon. A sérülések, halálesetek nagy része a jármű megfelelő kialakításával elkerülhető lett volna. Hazánkban 2010-ben 16.248 személyi sérüléses közúti baleset történt, 9,05%-kal kevesebb, mint 2009-ben. Ezen belül a halálos kimebetelű balesetek száma 14,23%-kal csökkent: 752-ről 645-re. (Országos Rendőr-főkapitányság, 2011. január 14.)

¹¹⁴ Kőfalusi Pál: Aktív biztonság. Kézirat

¹¹⁵ ABS = Anti Block System; Kifejlesztője: Fritz Ostwald

¹¹⁶ ESP = Elektronikus Stabilizáló Program

¹¹⁷ Ez az ismert rénszarvas teszt.

Egy pedál elmozdulás érzékelő vagy nyomás érzékelő jele alapján az elektronika a fékasszisztent működteti. A gázpedál hirtelen visszaengedésére az elektronika a fékbetétet felfekteti, mielőtt a vezető elkezdene a tényleges fékezést. Így a fékút lerövidül.

A gépkocsi környezetének figyelésére radar, vagy gyors képfeldolgozású kamera is használható. A követési távolság veszélyes csökkenése és akadály felbukkanása során az érzékelők jeleire az elektronika reagál: hangjelzéssel (fénnel) figyelmeztet, a motor nyomatékát csökkenti, fékez, kormányzást korrigál.

20.1.4. Egyéb aktív rendszerek

Az automatikus követési távolság szabályozó rendszer, melynek érzékelője a gépkocsi elejébe beépített radar. Kormánykorrekciót létrehozó aktív szervokormány. Elektromechanikus rögzítőfék. Aktív keréklégnyomás érzékelő. Aktív kerékelfüggesztés. Aktív stabilizátor.

20.2. Passzív biztonsági rendszerek¹¹⁸

A passzív biztonsági rendszerek a balesetek következményeit mérséklik.

A különböző biztonsági rendszerek kimunkálásához az emberi testet érő lassulás hatásait vizsgálták. Különböző kísérleteket fejlesztettek ki. (Pl. Sínen haladó járművet rakétával gyorsították és fékeztek; Daruval ejtették le a biztonsági övvel bekötött próbabábus gépkocsikat;) Járművek ütközési adatait feldolgozták, a különböző ütközési módok gyakoriságát megállapították, ütközési tesztek szabványosították.

20.2.1. SPR – Utasvisszatartó rendszerek¹¹⁹

Az 1980-as évekig a gépjárművek kormányoszlopa súlyos sérüléseket okozott frontális ütközések során. Ennek kiküszöbölésére a kormányoszlopba deformációs zónát alakítottak ki, és a gépjárművet biztonsági övvel szerelték fel.¹²⁰

A **biztonsági öv** használata Európában 1974-től kötelező. A merev övet automatikusan beálló öv követte, melyet övfeszítővel egészítettek ki. Ütközéskor fellépő erő hatására az öv ~50 mm-t nyúlik, ezt felcsévéléssel kompenzálni kell. A feszítés megvalósítható mechanikusan és pirotechnikai úton.

A **légzsák** 25–30 km/h feletti ütközés esetén felfúvódik (pirotechnikai töltettől), 550 km/óra sebességgel nyit az utas felé, majd néhány tized másodperc alatt leereszt, továbbiakban nem nyújt védelmet. A tapasztalat, hogy az első ütközést továbbiak követhetik. Európában a vezető légzsák 35 literes, az utas légzsák 65 literes. A légzsák vezérlés korábban analóg, ma digitális vezérléssel történik. Újdonságok: az *ülés elfoglaltság jelzés* és a szakaszos felfúvás, így az ütközés erejének megfelelően növelik a gáznyomást. Ma már oldal légzsákot és függőny légzsákot is alkalmaznak. (**176. ábra, 177. ábra**)

A légzsák és a biztonsági öv együttműködését nevezik utasvisszatartó rendszernek. Speciális fejlesztések: biztonsági öv becsatolás érzékelés; kikapcsolható első utas légzsák; gyermekülés felismerés; ülésfoglaltság érzékelés.

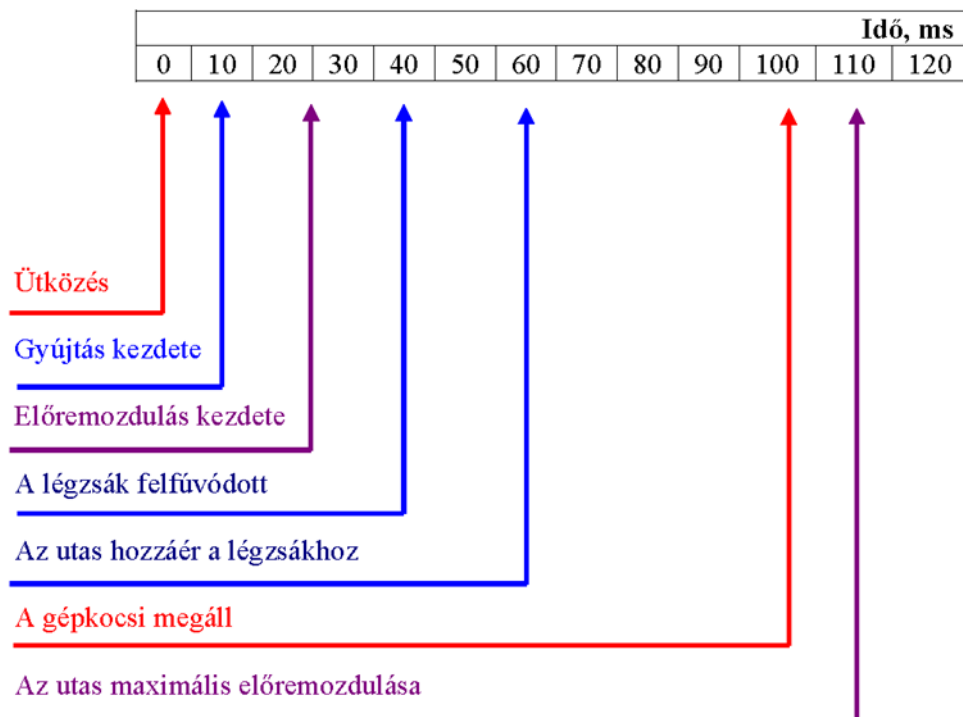
20.2.2. Gyalogosok védelme

A gyalogosok védelme érdekében a járművön lévő éles elemeket megszüntették, legömbölyítették, radart és légzsákot alkalmaznak.

¹¹⁸ Dr. Kismartoni Péter: Passzív rendszerek. Kézirat, Prezentáció

¹¹⁹ Supplemental Restraint System

¹²⁰ 1953: Kétpontos öv: Klippan; 1959: Három pontos öv: Nils Bohlin; 1956: Biztonsági kormányoszlop: Barényi Béla;



176. ábra: A légszák működése az idő függvényében

20.2.3. Deformációs zónák

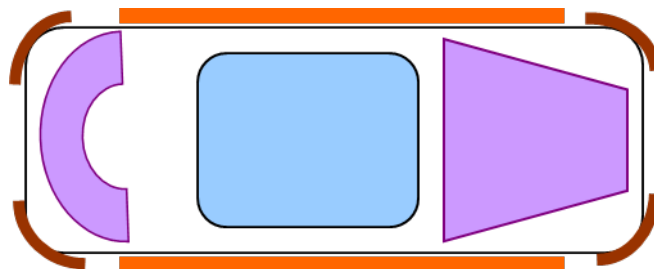
A deformációs zónák feladata az ütközés során fellépő energiák elnyelése.

1970-től a szakemberek intenzíven foglalkoztak az ütközés során fellépő energiák hatásainak csökkentésével. Kezdetben hidraulikus lökhárítókkal kísérleteztek, később az energianyelő részek kialakítása felé fordult a figyelem. Barényi Béla 1951-ben szabadalmaztatta az első és a hátsó energiaelnyelő zóna kialakítására vonatkozó elképzeléseit (179. ábra). Az újabb vizsgálatok azt mutatják, hogy egy jól védett utascellát kell kialakítani és a különböző erőhatásokra eltérítő zónákat, csúsztató zónákat és gyűrődő zónákat kell létesíteni (178. ábra).¹²¹



177. ábra: A légszákok elhelyezkedése

¹²¹ <http://www.termesztvilaga.hu/tv2003/tv0302/vincze.html>



■ eltérítő zóna; ■ csúsztató zóna; ■ gyűrődő zóna; ■ utascella

178. ábra: A jármű kompatibilitás főbb zónái



179. ábra: A gyűrődő zóna viselkedése ütközés esetén

20.3. Gépjárművek légszennyezési hatásai

A közlekedés és ezen belül a gépjármű közlekedés energetikáját röviden már elemeztük. A közlekedő ember számára nyilvánvaló, hogy a mobilizáció energiafelhasználással jár. Ismert az is, hogy a gépjárművek hatásrendszert generálnak, s végső hatásviselő az EMBER és KÖRNYEZETE.

Az ok-okozati, azaz a hatáslánc szemlélet alkalmazása nélkül nem tartható fel megbízhatóan a településhez kapcsolódó közlekedés bonyolult rendszere és a kapcsolódó folyamatok. A hatásrendszer bármely láncát is követjük nyomon további részletek vizsgálhatók, és lényegileg ezek segítik a beavatkozási „pontok”, a beavatkozási stratégia rögzítését. Az összefüggések feltárását a térbeliség és az időfüggés is nehezíti. Egy-egy lánc elágazásainak bonyolultsága miatt a rendszer oly összetett, hogy fontossági sorrendet a problémák megoldására találni nehéz. Az azonban a hatásrendszer vázlat elemzéséből is látszik, hogy ha egy településen „egy forró-pont” megszüntethető, az kedvezően hat más láncokra is.^{122, 123}

A gépjárművek légszennyezési folyamatainak részletes vizsgálatától itt eltekintünk, csak néhány olyan kérdést érintünk, amely segít az energiagazdálkodási szemlélet kialakításában.

A **22. táblázat** kőolajjegyenergiában mutatja a világ energiatermelésének megoszlását és látható, hogy a $3,08 \cdot 10^9$ tonna feldolgozott kőolaj gépjárműben kerül felhasználásra. A gépjárművek légszennyezése főként a szénhidrogének oxidációs termékeiből, az alkotók disszociációjából, termikus bomlásokból és mellékreakciókból, valamint az adalékok reakciótermékeiből áll. A kipufogógáz összetevői között jelentős lehet az el nem égett szénhidrogén mennyisége.¹²⁴

Az Ottó és a Diesel motorok eltérő működésűek, így eltérő folyamatok alapján működnek. A legfontosabb szennyező anyagok: a CO_2 , a CO , NO_x , C_xH_y , szilárd részecskék. A motor konstrukció során mindazon műszaki megoldások alkalmazására törekednek, amelyek a káros anyagok mennyiségét csökkentik, de az általánosan elterjedt megoldás: az utóátalakító rendszerek alkalmazása.

¹²² Bakács T.–Barna B. 1999: Környezetvédelmi szabályozás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. Környezetgazdálkodási Intézet, Budapest, p. 80.

¹²³ Rédey Á.–Módi M. 2002a: Vázlatok a „Környezetállapot-értékelés” jegyzethez. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, p. 84.

¹²⁴ Pitrik József: Gépjárművek légszennyezése, JGYF Kiadó, Szeged, 2005. p. 68.

22. táblázat: A világ energiatermelése és a gépjárművek energiafelhasználása

A világ energiatermelése					
10 ⁹ tonna kőolajegyenérték					
	1973	1990	2000	2010	2020
Összes energiatermelés	5,5	7,6	8,7	10	13,7
Megújuló	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Vízi	0,1	0,2	0,4	0,2	0,4
Nukleáris		0,4	0,5	0,6	0,8
Szén	1,5	2,1	2,3	2,6	3,2
Földgáz	1	1,6	1,8	2,4	3,5
Kőolaj	2,8	3,1	3,5	4	5,5
Közlekedés által felhasznált kőolaj, %	37	46	50	53	56

20.3.1. Az Ottó motorok károsanyag tartalmának csökkentése

Az Ottó motor üzemanyag–levegő keveréssel működik. Az üzemanyag és a levegő pillanatnyi tömegaránya alapján gazdag illetve szegény keverékről beszélünk.¹²⁵

$$\lambda = \frac{L_v}{L_e}$$

A klasszikus Ottó motor üzemanyagellátó rendszere a *karburátor*, amely a (gépjárművezető mindenkor igényéhez igazodóan) a motor mindenkor üzemállapotához szükséges keveréket állítja elő. A mai gépjárműmotorok üzemanyag ellátását *injektoros* rendszerekkel valósítják meg. Három alaptípust különböztetünk meg, a szerint, hogy hol történik a keverékképzés: központi injektálás (~1 bar) a szívócsőben, hengerenkénti injektálás a szívócsőben (~2,5 bar), és a közvetlen injektálás a hengerbe (~80–200 bar). A keverék égési sajátosságaitól függ, hogy a motor milyen káros anyagokat állít elő. A motor konstrukciós módosítására vannak lehetőségek, de a gyártók hosszú ideig az égéstér utáni rendszerek fejlesztésére koncentráltak. Így fejlesztették ki a redukáló kamrát (NO_x csökkentésére), az oxidáló kamrát (a CO és a C_xHy oxidálására) és a hármashatású katalizátort mindhárom káros anyag mérséklésére. A katalizátor nélküli és a hármashatású katalizátor hatására történő szennyezőanyag változást a **180. ábra** és a **181. ábra** mutatja.¹²⁶ Látható, hogy csak akkor tudjuk az Ottó motor mindhárom károsanyagtartalmát csökkenteni, ha a légviszony 1 közelében marad. Ez csak úgy érhető el, ha a motort elektronikusan irányítjuk, az üzemanyag ajánlott összetételét betartjuk.¹²⁷

¹²⁵ λ – légviszony; L_v – valóságos levegőmennyiség; L_e – elméleti levegőmennyiség; 1kg benzin tökéletes elégetéséhez 14,7 kg levegőre van szükség.

¹²⁶ Pitrik József: Gépjárművek légszennyezése, JGYF Kiadó, Szeged, 2005. p. 68.

¹²⁷ Részletesen: Dr. VASS Attila (szerk.): Belsőégésű motorok szerkezete és működés. Szaktudás Kiadóház, Budapest, 2005. pp. 108–118.

számtalan tényező függvényei. A modern motorok elektronikus Diesel szabályozással vannak ellátva, s terjedőben van a közös nyomásterű befecskendező rendszer, melynek befecskendezési nyomása: ~2000 bar.¹²⁸

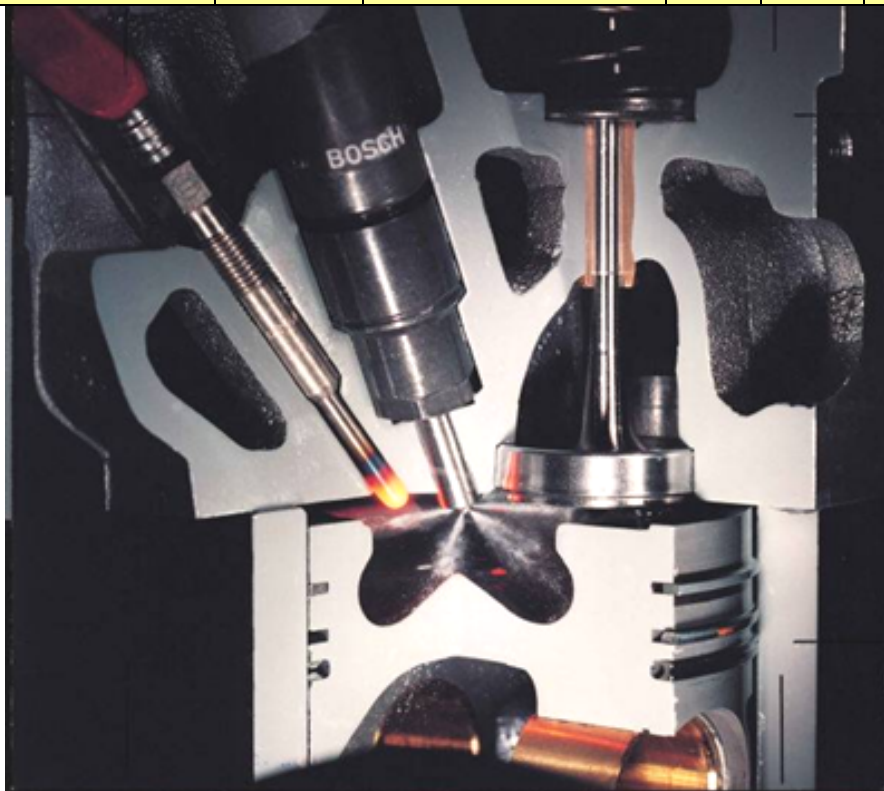
A modern motorok legnagyobb problémája, hogy a NO_x és a részecskék jelentős mennyisége. Ezek keletkezése jelentősen összefügg az üzemanyag jellemzőivel (pl. ásványanyag tartalmával), a terheléssel, a befecskendezéssel, az égéster kialakításával.

Az Ottó motorokhoz hasonlóan, itt is utóátalakítók segítségével csökkentik a károsanyag tartalmat. Ezek közül a legfontosabb az ún. DENOX katalizátor rendszer, amely az NO_x csökkentését végzi és a részecske emissziót csökkentő DPNR rendszer.

A Diesel károsanyag csökkentő rendszerek alkalmazását nehéz járművek esetén ma már az EU előírja. A három Diesel kategória jelenleg érvényes emisszióit a **23. táblázat** foglalja össze.^{129 130}

23. táblázat: Diesel-motoros járművek emissziójának határértékei

		Kibocsátás, g/km			
	Fokozat	CxHy + NOx	NOx	CO	Részecskék
<i>Diesel-motoros személygépjármű</i>	Euro 4	0,30	0,25	0,50	0,140
<i>Könnyű Diesel-motoros haszongépjármű</i>	Euro 4	0,46	0,39	0,74	0,060
		Kibocsátás, g/kWh			
		CxHy	NOx	CO	Részecskék
<i>Nehéz Diesel-motoros gépjármű</i>	Euro 5	0,55	2,00	4,00	0,03



182. ábra: Hagyományos Diesel motor égéstere

¹²⁸ Common rail = közös cső

¹²⁹ Nagy Gábor–dr. Hancsók Jenő: Diesel motoros gépjárművek utóátalakító katalizátorai I. In: MOL Szakmai Tudományos Közlemények 2006/1. pp. 85–108.

¹³⁰ DPNR = Diesel Particulate-NO_x Reduction;

21. A megújuló energiaforrások felhasználása az EU-ban és Magyarországon (Dr. Nagy Géza)

Debreceni Egyetem, Debrecen

A megújuló energiaforrások legfontosabb alkalmazási területe a fűtési-hűtési célú hőenergia termelés, azonban a villamosenergia-termelésben, és üzemanyagként való felhasználásban is nő a jelentősége. A fenti alkalmazási igényeket ma elsődlegesen fosszilis energiahordozók felhasználásával elégítik ki, amelyek megújuló energiahordozókkal való kiváltása jelentős gazdasági-társadalmi előnyökkel járhat.

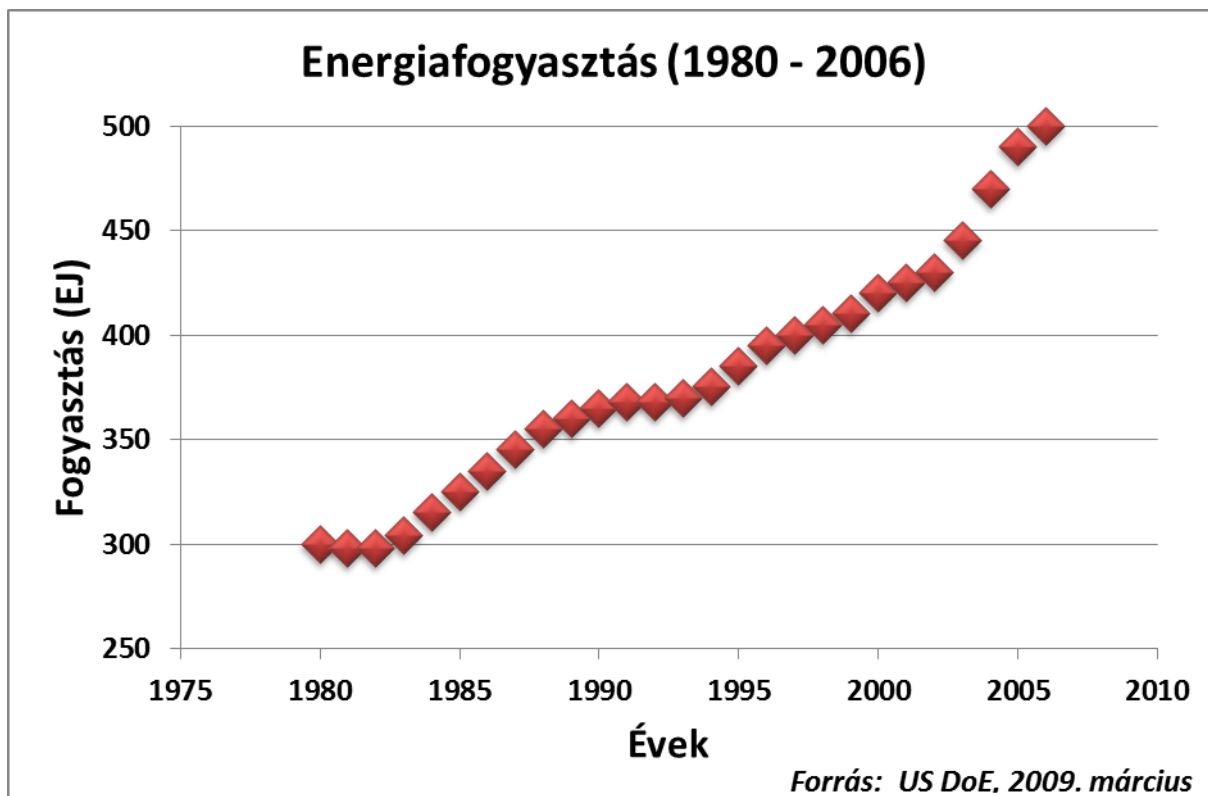
A megújuló energiaforrások kedvező tulajdonsága, hogy környezetszennyező hatásuk a fosszilis energiahordozókhoz képest lényegesen kisebb. Felhasználásuk mérsékli a klímaváltozást okozó üvegházhatású gázok kibocsátását és a levegőszennyezést, aminek kedvező hatása a kisebb mértékű savasodásban, az épített környezet állagromlásának mérséklésében és jobb mezőgazdasági termésben mutatkozik meg. További kedvező hatás érhető el az egyébként környezetterhelő anyagok (pl. hulladék, szennyvíziszap) energetikai hasznosítása, valamint az alacsonyabb szennyezőanyag kibocsátással együtt csökkenő áttételes, kedvező társadalmi hatások (pl. a lakosság jobb egészségügyi állapota) révén. A megújuló hasznosításával mérséklődő fosszilis energiahordozó felhasználás hosszabb távon hozzájárul hazánk energia import függőségének csökkentéséhez, a hazai energiahordozó felhasználás diverzifikációjához. A megújuló energiaforrások technológiáiba történő beruházások révén új, főként vidéki munkahelyek keletkeznek (illetve korábbiak megmaradnak) és új, korszerű technológiák kerülnek alkalmazásra. Felhasználásuk ezáltal kedvezően befolyásolhatja az ipari, mezőgazdasági struktúraváltást, elősegítheti az innovációt és ezen szektorok versenyképes működését, hozzájárulva a vidéki életminőség javulásához és a lakosság helyben tartásához.

Megújuló energiaforrásokkal ma jellemzően drágábban lehet csak energiát termelni, mint a „hagyományos”, piacérett technológiákkal és nagyobb energiasűrűséggel jellemezhető fosszilis energiahordozókkal. Fontos azonban, hogy ez csak a közvetlenül kimutatható, ún. belső költségek összehasonlítása és a fosszilis energiahordozók jelenlegi ára alapján állítható. A fenntartható fejlődés szempontjai – amely mellett az Európai Unió tagállamai is elkötelezték magukat – azonban megkövetelik, hogy a hagyományos energiahordozók megítélésénél figyelembe vegyünk azokat a költségelemeket is, amelyeket egy harmadik fél vagy a társadalom fizet, és amelyek egyelőre nem jelennek meg az árakban (ún. negatív externális vagy társadalmi költségek) [1.1].

A megújuló piaci megjelenésének, felfutásának feltétele ezért valamilyen típusú állami támogatás, és az ezzel járó többletköltségek finanszírozása, a fogyasztói árakba való beépülése. A megújuló részarányra vonatkozó magasabb célértékek egyben magasabb támogatási igénnyel is járnak, amivel a társadalom tagjainak és a döntéshozóknak is tisztában kell lenniük. A támogatások akkor és annyiban indokoltak, ha és amennyiben az elérhető közvetlen gazdasági és közvetett társadalmi előnyök kompenzálják a többlet ráfordításokért. A megújuló technológiák gyors fejlődésének eredményeként, valamint a fosszilis energiahordozók szükségéből fakadó tartós áremelkedése következtében ezek a támogatások idővel jelentősen mérséklődhetnek, vagy megszűnhetnek.

A közvetlen vagy közvetett (áron keresztül történő) támogatás mellett a felhasználás terjedésének legalább olyan fontos feltétele a szemléletformálás, a felhasználással kapcsolatos ismeretek terjesztése, társadalmi elfogadtatása. Hazai mintaprojektek egyre növekvő száma is bizonyítja, hogy nem csak és kizárólag az anyagi támogatás megléte a meghatározó: környezettudatos, innovatív szemlélet eredményeként került sor eddig is számos olyan

kezdemenyezésre, amely megújuló energia hasznosításával fedezi a helyi energiaigényt. A megújulók felhasználásának tömegessé válásához azonban szükséges az állami részvétel. Mindenki által ismert, hogy 1972-73-ban volt az első energiaválság. Legkésőbb akkortól számítva minden politikus és döntéshozó tudta, hogy az energiaellátás biztonsága érdekében takarékoskodni kell az energiával. A **183. ábra** szerint az energiafogyasztás minden figyelmeztetés ellenére az utóbbi évtizedekben dinamikusan nőtt, az 1980-ban elfogyasztott ~300 EJ-lal szemben a legutolsó statisztikai adatot jelentő 2006-ban 500 EJ-ra emelkedett, azaz mintegy 60%-al bővült a társadalmak összfogyasztása[1.2].



183. ábra: A világ összenergia fogyasztásának növekedése [1.2]

Érdeemes rámutatni, hogy a társadalmak energiaellátásukat ~85%-ban az ásványi (tehát a kőolaj, földgáz és a szén) forrásokból fedezik. Ez a 85% pedig az egyik legstabilabb szám az energetika elmúlt 100 évi történetében! Bár az egyes fosszilis források közötti arányok természetesen változtak, a fogyasztás is nagymértékben megnőtt, mégis összességében 100 évvel ezelőtt és ma is ugyanolyan az arányuk a teljes ellátásban. Az ásványi készletek nyilván végesek és csak arról vitatkozhatunk, hogy meddig tartanak ki.

Tény az, hogy a jelenlegi energiaellátás gyakorlata súlyos környezeti problémák és komoly politikai-gazdasági feszültségek forrásai. Itt a klímaváltozás lehetőségét is felvető széndioxid problémán túl egy sor karcinogén anyag, nehézfémek kibocsátására is gondolunk. Világos, hogy jelentős mennyiségű energia megtermelése és felhasználása az említettekén kívül is óriási környezeti hatásokkal jár. Bányákat kell működtetni, salakhegyek, meddőhányók keletkeznek. Csak Magyarországon több mint 10000 tájseb van, ha utazunk az országban, mindenütt találkozunk velük. Az energiatermelés mindig nagy területek elfoglalásával jár, tájrombolással a vezetékek, csőhálózatok, utak, gyárak elhelyezése.

Megjegyzendő, hogy mindezek igazak még a megújuló energiaforrásokra is, ha jelentős mennyiségű energiát állítunk elő. Egyáltalán, az energiaforrásokat csak azonos megtermelt energiára vonatkoztatva szabad összehasonlítani. Ilyen összehasonlításban sokszor egészen más környezeti hatások, károkozások is kiderülnek, mint amire először gondolunk. Ráadásul

az energiaforrások, azok közül is különösen a szénhidrogének földrajzilag igen egyenlőtlen módon oszlanak el a Földön.

Nyilvánvaló, hogy az energiaellátás területén már most más megoldásokat kell keresnünk. Ezek közül is a legvonzóbb az **energiatakarékosság**. Azonban alapos elemzés után kiderül, hogy komoly energiameennyiséget nehéz megtakarítani. A hatékony takarékoságnak rengeteg technikai, társadalmi és politikai feltétele van. Ezekkel most nem kívánunk foglalkozni, csak megállapítjuk, hogy minden tanulmány azt mutatja, hogy legjobb esetben is azt lehet elérni, hogy az energiafelhasználás növekedése megálljon. Ennél többet a takarékosággal a következő öt évtizedben valószínűleg nem érünk el.

Fontos megemlíteni a megújuló energiaforrások felhasználásának és az atomenergetikának a jelenlegi helyzetét. Ezek kb. egyforma részarányal mintegy 15%-át adják az energiatermelésnek. A megújulók között a legnagyobb részaránya ma a vízenergiának van, a többi elterjedése kicsi. Mindezt figyelembe véve szinte biztos, hogy csak a megújulókra hagyatkozva az energiaigények kielégítése a következő 30-50 évben reménytelen. Nem jobb a helyzet az atomenergia értékelésénél: mindenütt komoly társadalmi csoportok ellenzik az elterjedését, a nukleáris kérdésekkel kapcsolatos vita az érdeklődés és sokszor a politikai csatározások fókuszában van.

Az szinte bizonyos, hogy a klímaváltozás elkerülhetetlen. A célunk természetesen a biztonságos energiaellátás megszervezése lesz. A fenntarthatóság a jövő energiaháztartásának kulcsfontosságú kérdésköre!

A jövőben az alapvető kihívás az, hogy a népesség 2100-ban 8 és 11 milliárd fő között lesz, ezt statisztikai alapon biztonsággal állíthatjuk. Jelentős lesz az átalakulás Ázsiában. Elég csak figyelni a most gyorsan fejlődő két gazdasági óriásra, Kínára és Indiára, amelyek nyilván erős szándékkal fognak utánanyúlni az elérhető energiaforrásoknak. A saharai övezettől délre eső térségben milliárdnyi embert kell bevonni az energiaellátásba.

Világszinten ez mintegy kétmilliárd új fogyasztót jelent, ami rengeteg energiát jelent.

Eközben gondolni kell arra, hogy a kőolaj- és a földgázkészletek beláthatóan korlátosak. A környezetvédelmet helyi szinten kell megvalósítani, de szükség van biztonságos globális környezetre is. Mindez befolyásolja az energiaigényeket és az sem biztos, hogy a változások minden részletnél optimális irányban történnek.

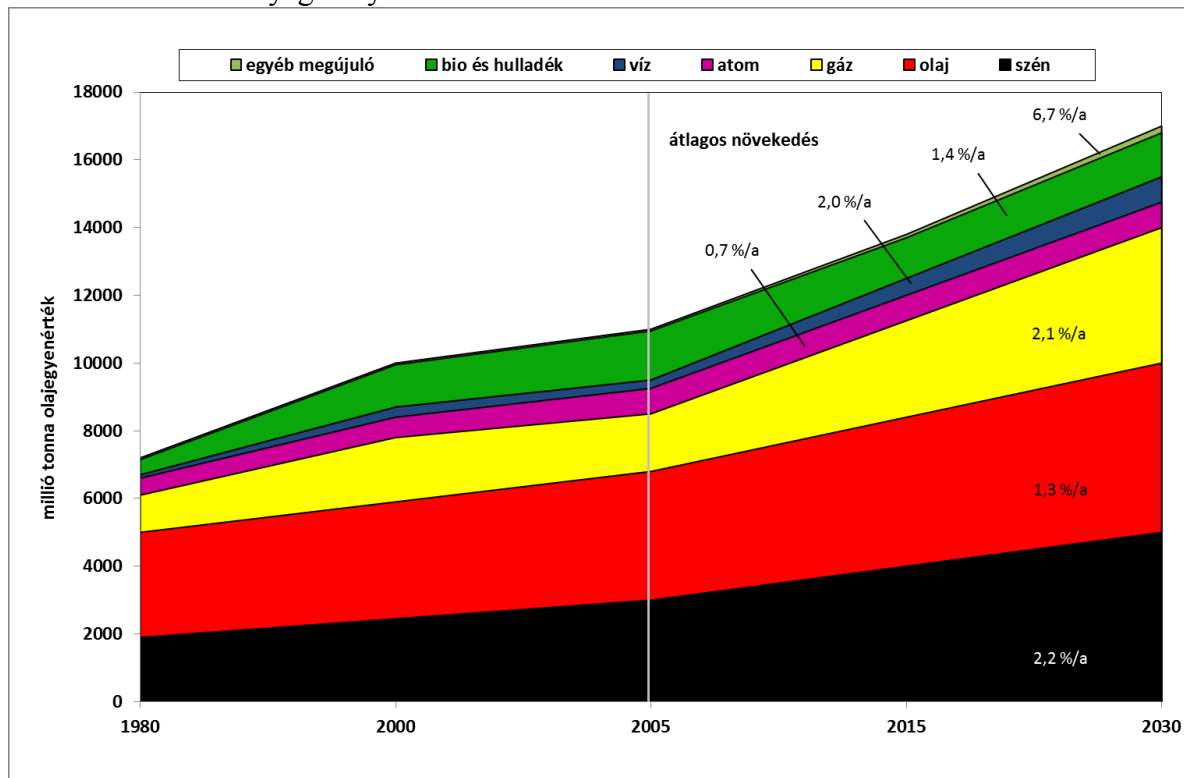
Mennyi energiára lesz szükségünk? Meglehetősen biztos kiindulási pontot jelent az, hogy három és fél évtizede az energiafogyasztás változásai szoros korrelációt mutattak az emberek számával. Ez nagy valószínűséggel a jövőben is így lesz egy darabig. A további igények azonban várhatóan a nagyobb energiafogyasztás irányába tolják el a várakozásokat. Így 2020-2030-ig mintegy 700 EJ-ig fog megnőni az energiafogyasztás. A **184. ábra** a világ primerenergia igényének előre jelzését mutatja 2030-ig.

Az Európai Uniónak jelenleg nincs egyetlen dokumentumban összegezhető energiapolitikája, ennek kialakítására irányuló törekvések csak 2006 folyamán kaptak komolyabb lendületet. A megújuló energiahordozókat érintő tématerületek közé tartozik az ellátásbiztonság kérdése, a versenyképesség, a környezetvédelem, a szén-dioxid kibocsátás csökkentés, az energiahatékonyság, a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés. A formálódó uniós energiapolitika fókuszában ennek megfelelően a következő témakörök kapnak kiemelt szerepet:

- az ellátásbiztonság,
- az európai energiapiac liberalizációja és integrációja,
- a megújuló energiaforrások felhasználásának növelése,
- az energiahatékonyság, takarékoság ösztönzése.

Az Európai Bizottság 2007 januárjában mutatta be az egységes európai energiapolitika megalapozására irányuló „energiacsomagot”. Ennek részét képezte a Bizottság hosszú távú elképzeléseit összegző „Megújuló energia útiterv” című bizottsági közlemény, amely a

Bizottság ambiciózus javaslatait fogalmazta meg a Tanács számára [1.4]. Az ebben szereplő javaslatok alapján az Európai Tanács márciusi ülésén kötelező célkitűzésként határozta meg, hogy a megújuló energiaforrások részarányára az EU teljes energiafogyasztásában 2020-ig 20%-ra emelkedjen úgy, hogy a nemzeti célkitűzéseket a Bizottság az érintett országok beleegyezésével határozza meg. A Tanács emellett 2020-ig kötelezően elérendő 10%-ban határozta meg a közlekedési benzin- és dízelolaj-felhasználás energiatartalomra vetített minimális bioüzemanyag hányadát.



184. ábra: A világ primerenergia-igényének változása (1 millió tonna olaj=41,868 PJ) [1.3]

A közösségi célkitűzés elérése érdekében a tagállamoknak a helyi adottságok figyelembevételével nemzeti célkitűzéseket kell megállapítaniuk, amely elérésének tervezett módjáról a Bizottságot nemzeti cselekvési tervekben kell tájékoztatni. A nemzeti célkitűzés elérése érdekében a tagállamoknak saját célkitűzéseket kell meghatározniuk a villamos energia, a hűtés-fűtés, és a bioüzemanyagok tekintetében.

A megújuló alapú energia felhasználás ösztönzésének szándéka már korábban is az Unió energetikai törekvései közé tartozott. 1997-ben az EU energiapolitikai dokumentumában célul tűzte, hogy a megújuló energiák részesedése a bruttó belföldi fogyasztásban 2010-re érje el a 12%-ot, ami több mint kétszerese a megújuló energiák 1997. évi részesedésének. Az azóta eltelt tíz év meglehetősen mérsékelt részarány növekedése alapján a 12%-os cél várhatóan nem fog teljesülni, a megújuló energiaforrások részesedése az EU-ban 2010-re várhatóan nem fogja meghaladni a 10%-ot. Az Európai Unió a 2008. január 30-án közzétett „Javaslat - Az Európai Parlament és Tanács irányelve a megújuló forrásokból előállított energia támogatásáról” dokumentumban Magyarország felé 2020-ra 13%-os megújuló energiahordozó részarány elvárást határozott meg [1.5].

A célok elérése érdekében elsőként a megújuló alapon termelt villamos energia támogatását szabályozta az Unió az Európai Parlament 2001/77/EK irányelvében [1.6].

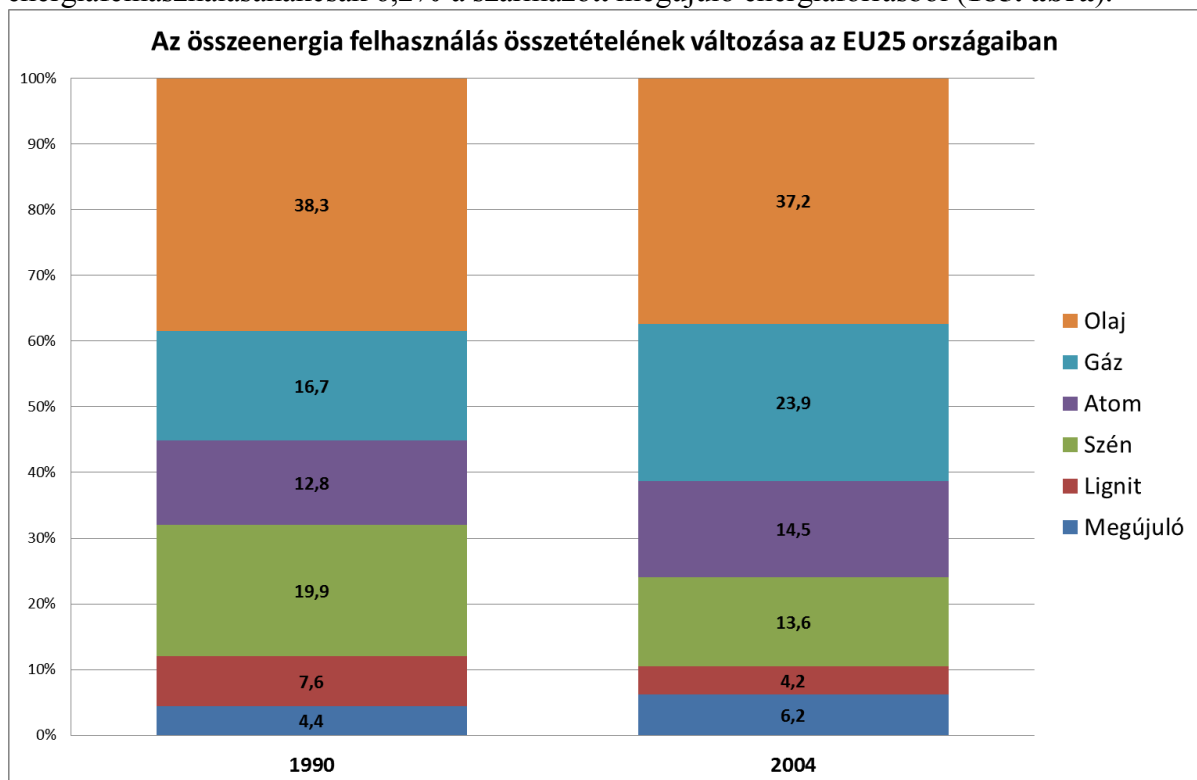
Ezzel összhangban minden tagállam nemzeti célelőirányzatot fogadott el arra nézve, hogy a villamosenergia-fogyasztást milyen arányban kell megújuló energiaforrásokból fedezni. Ha mind a 25 tagállam teljesítené nemzeti célkitűzését, 2010-re az EU teljes

villamosenergia-fogyasztásának 22,1%-át megújuló energiaforrásokból állítanák elő. A 2008. január 30-i dokumentum célja 2020-ra EU szinten 20%-os részarány elérése.

Az Unió további meghatározó, a megújuló alapú energiafelhasználást ösztönző dokumentumai a következők:

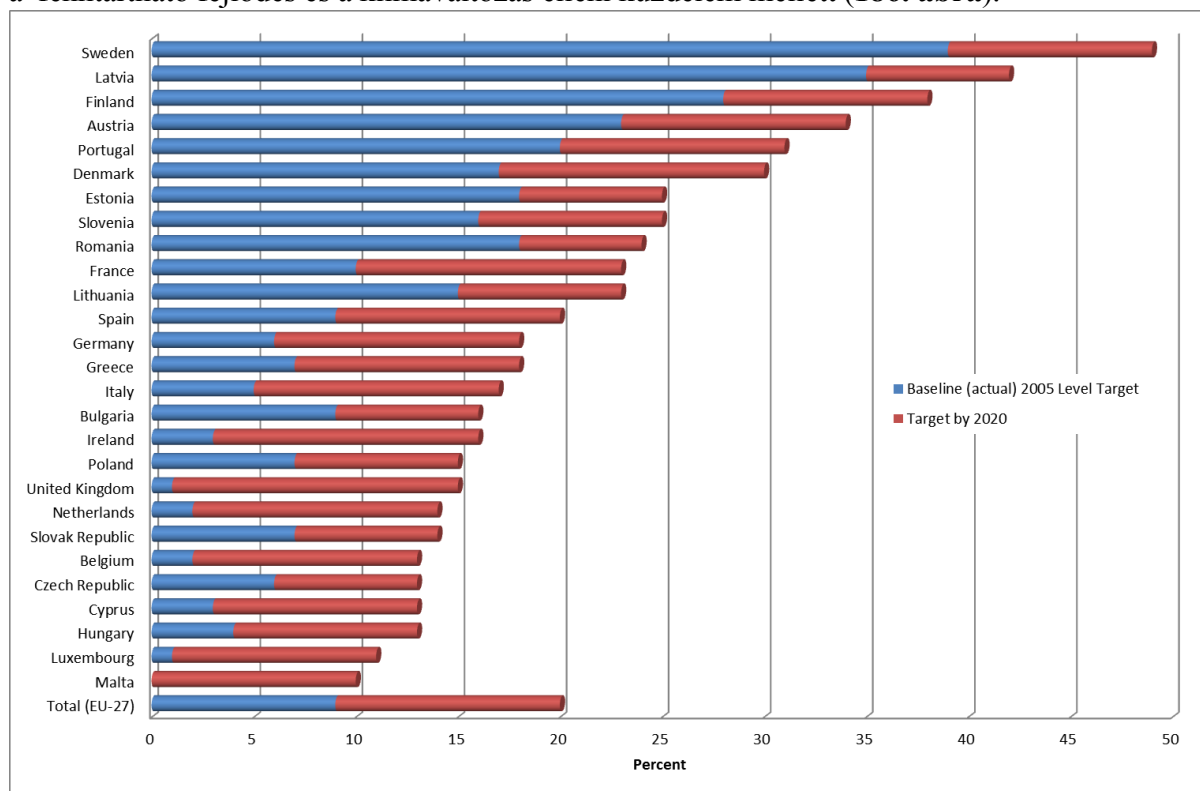
- Irányelv az energia-végfelhasználás hatékonyságáról és az energetikai szolgáltatásokról [1.7], amely előírja a tagállamok számára, hogy 2007. június 30-ig nemzeti energiahatékonysági akcióterveket készítsenek azokról az intézkedésekről, amelyekkel a minimálisan ajánlott évi 1%-os energiamegtakarítást el kívánják érni. Az energiafelhasználás mérséklése kedvező hatással van a megújulók részarányának növekedésére is.
- Irányelv az épületek energiateljesítményéről [1.8], amely többek között a megújuló alapú hőtermelés fűtési célú felhasználását szorgalmazza.
- Bioüzemanyag irányelv [1.9], amely szerint a tagállamoknak biztosítaniuk kell, hogy a bioüzemanyagok és más megújuló üzemanyagok forgalomba kerülő mennyisége minimálisan elérjen egy, a tagállamok által nemzeti szinten meghatározott indikatív részarányt. E célok tekintetében a vonatkoztatási érték az egyes nemzeti piacokon 2005. december 31-ig forgalomba hozott benzin- és dízelüzemanyagok energiatartalom alapján számított 2 %-a, 2010. december 31-ig pedig 5,75 %-a.
- Irányelv az energiatermékek és a villamos energia közösségi adóztatási keretének átszervezéséről [1.10], amely meghatározza az energiatermékeket és a villamos energiát terhelő adóügyi rendszereket és adómértékeket.

A megújuló energiaforrások hasznosítása egyre inkább előtérbe kerül a fosszilis energiahordozók árának folyamatos növekedése és a készletek csökkenése, valamint az atomenergiával kapcsolatos félelmek miatt. Annak ellenére, hogy a megújuló energiaforrások használata nagy múltra tekint vissza, európai méretekben meglehetősen szerény a részesedése az összes energiafelhasználásból: 2004-ben az EU 25 energiafelhasználásának csak 6,2%-a származott megújuló energiaforrásból (**185. ábra**).



185. ábra: Az összeenergia felhasználás összetételének változása az EU25

A tendenciák azonban mindenképpen kedvezőek, amit erősít az Európai Unió elköteleződése a fenntartható fejlődés és a klímaváltozás elleni küzdelem mellett (186. ábra).



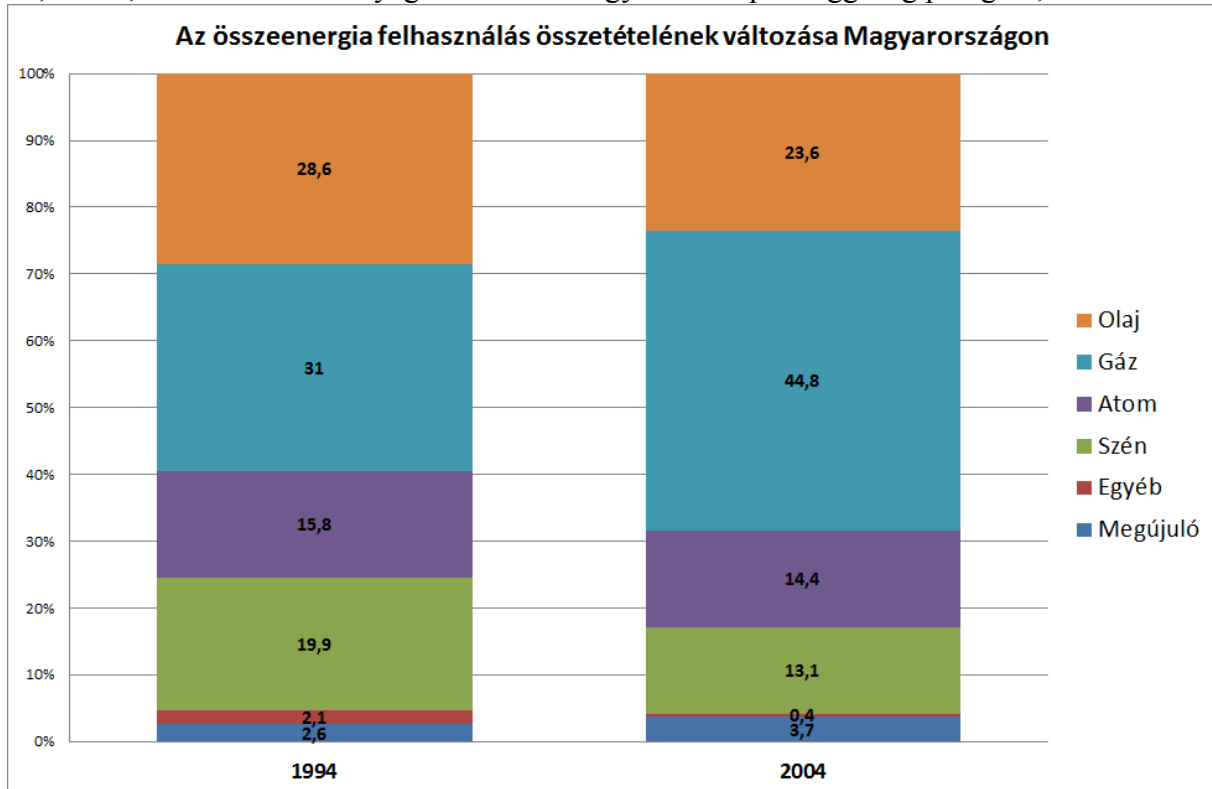
186. ábra: Az EU megújuló energia stratégiája [1.11]

Az **Európai Unió** fosszilis energiaforrásoknak való kitettsége az elmúlt másfél évtizedben közel 8%-kal növekedett. A hagyományos, jellemzően Európában megtalálható fosszilis energiaforrások (feketeszen, lignit) felhasználásának csökkenését legnagyobb mértékben a földgáz (60%), majd a megújuló energiaforrások (58%), és az atomenergia (28%) felhasználásnak növekedése kísérte. A nagy részben importból származó fosszilis energiaforrások túlsúlya miatt az ellátásbiztonság kérdése egyre fokozottabban az Európai Unió energiapolitikai törekvéseinek fókuszába került.

Nemzetközi fórumokon általános az egyetértés abban, hogy a megújuló energiák növekvő mértékű hasznosítása kulcsszerepet játszik a kibocsátás-csökkentési, valamint az ellátásbiztonsági célok elérésében. Mindez jól tükröződik a különböző uniós energiapolitikai dokumentumokban. Az 1997-es Fehér Könyv célként jelölte meg, hogy az Unión belül 2010-re el kell érni a megújuló energiák 12%-os részarányát a teljes villamosenergia-felhasználásban. A megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia elterjedésének elősegítése érdekében pedig megszületett a 2001/77/EK irányelv, amely konkrét, kötelezően elérendő célokat jelölt meg 2010-re az egyes tagországok számára. Az irányelvben szereplő célkitűzés, hogy az EU-ban a megújuló alapon termelt villamos energia teljes villamosenergia felhasználásban vett részaránya 2010-re érje el a 21%-ot.

Az EU 25 tagországaiban a megújuló energia felhasználás 90%-a két erőforrás, a biomassza és a vízenergia-felhasználásból származott 2004-ben. A felhasználás húzóerejét a biomassza jelentette kétharmados részarányal. Nem véletlen ezért, hogy az Európai Unió megújulókkal kapcsolatos szabályozásában kiemelt szerepet kap a biomassza, amely felhasználásának növelése érdekében az Unió Cselekvési Tervet dolgozott ki 2005-ben. Az Unió szakértői a 2010-es célkitűzések eléréséhez a biomassza felhasználásában látják a legnagyobb potenciált, amelynek fő felhasználási területeit a villamosenergia-termelésben, a hőtermelésben és a közlekedésben jelölik meg.

Magyarországon az energiafelhasználás összetételének változása (187. ábra) az Európai Unióátlagánál még kedvezőtlenebb hosszú távú tendenciát mutat. 1990-től 2004-ig ugyan közel 10%-kal csökkent a hazai összenergia felhasználás, a gázfelhasználás 30%-os növekedése révén az import fosszilis energiahordozók részaránya a felhasználásban ma 67,3%-os, a nukleáris fűtőanyag behozatallal együtt az importfüggőség pedig 78,5%.

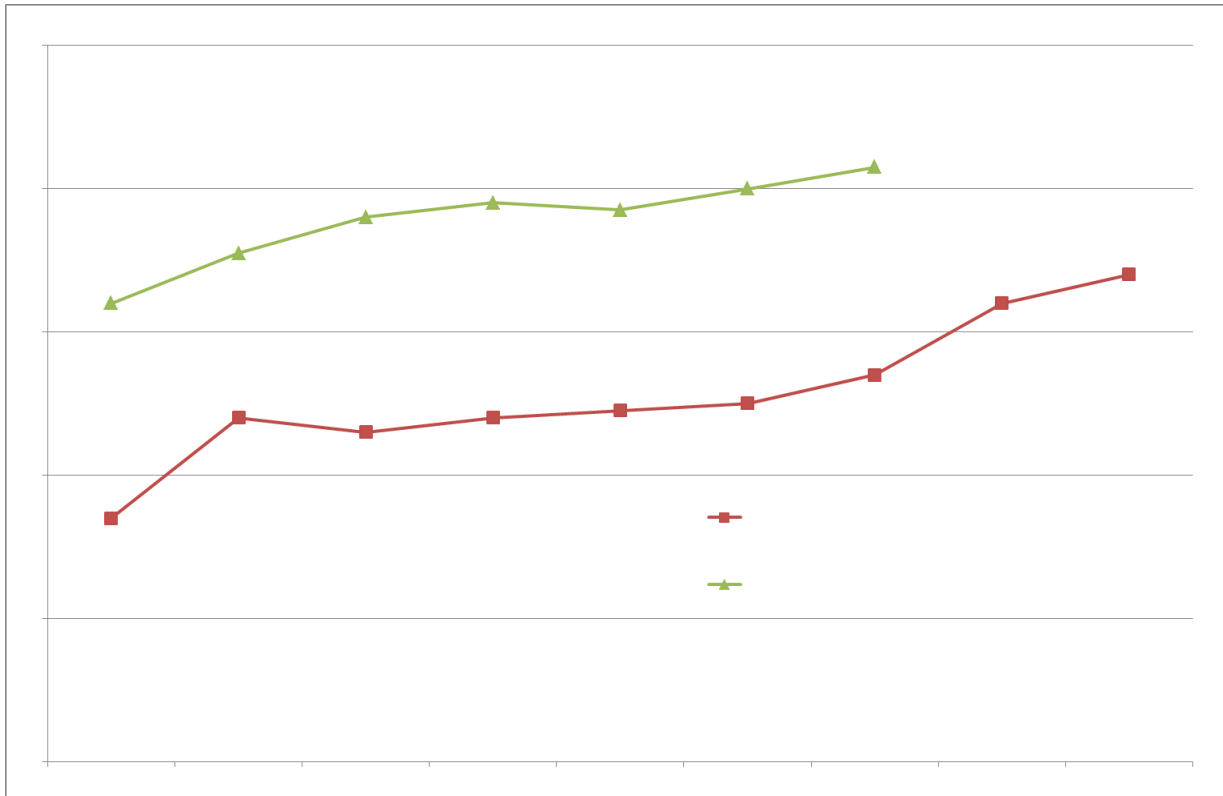


187. ábra: Az összenergiafelhasználás összetételének változása

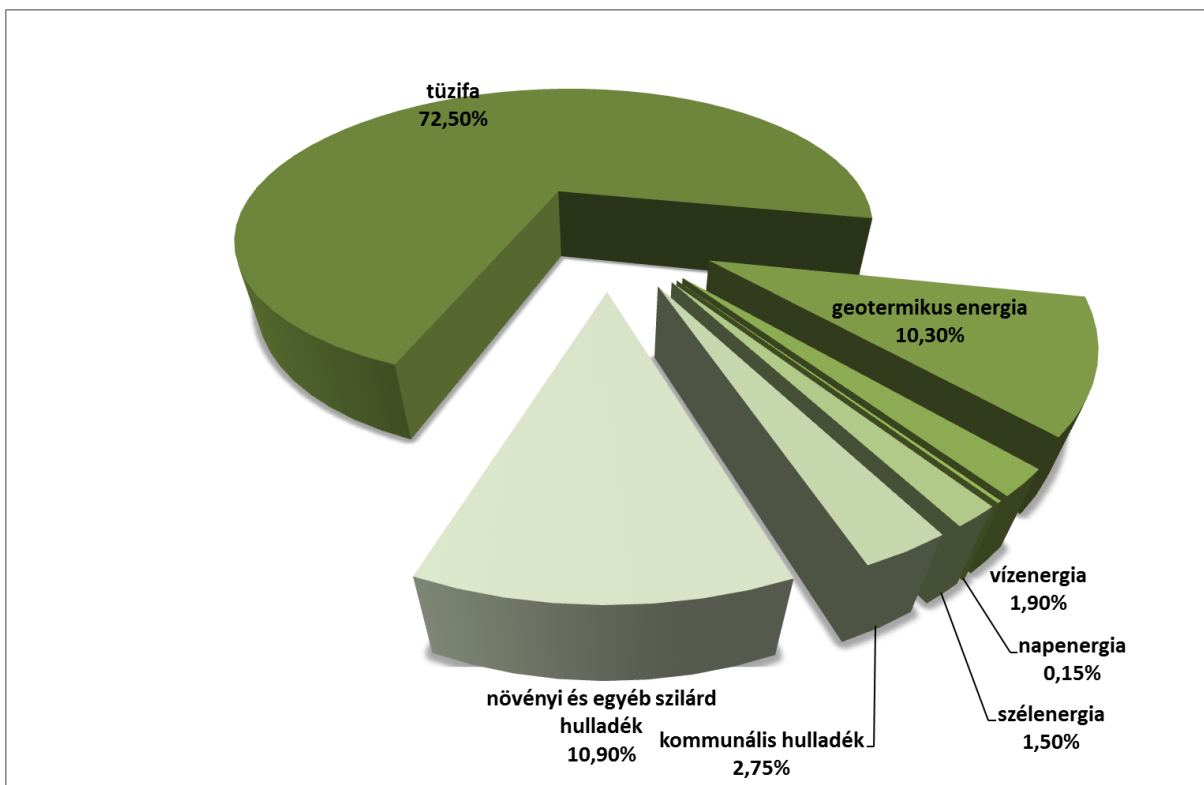
A magyarországi energiaellátáson belül a megújuló energiaforrások aránya növekedett az elmúlt években: míg 2001-ben 36,4 PJ-t tettek ki a megújulók, addig 2006-ban már 54,8 PJ-t, amely 50% körüli növekedést jelent az adott időszakban.

2006-ban a megújuló energiaforrások adták a primer energiafelhasználás 4,7%-át. A 2007. évi előzetes adatok szerint 55,2 PJ a megújuló energiahordozó felhasználás és ez 4,9%-os részarányt jelent (188. ábra). A kilencvenes évek közepe óta tartó stagnálást 2003 után váltotta fel intenzívebb növekedés, ami a kedvező támogatási rendszer hatására a biomassza alapú villamosenergia-termelés felfutásának volt legnagyobb részben betudható. Egy hasonló összetételű jövőbeni növekedési pálya fenntarthatóságáról azonban igencsak megoszlik a hazai szakértők véleménye.

Magyarországon a legnagyobb arányban hasznosított megújuló energiaforrás a biomassza, amely 2006-ban az összes megújuló energia közel 90%-át adta (189. ábra). A biomasszát jelentősen a geotermikus energia (3,6 PJ), a megújuló alapú hulladék felhasználás, a bioüzemanyag (0,96 PJ), és a vízenergia (0,67 PJ) felhasználás követi, de ezek nagyságrendileg lényegesen elmaradnak a biomassza felhasználástól.



188. ábra: A megújuló energia részarány az EU-ban és Magyarországon [1.1]



189. ábra: Magyarország megújuló energiatermelés megoszlása 2006-ban [1.1]

A biomasszából származó hő- és villamosenergia-termelés alapanyaga nagyobb részben tűzifa, amelyet jellemzően közvetlen eltüzeléssel, esetenként együttégetéssel használnak fel, túlnyomórészt hőtermelés, kisebb részben villamosenergia-termelés céljából. Tűzifát nagy

menyiségben használ a lakosság, általában alacsonyabb hatásfokú kazánokban. A biomassza energetikai célú felhasználásának alapanyagát adja továbbá az összes egyéb szántóföldi és kertészeti növényi melléktermék és hulladék, mint pl. az erőművekben égetésre kerülő szőlőtörköly, maghéjak stb., továbbá a célirányosan termelt fás és lágyszárú energianövények. A megújuló energiahordozókat ma hazánkban elsősorban hő- és villamosenergia termelésben, valamint – egyelőre kismértékben – üzemanyagként hasznosítják. A 2006-ban összesen felhasznált közel 55 PJ megújuló energiahordozó többsége a hőenergia termelésben hasznosul, amelyről külön támogatási rendszer hiányában ma méltatlanul kevés szó esik. Ugyan az elmúlt években a megújuló energiafelhasználás növekedésének motorját a megújuló alapú villamosenergia termelés jelentette, a megújuló hőtermelésben való felhasználásának részaránya (61%) még ma is nagyobb a zöldáram termelés hőegyenértéken vett, teljes megújuló energiafelhasználáson belüli arányánál (37%). A bioüzemanyagok hazai felhasználása megkezdődött, de az összes megújuló energiafelhasználáson belül egyelőre csekély nagyságrendet képvisel.

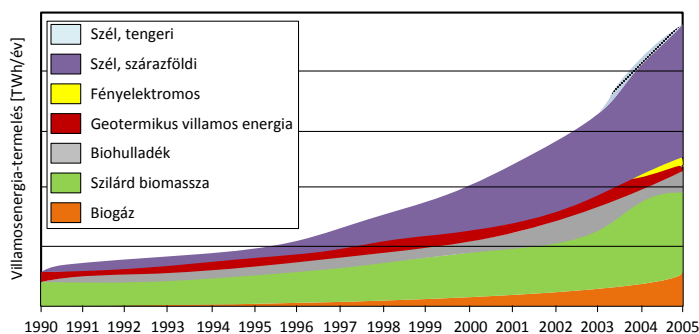
21.1. Megújuló energiaforrás alapú villamos-energia termelés

Az energetikáról beszélve fontos az a tény, hogy az utóbbi évtizedekben fokozatosan növekedett az elektromosság fontossága. A statisztikai adatok azt mutatják, hogy míg a teljes energiafogyasztás 1.66-szorosára nőtt 1980 óta, az elektromos energia felhasználása 2.26-szor lett nagyobb. Ma már a GDP növekedése is az elektromos energia növekedésével mutat korrelációt.

Magyarország az Európai Unióhoz való csatlakozáskor kötelezettséget vállalt arra, hogy a megújuló bázisú villamosenergia-termelés részaránya 2010-re eléri a 3,6%-ot. A tagországok közül Magyarország a legalacsonyabb vállalást tette (**190. ábra**), amelyet a 2005-ben elért 4,5%-kal elsőként sikerült is teljesítenie. A részarány teljesítése néhány, korábban széntüzeléses erőművi blokkok tisztán biomassza tüzelésre történő átállásának, valamint a megújuló energiaforrásokkal kevert vegyes tüzelésre való áttérésének volt köszönhető.

A megújuló energiaforrásokkal termelt villamos energia aránya a teljes villamosenergia-fogyasztáson belül 13,7%-ot ért el 2004-ben az EU 25-ben, nagy országok közötti eltérésekkel. A vízenergia-felhasználásnak köszönhetően kiemelkedik Ausztria, Svédország és Lettország, egyéb megújuló energiaforrásainak köszönhetően szintén magas részarányal rendelkezik Szlovénia, Dánia, Portugália. Magyarország a 2004-ben elért 2,3%-kal a sereghajtók között helyezkedik el.

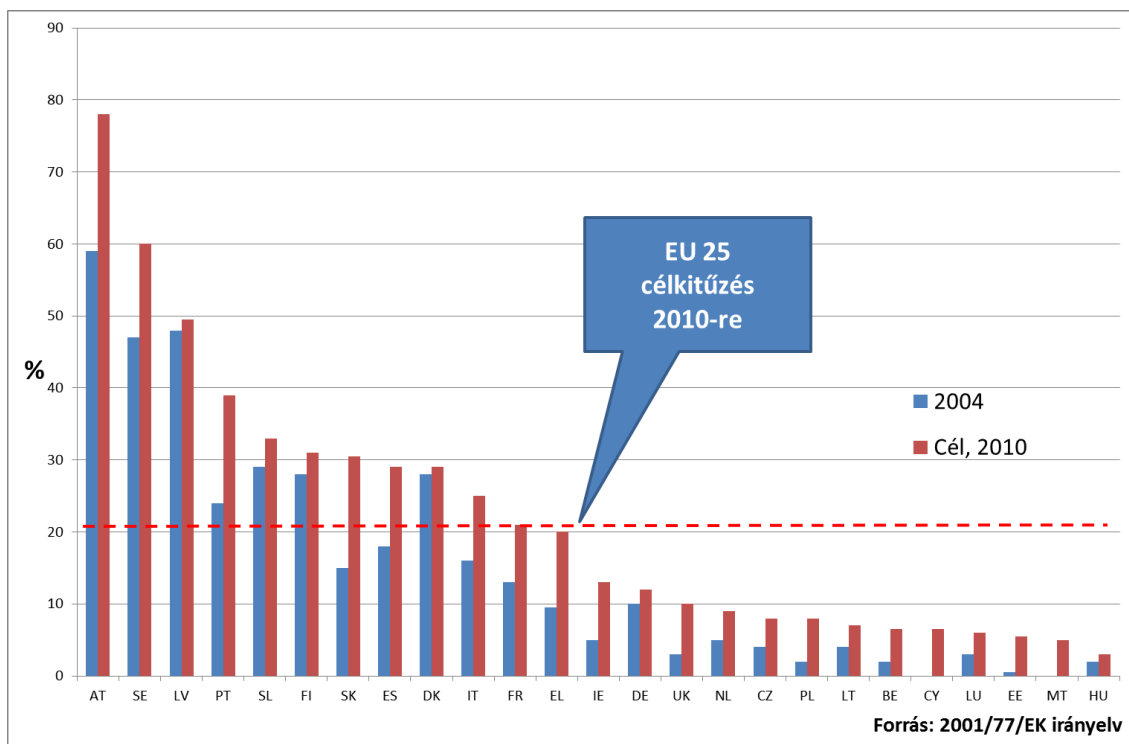
Az EU 25 megújuló energia felhasználás növekedése az elmúlt évtizedben csak a villamosenergia-ágazatban volt jelentős. Nagy részben a 2001-ben elfogadott uniós irányelvnek köszönhetően az EU25 átlaga 2010-re várhatóan eléri a 19%-ot, amivel közel kerül a megújuló villamos energia részarányára vonatkozó 21%-os célkitűzéshez. A nemzeti célkitűzések elérésben kilenc tagállam, köztük Magyarország is, jól teljesít, a tagállamok többsége azonban távol áll a kitűzött vállalások teljesítésétől, emiatt hat tagállam ellen a Bizottság jogsértési eljárást kezdeményezett. Az elmúlt évtizedben a növekedés a szélenergia terén különösen



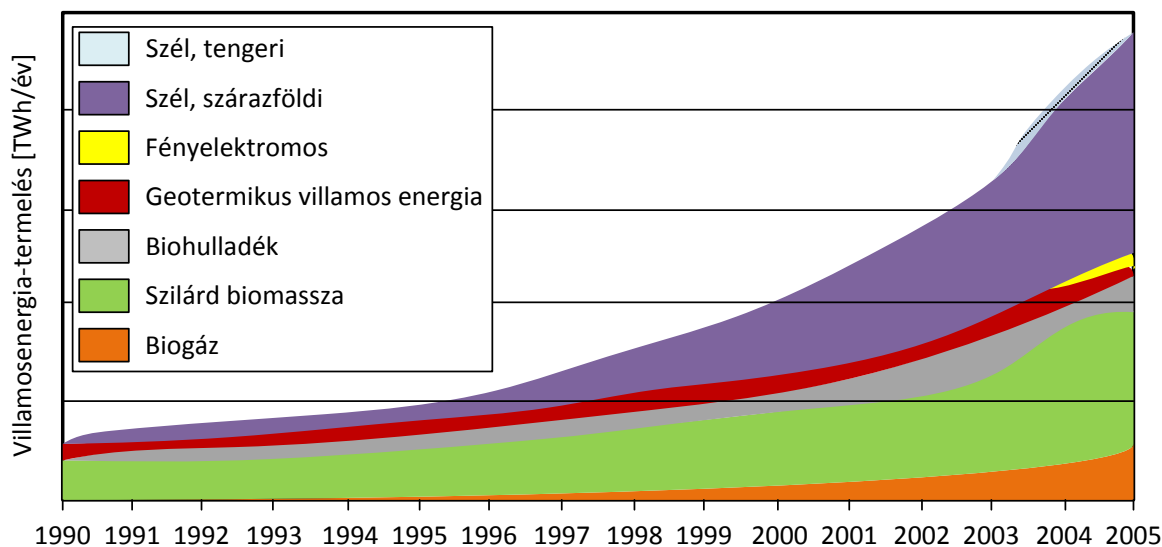
erős volt (191. ábra), és szintén jelentős fejlődést mutat a biomassza alapú villamosenergia-termelés.

24. táblázat: Megújuló alapú villamosenergia termelés alakulása néhány országban[1.12]

Ország	1990 [MW]	1995 [MW]	2000 [MW]	2003 [MW]
Argentína	7	7	0	0
Ausztrália	0	2	2	2
Kína	19	29	29	28
Costa Rica	0	55	143	162
El Salvador	95	105	161	163
Etiópia	0	0	0	7
Franciaország	4	4	4	15
Guatemala	0	33	33	29
Magyarország	0	0	0	0
Izland	45	50	170	200
Indonézia	145	310	590	807
Olaszország	545	632	785	791
Japán	215	413	547	561
Kenya	45	45	45	121
Mexikó	700	753	755	953
Új-Zéland	283	286	437	421
Nicaragua	35	70	70	78
Pápua-Új-Guinea	0	0	0	6
Fülöp - Szigetek	891	1227	1909	1931
Portugália	3	5	16	16
Oroszország	11	11	23	73
Thaiföld	3	3	3	3
Törökország	20	20	20	20
USA	2775	2817	2228	2020
Összesen	5831	6833	7974	8402



190. ábra: Az EU tagországok megújuló energia alapú villamosenergia részarány vállalása 2010-re [1.1]

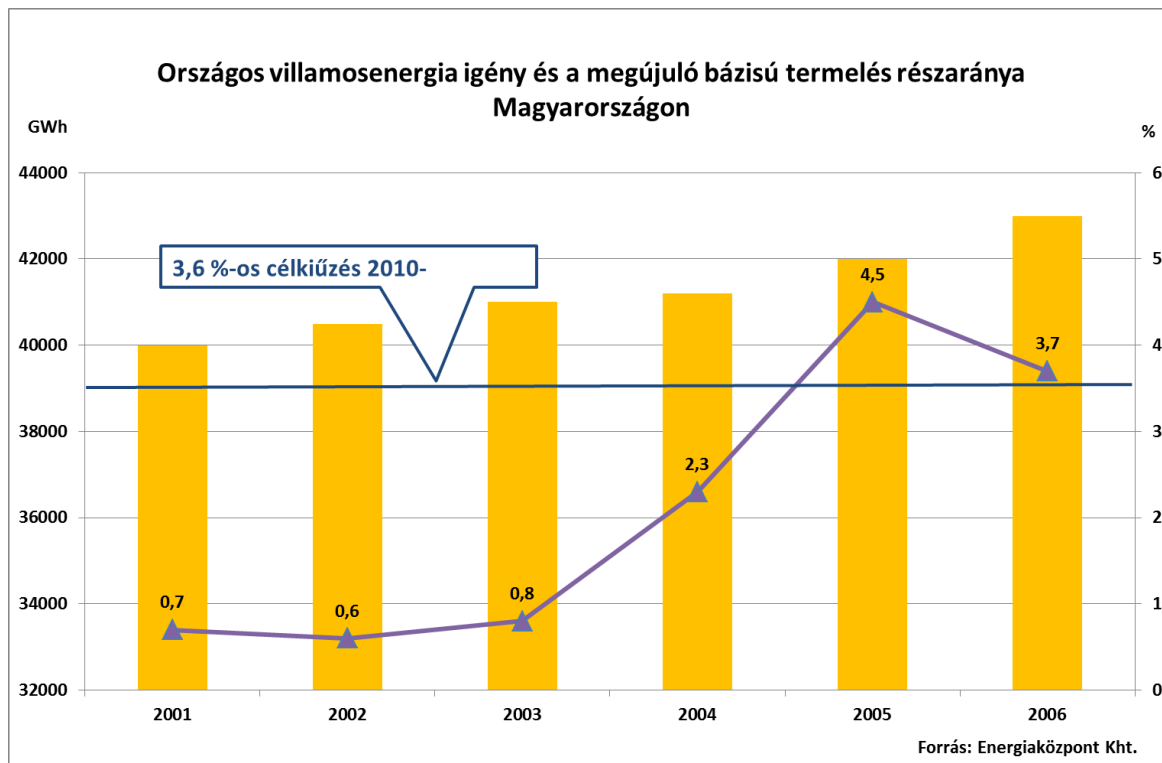


191. ábra: A megújuló alapú villamosenergia-termelés összetételének alakulása az EU25-ben [1.1]

Az érvényes EU irányelvek és az azokból következő hazai támogatási rendszer jelenleg elsősorban a megújuló energiaforrások felhasználásával történő villamosenergia-termelést, illetve a megújuló közlekedésben való térnyerését preferálja. Ennek következtében Magyarországon is erre a két területre irányulnak állami ösztönzők. A „zöld” áram termelést a magyar jogszabályok az átvételi kötelezettséggel és az átvételi árba épített közvetlen árkiegészítéssel támogatják, míg a bioüzemanyagok terjedését adómentesség, adó-visszatérítés, adódifferenciálás révén. Nem vonatkozik külön támogatási rendszer azonban a megújuló energiaforrásból származó hőtermelésre.

A támogatások eredményeképpen a 2003-as év óta erőteljesen nőtt Magyarországon a biomassza villamos áram termelésre történő felhasználása. 2005-ben a megújuló

energiaforrások felhasználásával előállított áram 4,5%-át, 2006-ban pedig egy jelentősebb visszaesés eredményeként 3,7%-át tette ki az összes villamosenergia-igénynek (**192. ábra**). (A 2007. évi adatok alapján a megújuló energiahordozó bázisú villamosenergia termelés az előző évi 1624 GWh-ról 2019 GWh-ra nőtt, ezzel a zöldáram részaránya a villamosenergia felhasználásban 4,6%-ra emelkedett.) A 2006. évi visszaeséssel együtt is sikerült azonban teljesíteni azt a 2010-re kitűzött 3,6%-os részarányt, amelyet Magyarország az uniós csatlakozást követően a 2001/77/EK irányelvvel összhangban vállalt.



192. ábra: A hazai megújuló energia alapú villamosenergia részarány alakulása [1.1]

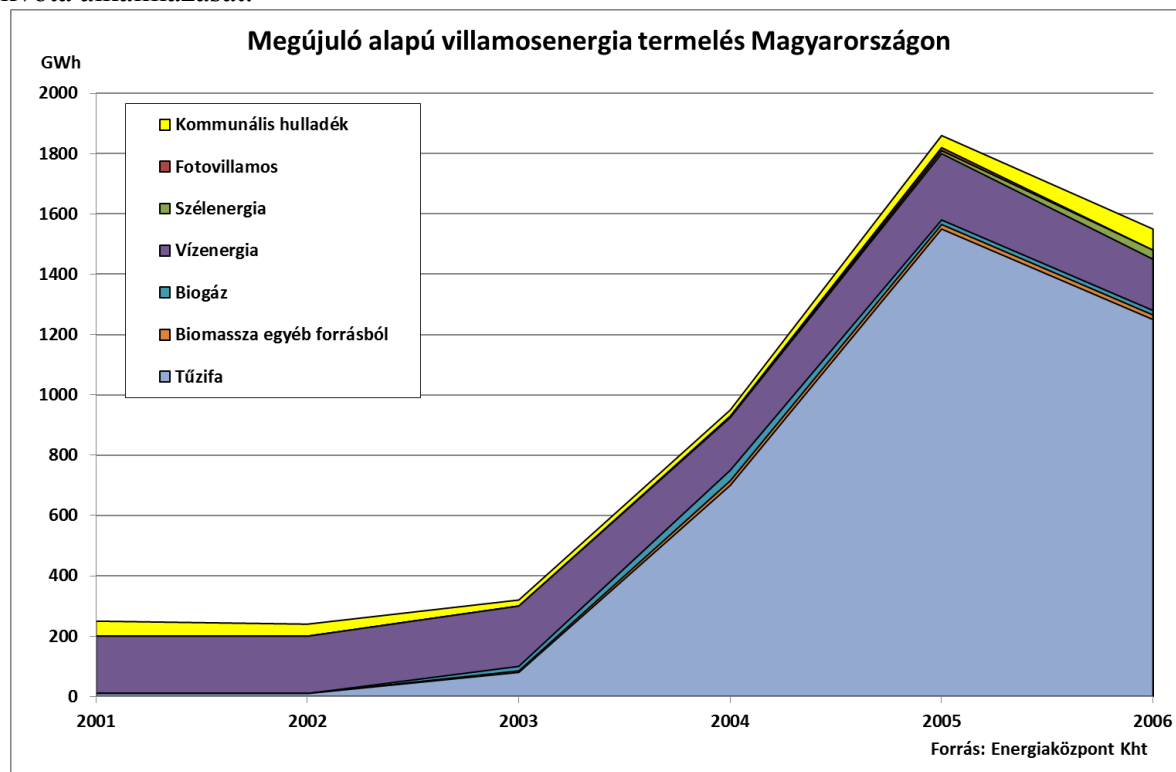
A megújuló alapú villamosenergia-termelés 2003 utáni felfutása legnagyobb részben annak volt köszönhető, hogy meglévő erőművi kapacitásokat átállítottak biomassza tüzelésre (Pécsi Erőmű – 49 MW, Kazincbarcikai Erőmű – 30 MW, Ajkai Erőmű –20 MW), valamint meglévő szenes erőművekben, átalakítás nélkül, tűzifa és egyéb mezőgazdasági termékek szénrel való együtt-tüzelésére álltak át (Tiszapalkonyai és Mátrai Erőmű).

Ez a két technológia tekinthető a megújuló energiafelhasználás legolcsóbb és leggyorsabban realizálható formájának. Egy-két kivételtől eltekintve azonban ezeket a technológiákat rendkívül alacsony hatásfok jellemzi: az átalakított erőművek villamos energia előállításának átlagos hatásfoka 30% alatti. Bár korszerűbb technológiák mind a villamos energia, mind a hőenergia termelésben rendelkezésre állnak, a megújuló hőtermelés támogatásának hiányában az erőművek nem ösztönöztek a hő hasznosításában.

A biomasszán felül a megújuló alapú áramtermelés kb. 12%-át a vízenergia, további 6%-át pedig kommunális hulladék felhasználásával állították elő 2006-ban. A jövőben a szélenergia jelentőségének növekedése várható, ahogy fokozatosan megépülnek, és termelni kezdenek azok a szélerőművek, amelyek a 2006 tavaszán engedélyezett 330 MW beépített szélerőművi teljesítményen osztoznak.

A megújuló alapú villamosenergia-termelésben 2006-ban mintegy 17%-os visszaesés figyelhető meg (**193. ábra**). Ennek indoka, hogy a tűzifán kívül biomassza címen különböző mezőgazdasági melléktermékeket (pl. szőlőtörköly, húsliszt) is felhasználtak az erőművek,

amely alapanyagok azonban nem állnak stabilan rendelkezésre. Részben erre hivatkozva csökkentette a Magyar Energia Hivatal 2006-ban a Mátrai Erőműtől és más biomasszárt használó erőművektől kötelezően átveendő „zöld áram” mennyiségét. A korlátozásnak azonban elsődlegesen pénzügyi indoka volt: a kedvező zöldáram átvételi tarifa finanszírozására szolgáló KÁP kassza 2006. évi eleji jelentős hiánya indokolta az átvételi kvóta alkalmazását.



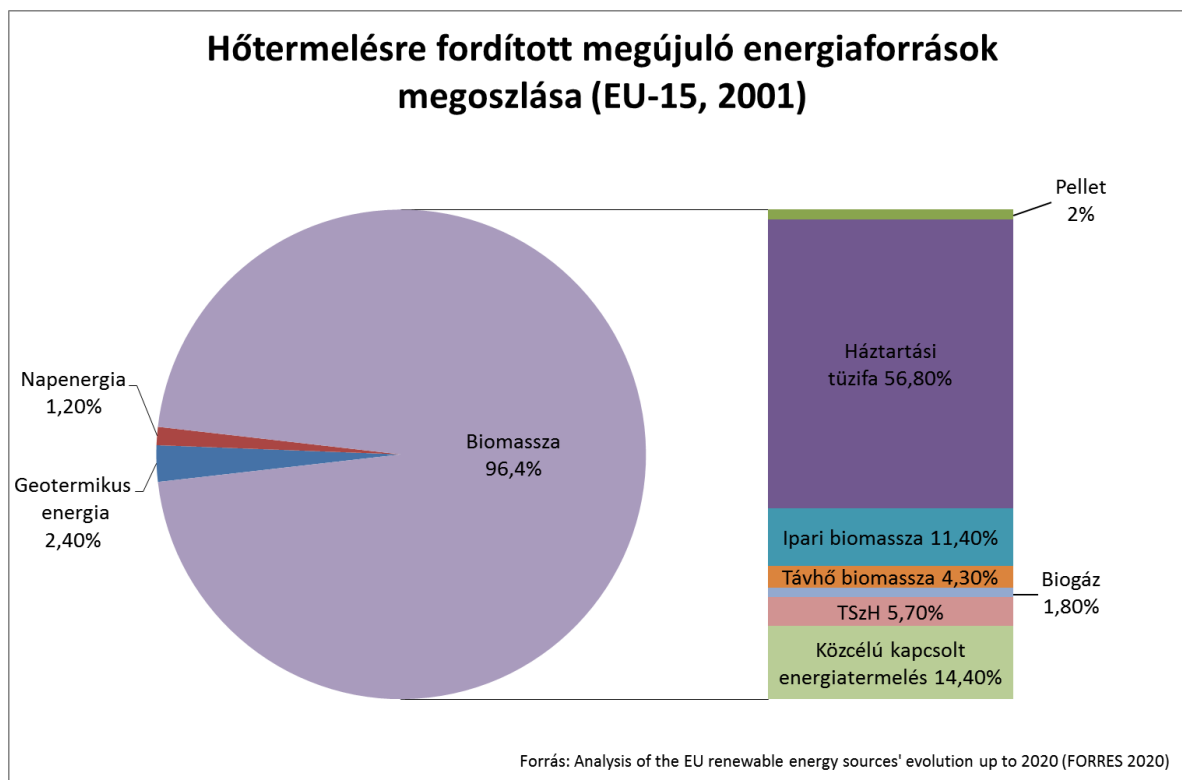
193. ábra: Hazai megújuló alapú villamosenergia-termelés alakulása [1.1]

Az elmúlt években a támogatási rendszer eredményeként jelentős ütemben nőtt a megújuló energiaforrások villamosenergia-termelési célú felhasználása. A növekedés azonban egyoldalú volt, ugyanis néhány meglévő erőműblokk biomassza tüzelésre történő átállításának volt köszönhető.

21.2. Megújuló energiaforrás-alapú hőenergia termelés

A megújuló hőtermelési célú támogatására egyelőre nem vonatkozik egységes európai szabályozás. Egyes tagországok mégis támogatják a megújuló felhasználását a hőtermelésben, elsősorban beruházási kedvezmények biztosításával. Az egységes hőpiaci támogatási szabályok szükségességét az Európai Unió is felismerte: a Bizottság 2006-os döntése alapján ki kell dolgozni egy „megújuló hő” irányelvet, amely számszerű célkitűzéseket tartalmaz a megújuló felhasználására vonatkozóan a fűtés és hűtés területén. Az EU-15-ök megújuló alapú hőtermelése 2001-ben 1767 PJ (42,2 Mtoe), a 2004-ben csatlakozott országoké pedig 234 PJ (5,6 Mtoe) volt, amely egyaránt kb. 11 %-os részarányt képviselt az összes hőigényen belül.

A megújuló alapú hőtermelés legnagyobb részben az Unióban is biomasszán alapul (194. ábra), az elhanyagolható maradék 2/3-1/3 arányban oszlik meg a geotermikus- és a napenergia között. A biomassza-felhasználás csaknem 60%-át a háztartások tűzifaigénye teszi ki, 15% körüli a közcélú kogeneráció és 10% feletti az ipar részaránya.



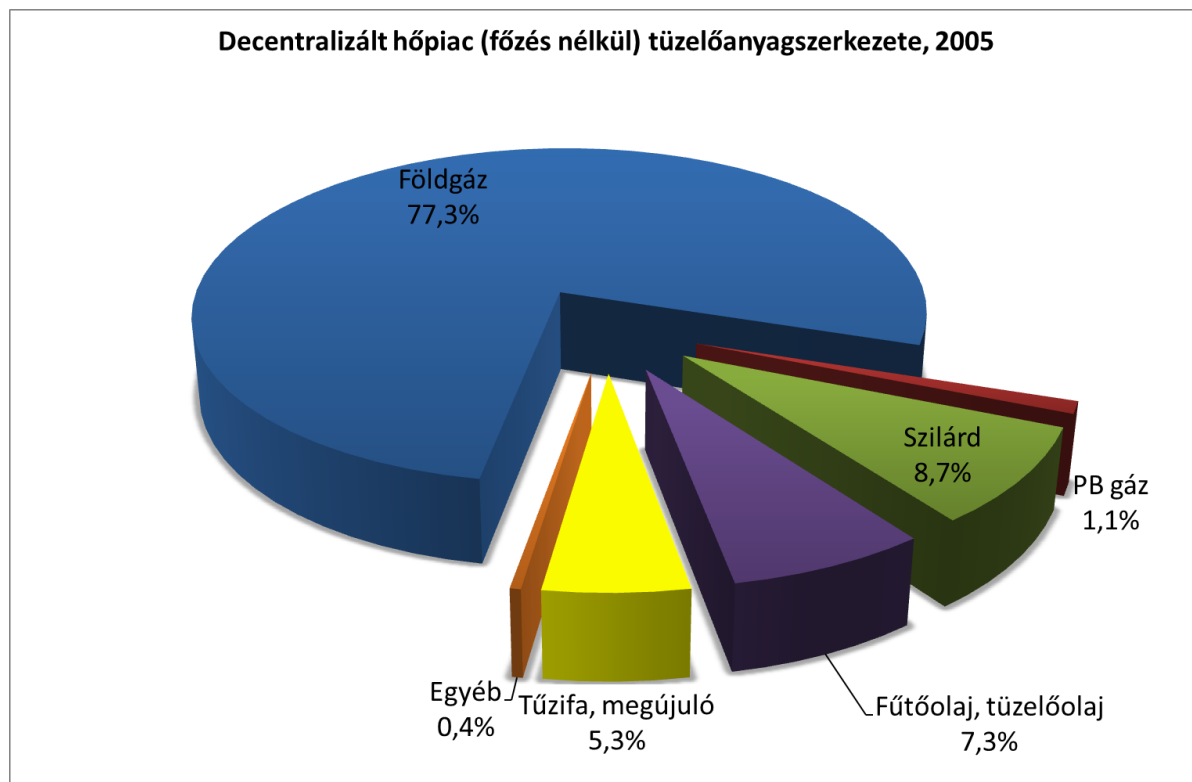
194. ábra: Az EU-15 hőtermelésre fordított megújuló energiaforrások megoszlása 2001-ben [1.1]

A megújuló alapú hőtermelés hazai helyzetének áttekintése előtt az energiapolitikában a mai napig alacsony prioritást élvező hőpiac jellemzőit tekintjük át röviden. A hőpiac külön vizsgálatát indokolja, hogy Magyarország 2005. évi 926,5 PJ volumenű közvetlen (végső) energiafelhasználásának több mint felét (mintegy 490 PJ-t) hőigények ellátására fordították.

A **hőigények nagy részét** a hazai éghajlati viszonyok által determinált **épületfűtés**, (illetve **egyre növekvő hűtés**), és az ún. **használati melegvíz** készítés összesen ~330 PJ volumenű hőigénye teszi ki. Ebből ~291 PJ a decentralizált²² hőpiacon (azaz az egyedi fűtés és használati melegvíz), ~39 PJ pedig a centralizált²³, vagyis távhő piacon jelentkezik. Az ezek fedezésére fordított végső energiafelhasználás ~376 PJ. Ettől eltérő jellegű igényt jelent az ipar ~92 PJ volumenű technológiai hőigénye 24, amelyekre az időjárásnak nincs meghatározó befolyása, és az előbbiekhöz képest általában csak jóval magasabb hőmérsékletszinten elégíthető ki. Annak ellenére, hogy a hőpiac volumenében igen jelentős, a hőenergia a végső energiafelhasználás statisztikailag „rejtőző” szegmense, miután a hőtermelés jellemzően (kb. 5/6 részben) helyileg, a végfelhasználóknál decentralizáltan történik. A statisztikákban önálló kategóriaként csak a távhő és a technológiai hőfelhasználás jelenik meg, míg a végül hő formájában decentralizáltan felhasznált energia nagyobb részének tekintetében csak az előállításához felhasznált energiaforrásokat mutatja ki az energiastatisztika.

A hőpiac energiaforrás-felhasználásában a földgáz játszik meghatározó szerepet. A decentralizált – főzési célú igények nélküli – hőpiacon a kiépült földgázhálózat, a földgáz bázisú hőtermelés magas komfortja és a kedvező ár együttesen azt eredményezte, hogy a hőellátás több, mint ¾-ét földgáz felhasználásával biztosítják.

A megújulók (túlnyomórészt tűzifa) együttes részesedése még a fosszilis szilárd energiaforrásokénál is kisebb (**195. ábra**).



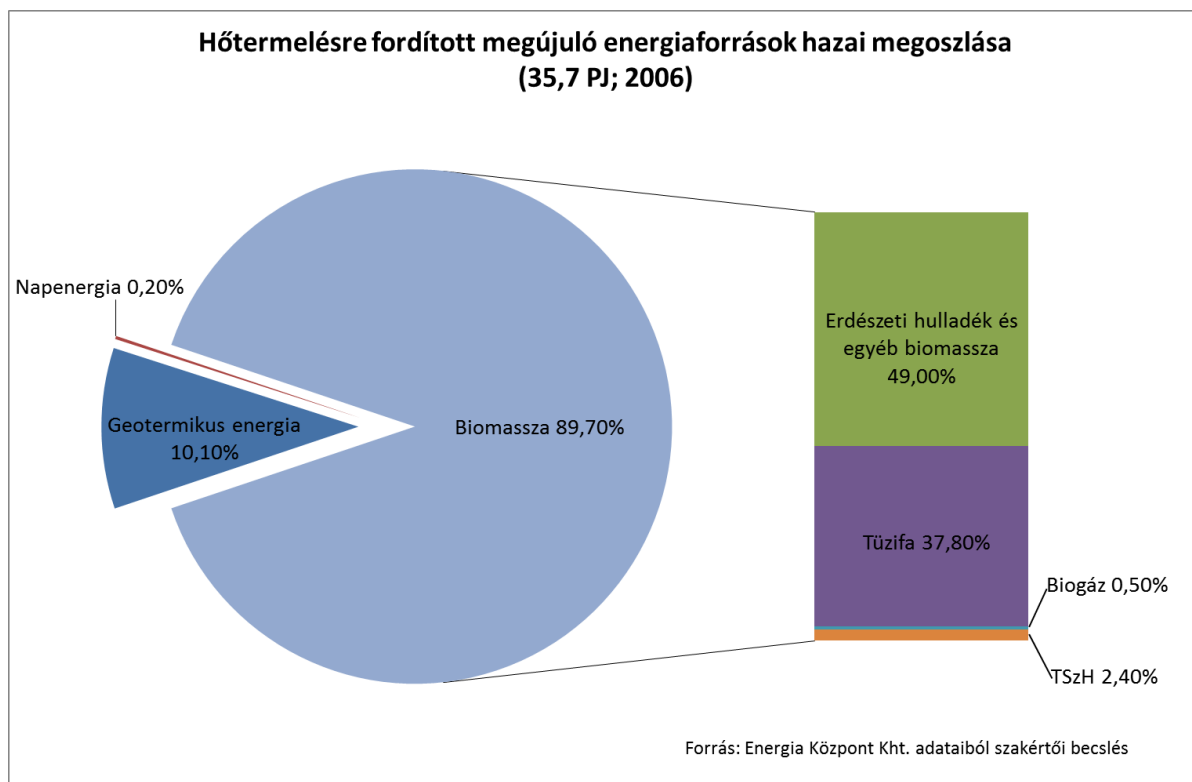
195. ábra: A hazai hőpiac tüzelőanyag szerkezete 2005-ben [1.1]

A hőpiaci igények kielégítésének centralizált formája a távhőellátás, amikor a végső felhasználókhoz hőtávvezeték-rendszeren juttatják el a központilag előállított hőenergiát. A ~63 PJ volumenű távhőpiac Magyarországon az összes hőigénynek csak viszonylag kis hányadát (~1/6-át) képviseli, amelynek mintegy kétharmadát villamosenergia-termeléssel kapcsoltan állítják elő. A földgáz- és villamosenergia-ellátástól eltérően a távhő esetében a műszaki adottságok miatt nincs országos hálózat, vagy együttműködő rendszer, a települések szintjén, illetve sokszor a településeken belül is kisebb-nagyobb önálló, „szigetüzemi” rendszerek működnek.

A távhőre felhasznált tüzelőanyagoknak is döntő hányada (több, mint 80%-a) földgáz, a megújulók pedig csupán 1,5% körüli részarányt képviselnek.

A 2006. évi, összesen közel 55 PJ volumenű megújuló energiafelhasználásból a hőtermelés céljára fordított ~36 PJ forrásonkénti bontása a következő **196. ábra** látható.

A megújuló alapú hőtermelésben – a zöld áram termeléshez hasonlóan – a biomassza képviseli a legjelentősebb volument és részarányt, ezen felül a geotermikus hőtermelés tekinthető viszonylag jelentősnek. Ez a megoszlás – amely jellegében azonos az Unióéval – jól tükrözi a hőpiac rendelkezésére álló megújuló energiaforrások hazai adottságait és lehetőségeit is.



196. ábra: Hőtermelésre fordított megújuló energiaforrások hazai megoszlása [1.1]

A megújulók hazai részaránya a hőigények kielégítésében 2006-ban tehát összességében nem érte el a 10 %-ot, felhasználói oldalon tehát viszonylag nagy a megújulókkal elvben kiváltható hőigény. A tényleges kiváltásnak azonban számos akadálya van, amelyek közül a legfontosabbak a következők:

- a megújuló alapú hőtermelő projektek megtérülési ideje igen hosszú (általában jóval meghaladja a tíz évet). Néhány jellemző projekt átlagos megtérülési idejét az alábbi **25. táblázat** szemlélteti 2006. évi energiahordozó árakkal számolva. (Megjegyezzük, hogy a kőolaj és egyéb fosszilis energiahordozó árak utóbbi időben bekövetkezett jelentős drágulása miatt ezek a megtérülési idők rövidebbek.)

25. táblázat: A megújuló energiaforrások beruházásainak megtérülési ideje [1.1]

	Megtérülési idő (év)
Napkollektorok	20-25
Geotermikus energia (hévíz)	12-15
Hőszivattyú (földhő)	15-20
Biomassza	10-12

- elsősorban a geotermikus energia (és a napenergia) felhasználhatósága szempontjából hátrányos, hogy viszonylag magas az épületfűtési- és a távhőrendszerek hőmérsékletszintje,
- a megújuló alapú hőtermelő megoldások alkalmazása esetén a csúcsigények fedezésére hagyományos hőforrás létesítésére is szükség lehet,
- a (táv)hőfogyasztók fizikai elérése egyes megújuló energiaforrásokkal (pl. termálvíz) észszerű beruházási költségek mellett általában nem lehetséges,

- a hőtermelés szempontjából legígéretesebb szilárd biomassza felhasználásánál a szállítás és a komoly helyigényű tárolók kialakítása jelentős korlátozó tényező,
- a szigorú környezetvédelmi előírások betartása (pl. a kiemelt termámvíz visszasajtolásának követelménye, illetve villamosenergia-igényessége) sok esetben eleve kizárja alkalmazhatóságukat,
- a magyarországi távhőrendszerek jelentős részében korszerű kapcsolt energiatermelés történik, így a megújuló hőtermelés megvalósítása – hacsak nem számolunk a kogeneráció kizorításával – egyes esetekben csak viszonylag kis kihasználással lehetséges, ami az amúgy is drága beruházás megtérülési mutatóit tovább rontja.

A megújuló energiaforrások felhasználásának és részarányának növelésére vonatkozó célkitűzések teljesítése nem lehetséges a megújuló energiaforrások megfelelő mértékű bevonása nélkül a hőellátás területén. A meglévő ellátási szerkezet alapján önmagában a távhőellátás nem kínál elegendő potenciált a megújuló bevonására, így a hőpiac másik jelentős szegmensében, a decentralizált hőtermelésben is jelentős szerepet kell kapnia a megújuló energiaforrásoknak.

21.3. Bioüzemanyag felhasználás

Az energia és klímapolitika külföldön és hazánkban is kiemelt célként jelöli meg a közlekedési célú energiafelhasználás környezetbarát, alacsony karbon-intenzitású lehetőségeinek bevezetését és kutatását. Ennek egyik legjelentősebb fejlesztési területe a biomasszából készülő folyékony motorhajtóanyagok. Egyik nagy előnyük, hogy a jelenlegi műszaki megoldások mellett is lehetőség nyílik a bioüzemanyagok – technológiától függő arányban történő – bekeverésére a hagyományos motorhajtóanyagokba (benzin, gázolaj).

A bioüzemanyagok felhasználását elsősorban az indokolja, hogy a közlekedés az egyik legnagyobb energia felhasználó: az ország teljes végső energiafelhasználásának mintegy 25%-át használjuk szállítás és közlekedés céljára.

Emellett a közlekedés – túlnyomórészt a közúti közlekedés – a hazai CO₂ kibocsátás kb. 20%-ának okozója. A közlekedés energiafelhasználása és CO₂ kibocsátása is folyamatosan növekvő tendenciát mutat.

Az EU bioüzemanyagokról szóló 2003/30/EK irányelve [1.9] az összes üzemanyagfelhasználáson belül az energiatartalomra vetítve 2010-re 5,75%-os, a 2007. januári energiacsomag 2020-ra pedig 10%-os kötelező felhasználási célkitűzésre tett javaslatot a tagállamok számára. 2005-ben az EU 25 átlagában a felhasználás 1,4%-os részarányt ért el. Az Európai Unió a környezeti szempontból is fenntartható bioüzemanyag előállításra törekszik. A fosszilis energiafüggőség és üvegházhatású gáz kibocsátás csökkentése mellett a magas energiaigényű bioüzemanyag feldolgozási technológiák kerülését, továbbá az energetikai célú erdőművelés, valamint mezőgazdálkodás fenntartható művelését is peremfeltételként határozza meg.

Bioüzemanyag-gyártás tekintetében ma Európa elsősorban a magas alapanyagárak miatt nem versenyképes a tengerentúli országokkal. A biodízelgyártás alapanyagául szolgáló olajos magvak tonnánkénti ára az elmúlt egy évben 65 %-kal, míg a bioetanol előállításához szükséges gabonafélék (búza, kukorica) felvásárlási ára 10 – 35 %-kal emelkedett. Az európai biodízelgyártás gazdaságosságára további negatív hatással volt az a több mint 1 millió tonna, USA állami támogatással, olcsóbb alapanyagokból (pálmaolaj, szójaolaj) előállított és 2007-ben Európába importált B99 (99 % FAME), ami az európai biodízel árakat alacsony szinten tartotta. Az európai bioetanol-gyártás versenyképessége alapján véve azért marad el a tengerentúlitól, mert Braziliában cukornádból kb. 1/3 áron képesek bioetanolt előállítani, mint

az Európában honos, erre alkalmas növényekből. Mindezek figyelembevételével megállapítható, hogy a bioetanol és a biodízel termékek EU-n kívülről történő importja és a jelenlegi védővámok eltörlése a hazai és az európai bioüzemanyaggyártás jelentős visszaszorulását jelentené, az olcsó és a fenntarthatósági kritériumoknak minden tekintetben megfelelő alapanyagok vámmentes importja azonban kedvező hatást gyakorolna az európai bioüzemanyag-előállítás versenyképességére.

Magyarországon a bioüzemanyagok felhasználása 2006-ban megkezdődött, majd 2007. július 1-jétől 4,4 t^o%-ra nőtt a Magyarországon forgalmazott motorbenzinek biokomponens (bio-ETBE, bioetanol) tartalma, és 2008. január 1-jétől szintén 4,4 t^o%-ra nőtt a gázolajok biodízel tartalma. 2006-ban a kb. 55 PJ nagyságrendű megújuló energiahordozó felhasználás 1,7%-át adták a bioüzemanyagok, míg az összes motorhajtóanyag felhasználásnak 0,6%-át tették ki. A biológiai eredetű motorhajtóanyagok bekeverhetőségét kormányrendelet teszi lehetővé. A hazai üzemekben gyártott bioüzemanyagokat a hazai felhasználás mellett a rendelkezésre álló jelentős feldolgozó kapacitás miatt várhatóan export piacokra is értékesíteni kell.

A legnagyobb potenciális hazai felvásárló a MOL Nyrt.

A 2010-re tervezett, energiatartalomra vetített 5,75%-os célkitűzés elérése 144 ezer tonna/év bioetanol felhasználását jelentené benzinben, ilyen arányú bekeverést azonban a motorbenzin szabvány nem tesz lehetővé. A biodízel esetében a 4,4 térfogat-százalékos bekeverési arány 118 ezer tonna biodízel üzemanyagcélú felhasználását jelenti 2008-ban, a 2010. évi indikatív cél eléréséhez pedig 170-190 ezer tonna biodízel bekeverésére lesz szükség, melyhez szintén szabványmódosításra lenne szükség.

A 2008/2006-os Kormányhatározat [1.13] előírja, hogy meg kell vizsgálni 800 kt/év etanol, és 170-200 kt/év biodízel előállításához szükséges alapanyag versenyképes megtermeléséhez szükséges agrártámogatás nyújtásának lehetőségét. A jelzett bioüzemanyag mennyiség az FVM számításai szerint megtermelhető. Jelenleg 190 kt/év az etanol, és 180 kt/év a biodízel hazai gyártó kapacitása. A célkitűzés teljesítése komoly fejlesztéseket igényel az alapanyag termelésben. A rendelkezésre álló bioüzemanyag gyártó kapacitások bőven megtermelik az előírt hazai felhasználáshoz szükséges mennyiséget, és nagy részük a többletet export piacokon értékesíti majd.

21.4. Irodalomjegyzék az 21. fejezethez

- [1.1] Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008-2020. Kormányprogram előterjesztés, Budapest, 2008. július.
- [1.2] Kiss Ádám: Az energetika környezeti hatásai: jelen és jövő. Eötvös Workshop in Science, Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen. Nemzetközi szeminárium. Budapest, 2009. augusztus. 27-29 .
- [1.3] IEA/AIE – World Energy Outlook 2007 (WEO 2007). p. 74.
- [1.4] A megújuló energiáról szóló európai útterv. (2007/2090(INI)) Az Európai Parlament állásfoglalása, 2007.
- [1.5] Az Európai Parlament és a Tanács 2009/28/EK irányelve (2009. április 23.) a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról.
- [1.6] Az Európai Parlament és a Tanács 2001/77/EK irányelve (2001.szeptember 27) a belső villamosenergia-piacon a megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia támogatásáról.
- [1.7] Az Európai Parlament és Tanács 2006/32/EK irányelve (2006. április 5.) az energia-végfelhasználás hatékonyságáról és az energetikai szolgáltatásokról.
- [1.8] Az Európai Parlament és a Tanács 2002/91/EK irányelve (2002. december 16.) az épületek energiateljesítményéről.
- [1.9] Az Európai Parlament és a Tanács 2003/30/EK irányelve (2003. május 8.) a közlekedési ágazatban a bio-üzemanyagok, illetve más megújuló üzemanyagok

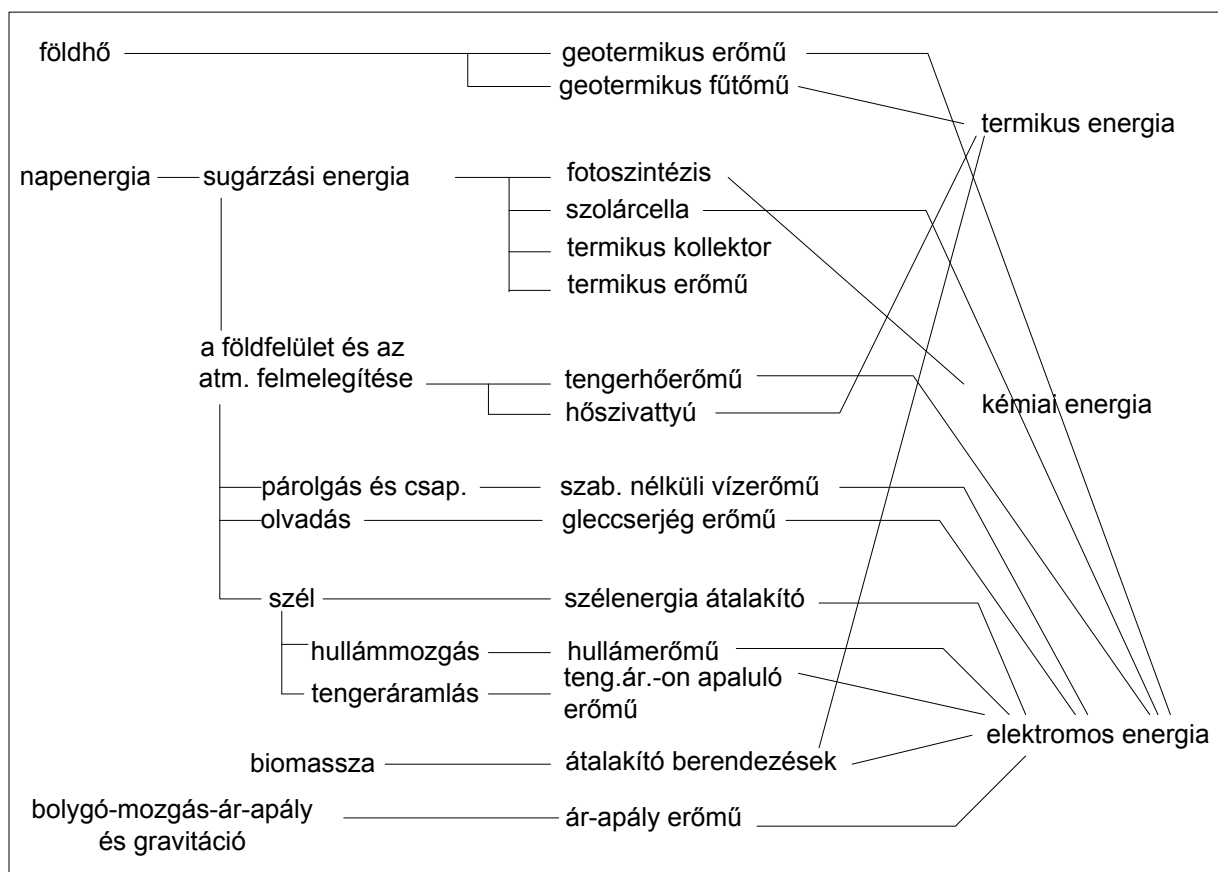
használatának előmozdításáról.

- [1.10] Az Európai Parlament és a Tanács 2003/30/EK irányelve (2003. október 27.) az energiatermékek és a villamos energia közösségi adóztatási keretének átszervezéséről.
- [1.11] REN21. 2010. Renewables 2010 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat).
Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- [1.12] Dorogi Éva: A megújuló energiaforrások felhasználása Magyarországon különös tekintettel a geotermikus hőtermelésre, Szakdolgozat, Budapesti Gazdasági Főiskola Külkereskedelmi Főiskolai Kar, Budapest, 2009.
- [1.13] 2058/2006. (III. 27.) Kormányhatározat a bioüzemanyagok gyártásának fejlesztéséről és közlekedési célú alkalmazásuk ösztönzéséről.

22. A megújuló energiaforrások (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós)

Széchenyi István Egyetem, Győr

A regeneratív energiaforrásokat – mivel ezek emberi léptékkal mérve mindig megújulnak – megújuló energiaforrásoknak nevezik. Ezekből nem lehet készleteket megállapítani mivel a Nap agy a Föld energiájából származnak. A Föld atmoszféráján belül természetes átalakulással egy sorkülönböző energiaáram jön létre. Ezek a **197. ábra** láthatók.



197. ábra: A megújuló (regeneratív) energiaforrások áttekintése [2]

Ezek az energiaforrások fosszilis tüzelőanyagok (szén, kőolaj, földgáz) kiváltására alkalmasak, ezáltal környezetvédelmi szempontból energianyeresi alternatívát jelentenek. Ezért ezeket az energiaforrásokat alternatív energiaforrásoknak is szokták nevezni. [2]

A megújuló energiaforrások:

- napenergia
- biomassza (tárolt napenergia)
- vízenergia
- szélenergia
- tengerek energiája
- Föld hője (geotermikus energia)
- bolygók vonzása – Föld-Hold-keltette ár-apály

• **A megújuló energiaforrások jövőbeni felhasználásának legfontosabb indokai**

A Föld légkörében lévő ún. üvegházhatást okozó gázok CO₂, CH₄ koncentrációjának az utóbbi 15 évben kimutatott növekedése ma már tudományosan is bizonyítható. Az utóbbi tíz évben ez a változás a földi légkör hőmérsékletének 0,5 °C-os emelkedését idézte elő, melyet a kutatási eredmények is megerősítettek. A klímaváltozás folyamata évtizedeken át megy végbe és rövid távon nem lehet befolyásolni. Ebben rejlik a megelőzés különleges nehézsége is.

Az emberiség, a mai fogyasztói társadalom mélyreható változásokat okoz a földi bioszférában veszélyeztetve ezzel a földi életet, a következő generációk létét. Ennek a felismerése vezetett el oda, hogy az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményét 1992. évben Rio de Janeiro-ban megtartott Környezetvédelmi Világ Konferencián a részt vevő országok nagy többsége (169 ország) elfogadta. A Keretegyezmény célja az volt, hogy elérje a „üvegház gázok” koncentrációjának stabilizálását az atmoszférában. Az egyezményt elfogadó országok megállapodtak abban, hogy a CO₂ emissziót 2000-ig az 1990. évi szintre kell csökkenteni utána pedig ezen az értéken kell tartani.

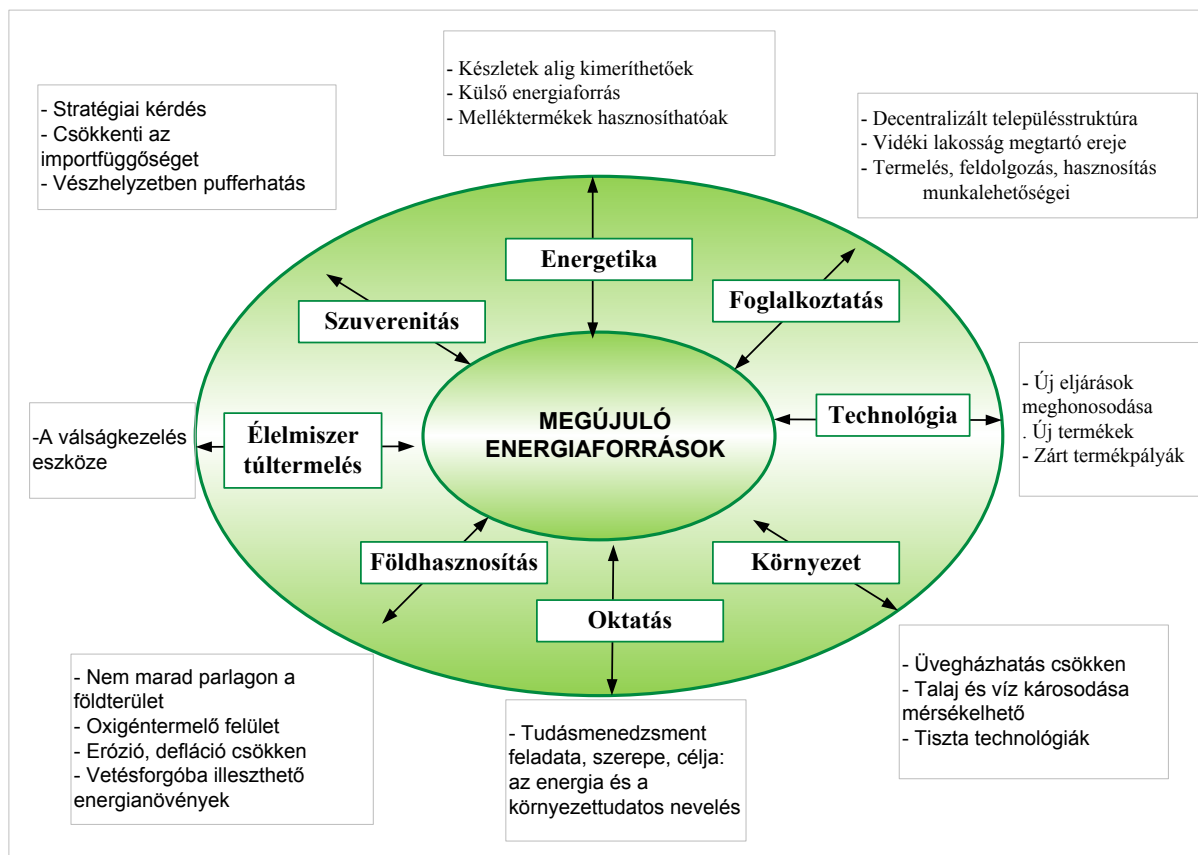
A megállapodás „gentlemen’s agreement” jellegű, be nem tartása nem jár jogi következménnyel. Az egyezményt Magyarország is ratifikálta 1994. február 24-én. Az elmúlt évek során az egyezmény döntéshozó fórumain általános egyetértés alakult ki arra nézve, hogy a Rióban elfogadott Keretegyezmény előírásai alapján – önkéntes vállalás – csak jelentéktelen mértékben és átmenetileg lassul az üvegházhatású gázok kibocsátása. Az Egyezmény nem bizonyult elég hatékonynak, ezért tárgyalások kezdődtek az ezredforduló utáni korlátozásokról.

A Klímaváltozási Keretegyezmény Tagországainak országainak 3. konferenciáját 1997. december 3-10. között Kyotóban rendezték. Az esemény mérföldkő volt a globális környezetvédelmi összefogásban és egyértelműen meghatározta a XXI. század elejének energiapolitikáját és azon keresztül gazdaságpolitikáját és a globális trendeket. Az Európai Unió az üvegházi gázok (CO₂, CH₄, N₂O) kibocsátásának 8 %-os csökkentését vállalta. Magyarország részéről a vállalt 6 %-os csökkentés összhangban van korábbi elkötelezettségünkkel, melyet Rióban tettünk. Teljesítése reális, az egészséges gazdasági fejlődést nem akadályozza, betartásához az energiahatékonyság és a megújuló energiák hasznosítása területén viszont komoly előrelépés szükséges. A Kyoto-i Egyezmény 2012-ben lejár. A folytatást előkészítő COP 15 „UN Climate Change Conference in Copenhagen” világkonferenciára 2009. december 7-9. között Kopenhágában került sor, melyen hivatalosan 192 állam vett részt. Jegyzőkönyv, egyezmény nem született, az USA, Kína, India, Brazília és Dél-Afrika által készített tervezetet, „Copenhagen Accord” (Kiegyezés) néven fogadták el záró anyagként. Az abszolút emisszióban javasolt változtatásokat a **26. táblázat** mutatja. [12]

26. táblázat: Az abszolút emisszióban javasolt változások

Csoport	1990-2020 Referencia alap
Japán	-25 %
EU	-20 % - 30 %
Oroszország	-20 % - 25 %
Dél-Afrika	-18 %
Új-Zéland	-10 % - 20 %
Ausztrália	-4% - 24 % LULUCF
Kanada	-2 %
USA	-1,3 %
Brazília	+ 5 % - 1,8 %
Csoport	2005-2020 Referencia alap
India	-20 % - 25 %
Kína	-40 % - 45 %

A földi légkör védelme tekintetében a megújuló energiaforrások minél szélesebb körű hasznosítása a jövőben különleges szerepet kaphat. A megújuló energiák felhasználásának indokait a **198. ábra** mutatja.



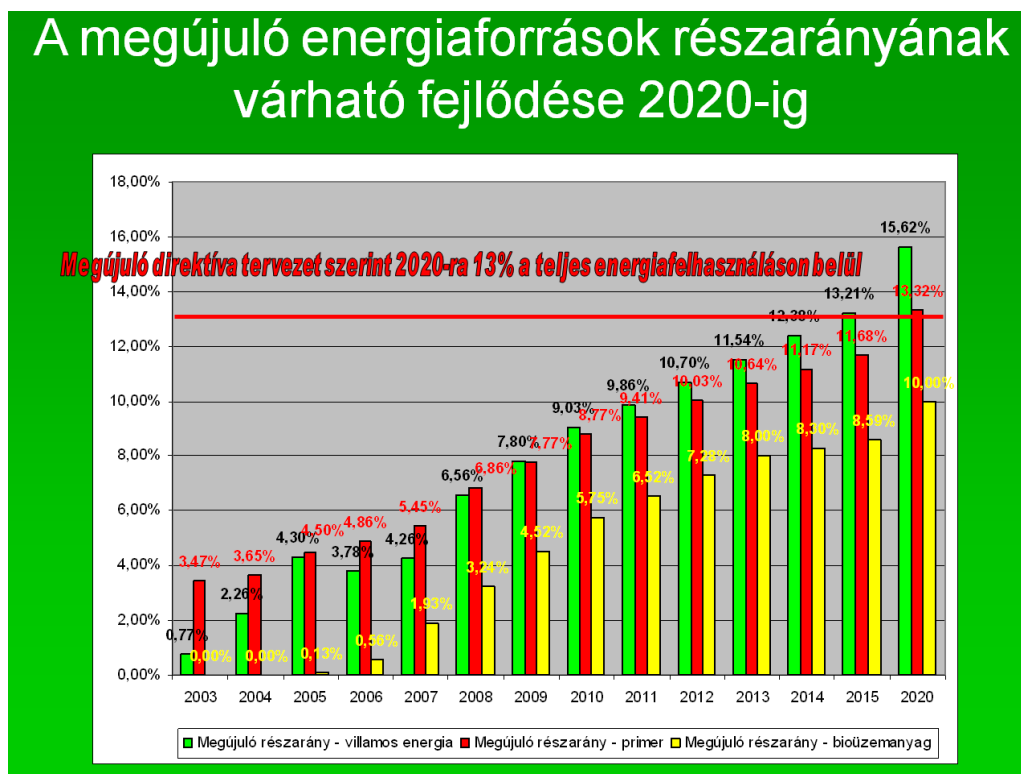
198. ábra: A megújuló energiák felhasználásának legfontosabb indokai [2]

Az Európai Parlament 2009. február 3-i állásfoglalása az energiapolitika második stratégiai felülvizsgálatáról (2008/2239 (INI)) megerősíti a 2008. január 31-i döntést, mely szerint:

- 2020-ra három célt kell elérni, nevezetesen:
 - 20 %-al kell csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását (nemzetközi megállapodások esetében 30 %-os csökkentés)
 - 20 %-al kell csökkenteni a teljes primer energiafelhasználást
 - 20 %-ra kell növelni a megújuló energiák felhasználásának részarányát az összes primer energiafelhasználásban
- felhívja az Európai Uniót és a tagállamokat, hogy gazdaságuk energiafelhasználását tegyék a lehető leghatékonyabbá annak érdekében, hogy tevékenyen hozzájáruljanak az éghajlatváltozás 2 Celsius-fokra való csökkentésére irányuló célkitűzés eléréséhez
- felhívja az Európai Uniót és a tagállamokat, hogy 2050-ig legalább 80 %-al csökkentsék az üvegházhatású gázok kibocsátását
- felszólítja a Bizottságot, hogy valamennyi érdekelt féllel egyeztetve dolgozza ki a lehetséges forgatókönyveket, amelyek szemléltetik az említett célkitűzések eléréséhez vezető lehetséges megoldásokat, valamint az azok mögött rejlő műszaki és gazdasági feltételezéseket.

A 2009/28 EK irányelv szerint a megújuló energiák felhasználásának növelésére minden tagországnak Nemzeti Cselekvési Tervet kell kidolgozni a 2009/548/EK bizottsági határozatban megadott formai követelmények alapján. Magyarország a megújuló energiák növelésére 2020-ig 13 %-ot vállalt.

A megújuló energiák EU által előírt magyarországi felhasználásának növelése érdekében a Kormány 2008-ban elfogadta az új megújuló energiahordozó felhasználás növelési stratégiát (2148/2008 (X.31.) kormány határozat). A megújuló energiaforrások részarányának 2020-ig várható növekedését a **199. ábra** mutatja.



199. ábra: Megújuló energiaforrások részarányának várható növekedése 2020-ig (forrás: Tóth T. Magyar Energia Hivatal 2009. Nemzeti Cselekvési Tervben átdolgozás alatt!)

22.1. A biomassa energetikai hasznosítása, energiatermelés biomassából

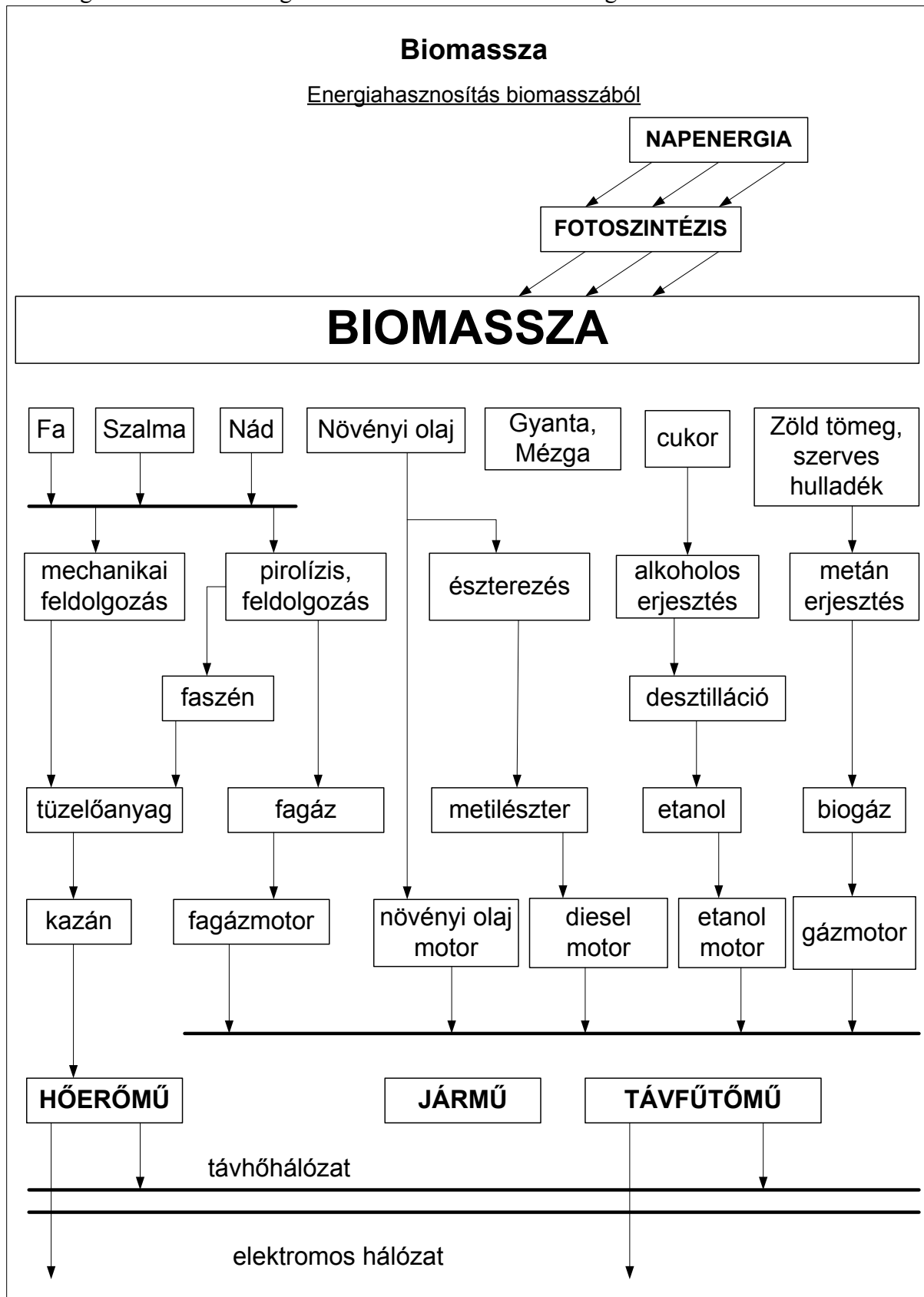
A biogáz termeléséről, felhasználásáról dr. Bai Attila szerkesztésében „A biomassa felhasználása” címmel a Szaktudás Kiadó Ház Rt. kiadásában, a Környezetvédelmi Alap Célfeladat támogatásával alapműnek tekinthető könyv került kiadásra (ISBN 963-9722-46 0-30-6, Budapest 2002.) A terjedelmi korlátok miatt a biomassa termelésével, felhasználásával kapcsolatosan csak a legszükségesebbnek ítélt ismereteket foglaljuk össze.

22.1.1. A biomassa fogalma, biomassa potenciálok

A napsugárzás fotoszintézis útján jelentős mennyiségű biomasszát hoz létre megújuló jelleggel. A Föld felszínére évente érkező napsugárzás $2,6 \cdot 10^{24}$ J/év energiájának valamivel több mint 2 %-o-e fotoszintézis révén $5,7 \cdot 10^{22}$ J/év energiaértékű biomasszát hoz létre. Ez tekinthető a világban a fotoszintézisből származó elméleti biomassa készletnek. Magyarország esetén az évi $437 \cdot 10^{18}$ J/év napsugárzás – a világarányok figyelembe vételével – évente $958 \cdot 10^{15}$ J/év = 958 PJ biomasszát termel évente. [1]

A biomassa termelés elsődleges célja az élet fenntartása, de meghatározott része energetikai célokra is hasznosítható. A biomasszából származó megújuló energia tehát végső soron napenergia.

Az energiatermelés lehetőségeit biomasszából a 200. ábra foglaltuk össze.



200. ábra: Az energiatermelés lehetőségei biomasszából [2]

A biomassza fogalma nem teljesen egységes. A biomasszán illetve egyes csoportjain [2] alapján a következőket értjük:

- **Elsődleges biomassza:** természetes vegetáció, szántóföldi növények, erdő, rét, legelő, kertészeti növények, vízben élő növények.
- **Másodlagos biomassza:** állatvilág, gazdasági haszonállatok, az állattenyésztés főtermékei, melléktermékei, hulladékai.
- **Harmadlagos biomassza:** biológiai anyagokat felhasználó iparok termékei, melléktermékei, hulladékai, emberi települések szerves eredetű hulladékai.

A bioenergia potenciál számszerűsítését – a mezőgazdasági-környezeti szempontok elsődlegessége mellett – lényegesen befolyásolja, hogy a szóba jövő bioforrásokat milyen műszaki megoldásokkal és energetikai-gazdasági hatékonysággal lehet az energiaellátásban hasznosítani.

22.1.1.1. A potenciális bioenergia [11]

A Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottság Megújuló Energiák Albizottsága a 2003-2005. akadémiai években elkészítette a magyarországi megújuló energiák elméleti potenciálját.

A tanulmány szerint Magyarország elméleti biomassza energetikai potenciálja 203,2 – 328 PJ/év [5].

A területi korlátokra tekintettel a részletes számítások közzétételére nincs lehetőség, Magyarország fenntartható bioenergetikai potenciáljának becslésére készült tanulmányok eredményei a **27. táblázat** láthatók.

27. táblázat: Biomassza potenciál becslések [11]

Számítást végzők	Alsó érték	Felső érték
	PJ/év	
MTA Megújuló Energiák Albizottság (2005 – 2006.)	203	328
Energia Klub (2006.)	58	223
Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) (2006.)	145,5	
Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium (2007.)	260	
Szélsőértékek	58	328
Jelenlegi felhasználás (2009.)	58,9	

A becsült adatok széles sávban szóródnak, vannak tisztázandó számítási metodikai kérdések. A becsült erdészeti potenciált a **28. táblázat** foglaltuk össze.

28. táblázat: Becsült erdészeti biomassza potenciál [3]

Biomassza típus	Volumen (millió t/év)	Becsült fűtőérték (PJ)
Tűzifa*	2,7 – 3,7	36,5 – 50,0
Becsült vágástéri apadék	0,3 – 0,4	4,1 – 5,4
Becsült faipari hulladék	0,2	2,7
Összesen**	3,2 – 4,3	43,3 – 57,1

* A fenntartható erdőgazdálkodás fakibocsátása az elmúlt évek átlagában: 2,9 millió m³ tűzifa.

** Feltételezve a 2020-ra kitűzött 13 %-os megújuló energia részarányt, a teljes megújuló potenciálon belül a fenti mennyiség 32 - 42 %-a az erdőgazdálkodásból rendelkezésre áll.

A hulladék vagy melléktermékek potenciálja a **29. táblázat** látható.

29. táblázat: Növénytermesztés, erdőgazdálkodás, fafeldolgozás melléktermékeinek becsült potenciálja [3]

Megnevezés	PJ/év
Növénytermesztési melléktermékek	169,6
gabonaszalma	67
kukoricaszár	78
napraforgószár	17
repceszár	3
napraforgóhéj	1,9
venyige-nyesedék	2,7
Erdőgazdálkodási melléktermékek	31
hagyományos tűzifa	24
fűrészipari melléktermék	7
Fafeldolgozás	4
Faporok, forgácsok, naturfa hulladék	4
Lignocellulózok összesen	204,6 PJ

Az **elsődleges biomassza** csoporton belül a bioenergia hasznosításának több lehetősége merül fel, nevezetesen:

- az energetikai célokra is felhasználható növénytermelési melléktermékek energetikai célú hasznosításának fokozása
- nagy energiahozamú energiaültetvények tudatos, kizárólag energiatermelés célú telepítése
- az erdőszeti melléktermékek növekvő mértékű hasznosítása

A **másodlagos** biomassza nagyobb része melléktermék, zömében állati trágya, amelynek felhasználási lehetőségei sorában az energiatermelés, pl. a biogáz is megjelenik.

A **harmadlagos biomassza** az élelmiszeripar, könnyűipar, faipar és a települések szerves hulladékaiból képződik. A faipar hulladékait már jelenleg is széles körben használják energiaellátásra, a települések szerves hulladékának energetikai hasznosítását az 5. fejezetben mutatjuk be.

22.1.1.2. Biomassza energiaforrások [2]

A) Energetikai célra termesztendő növények

Az energiatermelésre számításba vehető növények száma szinte korlátlan, hiszen lignincellulózokként 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.

• **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 biomassa évenkénti betakarítása, illetve a növények élelciklusa miatt a betakarítások száma nagy és nem halasztható.

A jövőbeni biomassa-energiahordozók között a legfontosabbak:

- repce (*Raphanus sativus*)
- rostkender (*Cannabis sativa* L.)
- triticale
- magyar árva rozsok (*Bromus inermis* Leyss)
- pántikafű (*Baldingerea arudinacea* L.)
- miscanthus

• **Fás energianövények**

A fás növények a lágyszárúakhoz hasonlóan lignocellulózok, de élvelők, és a föld feletti részek nőnek tovább minden évben. A napenergia megkötése és a CO₂-forgalom megegyező a bemutatott növényekkel, de alapvető különbség van abban, hogy nem kell minden évben betakarítani, és ha egy tervezett betakarítás valamilyen okból elmarad, az állomány zavartalanul tovább nő, tehát technológiai problémák nem merülnek fel. Ezek közül a legfontosabbak:

- akác (*Robina* sp.)
- fűz (*Salix* sp.)
- nemesnyárok (*Populus* sp.)

Az energetikai célra termesztendő növények közül a repce jelentősége lesz várhatóan a legnagyobb úgy hatóanyagként mint energetikai üzemanyagként (kogenerációs energiatermelés) történő felhasználást vizsgálva [44].

B) Energiaerdők

Ebből a fejezetből látható, milyen széles skálája van az energetikai célra hasznosítható biomassa-féleségeknek, természetüket azonban sok tényező gátolja, nevezetesen:

- a nehéz termelői-társadalmi elfogadtatás
- a feldolgozó módszereket nehéz beilleszteni a meglévő agrártechnológiába
- kicsi a biomassa területi energiahozama
- energetikai hasznosításának nagy a beruházási igénye.

Az **energiaerdő** olyan speciális faültetvény, amelyből a legrövidebb idő alatt a legkisebb költséggel nagy mennyiségű és jól elégethető tüzelőanyag nyerhető. Az energiaerdőt célszerű a mezőgazdaságilag nem hasznosítható, vagy termelésből kivont területekre telepíteni. Ezek az ültetvények a vágásfordulójuk időtartama szerint lehetnek mini (1-4 év), midi (5-10 év), rövid (11-15 év), közepes (16-19 év), hosszú (20-25 év) élettartamúak. E telepítési típusra elsősorban az akácfélék alkalmasak gyors növekedési esélyük, nagy szárazanyaghozamuk, könnyű kitermelhetőségük és feldolgozhatóságuk miatt. Ezen kívül megemlíthető még a hárs, a juhar, a fűz, az éger, a hazai nyár.

Hazánkban is folytak, valamint folynak energiaerdő-kísérletek különböző tájegységeken, különböző talajviszonyok között, eltérő fafajokkal és technológiákkal.

Halupa (1983) beszámolt azokról a kísérletekről, amelyekkel azt kívánták megállapítani, hogy a meglévő akácosok kitermelése után létrejövő sarjállományok alkalmasak-e energiacélú erdők kialakítására.

1986-ban már fűzzel, nemes nyárral, égerrel is folytak kísérletek, majd 1988 őszén nyírral egészítették ki a fafajokat. A kétéves fatermelés közönséges akácnál abszolút száraz tömegben átlagosan 11,08 t/ha volt. Az éves szárazanyaghozam 3,5-20 t/ha között változott a vágásfordulótól és a fafajától függően.

Napjainkban a Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdészeti és Faipari Mérnöki Karán folynak ilyen jellegű elsősorban kispárcellás kísérletek. [forrás:Dr.Marosvölgyi Béla, NYME]



201. ábra: NYME kispárcellás kísérletek (Forrás: Dr.Marosvölgyi)

• Magyarország energiaerdő-kísérletek

Az energetikai faültetvények helye és szerepe a környezetbarát energiatermelésben és a földhasznosításban Magyarországon még mindig vitatott kérdés, de a kutatások elvégzése rendkívül fontos, mert az ültetvény-gazdálkodás szakmai kérdéseit a módszer elterjesztése érdekében és térnyerése előtt mindenképpen tisztázni kell. Ezzel a céllal folytatnak kísérleteket, amelyek során figyelembe veszik a hazai klimatikus sajátosságokat (viszonylag kevés csapadék – 350 – 550 mm/év; nyári aszályos időszak), a földterületek minőségét, az élőmunka-kapacitást, stb.

A vizsgálatok különböző termőhelyi viszonyok között már korábban elkezdődtek, de a mezőgazdasági termelés alól kivont területeken csak 3 éves kísérleti adatokkal rendelkeznek. A beállított kísérletek célja:

- létesítési-, fajta-, hálózati- és hozamkísérletek, valamint üzemeltetési és költségvizsgálatok,
- más növényekkel (Miscanthus, Triticale, cukorcirok, szudánfű, stb.) összehasonlító vizsgálatok
- energetikai és tüzeléstechnikai vizsgálatok végzése.

A kísérleti területeken Populus, Salix, Rbinia, Acer, Eulanthus, Paulownia fajokkal folytat vizsgálatok és lágyszárú növényekkel történő összehasonlító hozam vizsgálatokra is sor került. [30].

22.1.2. A biomassa eltüzelése [2]

A biomassa energetikai hasznosításának legegyszerűbb módja a tüzelés. Az eltüzelés során nyert hőt rendszerint a hőellátásban (pl. biomassa falufűtőművek) értékesítik.

A biomassa tüzelőanyagok egyes tüzelési jellemzői eltérőek, mások közel azonosak.

22.1.2.1. A fontosabb biomassa félésegek tüzeléstechnikai jellemzői [2]

A melléktermékek fűtőértéke függ a kiinduló anyagból és a környezeti befolyásoló tényezőktől (tárolási feltételek, nedvességtartalom, stb.) elsősorban azonban a széntartalom befolyásolja. A **30. táblázat** szerint ez az érték általában 50 % alatt van (a kőszén széntartalma 80-92 %).

A hidrogén- és kéntartalom megközelítőleg azonos, de csekély mennyiségben van jelen. A kis kéntartalom környezetvédelmi szempontból kedvező, a kis hidrogéntartalom azonban a fűtőérték szempontjából nem előnyös.

30. táblázat: A biomassa félésegek tüzeléstechnikai jellemzői [3]

Biomassa	Kémiai összetevők, %					Fűtőérték MJ/kg	Hamu %	Illóanyag %
	C	H	O	N	S			
Búzaszalma	45	6.0	43	0.60	0.12	17.3	74.0	6.0
Kukoricaszár						17.5	76.0	3.5
Fa	47	6.3	46	0.16	0.02	18.5	85.0	0.5
Kéreg	47	5.4	40	0.40	0.06	16.2	76.0	9.0
Fa, kéreggel	47	6.0	44	0.30	0.50	18.1	82.0	0.8
Repceolaj	77	12.0	11	0.10	0.00	35.8	10.0	0.00
Ethanol	52	13.0	25	0.00	0.00	26.9	10.0	0.00
Methanol	38	12.0	50	0.00	0.00	19.5	10.0	0.00

Az anyagok oxigéntartalma miatt az égetés során az égési levegőigény és a keletkező füstgáz mennyisége csekélyebb, mint a szén égetésénél. A nedvességtartalom nemcsak fűtőértékcsökkentő, hanem a keletkező füstgáz mennyiségét is növeli, ami kondenzációs jelenségek miatt gondot okozhat az elvezetés során.

Fontos jellemző még a magas illótartalom. Gabonaszalma esetén például az éghető anyagok 82-86 %-os részarányából 70-80 % illó alkotó. Ezek az égés során 250-300 °C hőmérsékleten szabadulnak fel nagy mennyiségben. Ez azt jelenti, hogy az eltüzelendő anyaghoz alkalmazkodó tűzteret kell kiépíteni, ugyanis a tökéletlen égésnél mérgező CO keletkezik, kevesebb hő szabadul fel, a füstgázok éghető alkotórészeket tartalmazhatnak.

Az illó gázok elégetése miatt szekunder levegőt kell a tűztérbe juttatni. Ha ezt nem tennénk, akkor a tökéletlen égés következtében fenolgyületek, kátrány stb. keletkeznének, amelyek a kazánfalán, illetve a kéményben lerakódhatnak. A tökéletlen égés füstgázai nagy mennyiségben tartalmaznak CO mellett port is.

Tüzelési célra hasznosítható fafélésegek tüzeléstechnikai jellemzői [2]

Tüzelési célra hasznosítható fafélésegek választéka széles: tűzifa, hasábfá, erdei aprítékfa, fűrészelési melléktermék. A fából nyerhető energia mennyisége a fűtőértékkel jellemezhető.

A fa fűtőértéke függ a víztartalomtól és a fa fajtájától egyaránt.

31. táblázat: Különböző fafajták fűtőértéke [2]

Fafajta	Fűtőérték [kJ/kg]	Fafajta	Fűtőérték [kJ/kg]
Fenyők		Akác	17 485
Jegenyefenyő	17 648	Cser	18 135
Lucfenyő	19 478	Gyertyán	17 464
Vörösfenyő	16 612	Juhar	17 774
Lágyfák		Kőris	18 125
Fűz	17 012	Tölgy	18 176
Nyár	17 497		
Nyír	18 439		

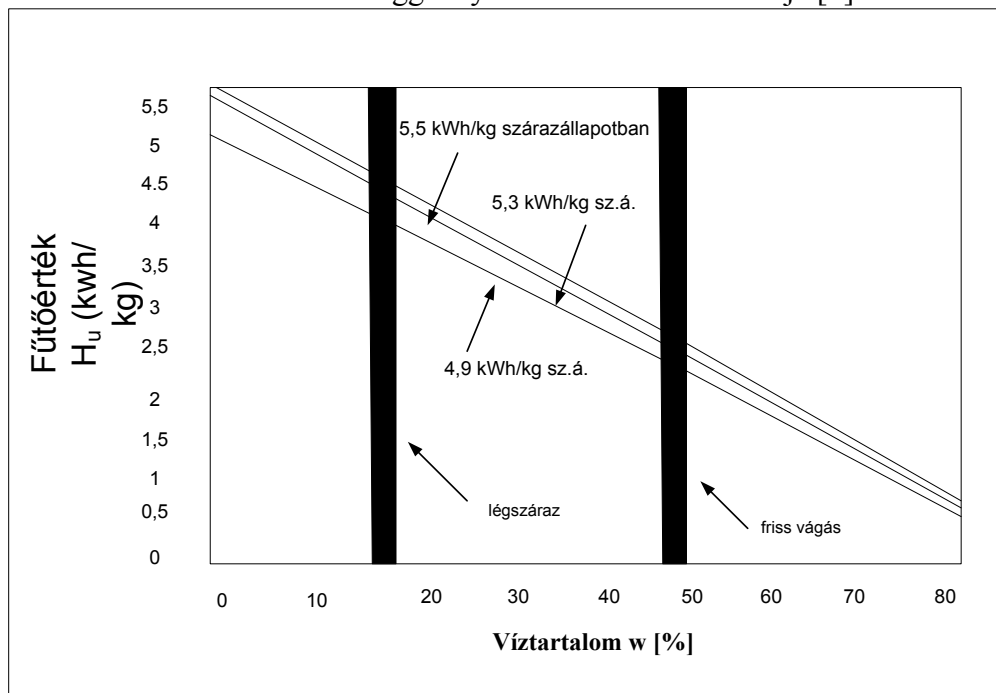
A fafajták különbözősége a fűtőértékük alapján – egységnyi szárazanyagra vonatkoztatva – elhanyagolhatóan kicsi. A táblázat adatai alapján:

$$4,9 - 5,5 \text{ kWh/kg} = 17,0 - 19,5 \text{ MJ/kg száraz fatömeg.}$$

Számítások alkalmával a fűtőérték valamennyi fafajtára vonatkozóan az alábbi értékre vehető fel:

$$5,2 \text{ kWh/kg} = 19 \text{ MJ/kg száraz fatömeg.}$$

A fűtőérték változását a víztartalom függvényében a **202. ábra** mutatja [2].



202. ábra: A fűtőérték változása a víztartalom függvényében

A nedvességtartalom és a fűtőérték fordítottan arányos mennyiségek. Minél több vizet tartalmaz a fa, annál kisebb lesz a fűtőértéke, mivel a víz égési folyamat során elpárolog. A fűtőérték változását a víztartalom függvényében a 32. táblázat mutatja.

32. táblázat: A különböző állapotú fa fűtőértéke [2]

A fa állapota	Víztartalom	Fűtőérték (F)
Erdei frissességű	50 – 60 %	2.0 kWh/kg = 7.1 MJ/kg
Egy nyáron át tolva	25 – 35 %	3.4 kWh/kg = 12.2 MJ/kg
Több éven keresztül tárolva	15-25 %	2.0 kWh/kg = 14.4 MJ/kg

A víz elpárolgatásához szükséges hő (kb. 2,5 MJ/kg) veszteségként jelentkezik.

• **A biomassa tüzelési célú hasznosításának energetikai jellemzői**

A biomassa eredetű energiahordozók általában olcsó, decentralizált energiaforrások. A száraz biomassa fűtőértéke közel áll a közepes minőségű barnaszén energiatartalmához (17-18 MJ/kg vagy 0,41-0,43 kg OE/ kg).

A biomassa eredetű energiaforrások termelésének egyik alapvető jellemzője, hogy a területegységre vetített szárazanyaghozama (t/ha), illetve az ennek megfelelő bruttó, nettó energiahozam (tOE/ha) a hagyományos kultúrák esetében meglehetősen mérsékelt (1,5-3,5 t/ha, 0,3-1,3 tOE/ha). Ezek az értékek azonban a biológiai alapok és az agrotechnikai eljárások fejlesztésével, vagyis az energiaerdők és az energetikai növénytermesztés esetében akár 8-9 t/ha, illetve 1,7-2,6 tOE/ha értékig emelhetők. [2]

33. táblázat: A biomassa energiahordozók fűtőértéke és energiahozama [2]

Megnevezés	Nedv.tart .%	Biomassa hozam t/ha	Fűtőérték MJ/kg	Nettó hőérték kgOE/kg*	Nettó energiahozam kgOE/ha*
Gabonaszalma	10-15	1.5-3.5	15.3-16.2	0.29-0.31	435 - 1085 HE
Rizsszalma	20-25	1.3-3.2	13.5-14.4	0.26-0.28	338 - 986 HE
Napraforgószár	25-30	1.9-3.5	12.4-13.5	0.24-0.26	456 - 910 HE
Kukoricaszár	35-40	3.5-5.5	10.2-12.4	0.19-0.24	665 - 1320 HE
Tűzifa	15-25	2.0-2.5	13.5-15.3	0.26-0.29	520 - 725 HE
Erdei fahulladék	25-30	1.5-2.0	12.4-13.5	0.21-0.23	311 - 451 HE
Erdei faapríték	25-35	8.0-9.0	11.3-13.5	0.22-0.26	1760- 2610 HE
Szilázs biogázhoz	-	8.0-9.0	10.5-12.6	0.22-0.26	2000-2700 HA
Repce olajmag	-	1.0-1.5	35.6-36.8	0.85-0.88	850 – 1320 HA
Szalma	10-15	3.0-4.0	15.3-16.2	0.29-0.31	870 – 1240 HA
Összesen	-	4.0-5.5	-	-	1720-2560 HAHE
Bio-ethanol	-	1.5-3.5	25.1-27.1	0.6-0.66	900 – 2275 HA

* Hatásfok: 80 % HE: hőenergia HA: hajtóanyag

A viszonylag alacsony területi energiasűrűség miatt ezen energiaforrások elsősorban a kis- és közép teljesítményű, decentralizált, lokális hő- és villamosenergia-igény kielégítésére javasolhatók.

22.1.2.2. A biomassa tüzelés műszaki feltételei, technológiai [2]

• **A biomassa előkészítése tüzelésre**

A bio-tüzelőanyagok elégetése ritkán történik eredeti formájukban. Darabolásra, aprítás, szecskázás, őrlés) és tömörítésre (bálázás, pogácsázás, pelletálás) van szükség az előkészítés során. A pelletálást és brikettálását általában a szárítás is kiegészíti, mivel a rendelkezésre álló bio-tüzelőanyagok víztartalma magasabb a technológia által megkövetelnél (20 % alatt kell lenni).

• **A fa aprítása**

A fa aprítását szolgáló gépek különféle méretben és szerkezeti megoldással készülnek. Közöttük megtalálható a legegyszerűbb kézi működtetésű adapterektől kezdve a legbonyolultabb járva aprítógépig minden lehetséges megoldás.

A vágási ellenállás faanyagok esetében döntően a fafajtól, a fa nedvességi állapotától, az apríték hosszától, a vágókés él szögétől és él vastagságától, a vágási szögtől és a vágási sebességtől függ.

A fafaj jelentősen befolyásolja a vágási ellenállást. Azonos vizsgálati körülmények között, az erdei fenyő vágási ellenállását egységnek tekintve, a kocsánytalan tölgy 1,5 – 1,5-, az akác 1,7-2,3 vágási ellenállást mutat.

A vágási ellenállást a fa nedvességi állapota esetenként a fafajnál is nagyobb mértékben befolyásolja. Légszáraz állapotban pl. a kocsánytalan tölgy vágási ellenállás az élőnedves állapotban mért érték 1,6-1,8-szeresét is elérheti. Az apríték hossza szintén jelentős hatással van a vágási, helyesebben az aprítási ellenállásra. Az ellenőrző mérések tapasztalata szerint a 60 mm átmérőjű kocsánytalan tölgy áganyagának statikus vágásakor – 60 mm-es apríték hossz mellett – az ellenállás legnagyobb értéke esetenként a 15 mm-nél mért érték kétszeresét is meghaladta.

Az aprítógép fajlagos energiafelhasználása a gyakorlat számára reálisan az üzemi teljesítményből és a tényleges energiafelhasználási értékekből határozható meg. Az értéke több tényezőtől függ, így a fafajták, az aprítandó anyag alaki jellemzőitől (korona, törzs, teljes fa), az aprítógép kihasználtságától stb. Tájékoztató értéként keménylombosok aprításakor 10-16 kWh/m³, lágylombosok és fenyő aprításakor 8-12 kWh/m³ értéket vehetünk számításba.

Alapelveként kell azonban leszögezni, hogy ha csak egy mód van rá a keletkezett melléktermékeket és hulladékokat a keletkezési formájukban kell hasznosítani, hogy a lehető legkisebb legyen a pótlólagos energia- és költségráfordítás. Minden manipulációs művelet, feldolgozás, átalakítás többlet primer energiaráfordítást és költséget igényel.

A fakitermelésnél keletkező hulladékok (a tovább feldolgozásra alkalmatlan ágak, tuskók) túlnyomó többségét nem hasznosítják. Jelentős részük azonban a fűtőértékük 8-10 %-át kitevő energiaráfordítással faaprítékként kitermelhető és tüzelési célra hasznosítható lenne.

A gyümölcsfa nyesedék, szőlővenyige speciális gépekkel durva aprítékká dolgozható fel, ami csak kézi adagolással tüzelhető el. Az automatizált tüzelőberendezésekhez a durva aprítékok egy finomaprítási műveletnek is alá kell vetni.

Az elsődleges és másodlagos fafeldolgozás hulladékainak azonos része, amely közvetlen formában nem kerül lakossági felhasználásra illetve a fafeldolgozó üzem hő ellátására brikettálva értékesíthető tüzelési célra. Az előkészítésbe befektetett energia abban az esetben, ha szárításra is szükség van (pl.: elsődleges fafeldolgozás) a bio-tüzelőanyag fűtőértékének a 6-8 %-át is elérheti.

Újabb kísérletek alapján pl. a finomra őrült fát megnövekedett energiatartalmú, az olajéhoz és a gázéhoz hasonló lánnggal, gyorsan égő fűtőanyagnak minősítik, amelynek feldolgozási ráfordítása korszerű technológiával megtérülhet. Az őrléshez az alapanyag nedvességtartalmának 20 %-nál kisebbnek kell lenni.

A tüzelés célú apríték előállításához a mobil aprítógépek felelnek meg leginkább. Jellemzőjük, hogy önálló helyváltoztatásra képesek és az aprítóhely kialakítása sem igényel különösen előkészítést. Az alapanyag koncentrációval kapcsolatos igényük is a legkisebb, így az anyagmozgatás is itt kisebb feladatot jelent. A mobil aprítógépek nagyon változatos kialakításban készülnek, mind a felépítésüket, mind a teljesítményük vonatkozásában. A következő csokrotokra oszthatók:

- adapterek,
- vontatható gépek,
- önjáró célgép és
- járvaaprítók.

• **Bálábontás, őrlés**

A bálázva betakarított mezőgazdasági melléktermékek közvetlen tüzelésére is készülnek tüzelőberendezések. Ezekbe a kis- vagy nagybálák bontás nélkül is behelyezhetők.

A bálázott melléktermékeket a „hagyományos” tüzeléshez vagy a tömörítéses előkészítéshez (brikettálás, pellentálás) fel kell aprítani. Mindenekelőtt a bálák aprítással egybekötött felbontását kell elvégezni, erre a célra az ún. „dézsás” fogadógaratú berendezések alkalmasak leginkább. A dézsának a mérete lehetővé teszi bármely módon betakarított melléktermék beadagolását is (ömlesztett, kis- vagy nagybála). A gyakorlatban leginkább nagybálákhoz használják. Beépíthetők gépsorba is stabil változatban, de jobban kihasználhatók a mobil berendezések. A gyors égéshez illetve pellentáláshoz a melléktermékek őrlését is el kell végezni. Erre a célra a szalastakarmányok feldolgozására kifejlesztett darálók a megfelelőek. Ezek sok lemezkalapáccsal rendelkező kalapáccsos daráló általában.

Biomassza előkészítése tömörítéssel

A mezőgazdasági és erdészeti melléktermékek komfort felhasználása, valamint kereskedelmi forgalomba hozatala szükségessé teszi ezen anyagok bálázásnál nagyobb mértékű tömörítését is az olcsóbb szállítás és tárolás érdekében. A nagyobb mértékű tömörítés melléktermék-nemesítési folyamat, amellyel a termék használati értéke nő. Általában kétféle technológiáról beszélünk: a brikettálásról és a pellentálásról. Biobrikettnek nevezzük az 50 mm vagy ennél nagyobb átmérőjű kör, négyzög, sokszög vagy egyéb profilú tömörítvényeket, amelyeket mező- és erdőgazdasági melléktermékből állítanak elő. Brikettet dugattyús és csigás préseken gyártanak. A tüzipellet 10-25 mm átmérőjű tömörítvény.

A melléktermékekből a biobrikettet rendszerint kötőanyag nélkül készítik. Gyakran célszerű a különböző melléktermékek összekeverése. A szalma biobrikett szilárdságát fűrészpor, fenyőfakéreg vagy vinasz hozzáadásával növelhetjük.

A növényi melléktermékekből (fűrészpor, forgács, szalma, stb.) kötőanyag hozzáadása nélkül gyártott brikett sok tekintetben előnyösebb tulajdonságú tüzelőanyag, mint a szén.

A brikett főbb jellemzői:

- fűtőértéke a hazai barnaszemeknek felel meg (15.500-17.200 kJ/kg), de azoknál tisztább,
- a szén 15-25 %-os hamutartalmával szemben csak 1,5-8 % hamut tartalmaz, de ezt a hamut a talaj befogadja,
- kéntartalma 0,1-0,17 %, amely a szén kéntartalmának 15-30-ad része, a meglévő kályhákban, kazánokban a szénnel komfortosabban tüzelhető el,
- helyben új munkahelyeket jelent, stb.

Egyedüli hátránya a szénnel szemben, hogy csapadék vagy egyéb nedvesség hatására szétesik. Csapadéktól, talajnedvességtől és egyéb (a brikett felületére csepegő) nedvességtől védett helyen azonban korlátlan ideig tárolható.

A különböző melléktermék-féleségekből készült biobrikett főbb fizikai jellemzőit a **34. táblázat** mutatja. [3]

34. táblázat: A biobrikett főbb fizikai és tüzeléstechnikai jellemzői

Alapanyag	Sűrűség kg/m ³	Nedvesség tartalom %	Fűtőérték MJ/kg	Hamu tartalom %
Búzaszalma	1130-1370	6,3	15,42	8
Szójaszalma	1310-1350	8,7	14,87	6,5
Kukoricaszár	1290-1310	6,2	15,49	6
Napraforgóhéj	1010-1300	7,1	17,22	3,6
Fűrészpor, faforgács	920-1110	6,1	16,84	1,4

Brikettálni csak a 10-15 %-os nedvességtartalmú alapanyagokat lehet, az ennél nedvesebbet a szükséges mértékig szárítani kell. Az alapanyag megfelelő nedvességtartalmát lehetőleg jó

tárolással kell biztosítani, ha ez nem oldható meg minden esetben, akkor nem szabad szárító nélküli üzemet létesíteni.

A szárításhoz szükséges hőenergia valamilyen melléktermék (szalma, fahulladék, s. tb.) felhasználásával állítható elő a leggazdaságosabban. Ehhez olyan tüzelőberendezés a legelőnyösebb, amelyben többféle melléktermék is eltüzelhető. A brikettet ömlesztve vagy zsákolva (esetleg kötegelve) értékesítik. A nagyobb teljesítőképességű üzemeknél hűtőberendezés is része lehet a gépsornak. A dugattyús prés finom aprítású (0,3-1 cm szálhosszúságig) és 12-15 % nedvességtartalmú alapanyagot igényel. A csigás présnél elég a bálabontás (10-20 cm közötti szálhosszúság) és az optimális nedvességtartalom 20-30 %. Az alapanyag leszárítása is tulajdonképpen a két fokozatú csigás présben meg végbe, gyakorlatilag villamos energia felhasználásával. A háromirányú préssel fűrészpor, faforgács, szalma és egyéb melléktermék brikettálását lehet elvégezni, nem igényes az alapanyag előkészítésére (80-120 mm szálhosszúság megfelelő), a nedvességtartalomnak azonban 18 % alatt kell lenni.

A szalmafélék bálázási illetve a szállítási és anyagmozgatási összes energiaigénye az alapanyag fűtőértékének 3-8 %-a (átlagosan 5 %). Ugyanakkor a szalmabrikett előállítás esetén a befektetett energia a biobrikett hőértékének 10-12 %-át is eléri. Fa melléktermékek brikettálásánál – mint előzőekben említettük – ez az érték 6-8 %, ugyanis ott kisebb a begyűjtésre, szállításra fordítandó energia mennyisége.

22.1.3. Tüzelőberendezések a biomassza eltüzelésére [2]

A biomassza (fitomassza) tüzelőanyagként történő hasznosítása elsősorban ott kedvező, ahol az új típusú tüzelőberendezés beruházója, egyúttal a bioenergia-forrás tulajdonosa is, tehát ott, ahol a biomassza keletkezik és a közelben, 20-30 km-es körzeten belül el is tüzelhető.

A biomassza (fitomassza) - mint tüzelőanyag - előnyei a hagyományos széntüzeléssel szemben:

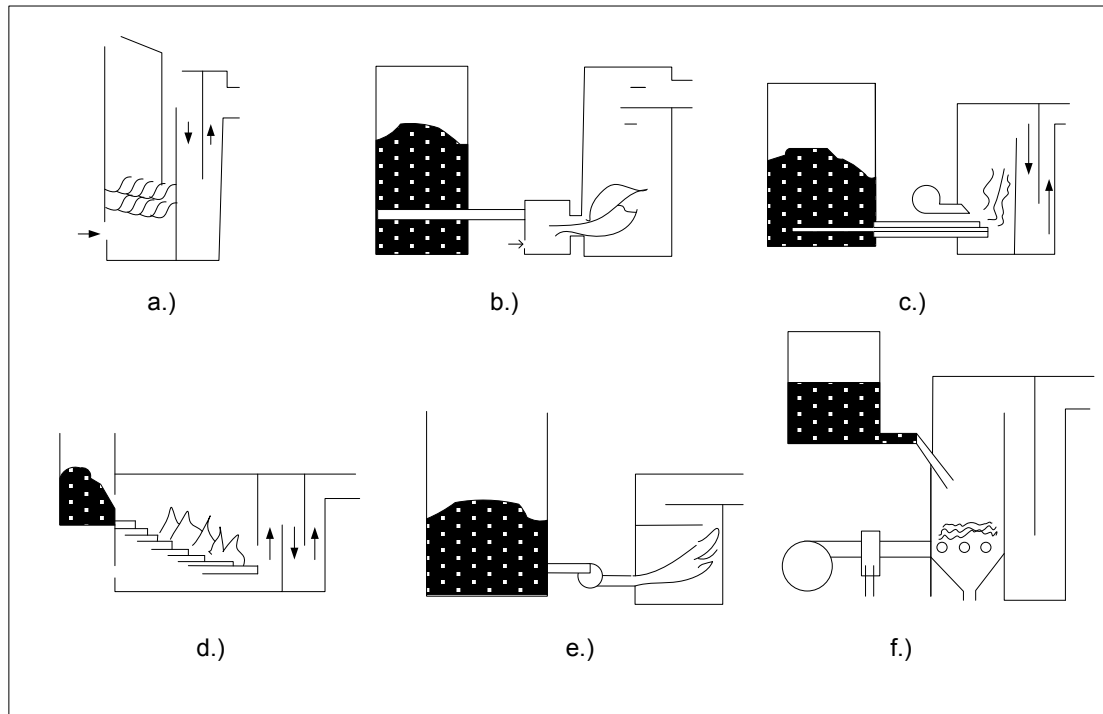
- megújuló energiaforrás, széndioxid kibocsátása a zárt ciklus miatt a környezetre nem káros (üvegházhatás)
- melléktermék - tehát "gyártása" nem igényel külön energiát - szemben a költséges és a környezetet terhelő szénbányászattal
- a bányáktól távol eső helyeken is sokkal egyenletesebb eloszlásban képződik, így szállítása kevésbé költséges
- fűtőértéke megközelíti (13-16 MJ/kg) a barnaszenekét, és meddőt nem tartalmaz
- hamutartalma 2-8 %, amely közvetlenül felhasználható talajjavításra
- homogén formában (brikett, pellett, faaprítók) komfortossága azonos a szénnel, de annál sokkal környezetbarátabb, mert pora nem szennyező, kéntartalma alacsony és nem tartalmaz egyéb környezetszennyező anyagot sem
- alkalmazásukkal elősegíthető a **fenntartható fejlődés és kímélhető a Föld fosszilis tüzelőanyag tartaléka.**

A biomassza tüzelőberendezések legfontosabb részegységei:

- tüzelőanyag tároló a kitároló szerkezettel,
- tüzelőanyag szállító rendszer,
- tüzelőanyag és levegőadagoló rendszer,
- hőcserélő (kazán)
- hamu (salak) eltávolító berendezés
- füstgázvezetés - kémény
- szabályozó és védelmi berendezés.

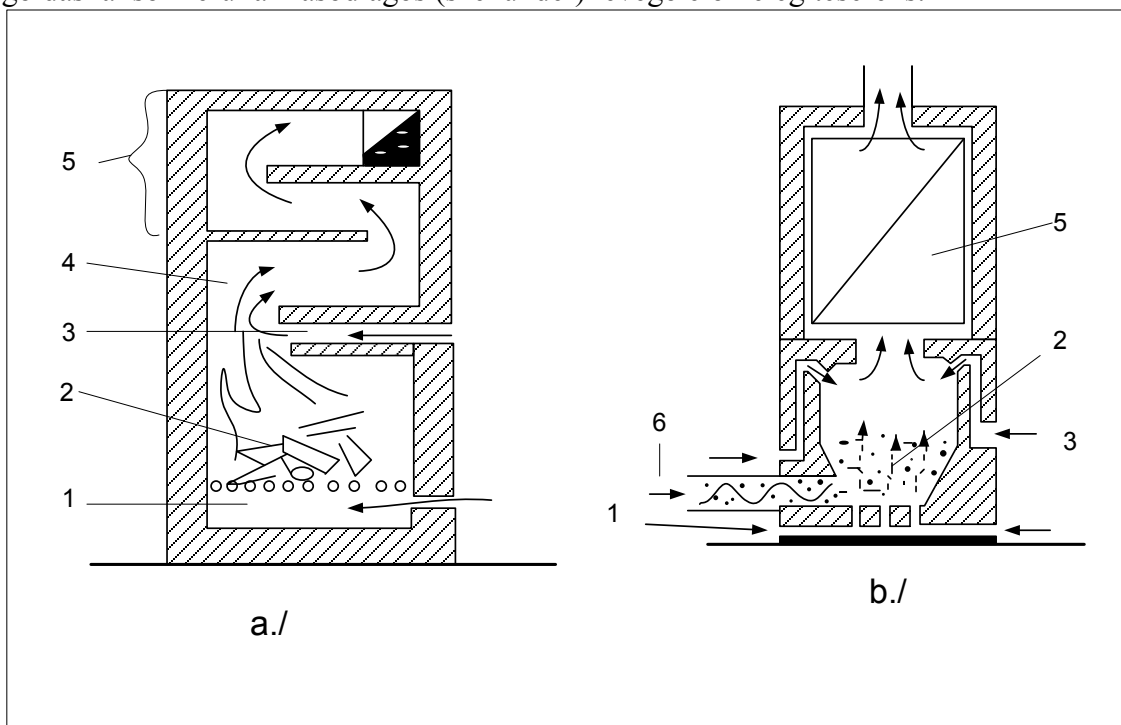
A biomassa (fitomassza) elégetése többféle tüzelőrendszerrel valósítható meg. Ezek a következők:

- **Felső átégetésű tüzelés.** A kis kézi adagolású "mindent égető" hasábfakazásban a tüzelőanyag hosszú felhevítési idővel és nagymértékű kigázosítással jut el az égő fázisig. A légfojtással megoldott teljesítményszabályozás rossz kiégetést biztosít. Megfelelő üzem csak a névleges teljesítménynél vagy puffer tároló alkalmazásával érhető el. Teljesítmény tartomány 1 kW - 1 MW.
- **Alsó átégetésű tüzelés (203. ábra).** Itt a tüzelőanyag csak az alsó része ég. A levegőfojtásos szabályozás nem olyan rossz elégetést eredményez, mint a felső átégetésükénél. Gyakran a rostély és a huzatcsatorna is vízhűtéses. Meghibásodási lehetőségek - hasonlóan mint az előzőnél - minimálisak. Teljesítmény tartomány: 25 kW - 2 MW.
- **Előtűztüzelő berendezések (203. ábra).** itt következetes szétválasztása történt az elégetésnek és a hőcserének. Az elégetés egy elkülönített, samott falazatú tüztérben nagy égési hőmérséklet, 1000 °C felett megy végbe. A csigás adagolás esetén egynemű felaprított tüzelőanyaggal (pl. faapríték) dolgozik. Így az elégetés is tökéletes. Nagy teljesítményhatárok és viszonylag jó szabályozhatóság jellemzi. Az előtűztüzelő térben egy forró redukáló gáz képződik. Így másodlagos levegő bevezetésre van szükség. Teljesítmény tartomány: 35 kW-8 MW.
- **Izzítóteres tüzelés (203. ábra).** Az elégetés egy dézsa alakú tüztérben történik. A samott-téglával kifalazott magas térben az előtűztüzelő berendezéséhez hasonló jó elégetés érhető el. Utólagosan is beépíthető egy meglévő kazánba.
- **Rostélyos tüzelés (203. ábra).** A rostélyok kialakítása nagyon változatos lehet. Sík-, ferde-, lépcsős rostélyok és ezek kombinációi merev kivitelben, mozgatható kivitelek mint henger-, teljes vagy részadagoló rostély (pl. szalagformájú láncrostély, stb.). A kiviteli formától függően magasabb nedvességtartalmú melléktermékeknél is alkalmazható. Teljesítmény tartomány: 200 kW - több MW.
- **Befúvásos tüzelés (203. ábra).** Kimondottan száraz és apró szemcsés tüzelőanyag használható fel. Főképpen nagyüzemű berendezésként használják. Itt nagyobb a lehetősége annak, hogy a füstgázzal együtt apróbb részecskék is távoznak a tüztérből. A füstgáztisztítással szemben nagyobbak a követelmények.
- **Örvényrétegű tüzelés (203. ábra).** Ez a tüzelési rendszer is mind többször kerül az érdeklődés előterébe. Az örvényréteg biztosítja az alsó tüztérben a magas egyöntetű hőmérsékletet, ami a tökéletes elégetés feltétele. Ennél a tüzelési módnál is több variáció található meg, nevezetesen az örvényrétegű (mely egyszerű és olcsó berendezés és a kisebb teljesítményű berendezéseknél alkalmazható), valamint a felülről induló örvényrétegű, mely a nagyobb teljesítményeknél alkalmazható. Az örvényrétegű tüzelést elsősorban a több MW-os nagyberendezéseknél használják, de a kutatások a kisebb teljesítményeknél történő használatuk tekintetében is eredménnyel kecsegtetnek.



203. ábra: Biomassza tüzelő berendezések [2]

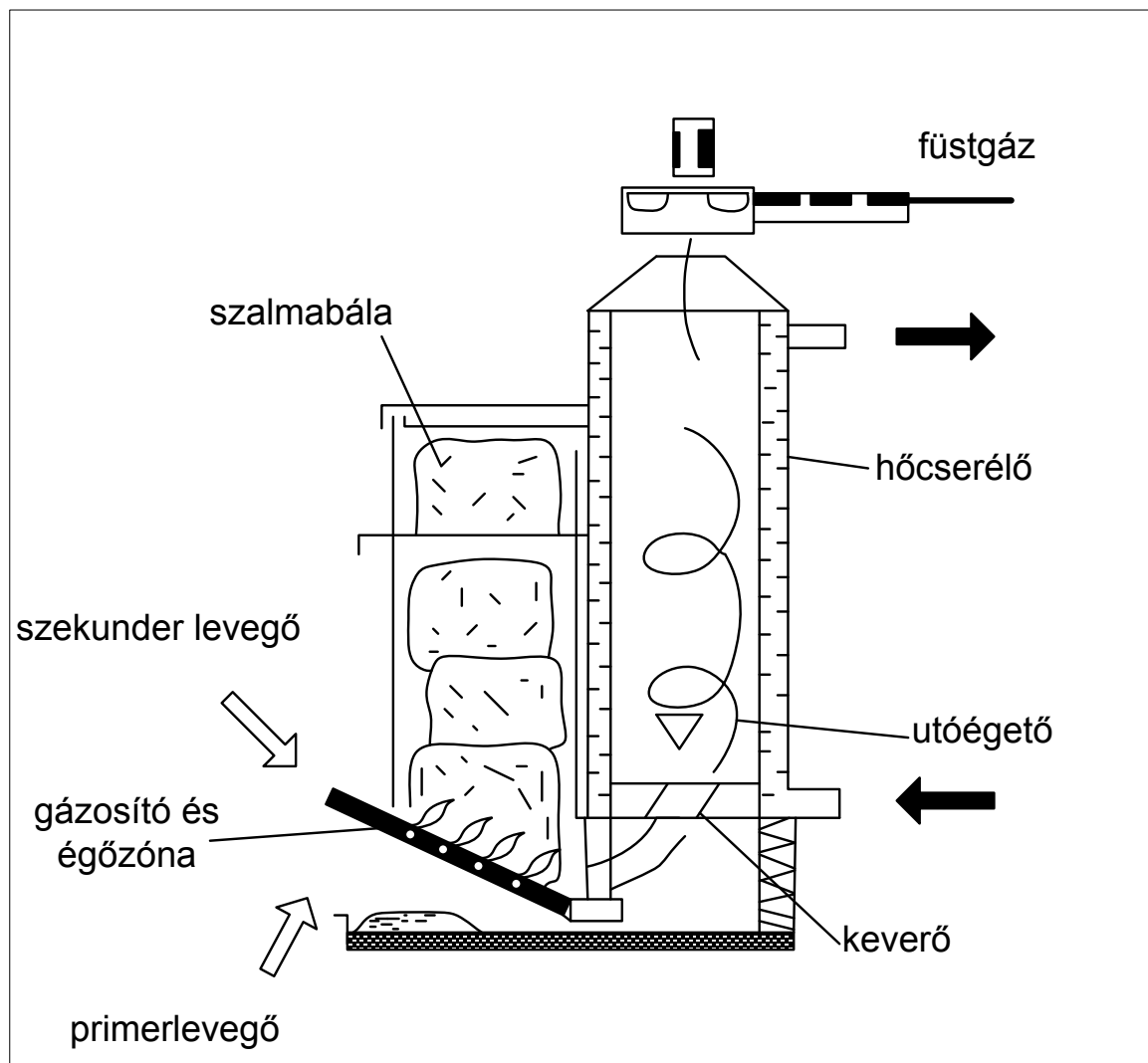
A 204. ábra a biomassza közvetlen eltüzelésére szolgáló korszerű berendezések elvi kialakítására látunk két példát. Az a) változat kézi adagolású, mely nem igényli a tüzelőanyag túlzott mértékű aprítását, a b) változat viszont gépesített adagolással ellátott. Mindkét megoldásnál sor kerül a másodlagos (szekunder) levegő előmelegítésére is.



204. ábra: Biomassza közvetlen eltüzelésére szolgáló berendezések elvi vázlata

A 204. ábra jelölései: 1. elsődleges levegő, 2. égetőkamra, 3. előmelegített másodlagos levegő, 4. lánckiegető zóna, 5. hőcserélő, 6. apríték adagoló csiga.

Az alsó- és felsőátégetésű tüzelést megvalósító berendezések készülnek különböző méretűre bálázott melléktermékek közvetlen eltüzelésére is. A **205. ábra** egy ilyen alsóátégetésű bálátüzelő kazán látható.



205. ábra: Alsóátégetésű bálátüzelő kazán

Az átégető tüzelésű kazánokkal folyamatos hőtermelés valósítható meg. A teljesítmény - mint említettük - a levegő mennyiségének változtatásával (fojtás) csak kismértékben szabályozható, ugyanis az égéshez szükséges oxigén viszonylag nagy mennyiségben van jelen magában a tüzelőanyagban. Fojtással a tüzelés minősége romlik.

A biomassza tüzelésnél a hőtermelés szabályozása a tüztérbe bejuttatandó tüzelőanyag mennyiségének a változtatásával valósítható meg leginkább. A költséges adagolóberendezések miatt kezdetben csak a nagyobb teljesítményű berendezéseknél használták. Ma már a kisebb teljesítményeknél is mind általánosabbá válik.

A szabályozott üzemi melléktermék tüzelő berendezések csoportjában az előtűtelők sikeresen alkalmazhatók a kisebb teljesítményigénynél is. Az előtűtelő berendezéseket elsősorban faapríték eltüzelésénél használják, de készültek bála, pellet stb. tüzelésére is. (20 - 120 kW teljesítmény tartomány).

A biomassza tüzelésnél a füstgázokkal szilárd részecskék (pernye, por) is távoznak a hőhasznosító berendezésekből. Leválasztásukra ún. pernye ciklont kell alkalmazni. Fokozott környezetvédelmi előírások esetén szűrők beépítésére is sor kerülhet. A modern

tüzelőberendezés szabályozó rendszere - a technika mai állása szerint - folyamatos mikroprocesszoros teljesítményellenőrzésen (Fuzzy-logik) és lambda-szondás füstgáz elemzésen alapul.

A szabályozás a gyakorlatban szigorúan meghatározza a káros anyag kibocsátást és a tüzelés hatásfokát. Különbséget kell tenni a teljesítmény- és az égésszabályozás között.

A teljesítményszabályozás a napi és a szezonális hőingadozás kiegyenlítésére szolgáló hő teljesítmény beállítása. Ez közvetlenül a pillanatnyilag szükséges hő teljesítményhez elégetendő tüzelőanyag szabályozásával vagy a puffer tároló segítségével (ha a hőigény 50 % alá esik) közvetetten valósítható meg.

Az égésszabályozással ugyanakkor a káros anyag kibocsátás minimalizálása a cél, melyet általában az égéshez juttatott levegő szükséges mértékre történő szabályozásával érnek el.

A fatüzelésnél a közelmúltig az égéshez szükséges levegőmennyiség beállítása egyetlen légszelep segítségével történt, a primer- és szekunder levegő arányának változtatására nem volt mód. A szabályozásnak ez a módja nincs tekintettel a mindenkori égéstér-viszonyokra (tüzelőanyag minőség-, mennyiség- jelleg) és oda vezet, hogy a nem optimális elégetés következtében csökken a hatásfok és megnő a károsanyag kibocsátás.

A kazán hasznosításánál az egyetlen beállítási értéket figyelembe vevő szabályozásnál fennáll a veszélye annak, hogy a tüzelőberendezés ki-be kapcsolásos üzemben, ellenőrizetlen átmeneti szakaszokban megemelt károsanyag kibocsátással üzemel. A víz térfogatáramának, az elmenő- és visszatérő hőmérsékletének figyelembevételével kialakított teljesítményszabályozás ezt a hibaforrást kiküszöböli.

A jó hatásfok és tökéletes tüzelőanyag kiégetés elérés érdekében a primer és szekunder levegő adagolásának arányát is szabályozni kell. A szabályozás vezérlőszerkezetének minél több mért információt kell kapnia (pl.: a füstgáz CO, - CO₂, - No_x és egyéb oxidálható anyag tartalma stb.).

A fenti szabályozási elvek megtalálhatók a legújabb ún. harmadik generációs készülékeknél (Holzvergaserkessel). Ezek a készülékek kielégítik a mai szigorú emissziós előírásokat is.

Teljesítmény tartományuk: 10-80 kW.

A kisteljesítményű tüzelő berendezések körét a 4 kW - 140 kW termikus teljesítményhatárú tüzelőberendezések jelentik.

Ezek káros anyag kibocsátására Magyarországon jelenleg nincs szabályozás. Ebben a körben is a fokozatos károsanyag-kibocsátás szigorítás a cél.

22.1.4. A biomassza tüzelésének környezetvédelmi kérdései [2]

Emissziós határértékek és egyéb előírások Magyarországon

Ma Magyarországon a biomassza tüzelésű erőművekre vonatkozó levegő védelmi engedélyt ún. „LENG” engedélyt a 21/2001. kormány rendelet 4.1. melléklete alapján kell összeállítani. Az ide vonatkozó kibocsátásokat a 23/2001. KöM rendelet 1. melléklete tartalmazza.

A 140 kW-nál nagyobb hő teljesítményű tüzelőberendezések károsanyag-kibocsátás határértékének meghatározását a Környezetvédelmi Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségtől kell kérni. (140 kW hő teljesítményig jelenleg ilyen kötelezettség jelenleg nincs. Az új szabályozás kidolgozása folyamatban van)

Az emisszióval kapcsolatban szükségesnek tartjuk megjegyezni a következőket:

- A károsanyag-kibocsátás mértékét a tüzelőberendezés mérete (névleges hő teljesítménye) nagymértékben befolyásolja. A nagyobb berendezéseknél ez kedvezőbb.
- Az emisszió függ a berendezés üzemétől. A kézi táplálású és kézi működtetésű illetve szakaszos üzemű berendezéseknél sokkal rosszabbak a mutatók, mint a gépi táplálású automatikus és folyamatos működésű berendezéseké.
- A teljesítmény kihasználás mértéke is befolyásolja az emissziót. Részterheléssel működtetve az egyes - elsősorban elsőgenerációs - fűtőberendezéseket a hatásfokuk romlik, a károsanyag-kibocsátásuk növekszik. A korszerű, szabályozó berendezéssel felszerelt második és harmadik generációs fűtőberendezések névleges teljesítményük 50 %-ig visszaszabályozhatók, a tüzelés minőségének romlása nélkül. Ennél nagyobb mértékű teljesítményigény ingadozás esetén puffer hőtároló egységgel javasolják kiegészíteni.

Emisszió határértékére vonatkozó külföldi előírások [2]

Ausztriában az emissziós határértékeket tüzelőanyag féleségenként (folyékony, gáznemű, szilárd) írják elő. A **35. táblázat** csak a szilárd energiahordozókra vonatkozó határértékeket mutatjuk be.

35. táblázat: Emissziós határértékek Ausztriában

Tüzelőberendezések szilárd tüzelőanyagra		Emissziós határérték				
		CO [mg/MJ]	No _x [mg/MJ]	HC [mg/MJ]	Por [mg/MJ]	Korom szám
Kézi működte- tésű	bio-tüzelőanyag	2.700	60	130	100	-
	Fosszilis tüzelőanyag	4.000	60	600	100	-
	1995. I.1-től minden Tüzelőanyagra	1.300	70	80	80	-
Automati- kus mű- ködtetésű	bio-tüzelőanyag	400	70	40	100	-
	Fosszilis tüzelőanyag	700	70	40	100	-
	1995. I.1-től minden Tüzelőanyagra	200	100	40	80	-

A németországi (TA-Luft) előírások a különböző tüzelőanyaggal üzemelő kisteljesítményű kazánokra a **36. táblázat** láthatók.

36. táblázat: TA-LUFT előírások kisteljesítményű tüzelő berendezésekre

Tüzelőanyag	Hőteljesítmény [kW]	Emissziós határértékek [mg/m ³]*			
		por	CO	No _x	SO ₂
Tüzelőolaj S _{max} = 0,2 %	5-50	50	170	250	300
Fűtőolaj	1-50	80	170	450	1700
Földgáz	10-100	5	100	200	35
Biomassza	-	500	250	150	-

Megjegyzés: * az értékek 3 tf% O₂ tartalmú füstgázra vonatkoznak

A biomassza (faféleségek és szalma) tüzelés környezetvédelmi kérdései [2][11]

Tüzelés célú felhasználásuk környezetvédelmi előnyei közül legfontosabb a CO₂-semlegesség.

Mindenekelőtt ki kell emelni a biomassza energetikai felhasználásánál azt a nagy előnyt, hogy "CO₂-semleges". Elégetésükkor (vagy származékaik elégetésekor) csak annyi szén-dioxid termelődik, amennyit a növény a fotoszintézis során felhasznált. Természetesen a termelésüknek, begyűjtésüknek, előkészítésüknek illetve szállításuknak van energiaszükséglete - ezen keresztül bizonyos mértékű CO₂ kibocsátással számolni kell.

Ezért is kell törekedni a következőkre:

- a melléktermékeket, hulladékokat lehetőleg a keletkezési formájukban hasznosítsuk, hogy minél kisebb legyen a pótlólagos energia és költségráfordítás.
- az eltüzelésre történő előkészítés - ha csak egyéb indok nem merül fel - az aprítás (fa apríték készítés, bálabontás) illetve a bálázáson kívül egyéb energiaigényes műveletre ne terjedjen ki.
- az energetikai célú növénytermesztésnél törekedni kell a minél kisebb energiainputot igénylő termeléstechológiák alkalmazására.
- felhasználásukra lehetőleg a keletkezési helyük közelében kerüljön sor. Szállításuknál a 15-20 km távolságot lehetőleg ne léjük túl (csak gazdaságossági szempontból természetesen, ennél nagyobb távolságok is indokoltak lehetnek).

Az eltüzelésükkor keletkező hamu környezetbarát

A biomassza eltüzelésekor is jelentős hamutartalommal (2-9 tömeg %) kell számolni, azonban ez a hamu környezetbarát. Káliumtartalmánál fogva felhasználható a talajerő visszapótlásban. A fosszilis energiahordozók közül a szénnek van csak jelentős hamutartalma, több mint a biomasszáé (14 tömeg % átlagosan). Ezt a hamut (salakot) azonban káros anyag tartalma miatt (S, stb.) környezetszennyező anyagnak kell tekinteni.

Minimális kéntartalommal rendelkeznek

A tüzelési célra felhasznált biomassza féleségek kéntartalma minimális, általában 0,1 % alatt van. Így kéntartalma gyakorlatilag sem a hamunak, sem a füstnek nincs.

A szenek viszont jelentős kéntartalommal rendelkeznek, világátlagban elérik a 2,5 tömeg %-ot. Magyarországon található 3-4 tömeg %-os kéntartalmú szén is. A kéntartalom egy része éghető, amely része füstgázban SO₂ formájában jelenik meg, még a nem éghető rész a hamu szennyezőanyag tartalmát növeli.

A tüzelés céljára felhasznált olajszármazékok kéntartalma is jelentős lehet. Amíg a könnyű kénmentes tüzelőolajok kéntartalma jóval az 1 % alatt van (általában néhány tizedszázalék), addig a különböző fűtőolajoknál az az érték 1-5 százalékot is elérhet.

Így megállapítható, hogy biomassza eredetű tüzelőanyagok felhasználásával a környezetszennyezés mértéke jelentősen csökkenthető.

Példaként szolgálhat, hogy 1 millió tonna hazai barnaszén kb. 1,3 millió tonna biomasszával helyettesíthető. Ugyanakkor az 1 millió t barnaszénben lévő mintegy 30.000 t kén nem kerül ki a környezetbe a füstgázokkal illetve a hamuval.

Emisszió értékek biomassza tüzelésnél

A biomassza tüzeléskor az emisszió értékek általában sokkal kedvezőbben alakulnak mint a hagyományos fűtési rendszereknél. Ugyanakkor egyes szennyezőanyagoknál többletkibocsátással is kell számolni (pl. NO_x, por).

Bizonyos bio-tüzelőanyagok (darabos fa, brikett, stb.) a hagyományos széntüzelésű tüzelő berendezésekben (kályhák) is elégethetők. Ilyenkor azonban az illóanyagok fűtőértékének nagy része nem hasznosul, a füstgázzal együtt távozik. A füstgázok környezetszennyezőanyag tartalma ekkor is kisebb mint széntüzelés esetén, de sokkal rosszabb annál, minthogy speciális tüzelőberendezésben vagy nagyobb teljesítményű kazánokban tüzelnének el.

A különböző fűtési és távfűtési rendszerek emisszió kibocsátásának összehasonlítására szintén ausztriai adatokat mutatunk be (**37. táblázat**). A táblázat mérési eredmények középértékeit tartalmazza 1 TJ nettó hőenergiára vonatkoztatva.

37. táblázat: Károsanyag kibocsátás [kg/TJ] [2]

	Olajtüzelés	Gáztüzelés	Hagyományos faapríték tüzelés	Modern faapríték tüzelés
SO ₂	140	0	10	10
NO _x	40	40	0	0
CO	50	50	366	16
CO ₂	78.000	52.000	0	0
Por	5	0	14	4
C _x H _y	10	5	9	2

Természetesen a fa vagy faapríték tüzelésekor is van CO₂ kibocsátás. A biomasszánál nem számolnak vele (0-nak veszik), mivel CO₂ - semleges, így légkört ezzel a szennyező anyaggal nem terheli.

A CO határértékek a hő teljesítménnyel fordított arányban erősen változnak és 5 MW fölött a megengedett por kibocsátás is a harmadára csökken. Az osztrák előírások általában jóval szigorúbbak, mint a németországiak.

A már néhány országban érvényben lévő és az EU-ban várhatóan elfogadásra kerülő szigorú emissziós határértékeknek a jelenlegi tüzelőberendezések - ezek között is elsősorban a szilárd tüzelőanyaggal (szén, biomassza) üzemelők - többsége nem felel meg. A kis- és középteljesítményű biomassza tüzelőberendezések közül csak a legkorszerűbb un. harmadik generációs berendezések képesek az előírásokat teljesíteni.

Az MSZ EN 303-5/1999 szerint a szilárd tüzelőanyagokkal üzemelő legfeljebb 300 kW névleges teljesítményű kazánok kibocsátási határértékeit a **38. táblázat** mutatja.

38. táblázat: MSZ EN 303-5/1999 szilárd tüzelőanyagokkal üzemelő legteljesebb 300 kW névleges teljesítményű kazánok kibocsátási határértékei

Adagolás	Tüzelő- anyag	Névleges hőtelje- sítőmény	Kibocsátási határértékek								
			CO			OGC			Por		
			mg/m ³ 10 % O ₂ mellett								
			1. osztály	2. osztály	3. osztály	1. osztály	2. osztály	3. osztály	1. osztály	2. osztály	3. osztály
kézi	biogén	≤50	25000	8000	5000	2000	300	150	200	180	150
		>50-től 150-ig	12500	5000	2500	1500	200	100	200	180	150
>150-től 3000-ig		12500	2000	1200	1500	200	100	200	180	150	
kézi	fosszilis	≤50	25000	8000	5000	2000	300	150	180	150	125
		>50-től 150-ig	12500	5000	2500	1500	200	100	180	150	125
>150-től 3000-ig		12500	2000	1200	1500	200	100	180	150	125	
automa- tikus	biogén	≤50	15000	5000	3000	1750	200	100	200	180	150
		>50-től 150-ig	12500	4500	2500	1250	150	80	200	180	150
>150-től 3000-ig		12500	2000	1200	1250	150	80	200	180	150	
automa- tikus	fosszilis	≤50	15000	5000	3000	1750	200	100	180	150	125
		>50-től 150-ig	12500	4500	2500	1250	150	80	180	150	125
>150-től 3000-ig		12500	2000	1200	1250	150	80	180	150	125	

1*) száraz eltávozó gázra vonatkoztatva, 0 °C, 1013 bar

Végezetül összehasonlító táblázatot közlünk a különböző teljesítményű fosszilis illetve megújuló energiával üzemeltetett energiaátalakító berendezések által kibocsájtott károsanyagokról. (39. táblázat)

39. táblázat: Különböző energiahordozóval működő tüzelőberendezések károsanyag kibocsátásának összehasonlítása [2]

Berendezés /Tüzelőanyag	Biomassza-fűtőmű			Biomassza fűtőmű összesen	Szén fűtő erőmű	Földgáz fűtő erőmű	Földgáz blokkfűtő erőmű	Földgáz központi fűtés	Tüzelő- olaj	Fatüzelésű központi fűtés
Berendezés teljesítmény /Paraméter	Közepes emisszió			Közepes emisszió	Közepes emisszió	Közepes emisszió	Közepes emisszió	Közepes emisszió	Közepes emisszió	Közepes emisszió (hasábfa)
	1 MW-ig	1-4 MW	4 MW felett							
	kazáneljesítmény									
[tonna/TJ]										
CO ₂	209	200	200	202	296	130	115	87	144	186
[kg/TJ]										
Por	146	122	49	101	28	0	0	0	9	273
CO	602	394	75	442	28	15	111	84	111	10.022
NO _x (mint NO ₂)	208	234	323	260	166	175	128	75	74	91
TOC Total Organic Carbon	15	8	5	8	3	1	11	8	18	137
SO ₂ (füstgáz+por)	55	52	29	45	180	5	4	3	89	55
Cl (füstgáz+por)	8	8	5	7	25	0	0	0	0	4
[g/TJ]										
F	276	265	265	268	1.523	0	0	0	0	273
Benzo(a)pyrén	1,2	0,2	0,006	0,341	0.138	0,075	0,221	0,335	1,292	82
PAH	69	13	0,7	20,6	nincs adat	nincs adat	nincs adat	nincs adat	nincs adat	1,093
Pameg Toxikus egyeenérték/TJ										
PCDD/DF	0,203	0,037	0,030	0,070	nincs adat	nincs adat	nincs adat	nincs adat	0,006	0,364

22.1.5. A biomassza tüzelőanyagú kapcsolt hő- és villamos energia termelés [6]

A biomassza energetikai hasznosításának legfontosabb célja az ausztriai több mint húsz éves tapasztalatok (Holzweg, Steiermark) alapján a munkahelyteremtés és a nagyarányú földgáz-felhasználás csökkentése lehet. A hazai biomassza hasznosítás mai iránya rossz, mert az utóbbi időben a biomassza felhasználás nagyrészt a kis hatásfokú fatüzelésű erőművekben illetve a széntüzeléssel kapcsolt fatüzelésű erőművekben együttégetés növekedett. A fafelhasználás 2009-ben ezekben az erőművekben megközelítette a 900 000 tonnát.

A biomasszával elérhető fajlagos földgáz kiváltás jelentősen eltér hőellátás, villamosenergia termelés és kapcsolt energiatermelés esetén.

A biomassza-hasznosításkor elérhető fajlagos földgáz kiváltás adatait hőellátás, villamosenergia-termelés és kapcsolt energiatermelés esetére a **40. táblázat** mutatja.

40. táblázat: Biomassza hasznosításkor elérhető fajlagos földgáz-kiváltás [6][9]

	Hatásfok biomassza esetén	Hatásfok földgáz esetén	Fajlagos földgáz kiváltás, η_U/η_G (%)
Hőellátás	0,86	0,90	96
Kapcsolt energia-termelés			102-106
Villamosenergia-termelés	0,22 – 0,28	0,525	42-53

A hasznosított biomasszával jó hatásfokú hőellátás esetén közel azonos mennyiségű 96 %, míg a rossz hatásfokú villamosenergia-termelés során csak mintegy fele arányú 42-53 % földgázt lehet kiváltani.

Biomassza hasznosítás a hő ellátásban (távhő ellátás) [9]

Biomassza hasznosítás esetén a távhő ellátás az egyedi fűtéssel szemben indokolja, hogy a biomassza tüzelőanyagú nagyteljesítményű kazánokban többféle, kisebb előkészítettséggű biomassza (hulladék) eltüzelhető. Ezek ára kisebb: $p_{Bt} = 1000$ Ft/GJ, a kazánhatásfok $\eta_{Bt} = 0,84$. A fajlagos évi tüzelő költség-megtakarítás

$$C_m = \left(\frac{P_{Be}}{\eta_{Be}} - \frac{P_{Bt}}{\eta_{Bt}} \right) \tau = \left(\frac{2500}{0,86} - \frac{1000}{0,84} \right) 10^{-6} \cdot 2600 \cdot 3600 \cong 16869 \text{ Ft/kW, év}$$

Ez az évi fajlagos tüzelő költség-megtakarítás – 5-10 év megtérülési idő esetén – a távhő rendszer kiépítésére mintegy $b_m = 85-170$ 000 Ft/kW fajlagos beruházási költségtöbbletet enged meg. Ez egy 1 MW teljesítményű falufűtőmű esetén 170 MFt/MW fajlagos beruházási kötséget jelent. Ma egy 1 MW teljesítményű korszerű biomassza fűtőmű beruházási költsége 360 MFt (Pannonhalmi Főapátság 2009.). 50 %-os beruházási támogatás esetén a kisebb vidéki településeken célszerű a családi házaknál a földgáz tüzelőanyagú fűtésről rögtön biomassza falu fűtőműves energiaellátásra áttérni.

A biomassza alapú kapcsolt energiatermelés biomassza alapú távfűtésnél [9]

A kapcsolt energiatermeléssel elérhető évi fajlagos, 1 kW kapcsolt villamos teljesítményre vonatkoztatott tüzelőköltés megtakarítás

$$C_{mE} = \frac{C_m}{P_{kp}} = \left(\frac{1}{\eta_{KE}} - \frac{1}{\eta_m} \right) P_{Bt} \tau_{kp} = \left(\frac{1}{0,27} - \frac{1}{0,84} \right) 10^{-6} \cdot 950 \cdot 4150 \cdot 3600 = 35756 \text{ Ft/kW, év}$$

illetve az 1 kW kapcsolt hő teljesítményre vetítve

$$C_m = \frac{C_m}{Q_{kp}} = C_{mE} \cdot \sigma = 35756 \cdot \sigma \text{ Ft/kW, év}$$

ahol: $\tau_{kp} = 4160 \text{ h/év}$ a kapcsolat energiatermelés évi kihasználási időtartama

$$\eta_m = \frac{Q + E}{G} = 0,84 \quad \text{a fűtőerőmű mennyiségi hatásfoka}$$

$$\sigma = \frac{E}{Q} \quad \text{a kapcsoltan termelt energia aránya}$$

$$\eta_{KE} = 0,27 \quad \text{a kiváltott biomassza erőmű hatásfoka}$$

Dr. Büki „Megújuló energiák hasznosításának helyzete és jövőképe” (Magyar Energetika 2010/1-2.) szerint:

- a kapcsolt villamos teljesítményre vetített fajlagos évi tüzelőköltés-megtakarítás (~35000 Ft/kW, év) – 5-10 év megtérülési idő esetén – a kapcsolt villamosenergia-termelés kiépítésére mintegy 175-350000 Ft/kW fajlagos beruházási többletköltséget enged meg, ami a többlet beruházási költségek (turbina, generátor) fedezetére elegendő.
- A kapcsolt hő teljesítményre vetített évi költségmegtakarítás és a megengedhető fajlagos beruházási költségtöbblet arányosan nő a biomassza fűtőerőmű kapcsolt energia arányával. Úgy tűnik, hogy a biomassza tüzelőanyagú távhő rendszerekben a kapcsolt energiatermelést érdemes megvalósítani és indokolt ösztönözni.
- Ma a kisteljesítményű biomassza fűtőerőművek alkalmas megoldását keresik. A szóba jöhető megoldások kapcsolat energetikai mutatóit a **41. táblázat** mutatja.

41. táblázat: Kis teljesítményű fűtőerőművek jellemző energetikai mutatói [9]

	Mennyiségi hatásfok η_m	Kapcsolt energia arány σ
Külső hevítésű Stirling motor	0,84	0,2
Ellennyomású vízgőz erőmű	0,84	0,24
ORC körfolyamat	0,84	0,27
Kalina körfolyamat	0,84	0,3

A kisteljesítményű biomassza fűtőerőművek kapcsolt energiaaránya lényegesen kisebb mint a jelenlegi földgáz tüzelőanyagú fűtőerőművek (gázturbinák, gázmotorok, kombinált gáz/gőzerőművek). A hasznos hőre vetített fajlagos energia-megtakarítás:

$$g_{meg} = \sigma \left(\frac{1}{\eta_{KE}} - \frac{1}{\eta_m} \right)$$

A fajlagos energia megtakarítás a σ értékkel lineárisan nő, tehát a mai biomassza tüzelőanyagú kapcsolt energiaarányát növelni kell. A kisteljesítményű biomassza fűtőerőmű széleskörű alkalmazásra megfelelő megoldása még nem áll rendelkezésre. A megfelelő típus kifejlesztése a mai K+F egyik legfontosabb feladata lehet.

Nagy teljesítményű fosszilis tüzelőanyagú erőművek átállítása biomassza tüzelésre

Néhány nyugat-európai nagyvárosban a korábbi szén illetve olajtüzelésű fűtőerőművet átállítottak biomassza tüzelésre (pl.: Ulm) illetve biomassza bázisra épített új fűtőerőművet (Stadtwerke Wien, Fernwärme Wien) Magyarországon pl. a Mátrai Erőmű esetében (960 MW) a széntüzelés (lignit) teljes kiváltásához (durva számítás szerint) mintegy 120 km átmérőjű körnek megfelelő nagyságú területen kellene energiaerdőt telepíteni az erőmű körül. Ugyancsak irracionális hosszabb távon az alacsony hatásfokú széntüzelésű erőművekben a biomassza szénnel történő együttégetése [Dr. Grabner – Tóth T.]

A magyarországi biomassza tüzelésű erőművek legfontosabb műszaki és termelési adatait a **42. táblázat** mutatja (MAVIR Zrt. 2008. március 31-ig beérkezett havi műszaki jelentések alapján.)

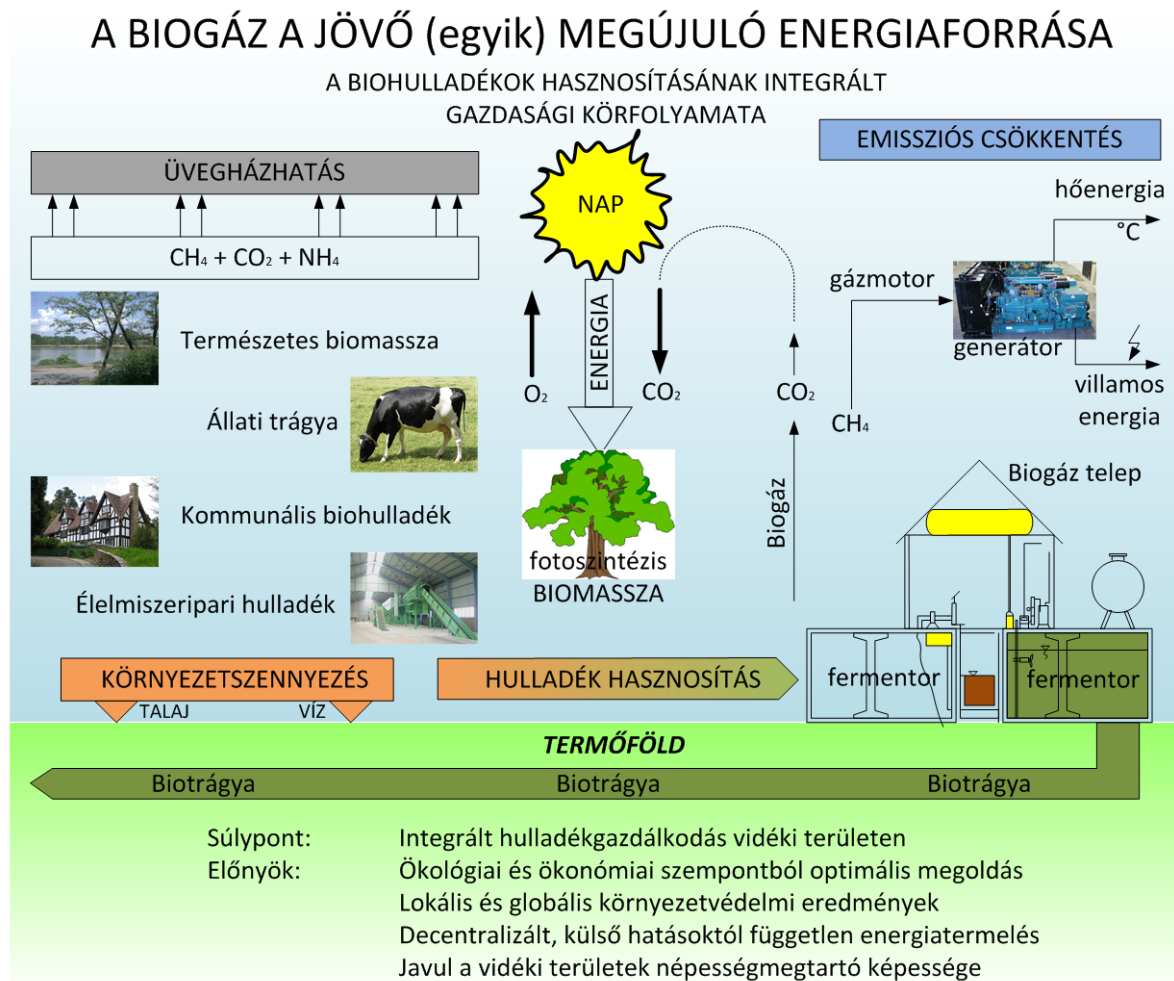
42. táblázat: Magyarország biomassza tüzelésű erőművek (2007) (forrás: Bohoczki KHEM)

		Teljesítőképesség, MW			Villamos energia, GWh			Hő, TJ		Kihasználás	Felhasznált energia, TJ			Hatásfok %
		bruttó	nettó	gép	termelt	kiadott	kapcsolt	kiadott	eladott	h/a	mért	mind	arány	
1	Pannongreen, Pécs	49,90	48,00	1	382,38	335,00	20,20	312	312	7663	4663	4673	99,8%	32,54
2	Bakony Bioenergia	30,00	27,00	1	217,70	194,39	0,00	0	0	7257	2854	3013	94,7%	24,52
3	Bunge-Martfű	3,60	3,50	2	8,01	0,00	8,01	768	768	2225	958	960	99,8%	83,18
4	Szentendre	1,36	1,16	1	4,03	4,03	4,03	70	70	2963	261	265	98,5%	32,38
5	Ajkai Erőmű	19,53	11,89	1	33,29	20,26	17,70	541	541	1704	1136	5903	19,2%	54,04
6	Borsodi Erőmű	69,67	57,22	5	177,58	145,85	5,59	770	770	2549	3767	7408	50,9%	34,38
7	Tiszapalkonyai Er.	3,51	3,05	2	5,68	4,93	0,29	8	8	1619	94	5370	1,8%	27,33
8	Oroszlányi Erőmű	24,27	21,16	1	149,03	129,98	25,68	36	36	6141	1796	17763	10,1%	28,06
9	Mátrai Erőmű	62,06	54,92	2	406,55	359,76	1,28	15	11	6551	4034	61228	6,6%	32,38
	Összes szilárd bio	263,90	227,90	16	1384,25	1194,20	82,8	2520	2516	5245	19563	106583	18,4%	34,83

22.1.6. A biogáz termelés, a biogáz felhasználása [4]

A biogáz termeléséről, felhasználásáról dr. Bai Attila szerkesztésében „A biogáz” címmel a Száz magyar falu Könyvesháza Kht. kiadásában, a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával alapműnek tekinthető könyv került kiadásra (ISBN 978-963-7024-30-6, Budapest 2007.) A terjedelmi korlátok miatt a biogáz termelésével, felhasználásával kapcsolatosan csak a legszükségesebbnek ítélt ismereteket foglaljuk össze.

22.1.6.1. A biomassza hasznosítás potenciálja biogáz termelésre [4]



206. ábra: A biohulladékok hasznosításának integrált gazdasági körfolyamata

A becsült teljes biogáz potenciál az FVM és az MTA Megújuló Energetikai Technológiák Albizottság által 2005-ben készített tanulmány szerint 25-48 PJ/év értékre becsülhető.

A biogáz elsősorban a mezőgazdaságból származó másodlagos biomasszából (elsősorban állati eredetű szerves trágya) anaerob fermentálással nyerhető.

A biogáz előállításának egyéb alapanyagai:

- mezőgazdasági melléktermékek
- élelmiszeripari melléktermékek
- lejárt szavatosságú élelmiszerek
- biomassza céljára termelt növények
- kommunális hulladék szerves része
- települési szennyvíziszap

Ezek célirányos feldolgozása során gáz halmazállapotú energiahordozók állíthatók elő. Ezek a gáznemű energiahordozók két nagy csoportba sorolhatók, nevezetesen:

- biokémiai (anaerob fermentációs) eljárások eredményeként képződő biogáz
- termokémiai (pirolitikus és gázosítási) folyamatokban keletkező gázok.

Ezek közül a gáznemű energiahordozók közül a biogáz a legértékesebb, a továbbiakban a terjedelmi korlátok miatt csak ezzel foglalkozunk. A pirolízis és az elgázosítás technológiai egyaránt tökéletesek, elsősorban települési hulladékok feldolgozására javasolhatók. A biogáz termelési technológiák elsősorban mezőgazdasági üzemekben, farmgazdaságokban alkalmazhatók.

22.1.6.2. A biogáz keletkezése [2]

A biogáz a mikroorganizmusok, metanogén baktériumok életműködésének a terméke. A mentán baktériumok természetes életteret lelnek a mocsarakban, tenger mélyén és a bélrendszerben, kiváltképp a kérődzőknél. Ezek a természetes életterekben találhatók meg a mentán baktériumok létezésének előfeltételei.

A mentán baktériumok élete **anaerob körülmények** nélkül elképzelhetetlen, azaz csak oxigéntől elzártan életképesek. **Nedves közegre** is szükségük van, **létezésükhöz a kirohasztandó anyagok nedvességtartalmának 50 % felett kell lennie.**

Életfeltételük fény hatására is csökken, **létezésük harmadik feltétele tehát a sötétség.**

További körülmények:

- megfelelően nagy telepítési felület.
- elegendő nitrogéntartalom a sejtek felépítéséhez.
- lúgos közeg (ph 7,0-7,6 között).
- 3 °C feletti hőmérséklet.

- **Biogázt előállító metanogén baktériumok**

A mentán baktériumoknak jelenleg tíz különböző fajtáját tudjuk megkülönböztetni. Ezek az élőlények heterotróf növények, szénszükségletüket szerves anyagból fedezik. Tápanyagszállításuk ozmózissal meg végbe, mivel a sejtnedv általában nagyobb koncentrációjú, mint a környezet. Sejtmembránjaik pórusain át a víz és az oldott tápanyagok a sejtek belsejében jutnak, a disszimiláció végtermékei pedig kiléphetnek. A baktériumok kémiai összetétele hasonló a többi élőlényéhez. A szilárdanyag-tartalom átlagosan 53 %-át a széntartalom adja, míg a víztartalom 73-88 % körül ingadozik.

- **Baktériumok szaporodása**

A baktériumsejt élete során a következő fejlődési szakaszon megy keresztül:

- megduzzadás vízfelvétel révén,
- fejlődés és növekedés,
- kifejlődött sejtek osztódása.

A baktériumok tehát a sejtosztódással szaporodnak, melynek mértéke a rendelkezésre álló táptalajtól függ.

- **A biogáz termelés kémiája, mikrobiológiája**

Az anyagcsere fogalma a baktériumok létezéséhez szükséges biokémiai folyamatok összességét foglalja magába.

A számításba jöhető szerves anyagok többnyire nagy molekulájú vegyületekből épülnek fel. A metánbaktériumok azonban nem képesek ilyen nagy molekulájú anyagokat felvenni. Ezért a metánra és szén-dioxidra való anaerob rothasztáskor ezek az anyagok egy többlépcsős bontási folyamaton mennek keresztül, melynek során a nagy molekulájú vegyületek kismolekulájú zsírsavakká és alkoholokká alakulnak, amit a metánbaktériumok már közvetlenül fel tudnak venni.

A biogáz-előállítás szempontjából a legfontosabb három fő vegyületcsoport: szénhidrátok, fehérjék és zsírok. Az említett vegyületek teljes anaerob erjedési folyamatának biokémiája és mikrobiológiája még nem teljesen tisztázott.

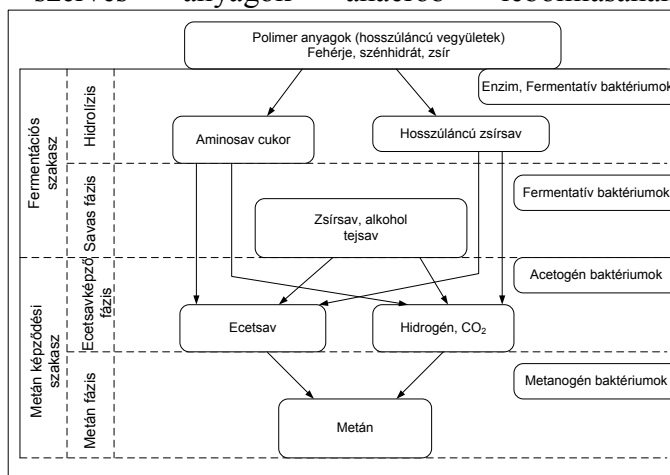
A biogáz képződés teljes folyamata alapvetően két szakaszra osztható: az első egy fermentációs biokémiai folyamat (savas erjedés), amely nagy molekulájú szerves anyagok lebontását, feltárását jelenti. A lebontást a savképző baktériumok végzik, jelentősebb csoportjuk:

- Lactobacillusok
- Propionibacteriumok
- Enterobacteriumok

Ezek a baktériumok exoenzimek segítségével a bonyolultabb molekulaláncot bontják.

A második szakaszban további baktériumcsoportok endoenzimek segítségével intracellulárisan az egyszerűbb molekulákat építik le. Így ezek a baktériumok a szerves anyagokat oldható zsírsavakra, alkoholra, szén-dioxidra, hidrogénre, hidrogén-szulfidra, stb. bontják. A folyamat végeredménye a főleg metánból és szén dioxidból álló, energetikai célokra hasznosítható metángáz.

A szerves anyagok anaerob lebomlásának egyszerűsített folyamatát a



207. ábra mutatja.

• A fermentációs befolyásoló tényezők

Az anaerob és nedves körülmények valamint a sötétség mellett a következő tényezőknek van döntő szerepe az anyagcsere folyamatokban:

- Hőmérséklet
- Nedvességtartalom
- Tápanyagtartalom

• **A hőmérséklet**

A biogáz előállítás mikrobiológiai folyamatainak és technológiáinak legfontosabb tényezője a hőmérséklet.

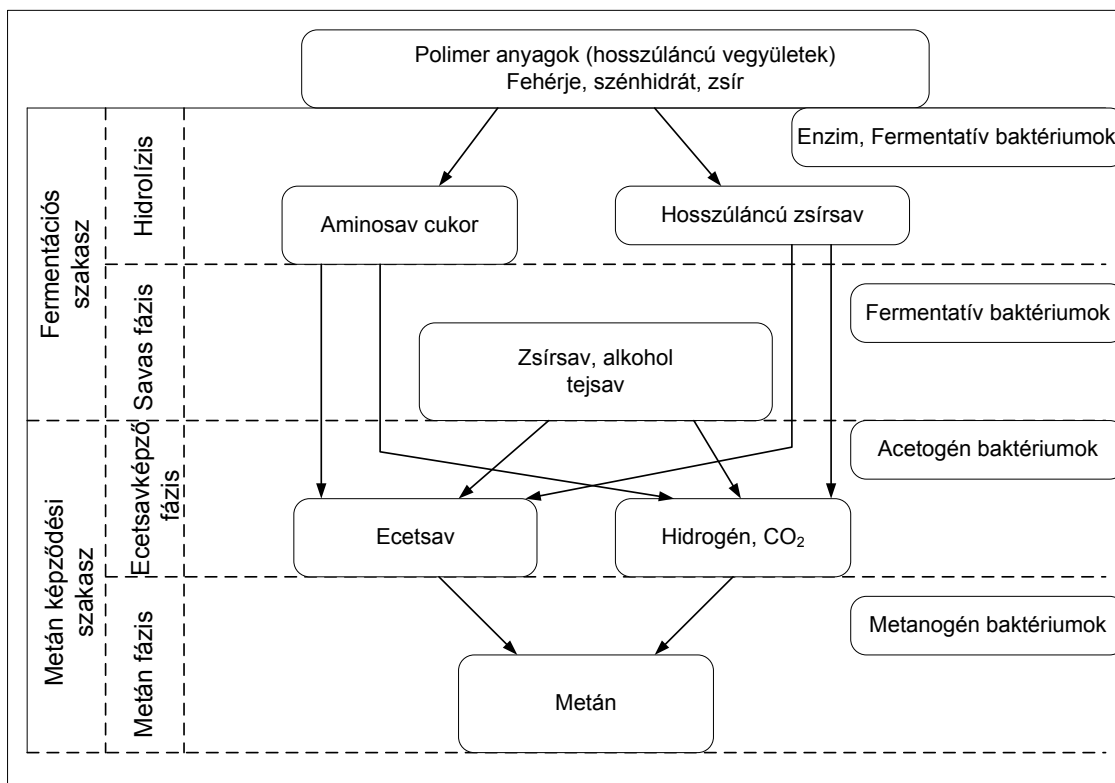
A kémiai reakció sebessége, a termelhető gáz mennyisége a különböző hőmérsékleti tartományokban eltérő.

Mezofil eljárás

A mezofil folyamatok 33-40 °C között zajlanak le. A dán technológiák többnyire ezt az eljárást alkalmazzák.

Termofil eljárás

A termofil erjesztés 40-66 ° között megy végbe. A folyamat kevesebb időt vesz igénybe, mivel a mikrobiológiai reakció sebessége nagyobb. A fejlődő gáz mennyisége akár 30-40 %-al több ugyanolyan szerves anyag lebontása esetén. Ezzel szemben a hőmérséklet optimum fenntartása nagyobb szabályozottságot igényel. A termofil mikroorganizmusok ugyanis érzékenyebbek a külső körülményekkel szemben. Ez bonyolultabb erjesztő berendezés telepítését vonja maga után. A termofil eljárás olyan esetben célszerű, ha valamilyen termelési folyamatból kikerülő meleg szerves hulladékot közvetlenül a fermentálóba lehet adagolni. Az erjesztési folyamat megindításánál a hőmérsékletet csak lassan szabad emelni, maximálisan napi 2 °C-kal. Az optimum elérése után az egyenletes hőmérséklet fenntartása a folyamat hatékonysága szempontjából elengedhetetlen. Az optimum tartományon belül bekövetkező hőingadozás is a metán képződés csökkenéséhez vezet, a gyakori hőmérsékletingadozás pedig a biokémiai egyensúly felbomlását eredményezheti. A hőmérséklet 4 illetve 15 °C-ig történő csökkenése – a metán termelés leállása esetén – nem okozza a mezofil, vagy a termofil mikroorganizmusok pusztulását, csak tevékenységük csökken erősen, latens állapotba kerülnek. Ebből következik, hogy a folyamat hosszabb szünet esetén is újra beindítható külön oldóanyag adagolása nélkül.



207. ábra: A biogáz képződés szakaszai és fázisai [3]

- **Nedvességtartalom**

A mikroszervezetek szempontjából is fontos tényező, ha kihat a telepítendő technológiára is. Az élő szervezetek működéséhez szükséges nedvesség megítélésében ma már elég tág határok vannak: 0,1 % szárazanyagtól egészen 40-50 %-ig előfordulnak lehetőségek.

- **Tápanyagtartalom**

A tápanyagtartalom a mikroorganizmusok életfunkcióinak energiaszükségletét, sejtjeik felépítését szolgálja. A tápanyagtartalom szempontjából fontos tényező a nitrogén-szén arány. A szervezetek sejtjeinek felépítésének ugyanis nitrogénre van szükség. A N/C arány szabályozásának, kívánt értékre állításának legegyszerűbb módja a különböző hulladékok keverése. A 43. táblázat egyes biomassza fajták N/C arányát szemlélteti.

43. táblázat: Biomassza fajták N/C aránya [2]

Szerves anyag	N/C arány
emberi ürülék	0,1...0,17
tehéntrágya	0,06...0,04
disznótrágya	0,08...0,16
baromfitrágya	0,14...0,2
széna	0,08...0,04
alga	0,01
zabszalma	0,02
cukornádszár	0,007

- **A biogáz mint végtermék**

A biogáz szerves anyagok anaerob baktériumos erjedésekor keletkezik. Összetétele a kiinduló nyersanyagtól független az alábbiak szerint változik:

- Metán (CH₄) 50-84 %
- Szén-dioxid (CO₂) 50-15 %
- Hidrogén (H₂) 0-0,2 %
- Nitrogén (N₂) 0-0,2 %
- Kén-hidrogén (H₂S) 0-0,2 %

A közölt adatok szélső értékek. Átlagosan 64 % metán- és 36 % szén-dioxiddal számolhatunk. Az egyéb elemek előfordulása elhanyagolható. A nitrogén és a kén akkor dúsul fel a biogázban, ha a kiinduló nyersanyagban nagy a fehérjetartalmú anyagok aránya.

Fűtőértéke 20-24 MJ/m³-nek vehető. A metán/széndioxid arány mentán javára történő eltolásával a fűtőérték növelhető lenne, de ehhez a széndioxid metánná redukálását (biológiai úton) fokozni kellene.

Biogázt hőfejlesztési célra régóta állítanak elő egyszerű rendszerek segítségével különböző ázsiai országokban, főként állati trágyából. A trágyán kívül sokféle szerves anyagból (pl.: növényi maradványok, fűnyiradék, élelmiszeripari és vágóhíd hulladékok) lehet biogázt előállítani. Kedvezőek a tapasztalatok a hígtrágya-szerves hulladék keverékekkel (kofermentáció) is. A fő kérdés természetesen az, hogy egységnyi szerves anyagból mennyi biogáz nyerhető. Mivel a biogáz fejlődés sok tényezőtől függ, ez csak bizonyos határok között lehet megadni.

Néhány szerves anyagból nyerhető biogáz mennyiségét a **44. táblázat** tartalmazza.

44. táblázat: Néhány szerves anyagból nyerhető biogáz mennyisége [2]

Szerves anyag	Biogáz m ³ /t
Műtrágya	90 – 310
Sertéstrágya	340 – 550

Baromfitrágya	310 – 620
Istállótrágya	175 – 280
Kukoricaszár	380 – 460

22.1.6.3. A biogáz-termelés technológiái [3] [2]

Az önálló energiagazdálkodásra való törekvés, a növekvő környezetterhelés, a szerves hulladékok és a szennyvíz kezelési költsége rövid időn belül ahhoz vezetett, hogy a mezőgazdasági és az agráripár számára további folyékony kezelési technológiákat kutattak és fejlesztettek ki.

A ma ismert és alkalmazott biogáz termelő technológiák száma igen nagy. A legmegfelelőbb alkalmazható eljárást a helyi lehetőségek és adottságok összessége határozza meg.

A hulladékok (hígtrágyák, trágyák és szennyvizek) kezelésénél a kiindulási pont a keletkező hulladékok és szennyvizek mennyiségi, kémiai, fizikai tulajdonsága. Ettől függően választható meg a legcélszerűbb kezelési és hasznosítási technológia.

A túlnyomórészt mezőgazdasági eredetű biogáz telepek termelését számosállatra szokás vetíteni. Általában elfogadható, hogy egy számosállat (500 kg testtömegnyi állat) napi trágyamennyiségétől termelhető energia 0,8 kg tüzelőolajjal egyenlő.

A gyakorlatban elérhető szélső értékek: napi 0,2 – 1,0 kg tüzelőolajnak megfelelő energiatermelés. A számítások során:

- egy szarvasmarha napi trágyamennyiségét 6,40 kg szerves anyagnak
- egy sertés napi trágyamennyiségét 0,51 kg szerves anyagnak vehetjük figyelembe.

Szokásos a biogáz termelés hozamát még az erjesztő, a fermentor térfogatára kifejezni. Általában 1 m³ erjesztő térfogatra 1 m³ biogáz termelést szokás figyelembe venni.

A biogáz-termelési technológiák nagyon sokféle építészeti és gépészeti megoldással valósíthatók meg, de valamennyi a következő egységet tartalmazza:

- alapanyag tárolás, összeállítás, beadagolása
- erjesztés (fermentálás)
- gázgyűjtés és gázkezelés
- maradékanyag kezelés
- biztonsági, szabályozó- és tűzvédelmi berendezések
- gázhasznosítás.

A biogáz-termelés technológiáit a **szárazanyag tartalom** és a **biomassza betáplálás** módja szerint lehet csoportosítani.

Nedves biogáz gyártási eljárás

A 2-8 % szárazanyag-tartalmú folyadékok (40-60 % szervesanyag-tartalmú hígtrágya, vagy élelmiszeripari eredetű szerves folyadék) erjesztésére olyan reaktort dolgoztak ki, melyben a folyadék alulról lép be, lassan átszivárog az iszapágyon és a fermentáló felső részén távozik. Az erjedő iszapmassza a tartályban lebeg a felfelé áramló folyadék hatására. Az anyagmozgatás meggyorsítása céljából a szerves trágyát valamilyen értékes anyaggal, például az erjesztés végén keletkezett hígkomposzttal hígítják. A reaktor folyamatos üzemű. A folyékony eljárásra legegyszerűbbek a Batch-készülékek.

A keletkező biogáz összegyűjtése és kezelése a technológiai rendszer egyik legfontosabb része. Egyrészt biztosítani kell a gázképződés és gázelvezés ingadozásának kiegyenlítését, az átmeneti tárolást, másrészt a gáz energiaértékének fokozását, a hasznosító berendezések

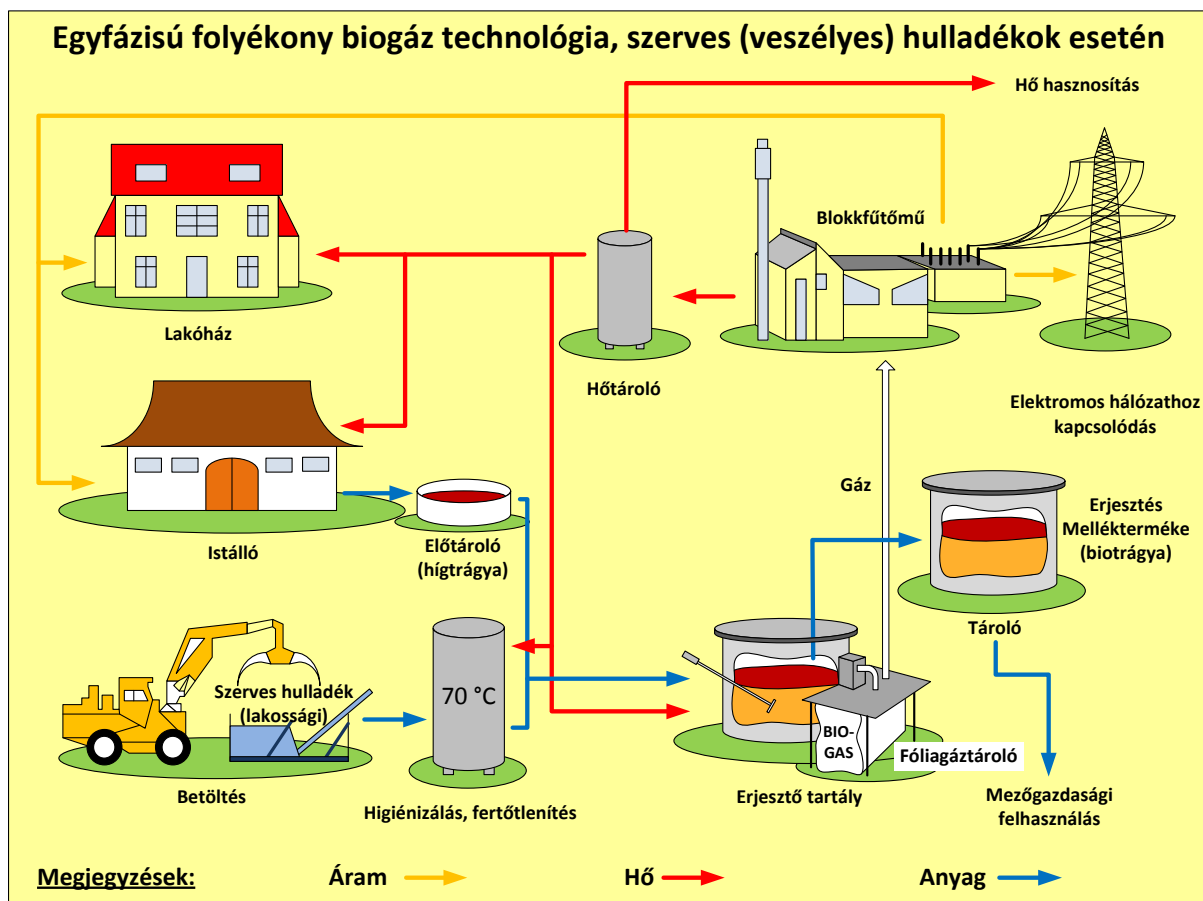
zavartalan működését. Ezt napjainkban már számítógép vezérlésű folyamatszabályozó rendszerrel végzik. A biogáz gyártás egyik elterjedt technológiájának kapcsolási sémáját a **208. ábra** mutatja.

- **Félszáras biogáz gyártási eljárás**

A félszár eljárás a (10-30 % szárazanyag-tartalmú) szerves anyagot tartalmazó hulladékok vízzáró réteggel bélelt és takart helyekre való lerakásából áll. Előnyös a hulladék aprítása, de különösebb előkészítést nem igényel. A reaktor tulajdonképpen maga a vízzáró réteg, amely körülveszi a főként háztartási eredetű hulladékot. Itt a biogáz spontán folyamatok eredményeként jön létre.

A gáztermelés technikai berendezései valójában csak a biogáz kinyeréséhez és annak kezeléséhez szükségesek. Az erjedő hulladéktömegbe megfelelően perforált csöveket fúrnak, melyek felszín feletti részén nyerik a biogázt. Ilyen módszert alkalmaznak a kommunális hulladéklerakók depóniaágazainak kinyerésekor.

Az eljárással a nagy szilárdanyag-tartalom miatt térfogat egységenként mintegy kétszeres mennyiségű szerves anyag gázosítható ki. A kirohasztott anyag rendszerint már nem ömleszthető. Csak jelentős munkaráfordítással lehet a fermentálóból eltávolítani. [1]



208. ábra: Kétfázisú (elő és fő fermentorral rendelkező) folyékony erjesztési technológia fóliás gáztárolással a tetőtérben (forrás: Dr. Kacz K. NYME)

- **A biomassa betáplálásának módja szerinti csoportosítás**

A biogáz technológiák a fermentálás szempontból nem különböznek egymástól, csak a fermentálás hőmérsékletében, illetve a betáplálás módjában.

Alapvetően három eljárást különböztetünk meg:

- Batch eljárást
- folyamatos eljárást
- illetve a két fokozatú eljárást, amely egyesíti az előző két módszert.

- **Batch-készülék**

A nagy mennyiségben keletkező szerves hulladékok (mélyalmú istállók trágyahozama) egyszeri elgázosításának folyamatát Batch módszernek nevezik. Jellemzősége az egyszeri betáplálás. Miután a fermentálót a kirohasztandó anyaggal és oltóiszappal megtöltik, a készüléket lezárják míg a folyamat be nem fejeződik.

A rohasztás időtartama jóval hosszabb, mint a folyamatos eljárásnál, de az lényegében a hőmérséklettől függően 30-100 nap lehet.

A biomassza áthelyezése után a reaktort friss szubsztráttal töltik meg. A fermentálás kezdetén rohamosan növekvő gázhozam figyelhető meg.

- **Folyamatos üzemű készülék**

A bontatlan szerves anyagokat levegő kizárásával folyamatosan juttatják a fermentálóba. Ugyanekkor egy túlfolyón keresztül a reaktorból azonos mennyiségű rothadási maradék távozik. A biogáz mennyisége és összetétele állandó marad, illetve csak akkor változik, ha a betáplált anyagok mennyiségét és összetételét megváltoztatják.

A folyamatos üzemű készülékek a legelterjedtebb biogázt előállító berendezések, ma külföldön kizárólag ezeket alkalmazzák.

Előnyük, hogy a baktériumok rendszeres ellátása révén megközelítőleg állandó gáztermelés érhető el velük. Mivel a készülékben állandóan keverik az anyagot, a szubsztrát jól elegyedik a baktériumokkal. Ezáltal a rothadási folyamat jelentősen javítható.

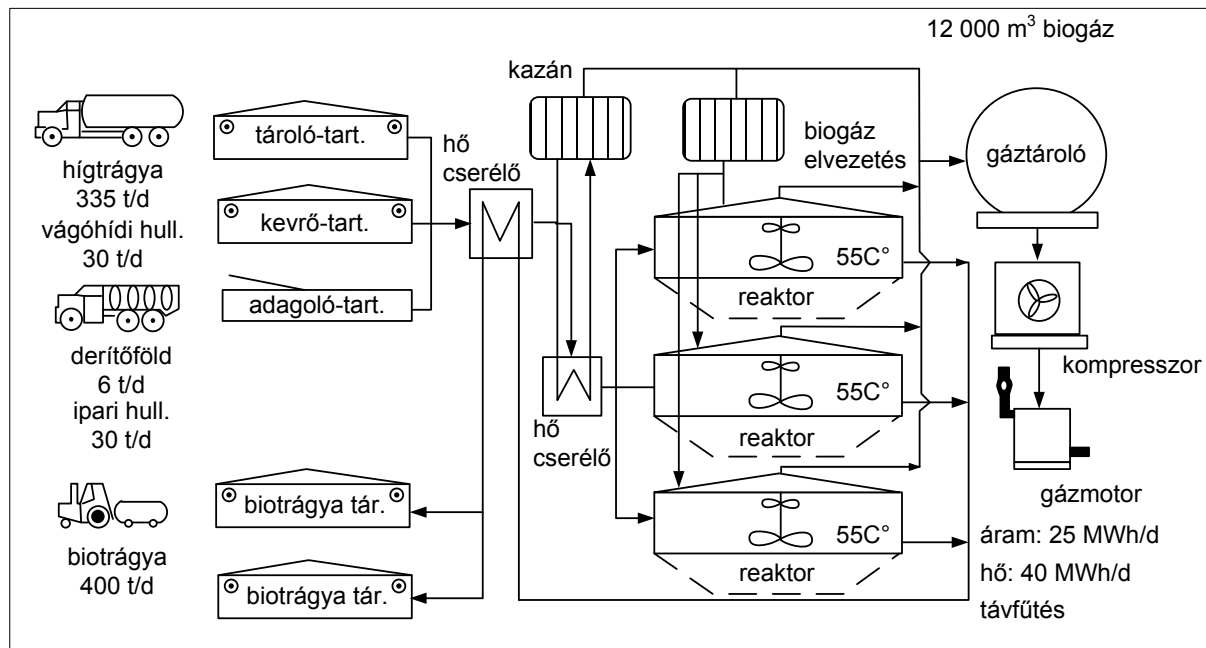
- **Két fokozatú rendszerek**

Ezek a készülékek szintén folyamatosan üzemelnek, bennük a rohasztási folyamat két egymás után kapcsolt rohasztó térben megy végbe. A megválasztható tartózkodási időtartam ezáltal sokkal biztosabban betartható. Ez a kórokozók elpusztítása végett rendkívül fontos.

A tartózkodási időtartam 1/3 – 2/3 arányban oszlik meg, a gázok 80 %-a már az első rohasztási térben kiválik.

A második rohasztó kamrát általában túlméretezik, és egyúttal közbenső tárolásra használják. Ezáltal jön létre a folyamatos és a Batch-készülék kombinációja. [1]

Szilárd hulladék anaerob fermentálására alkalmas két fokozatú berendezés kapcsolási sémája a **209. ábra** látható.



209. ábra: Két fokozatú berendezés szilárd hulladék anaerob fermentálásához [2]

• A biogáz tisztítása

A biogáz alkalmazásának lehetőségeit javítja, ha fűtőértékét növelik. A minőség javításában a mentánon kívüli gázok eltávolítását kell megoldani.

A gázt mosókon vezetik át a szén-dioxid és egyéb, főleg kéntartalmú gázok lekötése céljából.

• Szén-dioxid leválasztás

A termelés során elsődlegesen legnagyobb mennyiségben szén-dioxid keletkezik, melynek eltávolítása az elsődleges tisztítási feladat.

A CO₂ eltávolítását végezhetjük adszorpcióval, abszorpcióval és membrános gázsztválasztással. Az első két megoldás függ a gáztisztaság szükséges mértékétől, az elválasztó berendezés üzem módjától, a nyers, illetve a tiszta gáz nyomásviszonyától, a megengedhető üzemköltségektől, a megkövetelt biztonságtechnikai felszerelésektől.

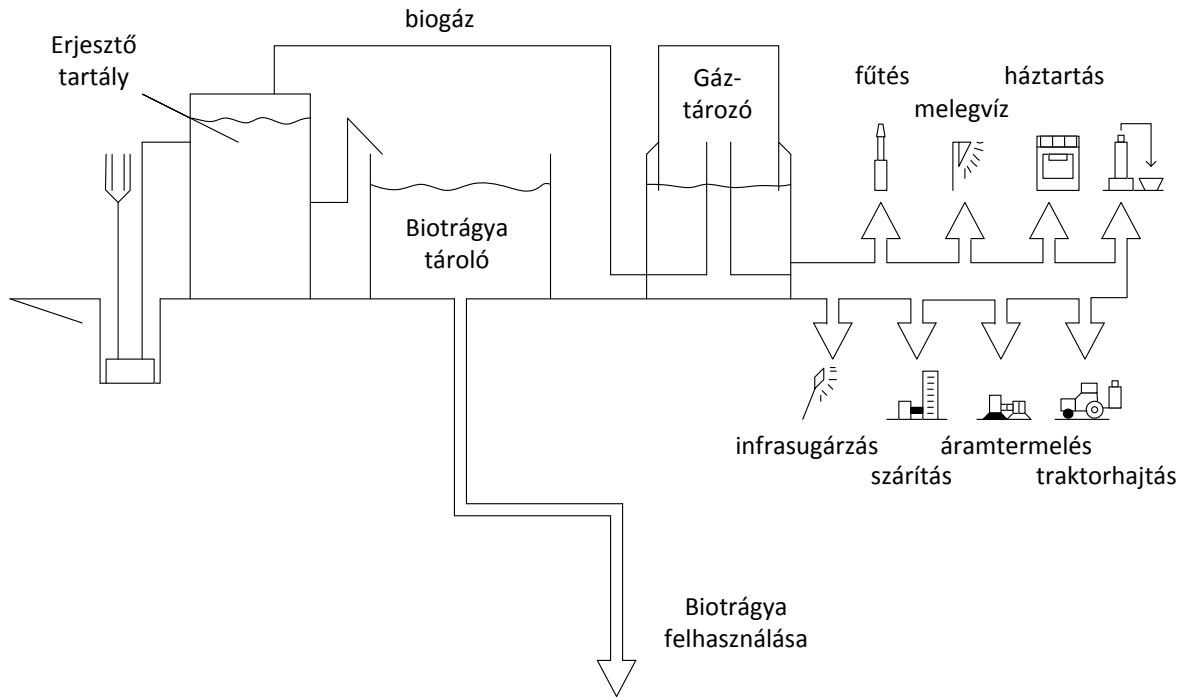
• Kéntelenítés

A vegyiparban használt kénmentesítő eljárások közül a következő eljárások jöhetnek szóba:

- abszorpciós eljárás, melynek folyamán a H₂S mint kénhidrogén regenerálódik (karbonátos eljárások).
- mérgező anyagokkal folytatott eljárás (arzen-oxidos eljárás).
- az aktív szenes elnyelési eljárás, amelynél szén-szulfid keletkezés során robbanásveszély áll fenn.
- Claus-féle eljárás. Ez azonban nagyon drága. A régi katalízises száraz eljárás tulajdonképpen jól alkalmazható, amely a Fe(OH)₃-mal mint katalizátorral dolgozik.

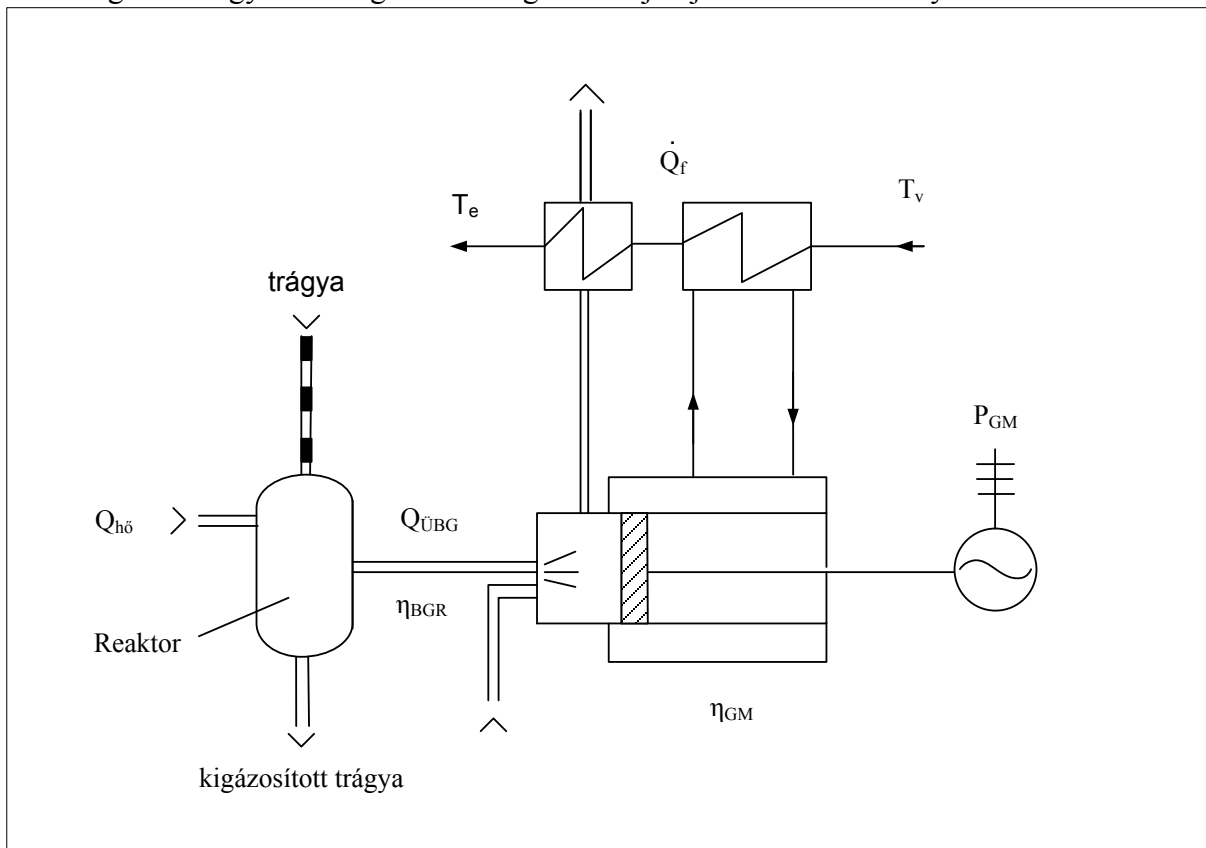
22.1.6.4. A biogáz felhasználása

A biogáz felhasználása lehetőségeit a **210. ábra** szemlélteti



210. ábra: A biogáz felhasználási lehetőségei [2]

A biogáz felhasználás egyik ígéretes területe a kapcsolt hő és villamosenergia termelés gázmotoros (biogáz) kogenerációs egységekkel. A **211. ábra** biogáz-tüzelésű gázmotoros energiatermelő egységet mutat, amely a biogáz $Q_{\text{üBG}}$ tüzelőhőteljesítményből kapcsoltan P_{GM} villamos és Q_f hőteljesítményt állít elő. Az alkalmazás célszerűségére utal, hogy szinte minden gázmotorgyártó földgázra és biogázra is ajánlja szinte valamennyi termékét.



211. ábra: Biogáz üzem blokkfűtőerőművel [1] [2]

Németországi tapasztalatok szerint egyéni gazdálkodóknak akkor éri meg biogázos energiaellátásra berendezkedni, ha legalább 10 tejelő tehene van, megfelelő hígtrágya és kiejesztett trágya tárolótér áll rendelkezésére, a trágyaprodukciónak legalább 75 %-a hígtrágya, a hígtrágyához hozzákeverhető szerves terméket tud beszerezni, a kiejesztett trágyát saját gazdaságában tudja felhasználni, a saját áram és hő szükségletet a termelt biogázból tudja kielégíteni, illetve el tudja adni. Egy olyan kis farmgazdaság esetén elérhető hő elektromos energia kihozatalt a **45. táblázat** szemlélteti.

45. táblázat: Hő- és elektromos energia kihozatal biogázból [2]

Gázfelhasználás/nap	m ³	30	50	80
A gáz energiaértéke	kWh	184,50	307,50	492,04
Bruttó hasznos energia, 87 %-os hatékonyság	kWh	160,50	267,53	428,00
Áramtermelés 33 %	kWh	52,97	88,28	141,24
Melegvíz termelés 67 %	kWh	107,54	179,25	286,76
A gázelőállítás energiaigénye	kWh	51,66	86,10	137,76
Nettó hasznos energia	kWh	108,84	181,43	290,24
Lehetséges elektromos teljesítmény	kW	2,21	3,68	5,89
Lehetséges fűtési teljesítmény	kW	2,33	3,88	6,21

A 2008. év XL. törvény a gázenergiáról 3.§. 26. pont, a 70. §. és a 132. §. 9. paragrafusai szerint a biogázt a földgáz hálózatba be lehet vezetni, ha a tisztítás során eléri a földgázra vonatkozó szabvány előírásokat.

22.1.6.5. A biogáz termelés és a környezetvédelem[2] [3]

- **Biogáz technológiával csökkenthető az üvegházgázok légköri koncentrációja**

Szén-dioxid (CO₂)

Az erjesztés során keletkező metángáz elégetésével hő, vagy villamos energia nyerhető, melynek során CO₂ keletkezik. Ez a CO₂ annyiban nem járul hozzá az üvegházhatáshoz, hogy a növények a növekedésükhöz szükséges szén-dioxidot a légkörből veszi el. Az energiatermelésnek ezt a formáját CO₂ semlegesnek nevezik, mivel semmi más CO₂ emisszió nem keletkezik, mint például a fosszilis tüzelőanyagok elégetésénél. A CO₂ emissziót illetően a komposztálás és az erjesztés közötti energia-összehasonlító számításokból az adódik, hogy egy kizárólag aerob komposztálási folyamatok során a kiegészítő üzemi energiaigényen keresztül a fosszilis energiahordozók miatt egy CO₂ terhelés jelentkezik. Ezáltal az anaerob erjesztést és az aerob folyamatot összekötő készülék hozzájárul a szén-dioxid emisszió csökkentéséhez.

Metán (CH₄)

A metán gáz üvegházgáz potenciálja 28 szorosa a szén-dioxidénak (azonos mennyiség esetén), így a légkörünket legjobban károsító klímagázok közé sorolható.

A metán gáz üvegházgáz potenciálja 28 szorosa a szén-dioxidénak (azonos mennyiség esetén), így a légkörünket legjobban károsító klímagázok közé sorolható.

Természetes és mesterséges metánforrások a mocsárvidékek, rizsföldek, szarvasmarhatartás, kőolaj és földgáz bányászat és feldolgozása, bányászat, depóniák, vulkánok stb.

A szerves anyagok gyors és gázmentes gyűjtésén keresztül (pl. trágya, szemet) a biogáz üzemben történő ellenőrzött erjesztés során a metán emisszió csökkenthető.

Kéjgázok (N₂O)

Az N_2O a magas 150 éves tartózkodási idejével az atmoszféra egyik lekárosítóbb üvegházgáza. Főként a vízben és talajban végbemenő biológiai folyamatok bocsátanak ki ilyen gázt. A hosszú tartózkodási ideje és a talaj alacsony szivárgási mutatói magas N_2O kibocsátáshoz vezetnek.

A károsító hatásnak két szempontja van: egyrészt hozzájárul az üvegházhatáshoz, másrészt a sztratoszférikus NO_x képződés pusztítja az itt jelenlévő ózont.

A Münchener Műszaki Egyetem által különböző szerves trágyákkal végzett összehasonlító kísérletek azt mutatják, hogy az N_2O emisszió a növekvő folyási képességgel csökken.

A szerves anyagok lebontásakor keletkező kigázósított trágya ellentétben a nem kezelttel sokkal jobban beszívárog a talajba. Ez az effektus hozzájárul a nitrogén-oxidok emissziójának csökkentéséhez.

Dániában elkezdtek egy kísérletet a biogáz produkció ökológiai folyamatainak mennyiségi értékelésére. A környező sertésartó illetve szarvasmarhatartó telepek szerves hulladékát egy központi üzembe szállítják. Ebben az üzemben 1 m^3 biomasszából 716 MJ energiát nyernek és 68 kg CO_2 emissziót spórolnak meg. A trágya szállításához fosszilis energiahordozóra van szükség, ami 35 MJ-ként és 3 kg CO_2/m^3 biomasszaként vehető számításba.

Ehhez még hozzájárul a trágyából származó megtakarítás, melynek során a sertés- és marhatrágya összekeverése által javított tápanyaghatáson és a fermentációból származó magasabb tápanyagtartalom keresztül 30 MJ energiát és 3 kg CO_2 -ot takaríthatnak meg.

A trágya ellenőrzött gyűjtésével a metánkibocsátás csökkenthető. (61 kg CO_2 csökkentés érhető el minden m^3 begyűjtött trágya után.)

• A gáztermelés során keletkező egyéb emissziók

A biogáz termelő berendezések környezetvédelmi szempontból igen jelentős emisszió arányt képviselnek a megfelelő emissziós tisztító berendezések hiányában.

Az itt keletkező környezeti szempontból jelentős emissziók a következők:

Szaghatás: Bármilyen hulladékkezelő eljárás legfontosabb kritériuma a szaghatás minimalizálása. A hulladékkezelés különböző stádiumaiban a kibocsátás különböző mértékben és koncentrációban jelentkezik. Főként a gyűjtésnél, a szállításnál és az előkezelésnél keletkeznek ezek a szagok. Az állattartásnál az istállóból, a melléképületekből és egyéb mezőgazdasági tevékenységekből ered a szag emisszió, pl.:

- magától az állattól
- az istálló levegőjétől
- a takarmány előállításából, tárolásából és elosztásából
- az állati ürülék tárolásából és kezeléséből
- szerves trágya kiszállításakor.

Az állattartásból eredő szagok ammóniát, aminokat, kénhidrogént, fenolokat, zsírsavakat tartalmaznak. A biogáz üzemben való kezeléssel az emisszió jelentősen csökkenthető. A metánerjesztés során káros anyagok nem képződnek, vagy erősen lebomlanak. Egy sertésartóval folyamatosan üzemeltetett fermentálónál 50 %-os szag lebontás lehetséges.

Zajhatás: Minden olyan folyamatnál felléphet, ahol az anyagmozgatás gépekkel történik. Zajforrások a beszállító járművektől, a biomassza reaktorba való betáplálásakor, illetve a szivattyúk üzemeltetéséből eredhetnek.

Szennyvíz: A biogáz üzemben az előkészítés és kezelés alatt nagyon kis mennyiségű szennyvíz keletkezik. Már a legegyszerűbb üzemekben is zárt vízforgató rendszert állítanak be.

Por: A por veszélyességét ezekben az anyagokban a spórák, gombák, vegyi anyagok, és egyéb toxikus anyagok mértéke határozza meg. A biogáz előállítás során többnyire nedves

eljárásról beszélhetünk, ezrét a por alakban előforduló fertőző és toxikus anyagok nem jutnak fontos szerephez. A reaktor hőmérsékletén ezen baktériumok nagy része elpusztul. A technológiához kapcsolódó egyéb eljárások, mint a komposztálás, szállítás utókezelés sokkal inkább küzdenek ezzel a problémával.

Az anaerob technológiánál és a komposztálás során jelentkező emissziókat a **46. táblázat** szemlélteti.

46. táblázat: Emissziók a komposztálásnál, anaerob technológiánál [2]

	Egyszerű nyílt komposztálás	Komplex, zárt komposztálás	Egyszerű anaerob kezelés	Komplex anaerob kezelés
Szag	Nagyon magas emisszió	Magas emisszió	Magas/közepes emisszió	Magas emisszió
Zaj	Nagyon magas emisszió	Magas emisszió	Alacsony emisszió	Magas emisszió
Levegő	Nagyon magas emisszió	Közepes emisszió	Nem létező emisszió	Közepes emisszió
Víz	Magas/közepes emisszió	Nagyon magas emisszió	Nem létező emisszió	Nagyon magas emisszió
Por	Nagyon magas emisszió	Magas emisszió	Nem létező emisszió	Magas emisszió

Mikroorganizmusok: A szerves hulladék gyűjtőhelyi és a trágyadombok ideális élő- és szaporodóhelyei a betegséget terjesztő mikroorganizmusoknak. A szerves hulladékok biogázkészülékben történő kezelésével felszámolhatók ezek az élőhelyek. Ezáltal a fertőző betegségek elterjedése korlátozható. A metánbaktériumok mérgező hatású antibiotikus hatásokkal, illetve bizonyos biológiai kizárólagossággal rendelkeznek. A biohulladékban előforduló kórokozókat a **47. táblázat** szemlélteti.

47. táblázat: A biohulladékban előforduló kórokozók [2]

Baktériumok	Vírusok	Paraziták	Gombák
Salmonella	Hepatitis-A-vírus	Taenieneier	Aspergillus-fajok
Escheria coli	Parvovírus	Spulwurmeier	
Streptococcus	Retrovírus		
Enterobaktérium	Echovírus		
	Enterovírus		

A Kínai Parazitológia Intézetben már évekkel ezelőtt megállapították, hogy a kirotasztott iszap több mint 95 %-kal kevesebb parazitapetét tartalmaz, mint a friss iszap. A pusztulási arány a rothasztási hőmérséklettől és rothasztás időtartamától függ. Ez látható a 48. táblázat adatsoraiból.

48. táblázat: Néhány parazita pusztulás aránya [2]

	Biogáz rendszer		Hagyományos rendszer	
	53 °C (óra)	35 °C (óra)	18-20 °C (hét)	6-15 °C (hét)
Salmonella typhimurium	0,7	2,4	2,0	5,9
Salmonella dublin	0,6	2,1		
Escherichia coli	0,4	1,8	2,0	8,8
Clostridium perfringens				

Bacillus cereus				
Erysipelotrix rhusiopathiae	1,2	1,85		
Staphylococcus aureus	0,5	0,9	0,9	7,1
Coliform bac		3,1	2,1	9,3

A kirohasztott iszap trágyaként való felhasználása azért jelentős, mert a friss iszapban esetleg megtalálható növényi magvak a rothasztás befejeztével csíráképtelenné válnak. A gyommagvak behurcolása a trágyával ezért gyakorlatilag kizárt.

Károsanyagok:

Ehhez a csoporthoz olyan nehézfémek tartoznak, mint a Hg, Cd, Du, melyek már igen kis mennyiségben az emberi szervezetre mérgezőek lehetnek. A környezeti problémákhoz a nehézfémek a nyersanyagszerzésnél, energianyerésnél, ipari és mezőgazdasági feldolgozásnál és alkalmazásnál járulnak hozzá.

A mezőgazdasági alkalmazáson keresztül a hulladékkal, szennyvízzel és szennyezett levegővel kerülnek a bioszférába.

Az állati trágya és a szilárd hulladék nem mentes a káros anyagoktól. A mezőgazdasági hulladékok nehézfém tartalma az állattartás módjától és takarmányozástól függ. A mezőgazdasági hulladékok nehézfém tartalmára további magyarázatot ad a geológiai alapkőzet és a levegőből való bejutás. Nem csak a mezőgazdasági területeken, hanem más régiókban is előfordul magas talajterhelés.

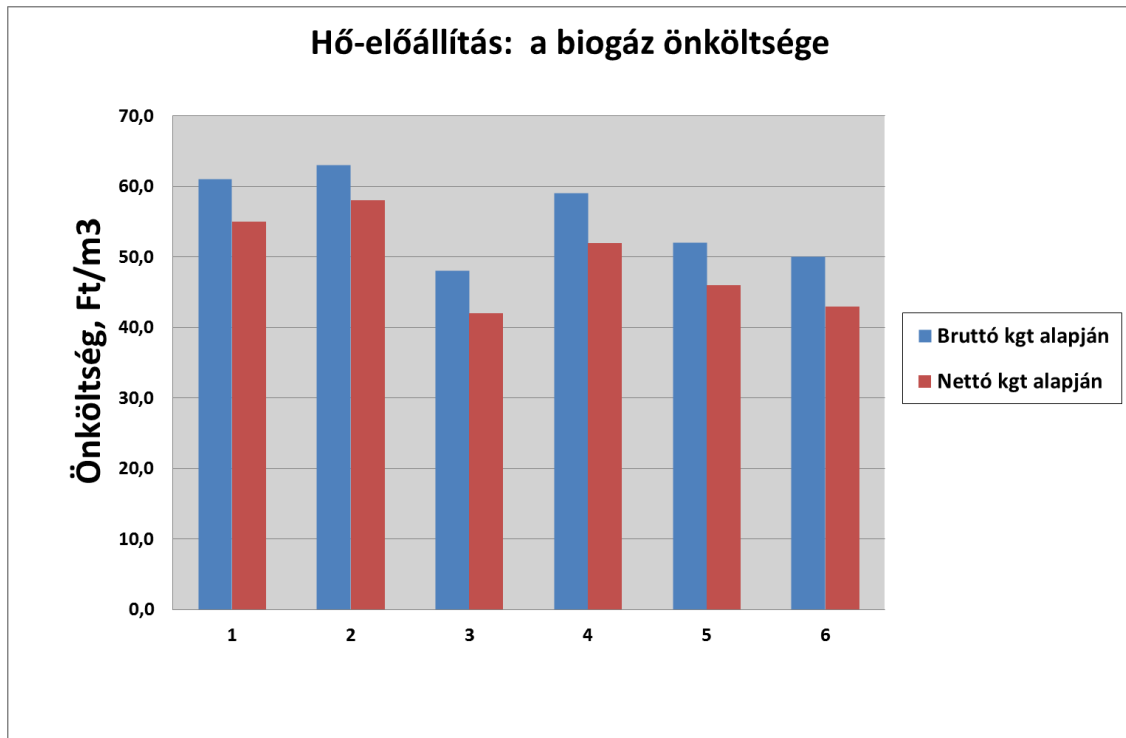
A növények felszíni részeire rakódott poron keresztül a nehézfém tartalom a mezőgazdaság és az élelmiszeripar közvetítésével juthat el a háztartásokhoz, ahonnan a hulladék gyűjtésével a komposztba kerül.

A növényekben levő nehézfém tartalom nem csupán a talajkeveredéssel magyarázható, hanem a nehézfémek külső szennyezésével is. Speciális anaerob eljárásokkal termelhető olyan komposzt, aminek a nehézfém tartalma jóval a határérték alatt marad. Egy helsingöri üzemben a nehézfém tartalmat jóval a határérték alá csökkentették. Ez azonban nem azt jelenti, hogy a nehézfém tartalom csökken, hanem azt, hogy a szilárd fázisból a folyékonyba helyeződik át. A későbbi használatától függően technikailag lehetséges, hogy az anyagokat az egyik fázisból a másikba helyezték át.

A nehézfém kijutás problémája az anaerob kezeléssel nem oldható meg. Ez azt jelenti, hogy a termelés során a környezetet károsító anyagokról messzemenően le kell mondani.

22.1.6.6. A biogáz-gyártás gazdaságossága (Dr. Bai Attila a III. Magyar Biogáz Konferencián 2007-ben megtartott előadása alapján)

A hat vizsgált biogáz üzemi modell alapján a hő előállítás önköltsége a **212. ábra** látható.

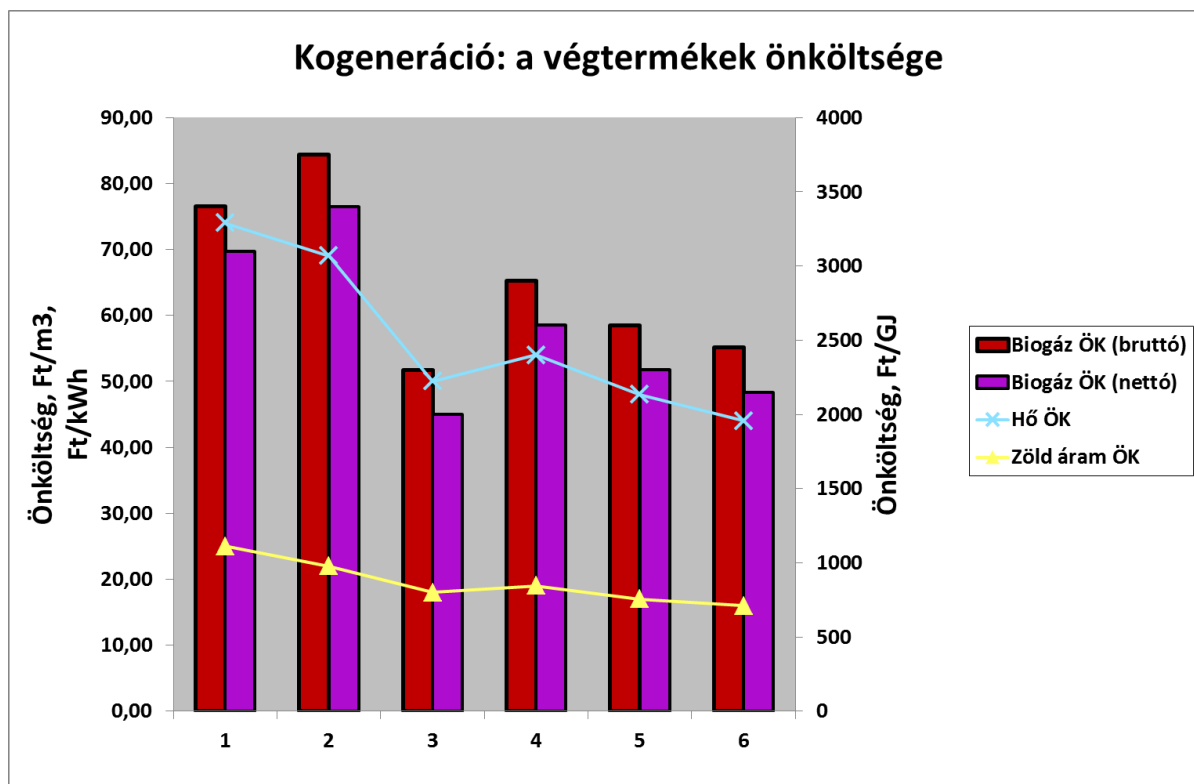


212. ábra: Hő-előállítás: a biogáz önköltsége [3]

A kapcsolt hő és villamosenergia termelés önköltségét a **213. ábra** mutatja, míg a gáztisztítás, biometán előállítás önköltsége a **214. ábra** látható.

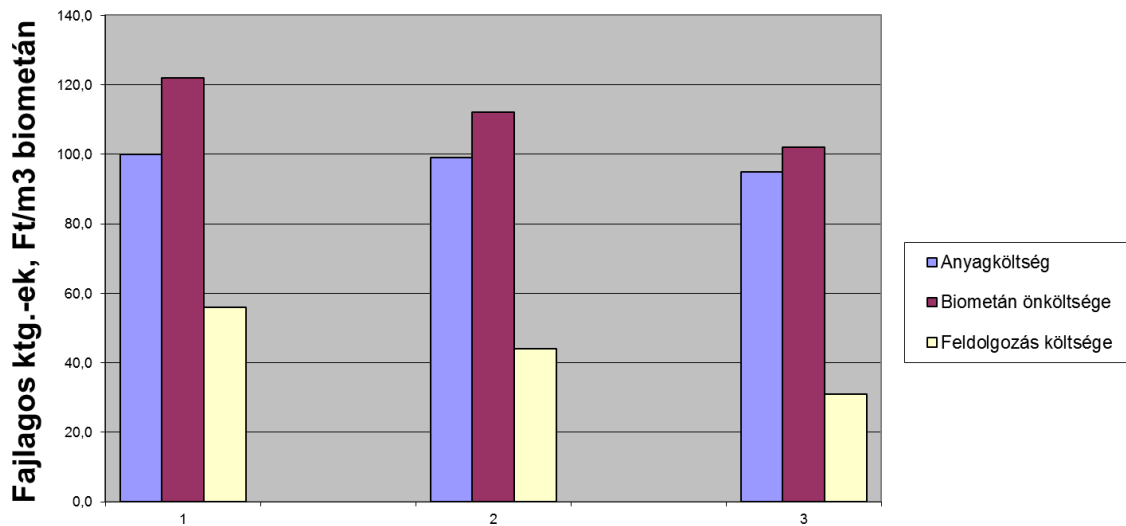
A biomasszából, biogázból történő hőtermelés kisüzemekben, távfűtés esetén, míg a kapcsolt hő és villamosenergia termelés közép- és nagyüzemek energiaellátására javasolható. A biometán nagyüzemek energiaellátására jöhet szóba.

A mezőgazdasági üzemek jövőbeni energia ellátására a legújabb kutatások szerint az ún. komplex energiaellátó rendszer tűnik a legmegfelelőbbnek. Kapcsolási sémája a **215. ábra** látható.

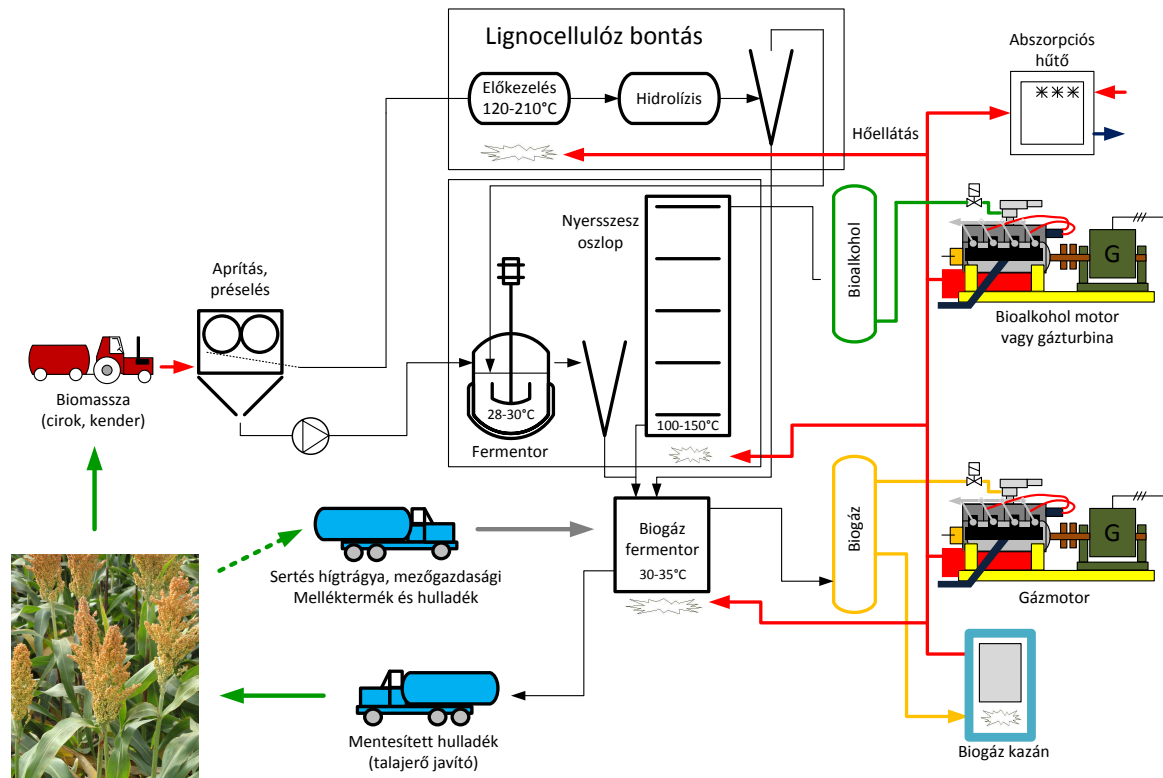


213. ábra: A kapcsolt energiatermelés önköltsége[3]

A tisztítás költsége



214. ábra: Biometán előállítás önköltsége[3]



215. ábra: Biogáz előállításra fejlesztett komplex energiaellátó rendszer

A magyarországi biogáz üzemek műszaki adatait és energiatermelését a **49. táblázat** mutatja.

49. táblázat: Magyarországi biogáz-tüzelésű erőművek (2007)

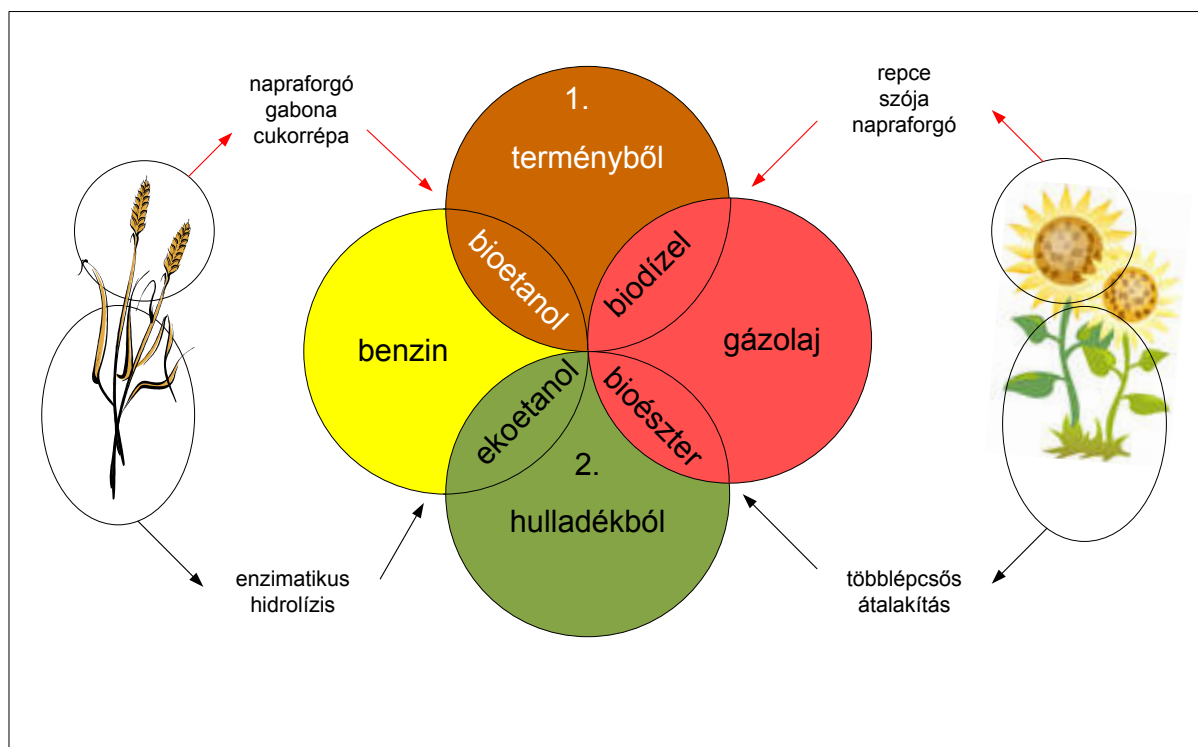
		Teljesítőképesség, MW			Villamos energia, GWh			Hő, TJ		Kihasználás	Felhasznált energia, TJ		Hatásfok
		bruttó	nettó	gép	termelt	kiadott	kapcsolt	kiadott	eladott	h/a	mért	összes	%
1	Debreceni Vízmű	1,16	1,05	3	3,68	3,68	3,68	13,2	3172	0,0	33,6	33,6	50,4
2	PCSM Szennyvíz	1,33	1,30	2	10,16	0,00	10,16	50,0	7639	0,0	103,0	103,0	84,1
3	Veszprémi Szennyv.	0,17	0,16	1	1,31	0,00	1,31	0,9	7706	0,0	16,1	16,1	34,9
4	Nyíregyháza Orsós	0,51	0,49	1	4,03	3,89	0,00	0,0	7902	0,0	41,0	41,0	35,4
5	BÁTORTRADE	2,60	2,50	4	13,70	12,19	12,19	31,0	5269	0,0	143,3	143,3	56,1
6	Kecskeméti Szennyv.	0,50	0,50	1	1,71	1,69	1,69	7,4	3420	0,0	19,0	19,0	71,3
7	Hódmezővásárhely	0,32	0,30	2	0,87	0,87	0,87		2719	0,0	9,0	9,0	34,8
8	Civis Biogáz-Debr.	0,51	0,48	1	3,44	3,33	3,33		6745	0,0	36,0	36,0	34,4
Biogázzal összesen		7,10	6,78	15	38,90	25,65	33,23	102,5	5479	0,0	401,0	401,0	60,5

Forrás: MAVIR Zrt. A 2008. március 31-ig beérkezett HMJ-k (Havi Műszaki Jelentések) alapján

22.1.7. Bio-üzemanyagok [10]

Az emlékezetes 1973. évi kőolajválság döbentette rá először a fejlett ipari országokat a fosszilis energiától és hajtóanyagoktól való függés komoly veszélyeire. Azóta a globális felmelegedés és a környezetszennyezés mérséklésére irányuló felerősödött törekvések is előtérbe helyezték a megújítható, biológiai eredetű, alternatív üzemanyagforrásokat. Mára a kísérleti szakasz lezárult, a gyártástechnológiák készen állnak a bioüzemanyagok zöld utat kaptak. A hatályos jogi szabályozás szerint bioüzemanyag a biomasszából előállított folyékony vagy gáz halmazállapotú üzemanyag.

Bioüzemanyagnak kell tekinteni a bioetanolt, a biodízelt, a biometanolt, a biogázt, a biodimetilétert, a bio-ETBE-t (etil-tercier-butiléter), a bio-MTBE-t (metil-tercier-butiléter), a szintetikus bioüzemanyagokat, a biohidrogént és a tiszta növényi olajat, továbbá a más jogszabályban bioüzemanyagként meghatározott üzemanyagot.



216. ábra: Bioüzemanyagok és eredetük (Dr. Anisits 2001)

Két nagy csoportjuk van: a biodízel és a bioalkohol. Előbbi nyersanyagforrásai a növényi olajok és alkalmazását inkább Európa szorgalmazza. Utóbbit szénhidrát tartalmú növényi termékekből lehet nyerni és az amerikai földrészen részesítik előnyben.

- **A biodízel**

A dizelmotorok növényi olajokkal történő üzemeltetésére irányuló, intenzív kísérletek a 70-es évek végétől indultak meg több európai országban és az USA-ban. Kiderült, hogy a növényi olajok még a nehéz hajómotorok üzemeltetésére és kenőolajként is beválnak.

A biodízel előállításához elvben bármely növényi olaj (napraforgó, repce, szója, stb.) alkalmas, a biodízel-iparág legvalószínűbb nyersanyagforrása azonban Európában a repce és a napraforgó, az USA-ban a szója és a napraforgó, Kanadában a repce és a fenyőpulp-gyanta (tall oil).

A növényi olajokat dízelmotorok működtetésére csak tisztított, gyantamentes állapotban lehet használni. A hagyományos finomítással kapott biodízel („zöld dízel”) mellett metanollal észtereszített változatát (repceolaj esetében: RME, szójaolajnál: SME) is előállítják. 250 kg repce vagy 500 kg szójamagból 100 kg olaj nyerhető és 100 kg tisztított növényi olajból 11 kg metanollal észtereszítve 100 kg biodízel és 11 kg glicerinhez lehet jutni. Emellett még fehérjedús extrahálási maradék is keletkezik. A „zöld dízel” olcsóbban állítható elő, mint az észtereszített, de ekkor glicerin nem keletkezik. A „zöld dízel” nagy cetánszáma miatt alkalmas hozzákeveréssel a dízelolaj cetánszámának emelésére és annak hatékonyságát javító nitrátalapú adalék helyettesítésére. Németországban a biodízel-gyártáshoz ötféle nagyüzemi és egy kisüzemi eljárás áll rendelkezésre.

A biodízel üzemanyagnak és a bio-kenőolajnak számos előnye van a dízelolajjal és a kőolaj-alapú kenőanyagokkal szemben. A biodízel kipufogógáz összetétele kedvezőbb, mint a dízelolaj-emisszióé: kevesebb szénmonoxidot, 80%-kal kevesebb széndioxidot, kevesebb szénhidrogént és kormot tartalmaz, kéndioxidot (a savas eső egyik forrása!) gyakorlatilag nem, csupán nitrogénoxid-tartalma nagyobb. Utóbbi összetevőt azonban – a többivel együtt – lényegesen csökkenteni lehet késleltetett befecskendezéssel és oxidáló katalizátorral (dízelolajjal működő motorokhoz nem lehet katalizátort használni, mert a dízelolaj kéntartalma a katalizátort „mérgezi”). A biodízel nemcsak kevésbé környezetszennyező hatóanyag, hanem – a bio-kenőolajjal együtt – biológiailag lebontható, tehát fáradtolaj-problémát nem okoz, ezért Németországban még a vízvédelmi területeken is alkalmazhatók.

A RME (Raps-metilészter) energiamérlege pozitív: 1,9/1, ill. a melléktermékeket (olajpogácsa, glicerin) is figyelembe véve 2,65/1. Hasonló a szója-biodízel energiamérlege is: 2,5/1; de javított technológiával gyártva és észtereszítve 4,1/1-re is természetesen technikával és a repcekóróból köenergia nyerésével.

A biodízelnél előnyei mellett bizonyos – elviselhető – hátrányai is vannak: megtámadja a gumitömlőket, ezért a vele érintkezésbe kerülő vezetékeket polietilénre vagy fémmre kell kicserélni. Ha nem elég tiszta a biodízel, az üzemanyagszűrők eltömődését okozhatja. Egyes próbaüzemelésekben a biodízeles motorok hidegindításával voltak bajok, ezen azonban egyszerűen adalékanyagokkal segíteni lehet, másrészt RME használatakor – 16 °C-ig nincs ilyen gond. A biodízellel üzemelő motorok teljesítménye általában nem marad el a dízelolajos motorokétól, de tapasztaltak 5-10 %-os teljesítménycsökkenést is (ennyivel nagyobb a specifikus repceolaj fogyasztás is). Ezt a különbséget mindazonáltal turbófeltöltéssel és a töltőlevegő hűtésével ki lehet egyenlíteni. A teljesítmény csökkenéssel és a hidegindítással kapcsolatos problémák biodízel-dízelolaj keverék (10-30 % biodízel-résarány) alkalmazásakor szintén nem jelentkeznek.

Németországban jelenleg még viszonylag kevés biodízel-tankállomás működik, de több szövetségi államban tervezik újabbak építését. Bajorország is kiépíti várhatóan a biodízeltöltőállomások hálózatát. A biodízel iránt az autópálya is határozott érdeklődést mutat. A biodízel DIN-szabványa már elkészült és 5 olyan német motorfajta is van, amely növényi olajjal üzemeltethető. A korábbi VW típusok motorjainak átalakítása is megoldható REM-üzeműre.

Az USA-ban 1991-ben alakult meg a szójatermesztők biodízel-üzemanyag kifejlesztő testülete, amely a szójaalapú, észtereszített biodízel forgalombahozatalát tűzte ki célul, 20-30 %-ban dízelolajhoz adva. A keveréket 1500 járművel több millió mérföldön át tesztelték, pozitív eredménnyel.

• **Bioalkohol (bioetanol, biometanol)**

Keményítő- és cukortartalmú növényi termékekből (gabonafélék szemtermése, cukorrépa, burgonyagumó, stb.) régóta állítanak elő alkoholt, de ebből motorok hajtására nagyobb mennyiségeket csak a II. világháború előtt és alatt használtak. Ezután az olcsó motorbenzin hamar kiszorította a „motalkó”-t az üzemanyag-ellátásból és csak az olajválság éveit, majd a környezet ólomterhelésének csökkentésére irányuló rendszabályok terelték ismét a figyelmet a bioalkoholra, mint motorhajtó anyagra.

A bioetanol fő nyersanyagforrásai Európában a cukorrépa, a búza és a kukorica, Észak-Amerikában kukorica és a búza. Dél-Amerikában pedig a cukornád. Ezeknek összetétele, cukor- ill. keményítőtartalma mellett alkohol kihozatala is meghatározza a bioetanol gyártására való alkalmasságukat (**50. táblázat**)

50. táblázat: Különböző növények termésviszonyai és alkoholpotenciálja [2]

Növény	Termés*		Átalakítási hatékonyság %	Etanol kihozatal	
	átlag t/ha	össz. millió t		l/t	l/ha
Cukorrépa	38,0	143,0	35	95	4300
Búza	3,5	82	24	356	1200
Kukorica	4,5	49	32	387	2100
Burgonya	10,3	0,1	82	110	3050
Cukornád	57,0	187	32	67	5300

* Európára vonatkozó adatok, kivéve a cukornádat (Dél-Amerika)

Látható, hogy a burgonyakeményítő alakítható át legnagyobb hatékonysággal etanollá, azonban hektárra vetítve alkoholprodukciónban a burgonyát a cukornád ill. a cukorrépa is megelőzi.

A bioetanol előállítása többlépcsős folyamat, amelyben erősen energiaigényes lépések (cukoroldat ill. keményítő-szuszpenzió főzése, az élesztős erjesztéssel kapott híg alkohol töményítése 95 %-ig desztillálással) vannak. A 95 %-os alkoholt vegyszeres víztelenítéssel vagy membránszűréssel lehet 99,5 %-ig töményíteni; a teljes betöményítés energiaszükséglete 5363 kJ/liter. Ezért a bioetanol energiamérlege negatív (kb. ½), és a desztillálási maradék takarmánykénti hasznosítását beszámítva is negatív marad.

A bioetanol motorhajtásra benzinhez kevert 20 %-ig alkalmazható; az optimális arány 85:15. A tiszta bioetanol is alkalmas üzemanyagként, de ehhez a belsőégésű motorokat át kell alakítani és az üzemanyagtartályt is meg kell növelni, mert az etanol energiatartalma kisebb a benzinénél (1 liter etanol = 0,65 liter benzin), ezért ugyanakkora távolság megtételéhez több etanol kell, mint benzin. Az etanol üzemű járműveknél azt is meg kell oldani, hogy az alkohol festék-, gumi- és műanyag-alkatrészekkel ne kerüljön érintkezésbe. Az etanolos motoroknál hidegindítási gondok is jelentkezhetnek, kipufogó gázukkal pedig N-oxidok, CO₂ alkohol, aldehidek jutnak a levegőbe. Ugyanakkor CO- és SO₂ – emissziójuk kisebb, az alacsonyabb üzemi hőmérséklet miatt az alkoholos motorok élettartama hosszabb, a benzin oktánszámát pedig a hozzákevert etanol növeli.

De a bioetanol üzemanyag-adalékként más formában is hasznosítható: oktánszámjavító etilterciobutiléter (ETBE) gyártható belőle. Az ETBE-t 5-7 %-ban adják a benzínhez, de 10 % is hozzákeverhető és ekkor az ólomtetraetilt teljesen el is lehet hagyni.

A bioetanol nagyarányú termelésének elvileg korlátot szab az, hogy nyersanyagként fontos élelmiszernövények szolgálnak. Ha az USA-ban a benzínszükséglet 2 %-nál nagyobb hányadát kukorica-eredetű etanollal elégítenék ki, ez nem csupán a takarmány- és élelmiszercélú kukorica, hanem a kukorica-alapú ipar termékek és a hús árának emelkedését is eredményezné és az USA kukoricaexportját is hátrányosan érintené. Braziliában 5000 ha-os cukornádültetvény kell egy naponta 120000 l kapacitású bioetanol üzem nyersanyagellátáshoz. Ha Brazília autóközlekedését kizárólag bioalkohollal oldaná meg, mezőgazdaságilag művelhető területének egyötödén kellene cukornádat termesztene. Tíz évvel ezelőtti adatok szerint a hazai benzínigény 10 %-ának fedezéséhez 442 000 t bioetanolra volna szükség és ennek megtermeléséhez 108 000 ha-nyi területet kellene szénhidrát-szolgáltató növényvel bevetni. Természetesen ehhez a folyamathoz is szükséges fosszilis energia, van káros emissziója és költségek is vannak. Ezek mindegyikével számolni kell a megújuló biomassa felhasználásnál lehetőség szerint a teljes életciklusra. A **51. táblázat** példa jelleggel bemutatjuk a leginkább vitatott, benzínhelyettesítő bioetanol gyártás néhány jellemző adatát. (Forrás: National Geographic, 2007)

51. táblázat: Bioetanol gyártás néhány jellemző adata [2]

Jellemző	Benzin	Etanol fajta		
		Kukoricából	Cukornádból	Cellulózból
Fosszilis energia mérleg outputE/input fosszilis E	1,00	1,3	8,00	2,0-36,0
ÜHG gáz emisszió (CO ₂ egyenérték kg/liter)	2,43	1,93	1,07	0,277
Fogyasztói ár (USD/liter benzin energiataralom)	0,80	0,97	1,00	még nem forgalmazzák

Biometanol

Fahulladékból, szerves kommunális hulladékból légmentes térben hevítve (pirolízis) szénmonoxid és hidrogén nyerhető, aminek nyomás alatti hevítésekor katalizátor jelenlétében metanol keletkezik. Javított technológiával ezen az úton kb. 1 ha-on produkálható 12 t szárazanyagból 7500-7600 liter metanol termelhető. A metanol 5 %-ig adható a benzínhez; hozzákeverése hasonló előnyökkel és hátrányokkal jár, mint az etanolé, de nem hagyható figyelmen kívül, hogy a metanol mérgező és korrozívabb, mint az etanol és hogy energiataralma is kisebb, mint az etanolé (1 liter metanol = 0,46 liter benzin). A biometanol-termelés sem olcsó, de nyersanyagának (hulladék) megtermelése nem vesz el területet a haszonnövényektől.

Ezek a számok is eléggé jelzik, a bio-üzemanyagipar és az élelmiszeripar szembenállását a területért. Az EU parlagon hagyási programja keretében nagy területek szabadulnak fel, amelyeken ipari felhasználásra búza, cukorrépa, vagy másnövény termesztendő. A bioetanol cellulózból (pl.: szalma, fahulladék) is előállítható: ezek megtermeléséhez nincs szükség külön területre. Igaz a hatásfok ebben az esetben rosszabb (170-450 l etanol/szárazanyag) és a bonyolultabb technológia miatt a cellulózból nyert alkohol drágább is a cukorból vagy a keményítőtől előállítotttnál.

Hazánknak az EU 2009/28 irányelve szerint kb. 7,2 % megújuló energiahordozó termelést 2020-ig 13 %-ig kell vinni. Ezen belül jelentős szerep jut a bio-üzemanyagoknak. Az energia célú repcetermesztés semmilyen korlátozás alá nem esik, sőt azokon a területeken termelve

ahol az árunövekmény termelés tilos jelentős EU dotációval termelhető. A bio-üzemanyagok termelésének és felhasználásának agronómiai és környezetvédelmi előnyei vannak.

• **Bio-üzemanyagok termelésének, feldolgozásának és felhasználásának együttes környezetszennyezése [2]**

A növényi eredetű tüzelőanyagok előnye, hogy a növény növekedéséhez annyi CO₂-t használ fel (fotoszintézis), mint amennyi elégetésekor vagy rohadásakor keletkezik. A körfolyamat elméletileg zárt. Gyakorlatilag a termelést, gyártást és feldolgozást is figyelembe véve belső égésű motorban 3 kg RME felhasználása növeli annyival a környezet CO₂ terhelését, mint amennyi 1 kg gázolaj elégetésekor keletkezne. (De: a biomassza termelés és átalakítása energiát igényel.) A legújabb kísérletek szerint a repce termesztésekor – a búzához és a kukoricához viszonyítva – kifejezettebben kevesebb N₂O kerül a levegőbe, a repce hasznosítja legjobb hatásokkal az előbb említett növényekhez képest a műtrágyák nitrogéntartalmát [7].

52. táblázat: Két eltérő minőségű RME és gázolaj előállításakor és felhasználásakor keletkező környezetszennyezés [2]

	Előállítás			Felhasználás			Összesen		
	RME ¹	RME ²	Gáz- olaj	RME ¹	RME ²	Gáz- olaj	RME ¹	RME ²	Gáz- olaj
Részecske	58	5	186	754	754	1761	812	759	1947
CO	851	22	211	7675	7675	25884	8527	7698	26095
HC	3687	805	5701	4020	4020	5248	7707	4825	11949
NO _x	1191	136	482	14629	14629	14870	16120	15065	15353
N ₂ O	158	81	39	-	-	-	-	-	-
SO _x	652	103	3245	-	-	-	-	-	-
Aldehidek	547	0	32	1445	1445	1281	1992	1445	1313
NH ₃	1	0	18	-	-	-	-	-	-
Szerves anyagok	239	0	50	438	438	438	744	505	487

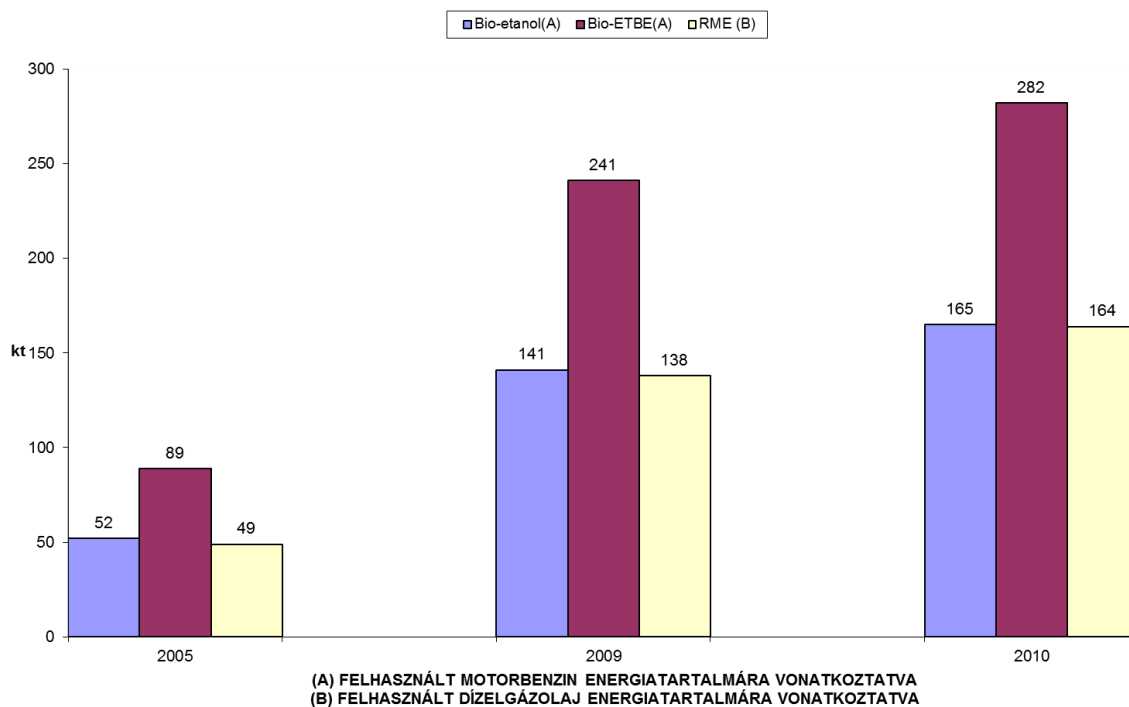
Megjegyzés a 52. táblázat:

- Az előállítás oszlop csak az átszterezéskor keletkező károsanyagokat tartalmazza.
- RME¹ szűzföldön termesztett repce
- RME² „energia” (nem élelmiszer) típusú repce
- Károsanyag kibocsátás: [mg/l]

Bio-motorhajtóanyag tervek Magyarországon a 2003/30 EU irányelv szerint:

- a bioüzemanyagok magyarországi felhasználását a 2233/2004 (IX.22.) Korm. határozat írja elő
- Magyarországon az a 2010-re vonatkozó előírás, hogy forgalmazott üzemanyagokban a bioüzemanyagok energiatartalomra vetített részaránya el kell, hogy érje a 2 %-ot
- a jövedéki adó visszatérítés 2010. december 31-ig érvényben marad.

A bioüzemanyag kapacitásokat és igényeket **217. ábra** mutatja



217. ábra: Bioüzemanyag igények és kapacitások a régióban [10] (Forrás: Dr. Hancsók J.)

22.2. Irodalom a fejezethez

- [1] Dr. Büki G.: Energetika. Műegyetemi Kiadó Budapest, 1997.
- [2] Dr. Tóth P.- Dr. Bulla M.: Energia és Környezet, UNIVERSITAS- Győr Nonprofit Kft, az eredeti kiadvány 1999. átdolgozott 2008. évi változata alapján
- [3] Dr. Bai Attila szerk.: A biomassza felhasználása, ISBN 963- 9422 -46- 0, Szaktudás Kiadó Ház Rt , Környezetvédelmi Alap Célfeladat támogatásával, Budapest, 2002
- [4] Dr. Bai Attila szerk.: A biogáz, ISBN 978- 963 -7024 -30 -6, Száz magyar falu könyvesháza Kht , Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával, Budapest, 2007.
- [5] Dr. Imre László szerk.: (2006): Magyarország megújuló energetikai potenciálja. Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottság, Megújuló Energia Albizottság Szakmai Csoportja, Tanulmány, Budapest 2006.
- [6] Dr. Büki Gergely (2006) A világ energiaellátása, Mérnökújság Kiadta: Magyar Mérnöki Kamara, LOGOD Bt., Budapest
- [7] Kovács András (1999) Alternatív üzemanyagok , Kiadta: Energia Központ, Budapest, 1999.
- [6] Dr. Büki G.:Biomassza, a megújuló hőforrás. Magyar Energetika, XVII. évfolyam, 2. szám, 2010. március-április.
- [7] Dr. Büki G.:Megújuló energiák hasznosításának helyzete, és jövőképe. Magyar Energetika, XVII. évfolyam, 1- 2. szám, 2010. január - február.
- [8] Sütő Vilmos – Homola Anett: Szennyvíziszap a biogáz üzemek számára és az energia ültetvények tápanyag utánpótlására. Energiagazdálkodás, 51. évfolyam,2010. 2. szám
- [9] Dr. Büki G.:Biomassza hasznosítás az épületek energiaellátásában. Energiagazdálkodás, 51. évfolyam,2010. 1. szám
- [10] Dr. Hancsók Jenő: Biohajtóanyagok szerepe a fenntartható fejlődésben. Vitafórum, Nemzeti Kutatási Technológiai Hivatal, 2005. október 25. Budapest
- [11] Dr.Dinya.(2010): Biomassza alapú energiatermelés éss fenntartható energiagazdálkodás ,Magyar Tudományos Akadémia Környezettudományi Elnöki Bizottság és az Energetika és Környezet Albizottság tanulmánya, Magyar Tudomány 2010/8. szám.
- [12] Dr. Reményi K.: Kopenhága után. Energiagazdálkodás, 51. évfolyam, 2010. 2. szám

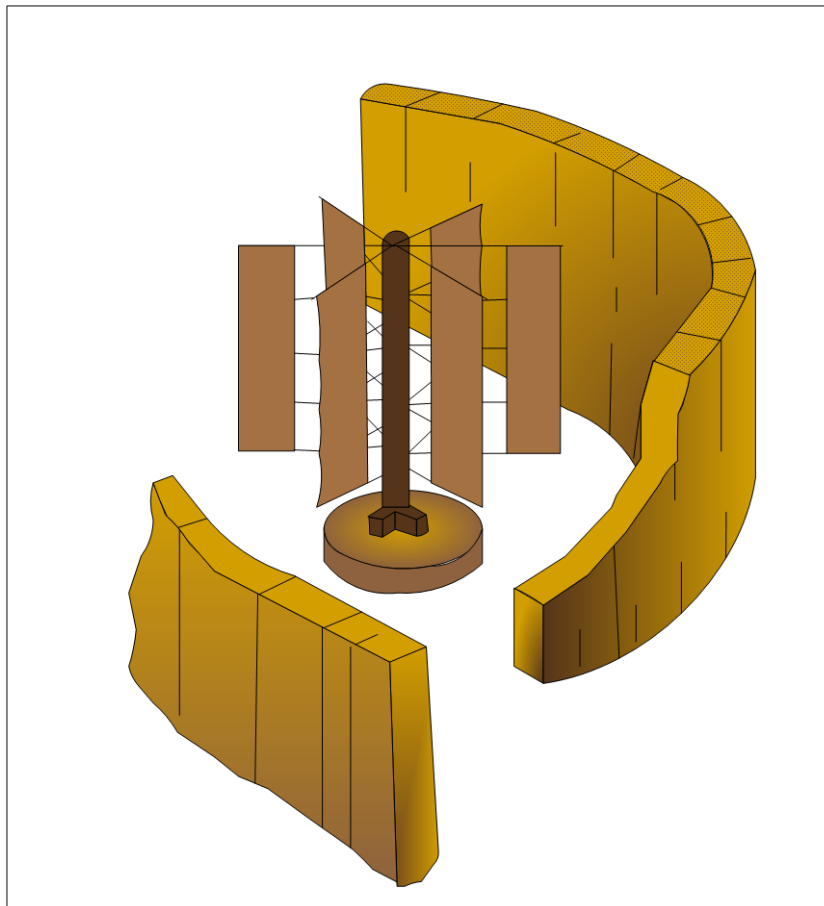
22.3. A szélenergia hasznosítása

22.3.1. A szélenergia hasznosításának történeti áttekintése[24]

A szélenergia eredendő forrása a Nap. A napsugárzás a felszín különböző területeit eltérő mértékben melegíti fel. A hőmérsékletkülönbség nyomáskülönbséghez vezet, amit a levegő áramlása igyekszik kiegyenlíteni. Szélenergiát a levegő mozgási energiájából nyerhetünk.

Ókor

A szél régóta fontos szerepet tölt be az emberiség történetében. Először ötezer évvel ezelőtt az egyiptomiak hasznosították tudatosan, amikor vitorlás hajóikkal a Níluson közlekedtek. Az első szélmalomról szóló beszámoló Babilóniából származik. Az 500-as években kezdtek nagyobb számban elterjedni a gabona őrlésre és öntözésre is használt szélmalmok, először a mai Irán és Afganisztán területén. Ezekben a malmokban a lapátok függ leges tengely körül forogtak.



218. ábra: Perzsa szélmalom (Forrás: <http://www.chemonet.hu/hun/index.html>)

Középkor

Nyugat-Európában a 12. században jelentek meg a gabonaőrlő szélmalmok, melyek lapátjai már vízszintes tengely körül forogtak.



219. ábra: Gabonaőrő szélmalomok (Forrás: <http://www.chemonet.hu/hun/index.html>)

A szélenergia hasznosításának ötletét a Közel-Keleten járt kereskedők hozták magukkal Európába. A függőleges tengelyről a vízszintesre való áttérést valószínűleg az indokolta, hogy rájöttek, így nagyobb hatásfokkal lehet kihasználni a szél energiáját.

Növelte a hatásfokot, amikor bevezették a lapátok szélirányba forgatását. Ezt kézzel végezték. Néhány évszázaddal később a szélmalomokat alkalmassá tették vízzivattyúzásra is. Az iparosodás koráig a szélmalomok más feladatokat is elláttak, mint pl. a fűrészelés, öntözés, fűszer-, kakaó-, dohány-feldolgozás. A gőzgépek elterjedésével azonban fokozatosan elvesztették e szerepüket.

Magyarországon főleg a vásznazott léces vitorlákat alkalmazták. A négylapátos szélmalomok a XVII. századtól jelentek meg hazánkban.

Újkor

A kisméretű, vízszintes tengely , többlapátos szélérőműveket a 19. század második felében alkalmazták először vízzivattyúzásra az Egyesült Államok nyugati vidékein.



220. ábra: Vízet szivattyúzós szélérőmű (Forrás: <http://www.akg.hu/~csapogi/essze.htm>)

A szélérőművekre felszereltek egy hátsó, függőleges lapátot, amely a lapátok szélirányba való beállításáról gondoskodott. Kezdetben a szélkerekek lapátjai fából készültek. 1870-ben nagy áttörést jelentett, hogy a fa lapátokat vékony acéllemezekre cserélték. Az acéllemezek könnyebbek voltak, nagyobb sebességet és hatékonyságot értek el velük. 1889-ben 77 szélérőmű gyártó cég működött az USA-ban, amelyek exportra is termeltek. Az 1930-as

években az amerikai farmokon szélerőművekkel állították elő a villamos áramot is. Az ötvenes években azonban, amikor az elektromos hálózatot már majdnem mindenhol kiépítették, háttérbe szorult a használatuk.

Magyarországon a XIX. század második felében megjelentek a gőzmalmok. Ezek olcsóbban, nagyobb kapacitással dolgoztak, mint a szélmalomok. A szélmalomok legtöbbször ekkor pusztultak el. Németországban az 1895-ben még üzemelő 18 200 szélmalomból 1913-ban már csak 13 405 létezett, ezek közül 11 366 dolgozott tisztán szélenergiával.

Északnyugat-Európában közel 20 000 nagy szélmalom működését szüntették meg. Ez a folyamat zajlott le Magyarországon is.

Villamosenergia-termelés szélenergiából

Az első nagyméretű, villamos energiát előállító szél turbinát 1888-ban építette meg az ohioi Charles F. Brush. A 144 lapátos Brush turbina fából készült, átmérője 17 méter volt és húsz éven keresztül üzemelt.

Az 1920-as években alkotta meg a francia G. J. M. Darrieus a függőleges tengelyű szélrotor modern változatát. A jellegzetes, habverő alakú szerkezet két vagy három vékony, repülőgépszárny-profilú, lapátból állt.



221. ábra: Darrieus szélerőmű (Forrás: <http://www.akg.hu/~csapogi/essze.htm>)

Az 1973-as olajválság idején az Egyesült Államokban is próbálkoztak a Darrieus-féle szél turbinával. Néhány prototípust építettek, azonban az üzemeltetés során nehézségek támadtak. A függőleges tengelyű szél turbina nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, ezért kereskedelmi forgalomban nem is terjedt el.

Egészen 1931-ig nem építettek 30 kW-nál nagyobb teljesítményű szélerőművet, 1931 májusában a Kaszpi-tenger partján üzemelték be az első 100 kilowatt teljesítményű szélerőművet, amely 10 évig működött. Ezt követően, 1935 és 1970 között számtalan nagy teljesítményű szélerőmű épült szerte a világon. 1963-ban helyeztek üzembe egy 1000 kW-os szél turbinát Franciaországban.

Dániában az első áramtermelésre készített szélerőművet 1957-ben állították fel. Kereskedelmi forgalomban 1976-ban jelentek meg a szélerőművek. Főként magánszemélyek vettek részt az elterjesztésükben, akik saját felhasználásukra termelték a villamos áramot.

A modern szélerőművek megjelenése

A 20. század második felében, az olajár ingadozásának függvényében folytak a kutatások és fejlesztések a szélenergia-hasznosítás területén, főképp Dániában, Németországban, az Egyesült Államokban, Svédországban, Kanadában és az Egyesült Királyságban.



222. ábra: Szélörömú park (Forrás: <http://www.mszet.hu>)



223. ábra: Szélörömú park Klettwitz (Forrás: <http://www.mszet.hu>)

A 20. században megjelentek a dán háromlapátos szélturbinák. Az amerikaiak többször tettek negatív megjegyzéseket a dán szélöröművekre, mégis a nyolcvanas évek közepén, az állami

támogatás eredményeképpen felfutó kaliforniai szélérőmű farm telepítések során a gépek fele már Dániából származott. Ennek oka, hogy a dán szélérőművek megbízhatóan, alacsony fenntartási költséggel működtek. Dánia kiaknázza a szélenergia hasznosításban rejlő lehetőségeket, hiszen a kilencvenes években kedvező áram-átvételi árakkal segítették a szélérőmű telepítéseket. A 21. századba úgy léptek be, hogy az ország villamos energia igényének 13 százalékát szélenergiából fedezték. Jelenleg a dán szélenergia kapacitás 80%-a magán tulajdonban van és a világon üzemelő szélturbinák közel fele Dániában készül. Napjainkban egyre nagyobb teljesítmény szélérőműveket gyártanak és telepítenek. Az egyre nagyobb méretű turbinák gyártását az anyagtudomány rendkívül gyors fejlődése teszi lehetővé. A nagy előrelépést a repülőgépekben is használt üvegszál-kompozit anyagok alkalmazása jelentette. A fejlesztéseknek köszönhetően a szélérőművek teljesítménye és hatásfoka egyre nő.

22.3.2. A szélenergia hasznosítás helyzete a világban, Európában és Magyarországon

A szélenergia hasznosítása a világban [30]

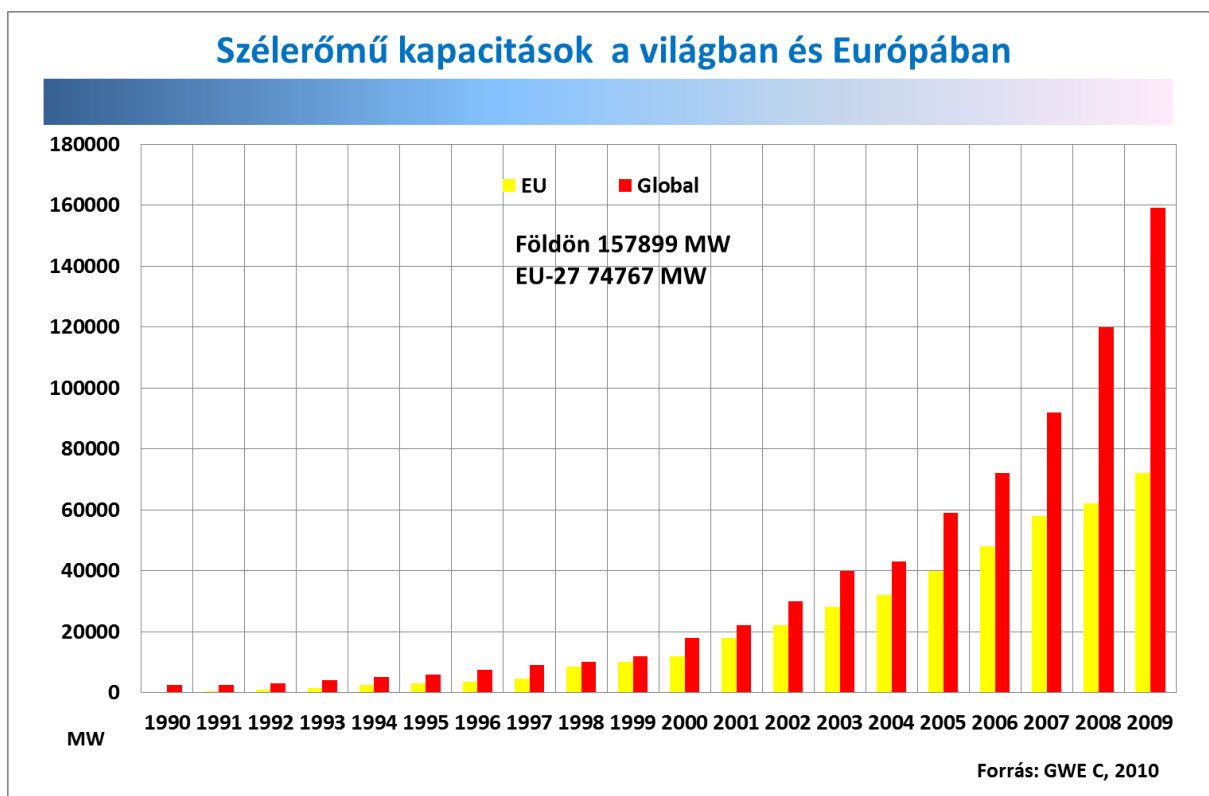
A szélenergia hasznosításának története azt mutatja, hogy elődeink sokáig nem is ismertek más olyan energiát, amit szolgálatukba állíthattak volna. Sok megvalósult és meg nem valósult találmány épült erre a kiszámíthatatlan, de mindig jelenlévő energiára. Később a szén, a kőolaj, a földgáz elégetéséből, majd a nukleáris energiából nyert elektromos áram kétség kívül sokkal kényelmesebbé tette az emberek életét. Olyannyira, hogy az emberiségnek egyre több és több energiára van szükség, mígnem megjelentek ennek gátjai. A fosszilis energiahordozók elfogyhatnak, az atomreaktor atombombává (is) válhat, hogy mindegyik fosszilis energiahordozó valamilyen módon szennyezi a környezetünket, elsősorban a légkört. Az energiatermelés fokozódása következtében a Föld légkörében folyamatosan nő az üvegház hatású gázok koncentrációja, ami végső soron a globális felmelegedéshez, ennek következményeképpen pedig az éghajlat megváltozásához, de legalábbis ingadozásához vezetethet.

A szélenergia hasznosítása a világban ma a reneszánszát éli, mert:

- versenyképes a fosszilis energiára elsősorban a szénre alapozott villamos energia-termeléssel.
- nincs üzemanyag szükséglete, a szélenergia ingyen rendelkezésre áll, és kimeríthetetlen.
- a szélenergiára alapozott villamos energiatermelés „tiszta technológia”. Nincs üvegházhatású gáz kibocsátás.
- a szélenergia hasznosítással elkerülhető a villamos energia árak fosszilis energiaárakat követő áringadozása.
- a szélenergia hasznosítás a legújabb kutatási eredmények szerint kontinentális feltételek mellett is gazdaságos lehet.
- a szélérőművek gyorsan kivitelezhetőek.
- a szélérőművek működése nem akadályozza, hogy a felállítás helyén továbbra is mezőgazdasági tevékenységet folytassanak.
- a legújabb kutatási eredmények szerint a szélérőműveknek nincs a környezetre káros hatása.
- a teljes életciklus analízis alapján az „offshore” szélérőműveknél a szélérőmű teljes életciklusában felhasznált villamos energia a szélérőmű kilenc havi villamos energia

termelésével, míg „onshore” szélerőműveknél 8 havi villamos energia termeléssel fedezhető.

A világméretű gazdasági válság ellenére a szélenergia hasznosítása, a szélenergia iparág további dinamikus növekedése 2009-ben úgy Európában mint a világban tovább folytatódott. A Globális Szélenergia Tanács (GWEC) statisztikái szerint 2008 év végén összesen 120,8 GW teljesítményű szélerőmű volt üzemben, amely 28,8 %-os növekedést jelentett az előző évhez képest. 2009 évben a világban 37,466 GW szélerőmű teljesítményt helyeztek üzembe. Ez 2008 évhez viszonyítva 31,07%-os növekedést jelent. A közzétett adatokból kiderül, hogy a szélerőművek telepítése a világ egész területén rendkívül népszerű, és a jövőt tekintve is töretlen fejlődés várható ezen a területen. A 2009. évben az összes szélerőmű kapacitás terén az USA megelőzte Németországot, míg Kína megduplázta a kapacitását és ezzel a világ sorrendjében a negyedik helyre került. 2009. év végére a világban 157,89 GW szélerőmű teljesítmény volt üzemben. Ez a növekedési ütem azt jelenti, hogy a világban négy évenként megduplázódik a beruházott szélerőmű teljesítmény. A szélenergia ipar ilyen mérvű fejlődése jelentősen hozzájárulhat az egyes országok gazdaságához, a foglalkoztatottak számának növeléséhez, az ellátásbiztonság javításához, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséhez. 2009 végére a világ szélenergia iparában foglalkoztatottak száma meghaladta a 400 ezer főt és ez a szám várhatóan növekedni fog. A szélenergia hasznosítással foglalkozó tanulmányok megerősítik azt a tényt, hogy a világ szélenergia tartalékai rendkívüliek. A világban hasznosítható éves szélenergiát 53000 TWh-ra becsülik. Ez kétszeresen meghaladja a világ 2020-ra prognosztizált 25578 TWh villamos energia igényét. (World Energy Outlook der HEA 2020)



224. ábra: Szélerőmű kapacitások a világban és Európában

2008-ban 10,16 GW szélerőmű kapacitás létesült az öreg kontinensen. Ez 15,9%-os növekedést jelent. Európában 2009 végére 76,1GW szélerőmű teljesítmény volt üzemben.

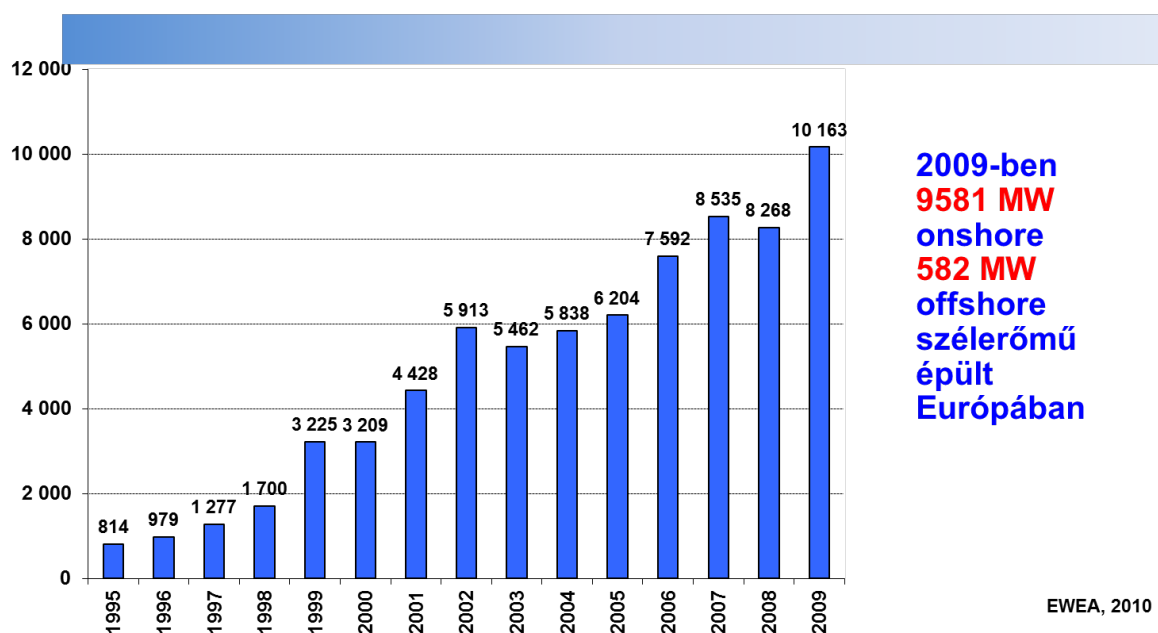
Átlagos szélviszonyok között ez 166 TWh villamos energia - termelést jelent. A szélerőművek ma Európa villamos energia igényének 4,2%-át képesek fedezni. Az így termelt energiával 125 millió tonna széndioxid kibocsátása kerülhető el, amely mintegy 50 millió autó üvegházhatású gáz kibocsátásának felel meg.

A szélenergia hasznosítása Európában [30]

2008-ban 10,16 GW szélerőmű kapacitás létesült az öreg kontinensen. Ez 15,9%-os növekedést jelent. Európában 2009 végére 76,1GW szélerőmű teljesítmény volt üzemben.

Átlagos szélviszonyok között ez 166 TWh villamos energia - termelést jelent. A szélerőművek ma Európa villamos energia igényének 4,2%-át képesek fedezni. Az így termelt energiával 125 millió tonna széndioxid kibocsátása kerülhető el, amely mintegy 50 millió autó üvegházhatású gáz kibocsátásának felel meg. 2008-ban Európában az újonnan épült villamos energia- termelő kapacitások 43%-át adták a szélerőművek, először megelőzve a földgáz illetve olaj tüzelőanyagú erőművek beruházott teljesítményét. 2009-ben ez a trend folytatódott, nevezetesen az újonnan épült villamosenergia-termelő kapacitások 25,9GW 39,14%-át adták a szélerőművek és csak 25,5%-át a földgáz tüzelőanyagú erőművek. Az európai erőmű beruházásokban 1995-től folyamatosan nő a szélerőmű teljesítmények részaránya. 2030-ra várhatóan 300GW szélerőmű teljesítmény lesz üzemben Európában. Ez azt jelentheti, hogy Európában a villamos energia-termelés mintegy 30%-át a szélerőművek adhatják.

Évente telepített szélerőmű kapacitások Európában

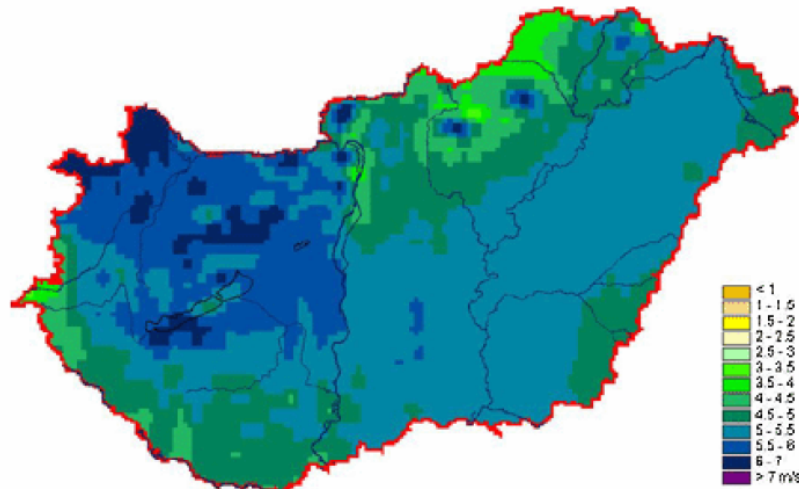


225. ábra: Évente telepített szélerőmű kapacitások Európában

A szélenergia hasznosítás helyzete Magyarországon [2] [24] [27] [28] [29] [30]

Magyarország medence-fekvése, a Kárpátok és az Alpok szélárnyékoló, áramlásmódosító hatása miatt a mérsékelt szélterületek közé tartozik. A 10 méteren mért átlagos szélesség 2,5-4,5 m/s között változik. A szeles órák száma hazánkban átlagosan 1500-2200 óra. A legszelesebb az ország északnyugati térsége, ahol 75 méteren jellemzően 5 m/s

feletti, míg a legkevésbé szeles az Északi-középhegységben, ahol helyenként 3 m/s alatti az éves átlagos szélesség.



Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat

226. ábra: Magyarország széltérképe h=75 méteres magasságban [12] [32] (Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat)

Hazánkban a szélenergia hasznosításában vezető szerepet betöltő országokhoz képest nagy késéssel indult meg a szélenergia hasznosítása. Az első szélerőművet Inotán (Várpalotán) adták át 2000-ben, az első villamos hálózatra (közüzemi mérlegkör) kapcsolt szélerőmű pedig 2001-től működik Kulcson. Az első szélerőművek villamoshálózatra csatlakoztatása 20 kV-on történt. A szélerőművek az ún. „Közüzemi Mérlegkör”-höz csatlakoztak. A MAVIR Zrt-nek mint rendszerirányítónak nem volt semmilyen szabályozási lehetősége. A magyarországi villamos energia rendszer irányítását végző MAVIR Zrt. rendszerirányítási problémákra hivatkozva szigorította a szélerőművek villamos hálózatra csatlakoztathatóságát. A 246/2005 (XI.10.) Kormányrendelet négy lépcsőssé tette a szélerőművek engedélyezési eljárását, előírta a Magyar Energia Hivatalnál a kis erőműi összevont engedély megszerzését. Előírták, hogy 2010-ig csak 330 MW szélerőmű teljesítmény létesíthető.

2006. március 16-ig 1138 MW szélerőmű létesítésére érkezett a Magyar Energia Hivatalhoz igénybejelentés. A Magyar Energia Hivatal 2006. április 4-én közzétett indikatív listája szerint 330 MW szélerőmű teljesítmény létesítésére adtak engedélyt.

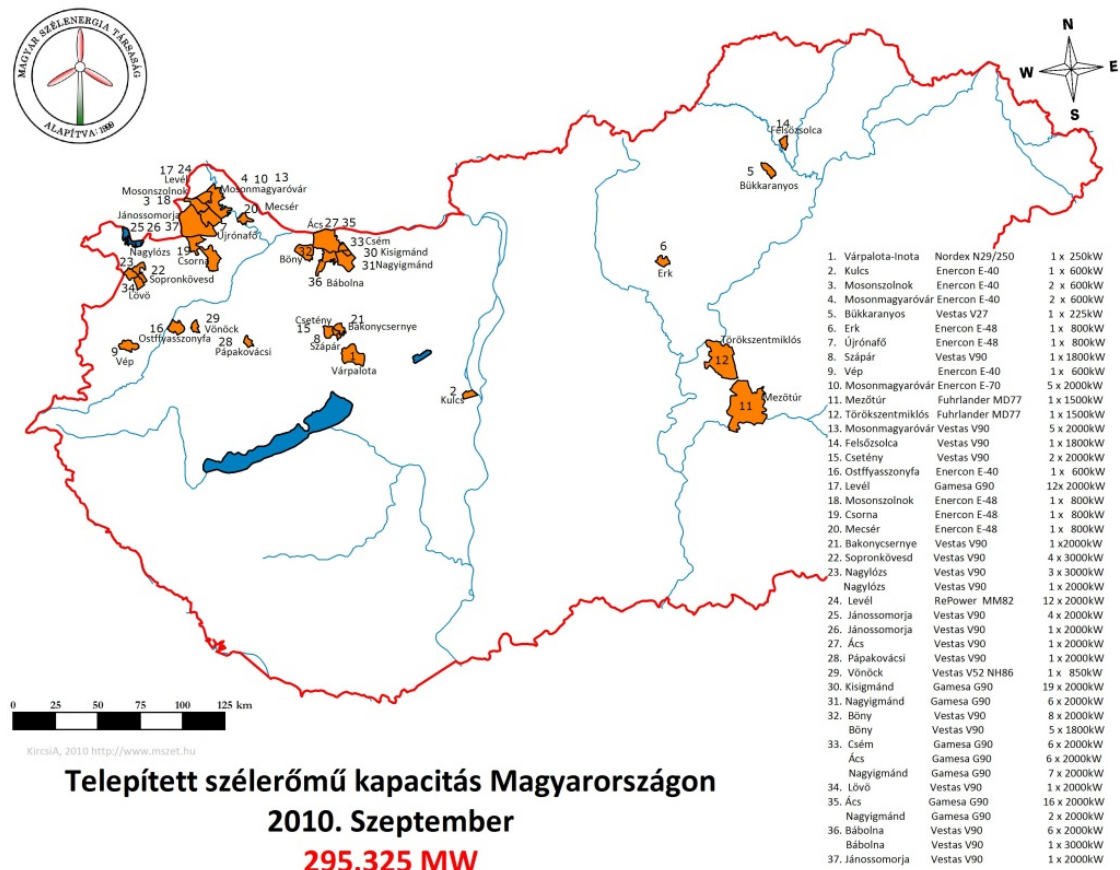
A Magyar Energia Hivatal (MEH) által felállított feltételrendszernek megfelelően a szélerőmű parkok az összes tervezett teljesítményük 51 %-ra kaptak engedélyt a (Pl. Levéi Szélerőmű Park).

A jogszabályi környezet azóta is rendkívül sokat és drasztikusan változott.

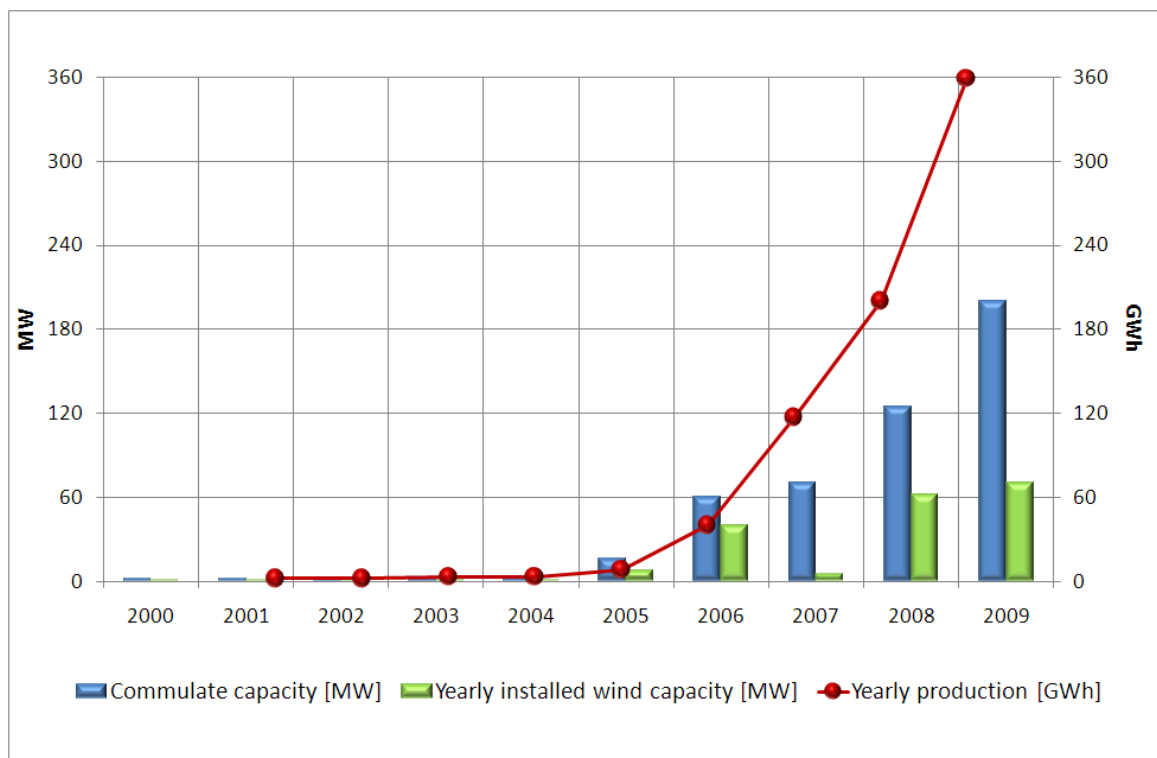
A villamos energia piac teljes liberalizálása 2008. január 1.-től az ezzel kapcsolatos KÁT (Kötelező átvétel) mérlegkör létrehozása (389/2007 (XII.23. Korm. rendelet, 209/2007 (XII.23. Korm. rendelet, 109/2007 (XII.23.) GKM rendelet) (2008. január 1.-től).

Az új jogszabályok szerint a szélerőművek (a rendelet megjelenése előtt létesítettek is vonatkozik) büntetést fizetnek, ha az energiatermelés előrejelzésük (menetrend) tényleges energiatermeléstől napi átlagban ± 50 %-nál nagyobb mértékben eltér.

Szabad piacra került több olyan 2005. évi VET módosítás után létesült szélerőmű projekt, mint pl. Vépi szélenergia szövetkezet ENERCON E 40 típusú 600kW teljesítményű szélerőműve, amelyek jelentős európai uniós támogatást kaptak a beruházáshoz. 2008. január 1.-től csak pályázat útján lehet létesíteni szélerőművek Magyarországon.



227. ábra: Telepített szélenergia kapacitás Magyarországon (Forrás: MSZET)



228. ábra: Kumulált telepített szélenergia kapacitás [MW], évente beruházott szélenergia kapacitása [MW], évente szélenergia által termelt villamos energia mennyisége GWh-ban Magyarországon 2009. december 31-ig

Mindezen nehézségek ellenére 2009. (december 31.) végén Magyarországon 31 helyszínen 108 db szél erőmű volt üzemben 201,325 MW összteljesítménnyel. A 2009-ben a szél erőművekkel termelt villamos energia 300 GWh volt. Ez a 2008. évi 204 GWh villamos energia termeléshez képest 47 %-os növekményt. Ezzel a megújuló energiából történő villamos energiatermelés rangsorában a biomassza erőművek után (1569 GWh) 71,1 % szél erőművek következnek (300 GWh 13,6 %). Hazánkban 2008-ban és 2009-ben főként 2 MW névleges teljesítményű szél erőműveket telepítettek. A jellemző tengelymagasság meghaladja a 100 métert. Jelenleg is folyamatban van több nagyobb szél erőmű park beruházása főként Komárom-Esztergom megyében. A Magyar Szélenergia Társaság nyilvántartása szerint 2010. augusztus végén hazánkban 34 helyszínen összesen 149 db szél erőmű működik, amelynek összteljesítménye 276,325 MW. 2010. végére 2011 elejére várhatóan 330 MW szél erőmű teljesítmény lesz üzemben Magyarországon.

Mit hoz a jövő?

A Közlekedési Hírközlési Energiaügyi Minisztérium (KHEM) 2009. 06. 30-án kiadta a „szél erőmű kapacitás létesítésére irányuló pályázati kiírás feltételeiről, a pályázat minimális tartalmi követelményeiről, valamint a pályázati eljárás szabályairól” sz. 33/2009. (VI.30.) KHEM rendeletet.

Ennek alapján a Magyar Energia Hivatal **2009. 08. 28-án** kiadta a „**MEH Pályázati kiírást szél erőművek kapacitás létesítési jogosultságára**” 410 MW összteljesítményre. A pályázat 2010 március 1-én zárult első szakasza alapján a meghirdetett 410 MW szél erőmű kapacításra 68 pályázó összesen 1117,75 MW szél erőmű teljesítmény megvalósítására adott be pályázatot. A kiírt 410 MW teljesítményből 280 MW az országban lévő 6 hálózati engedélyesből kettőnek (E.ON Észak-dunántúli Áramhálózati Zrt. és az ÉMÁSZ Hálózati Kft) a területére együttesen került meghirdetésre. A fennmaradó 130 MW az ország többi részére (E.ON Dél-dunántúli Áramhálózati Zrt., DÉMÁSZ Hálózati Elosztó Kft., ELMŰ Hálózati Kft. és az E.ON Tiszántúli Áramhálózati Zrt. együttes területére) vonatkozóan került meghirdetésre.

2006. eleje óta most először nyílt lehetőség arra, hogy pályázati úton újabb befektetők is beléphessenek a hazai szélenergia-piacra. Sajnos a pályázatot a Magyar Energia Hivatal 2010. július 15-én visszavonta. A szél erőmű-teljesítmény bővítése azonban sürgető, hiszen az Európai Unióban vállalt kötelezettségünk – vagyis, hogy 2020-ig hazánk teljes energiafogyasztásának 13 %-a megújuló energiaforrásból származik – számol a szél termelte többlettárral is. Az állam a szél erőmű-beruházások iránti érdekeltséget a kötelező áramátvétel és az ár előírásával segíti elő. 2010. április óta kWh-ként 29,28 Ft jár a termelőknek. (MEH) A MAVIR ZRt szakemberei szerint a villamosenergia-ellátó rendszer nagyobb mértékű bővíthetőségét a villamos rendszerirányítás rugalmatlansága akadályozza. (Magyar Energia Hivatal, 2006) A szél energiából történő villamos energia termelés menettrendtartásának alkalmazkodnia kell a villamos energia irányítás jelenlegi előírásaihoz. Mivel az ország nem rendelkezik szivattyús tározós erőművel és gyors szabályzásra alkalmas folyami vízerőművekkel (ld. Ausztria), ezért a szélből történő villamos energia termelés egyenletlenségeinek, hektikuságának ellensúlyozására szabályzásra alkalmas fosszilis tüzelőanyagú gázturbinás csúcserőműveket kell létesíteni. (Pl. Ajka, Gönyű csúcserőmű). A technológiai fejlődés ma már lehetővé teszi a hatékony, jól kezelhető, automatizált kis teljesítményű szél erőművek megvalósulását is, de támogatás nélkül ezek sem versenyképesek. Jó megoldást jelentene a tanyák villamosítására, illetve laza szerkezetű családi házas övezetek energiaellátására is.

22.3.3. Magyarország szélklímája, a szél mint meteorológiai elem jellemzői [16] (Forrás: Dr. Szalay Sándor et al :Magyar Tudomány 2010/8. szám)

A szél nagyon változékony meteorológiai elem. Ez érvényes irányára és nagyságára is. Magyarországon a szélesség éves átlaga 2–4 m/s között van (a felszíntől 10 m magasságban). Meg kell jegyezni, hogy a meteorológiai célú és az energetikai célú szélességmérés feltételei eltérőek. A meteorológiai szélességnek inkább nagyobb környezetre kell reprezentatívnak lennie, míg az energetikai célúnak inkább a lokálisan nagy szélességű helyekre. Ezért van az, hogy a meteorológiai szélmérésekre alapozva külön energiaszámítási módszert dolgoztak ki (a legelterjedtebbet, a WAsP- módszert). Magyarországon úgy választottak energetikai mérőhelyeket, hogy az elektromos hálózat leggyakoribb és legnagyobb kárt szenvedett helyein, villamos távvezetési oszlopokra szereltek fel mérőműszereket.

Másik probléma az, hogy hosszabb idejű szélmérés a felszínhez közelebb áll rendelkezésünkre a meteorológiai állomásokon (ott a javasolt szabvány-magasság 10 m), míg általában a szélesség a magassággal nő. Ennek pontos meghatározása is nehézséget okozhat. A sebesség magasságtól való függése miatt elvileg a minél nagyobb szélerőmű tengelymagasság adja a nagyobb hasznot. Azonban a szélerőmű torony költségei és a biztonsági problémák csökkentésének a költségei optimalizálják a szélerőmű torony magasságát. Az aktuális nemzetközi szélerőmű kutatási eredmények alapján a nagyobb teljesítményű turbinák és magasabb tartóoszlopok hódítottak teret. Magyarországra általánosságban a 100 m magasság ajánlható. Egy másik hazai szempont szerint, a szolgáltatott energia ingadozásait elkerülendő, célszerű vizsgálni egy kisebb tengelymagasságú, de stabilabb szélességű (az ún. inflexiós magasságban elhelyezett) turbina gazdaságosságát a magasabb, de nagyobb napi termelésingadozást mutató nagyobb teljesítményű szélerőművekkel szemben.

A potenciális szélerő a szélesség köbével arányos, ezért hosszabb időszak (például egy nap) szélesség átlagából nehéz becsülni. A rövid ideig tartó szélrohamok pedig a nagy tehetetlenségű turbinára nincsenek hatással. Ezért az energetikai számításokhoz a szélesség optimális időintervallumának a 10 percet szokták tekinteni.

A szélturbinák általában 2,5–3 m/s sebességnél indulnak be, de ha a szélesség meghalad egy kritikus értéket (22–25 m/s), akkor a szélerőmű automatikusan leáll, hogy ne károsodjon a generátor. Tehát az értékes szélességi tartomány a két érték között, de inkább a felső határhoz közel van. A szélerőből történő villamos energia termelés szempontjából a konstans, nem túl erős szél az ideális, főleg amelyik az irányát is alig változtatja.

[számítási módszerek \[1\] \[2\] \[8\] \[14\] \[15\] \[16\] \[17\]](#)

A meteorológiai állomások méréseiből a szélerő-meghatározása a dán Risø laboratórium által készített -az EU-ban elfogadott WAsP-moddal végezhető el (Wind Atlas Analysis and Application Programme). A modell szerint a regionális alapáramlást a környező domborzat, a felszín érdessége és a műtárgy körüli akadályok határozzák meg. Mivel a meteorológiai mérések már tartalmazzák e zavaró tényezőket, így azokból ezek hatásait kiszűrve kapjuk meg az alapáramlást. A szélerőmű tervezett helyén pedig éppen ellenkező módon, ugyanezeknek a tényezőknek az adott helyre vonatkozó értékei fogják az alapáramlást módosítani. A modell nem szélességet, hanem annak eloszlását számítja a szélerő irányai szerint, és egy-egy pontban irányonként adja meg a szélesség eloszlását. Ezek összege adja az egy ponthoz tartozó szélerő-potenciált (Radics, 2004).

NKTH-projekt keretében az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) megkísérelték a szelet a meteorológiai állomások adataiból statisztikai módszerrel interpolálni, ami azért nagy

vállalkozás, mert a lokális tényezők erősen módosítják mind a szélességet, mind a szélirányt. Ezért a térképek térbeli felbontása nem jobb, mint $0,5' \times 0,5'$, mert ez alatt már a lokális hatások miatt jelentős eltérések lehetnek.

Az OMSZ-nál azt is vizsgálták, hogy dinamikus modellszámításokból lehetne-e szélenergia-vizsgálatokat végezni. A válasz lényegében pozitív, itt azonban a felbontással még nagyobb problémák vannak. Az eredeti modellszámítás 8–10 km-es felbontású, amit különböző módszerekkel 2 km-re javítanak. Ez azonban a szél térbeli változékonyságát figyelembe véve meglehetősen durva közelítés, amire még ráakódnak a modell hibái.

Félreértésre adhat okot, hogy nagyobb időtávra számítva a sebesség eltérései kicsik. Azonban a számításoknál a harmadik hatvány miatt nem lehet nagy időátlagot használni, ami a különbségeket megnöveli. Ráadásul a hatványozás miatt irreálisan magas a szélcsend gyakorisága a szeleróművek működési magasságára történő becslésekben, ezáltal a Hellmann-módszer rendszerint alulbecsli az átlagos szélességet. A helyi, expedíciós jellegű mérések tehát a pontos vizsgálatokhoz elkerülhetetlenek (Dobi et al., 2006).

Ugyancsak a meteorológiai állomások szélméréseit használják a Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszékén a szélenergia irány szerinti eloszlásának, napi menetének vizsgálatára, mennyiségének az időjárási helyzetektől függő becslésére. A legnagyobb energiájú szélirányok a szélturbinák telepítésénél, a napi menetben megfigyelhető periódusok pedig a rendszerirányítás számára jelenthetnek információt (Tar, 2008a).

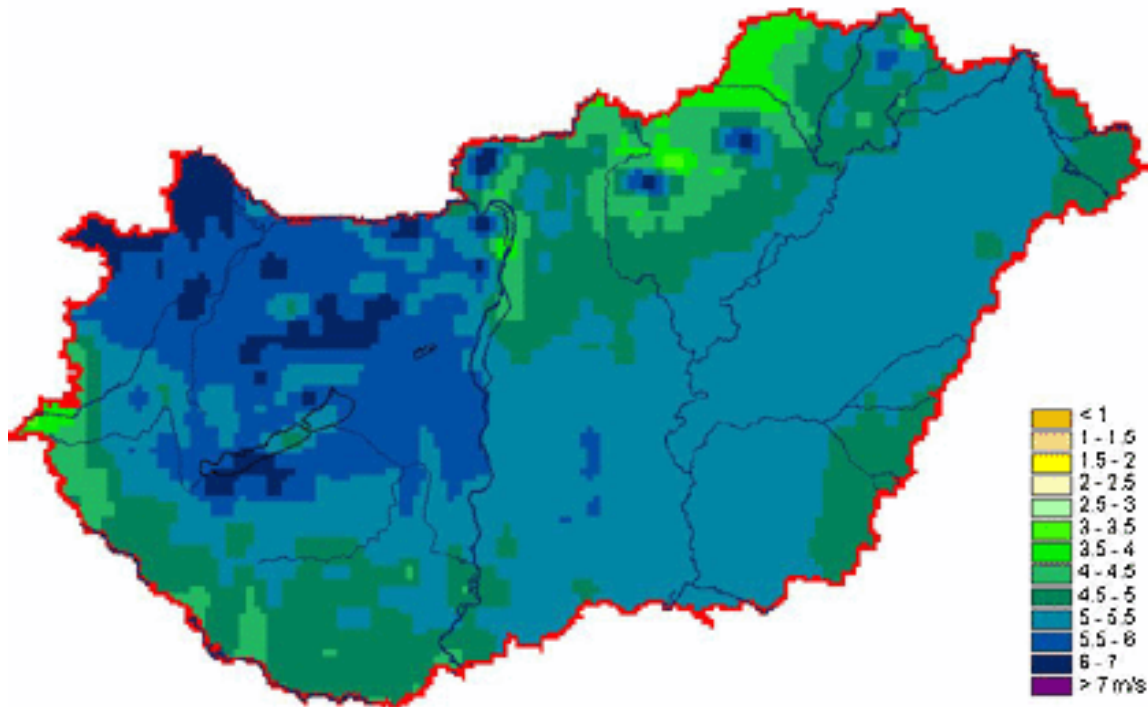
Magyarország szélklímájának pontosabb feltárásához mindenképpen szükség lenne további szélprofil vizsgálatokra (toronymérésekkel vagy a légköri hullámok visszaverődéséből a szélességre következtető műszeres mérésekkel). Magyarországon expedíciós céllal a hanghullámokkal működő, ún. SODAR-t alkalmazzák (Varga et al., 2006). Toronymérésekhez a legmagasabb ilyen építmény a paksi mérőtorony, ahol a közeli atomerőmű hatása sajnos az épület felőli szegmensben megfigyelhető. Ezek az adatok azonban alkalmasak arra, hogy az ún. inflexiós magasság (ahol a szélességnek, a potenciális szélenergiának nincs szignifikáns napi menete) meghatározását szolgáló módszert kidolgozzák, és azt a SODAR-mérésekre is alkalmazzák. A 2000–2001. évi paksi toronymérések alapján az inflexiós magasság 50–60 méter körül található. Más magas tornyoknál az adott torony hatását csak több szélesség mérő műszer üzemeltetésével lehetne megoldani, ami eddig még nem sikerült. Ezeknek a méréseknek a pontos elvégzése az országban több helyen alapvetően fontos lenne a hazai szélenergia-potenciál jobb meghatározása érdekében (Tar, 2009).

Magyarország széltérképe a 2002 és 2005. között lezajlott NKFP-3A/0038/2002. számú „Magyarország légköri eredetű megújuló energiaforrásainak vizsgálata, a meglévő potenciálok feltérképezése és felhasználásuk elősegítése meteorológiai mérésekkel és előrejelzésekkel” című projekt keretében elkészült.

A kutatás eredményeit „Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei” címmel az Országos Meteorológiai Szolgálat ISBN 963 7702954 számmal 2006 novemberében tette közzé.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat széltérképei a dinamikus modellek alapján 10, 25, 50, 75, 100, 125 és 150 méteres magasságokra készültek el.

Az országos léptékű széltérképek kisebb tájegységekre vonatkozó pontossága korlátozott, kisebb területekre vonatkozó széltérkép elkészítéséhez helyi mérésekre van szükség. Az OMSZ széltérképei a hasznosítható szélenergia potenciáljának becslésére azonban kiválóan alkalmasak. A szeleróművek, szelerómű parkok létesítéséhez a kiválasztott telepítési helyszínen az éves átlagos szélesség, szélprofil meghatározására alkalmas egy év időtartamú szélmerést kell végezni.



229. ábra: 75 méteres magasságra számított szélesség éves átlaga (m/s) az OMSZ adatai alapján (1997-2002) (www.met.hu)

22.3.4. Magyarország szélenergia potenciálja a technikai és gazdaságossági korlátok figyelembevételével [8] [24] (Eredeti forrás: Dr. Hunyár Mátyás et. al. MTA MEAB 2005)

A szél energiája

A szél energiája

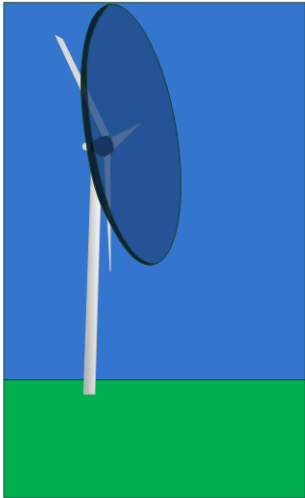
Kinetikus energia:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

Fajlagos szélteljesítmény:

$$P = \left(\frac{1}{2} \rho v^3 \right) \cdot v \cdot A = \frac{1}{2} \rho v^3 A$$

Mozgó test kinetikus energiája függ a tömegétől



© 1998 www.WINDPOWER.org

230. ábra: A szél energiája [8]

A valóban hasznosítható szélenergia potenciál számításakor többféle korlátozó tényezőt is figyelembe kell venni.

A korlátozó tényezők általában öt osztályba sorolhatók:

- jogi, intézményi, engedélyezési,
- környezetvédelmi előírások,
- gazdaságpolitikai,
- technikai és
- gazdaságossági.

A jogi, intézményi korlátozás elsősorban abban nyilvánulhat meg, hogy a helyi hatóságoknak kell az engedélyt kiadniuk az építmény felállításához.

A környezetvédelmi előírások a természet, az élővilág és az emberek védelmét hivatottak biztosítani.

A technikai korlátok részben biztonsági és védelmi követelményekben nyilvánulnak meg, részben pedig a szélerőművek működéséből adódnak.

A gazdaságossági mutatók elsősorban az átlagos szélességtől függenek, és a versenyképes fajlagos energiaárakkal jellemezhetők.

A fentiek alapján ezek szerint lehet definiálni „technikailag” rendelkezésre álló” kereskedelmileg elérhető” stb. szélenergia potenciálokat.

A nagyteljesítményű szélerőművek építése szempontjából nagy biztonsággal kizárható magyarországi területeket soroljuk fel:

- A magyarországi települések belterületei.
- A nagyobb tavaink vízfelületei és ezek közvetlen környezete.
- Nagyobb folyóink együttes magyarországi hossza: 1967 km. Ezeket egy 500 m átlagos szélességű tiltott sávval vesszük figyelembe.
- A védett területek (nemzeti parkok, tájvédelmi körzetek, természetvédelmi területek, helyi jelentőségű területek).
- A mezőgazdasági művelés alatt álló szántóföldek nem zárhatók ki, mivel a szélerőművek kis alapterületük miatt csupán a terület néhány %-át foglalják el.
Kizárhatók viszont a gyümölcsösök és a szőlős kertek.
- Erdők (lomblevelű, tűlevelű)
- A vasútvonalak építési hossza: 7897 km. A vonal menti 500 m széles tiltott sávval számoltunk.
- Az országos közúthálózat területei. A másodrendű főutak esetében 200m, a többi esetben 500 m széles tiltott sávval számoltunk.
- A nagyfeszültségű és középfeszültségű villamos vezetékek tiltott területeit 500m, illetve 200m széles sávval számoltuk.
- A 400m tengerszint feletti magasságú meredek lejtésű területek.

A szélerőművek telepítésére nem használható területek a **53. táblázat** láthatók.

53. táblázat: Szélerőművek telepítésére nem használható területek [8]

Megnevezés	Tiltott terület [km ²]
Települések belterülete	6 650
Vízfelületek	1 753
Védett területek	8 573
Kertek, szőlők, gyümölcsösök	2 880
Erdők	17 468
Vasútvonalak	3 949
Közutak	2 205
Nagy- és középész.-ű vill. távvezetékek	15 419
400m feletti erős lejtésű tereppek	1 860
Összesen	60 758 km ²
Az ország területének	65,3%

A fent említett tételek között vannak kisebb-nagyobb átfedések (pl. a védett területek és az erdők között). Ezeket nagyjából kiegyenlíthetik a figyelembe nem vett repülőterek és környezetük, a katonai területek, a telekommunikációs okok miatt tiltott területek és a magányos épületektől/épületcsoportoktól való minimális távolságok (hétszeres rotor átmérő vagy 300 m) betartása.

Az egyes szélebbességi osztályok hasznosítható területei az OMSZ 75 m magasságra vonatkozó széltérképe alapján (229. ábra) kerültek figyelembe vételre.

Az egyes szélebbességi osztályok hasznosítható területei a **54. táblázat** láthatók.

54. táblázat: Az egyes szélebbességi osztályok hasznosítható területei [8]

Szélebbesség osztály H=75m	Terület		Hasznosítható terület	
	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]
3-3,5	83	0,09	29	0,03
3,5-4	1953	2,1	678	0,73
4-4,5	6296	6,77	2185	2,35
4,5-5	21576	23,2	7487	8,05
5-5,5	45198	48,6	15684	16,86
5,5-6	14415	15,5	5002	5,38
6-6,5	3404	3,66	1181	1,27
6,5-7	279	0,3	97	0,01
Összesen	93000km ²	100%	32271km ²	34,70%

Itt alkalmazható az a viszonylag durva közelítés, hogy a tiltások (65,3%) egyenlő arányban érintik valamennyi szélebbesség osztály területét.

Gazdaságossági okokból kizárhatók a további vizsgálatokból azok a hasznosítható területek, amelyeken az éves átlagos szélesség nem éri el az 5m/s értéket (ez becsülhetően 10379 km²).

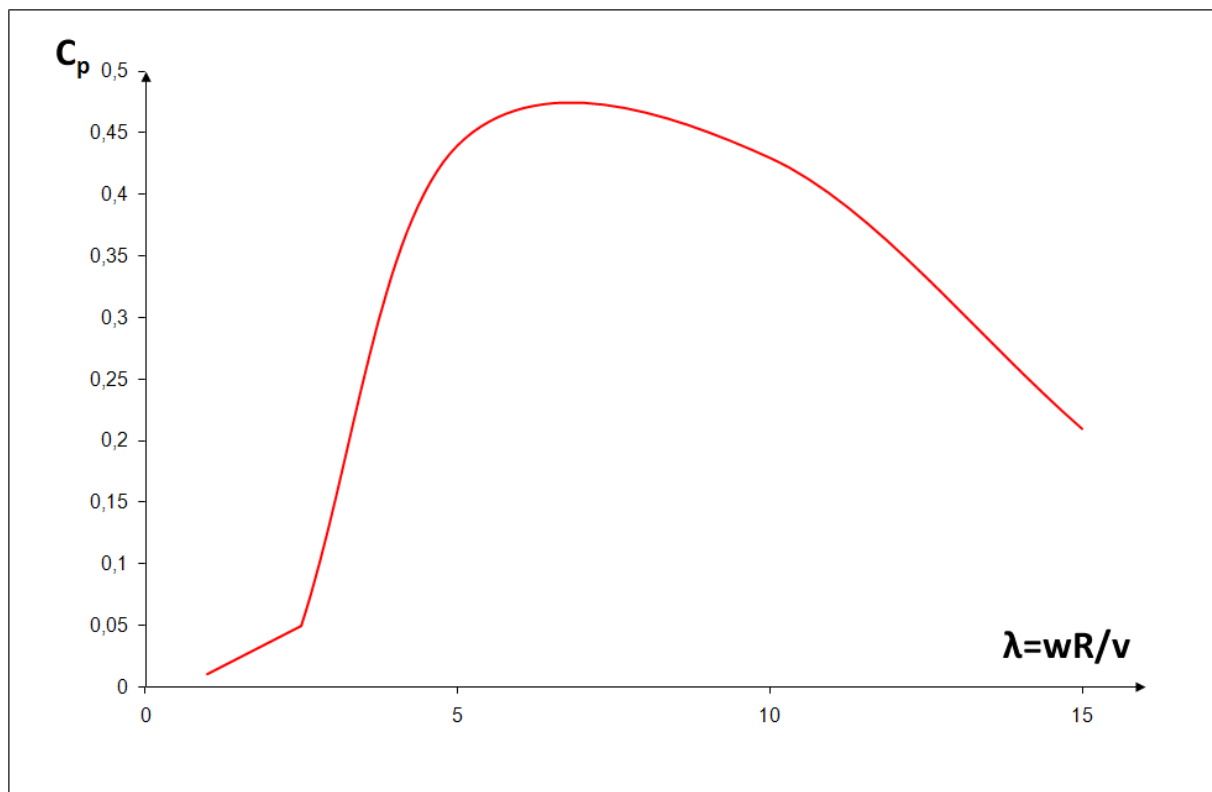
Technikai és gazdaságossági korlátok figyelembe vétele

A továbbiakban a technikai és gazdaságossági korlátok komplex figyelembevételével a H=75 m tengelymagasságú és D=75 m lapát átmérőjű szélerőművek telepítésével elérhető teljesítményeket, energiatermelése került meghatározásra.

A szélerőművek névleges teljesítményei a

$$P_{Tn} = C_p \frac{\rho}{2} A v_n^3 \quad (1)$$

összefüggés alapján számíthatók (ahol a C_p teljesítménytényező a **231. ábra** szerint a turbina szögsebességének és a szélesség arányától függ, maximális értéke: C_{pmax}≈0,45, ρ=1,23kg/m³, A=4418m²).



231. ábra: A C_p teljesítménytényező változása a λ gyorsjárási tényező függvényében állandó lapátszög esetén [8]

A hálózatba leadott teljesítmény számításakor figyelembe kell venni a megvalósított kapcsolástól függően az áttétel, a generátor, a frekvenciaváltó és a transzformátor veszteségeit egy eredő (η_e≈0,9) hatásfokkal:

$$P_{Hn} = \eta_e P_{Tn}. \quad (2)$$

A turbinák méreteinek növekedésével jelentős különbség adódik az alsó és a felső helyzetben levő lapátokkal érintkező szél sebességei között. Ezért célszerű megvizsgálni, hogy mennyire jó közelítés a tényleges eloszlás figyelembevétele helyett a tengelymagasságban mérhető

szélséssel számolni. A kétféle módon számított teljesítmény hányadosa (σ) a Hellmann állandó (α) függvényében. A mindössze -1% és $+2\%$ körüli eltérés feleslegessé teszi a bonyolultabb számítást

Szokásos esetben két aktív szabályozási tartomány van (4.3.15. ábra):

$$\begin{aligned} v_i \leq v \leq v_n \text{ esetén maximális energia kinyerésre, és} \\ v_n \leq v \leq v_{\max} \text{ esetén } P_T = P_{Tn} = \text{áll. -ra való szabályozás.} \end{aligned}$$

Vagyis a v_n névleges szélsésség felett a szélben meglévő teljesítménynek (energiának) csupán egy tört részét lehet kinyerni. Az éves átlagos leadott teljesítmény a

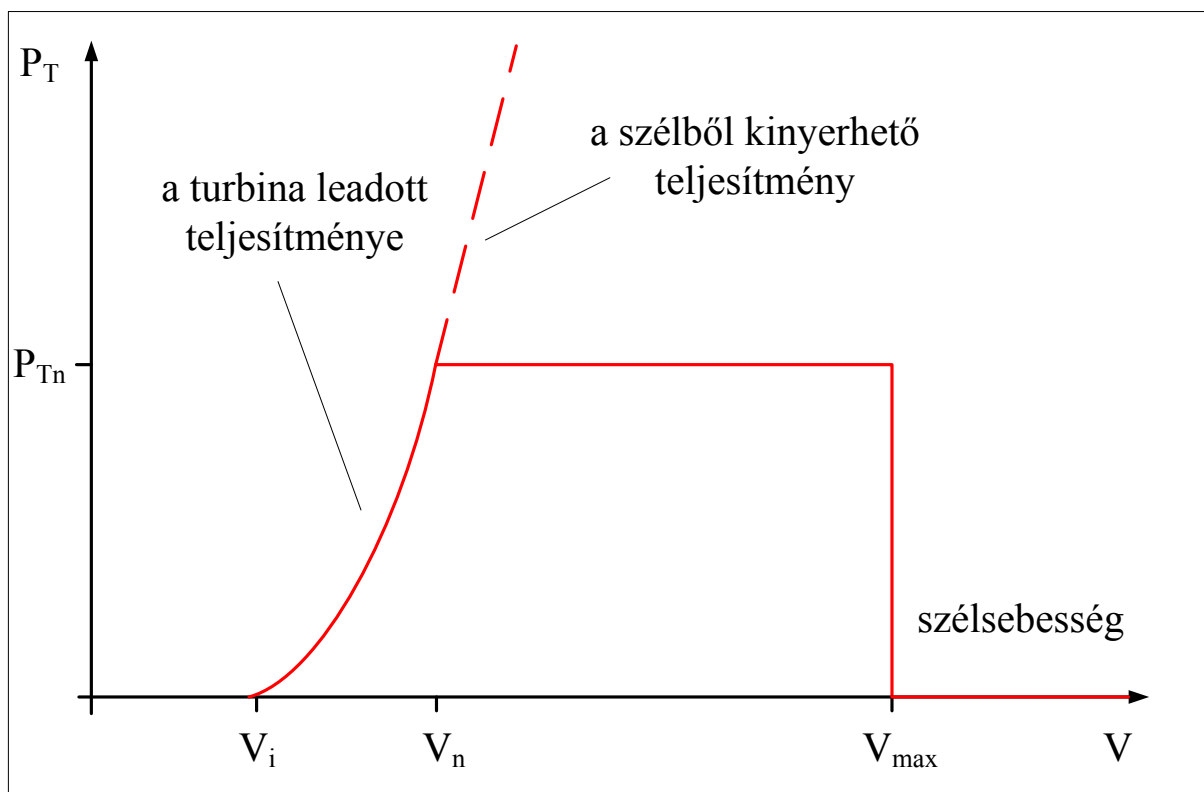
$$P_{T \text{ éves átl}} = \int_{v_i}^{v_{\max}} P_T(v) p(v) dv \quad (3)$$

képlet alapján számítható. Az integrálás a **232. ábra** szerint kis közelítéssel analitikusan is elvégezhető:

$$P_{T \text{ éves átl}} = K_p P_{T,n}, \quad \text{és} \quad P_{H \text{ éves átl}} = K_p P_{H,n}, \quad (4)$$

ahol az éves időbeni kihasználást reprezentáló „kapacitás” tényező:

$$K_p = \frac{e^{-\left(\frac{v_i}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{v_n}{c}\right)^k}}{\left(\frac{v_n}{c}\right)^k - \left(\frac{v_i}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{v_{\max}}{c}\right)^k}. \quad (5)$$

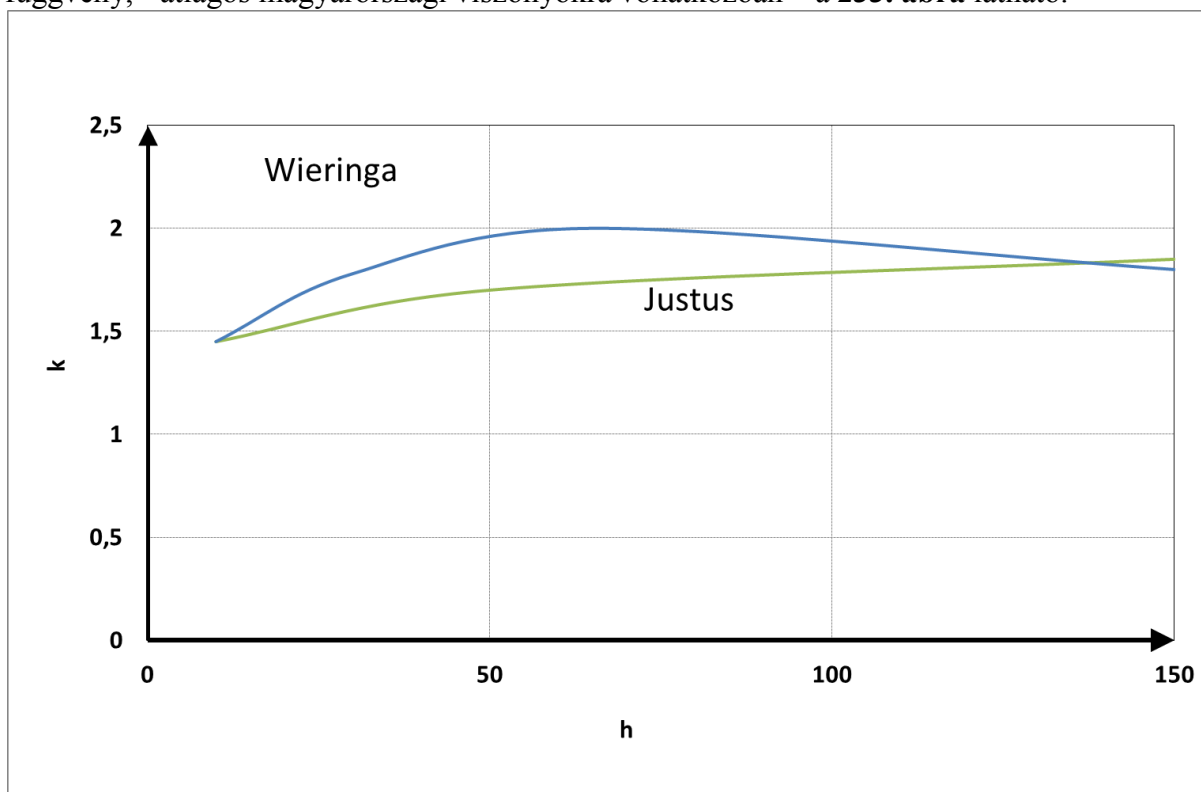


232. ábra: A szélérőmű leadott teljesítménye a szokásos szabályozási tartományokban. [8]

A számításokban a hazai viszonyokra illesztett Weibull eloszlást célszerű felhasználni. Magyarországon a Weibull eloszlás k „alaktényezője” viszonylag alacsony más vidékek alaktényezőihez viszonyítva. A Bartholy-Radics [10] szerzőpáros által 13 helyszínen, 10m magasságban megállapított „ k ” értékek aritmetikai átlaga $k_a=1,44$ amelyet még át kell számítani a vizsgálatban megadott 75m-es tengelymagasságra. Az átszámítást legtöbb esetben Justus empirikus összefüggése alapján végzik el. Ez az összefüggés azonban monoton növekedést tételez fel „ k ”-ra a magasság függvényében, amelynek ellentmondanak a mini SODAR-ral végzett mérések [12]. Ezek a mérések ugyanis 50~80 m magasságban maximumot regisztráltak egy-egy adott helyszínen. A továbbiakban Wieringa által javasolt összefüggést célszerű alkalmazni, amely illeszthető az említett mérési eredményekhez:

$$k(h) = k_a + c(h - h_a) e^{-\frac{h-h_a}{h_m-h_a}} \quad (6)$$

(Itt $h_m=80$ m-es maximum magassággal és $c=0,022$ -es állandóval számoltunk.) A kétféle $k(h)$ függvény, - átlagos magyarországi viszonyokra vonatkozóan – a **233. ábra** látható.



233. ábra: A Weibull eloszlás k alaktényezőjének változása a magasság függvényében (JUSTUS és WIERINGA szerint).

A gamma függvény segítségével igazolható, hogy az $1,5 \leq k \leq 3$ tartományban nagyon jó közelítéssel érvényes a Weibull eloszlás c skálátényezője és az éves átlagsebesség közötti alábbi összefüggés:

$$v_{\text{át}}(75) = \frac{c(75)}{1,12} \quad (7)$$

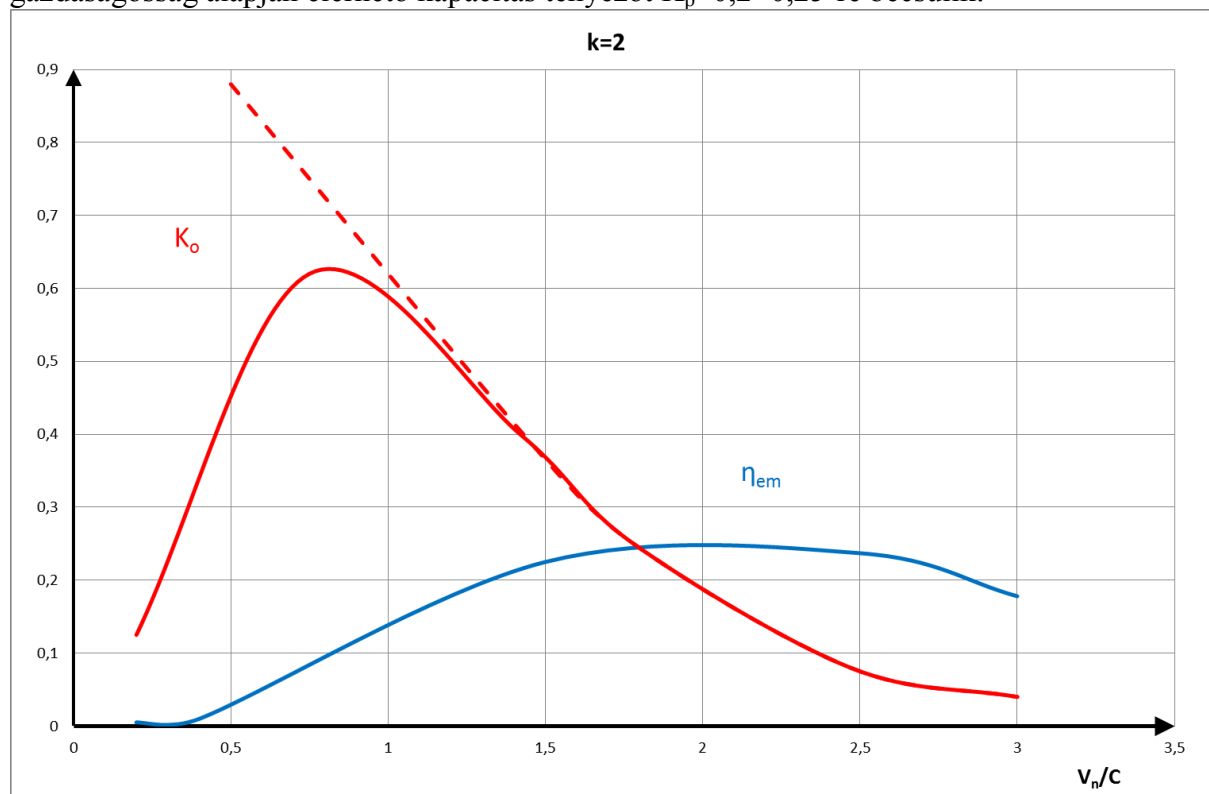
Visszatérve a (10)-ben definiált K_p kapacitás tényezőre, az (12) szerint úgy is felfogható, mint az éves átlagos teljesítmény és a gép névleges (beépített) teljesítményének hányadosa. Ez utóbbit a tulajdonos igyekszik minél jobban kihasználni. Az elérhető K_p érték méretezés

kérdése, amely elsősorban a névleges szélesség megválasztásától függ (a 234. ábra a v_n/c viszonyzámtól). Pl. $k=2$ és $v_{\max}=2v_n$ esetén akár $K_p=0,6$ is elérhető volna.

A másik cél, amit a tulajdonos/üzemeltető el szeretne érni, az a legnagyobb elérhető energia kinyerés, azaz a levegőben meglévő energia/teljesítmény minél nagyobb mérvű hasznosítása, tehát az

$$\eta_{\text{elm}} = \frac{P_{\Gamma \text{ éves átl.}}}{P_0 \text{ éves átl.}}, \quad (8)$$

hatásfok maximalizálása. A gazdaságossági optimum – „ k ”-tól függően – valahol a két görbe maximum helyei között van (pl. $1,5 \leq v_n/c \leq 2$). Nem jelent jelentős hibát, ha „ k ”-tól függően a gazdaságosság alapján elérhető kapacitás tényezőt $K_p \approx 0,2 \sim 0,25$ -re becsülik.



234. ábra: A K_p kapacitás tényező és a levegőben meglévő éves átlagos teljesítmény hasznosítására jellemző η_{elm} változása v_n/c -től függően. [8]

A továbbiakban az egyszerűség érdekében célszerű úgy számolni, mintha az egy szélesség osztályba tartozó nem tiltott területek egy-egy négyszög alakú szélparkot alkotnának, amelyekben az egyes szélérőművek egy megfelelő sűrűségű négyzetrács metszéspontjaiban helyezkednének el. A szél sebessége lecsökken és erőteljesen szabálytalanná válik miután áthalad a szélturbina kerekén (turbulencia, örvénylés). A sebesség csökkenése, az örvénylés és a turbulencia a kinyerhető energia szempontjából veszteséget jelent. Ez arra ösztönözné, hogy a szélturbinákat minél távolabb helyezzük el egymástól, elsősorban az uralkodó szélirányban. A terület ára, ill. bérleti díja és a villamos hálózathoz való csatlakozás költsége viszont a minél szorosabb elhelyezésre sarkall.

Kisméretű szélparkok esetén (néhányszor tíz egység) elérhető hatásfok $\eta_{\text{Park}} \approx 0,9 \sim 0,95$, ha az uralkodó szélirányban $(5 \sim 10)D$, az erre merőleges irányban pedig $(4 \sim 5)D$ rotor átmérőnek megfelelő távolságot hagynak az egyes szélérőművek között. A szélenergia potenciál számításakor azonban irreálisan nagy méretű szélparkokat kell elképzelni, amely esetben a vízszintes irányú energiapótlás mellett a függőleges irányú szélenergia pótlás válik dominánssá. Amennyiben a $10D \times 5D$ négyzetrács méreteket veszik alapul, úgy a park óriási

méretei miatt az előbbi hatások jelentősen romlik. A további számítások során minden szélesség osztályra a hatásfokot átlagosan minden egységre $\eta_{\text{Park}} \approx 0,4$ -re lehet becsülni. Egy szélerőmű ekkor $50D^2 \approx 0,28 \text{ km}^2$ területet igényel. Egy szélerőmű által szolgáltatott éves energia átlagosan (függetlenül a parkbeli helyétől):

$$E_H = K_p P_{Tn} \eta_e \eta_{\text{Park}} 8760 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{év}} \right]. \quad (9)$$

Az egyes szélesség osztályokhoz tartozó hasznosítható területek nagysága, az ezeken elhelyezhető szélerőművek száma és az adott területről nyerhető éves villamos energia termelés mértéke a **55. táblázat** három utolsó oszlopában található.

55. táblázat: Az egyes szélesség osztályokhoz tartozó hasznosítható területek nagysága, az ezeken elhelyezhető szélerőművek száma és az adott területről nyerhető éves villamos energia termelés mértéke [8]

Szélesség osztály közepes sebessége	v_n	P_{Tn}	P_{Hn}	E_H	Hasznosítható terület	Szélturbinák száma	Összes energia
h=75 m	[m/s]	[kW]	[kW]	[MWh/év]	[km ²]	[db]	[TWh/év]
5,25 m/s	9,45	1032	929	651	15684	56014	36,47
5,75 m/s	10,35	1356	1220	855	5002	17864	15,27
6,25 m/s	11,25	1741	1567	1098	1181	4218	4,63
6,75 m/s	12,15	2194	1974	1383	97	346	0,48
					$\Sigma \mu_k 46912 = T^2$	$\Sigma 24487 = \beta \delta$	$\Sigma 58,65 = E$
							[TWh/év]

A korlátozó tényezők figyelembevételével, H=75m tengelymagasságú és D=75m átmérőjű szélturbinák esetén elérhető energiatermelés:

$$\Sigma E = 56,85 \text{ TWh/év} = 204,7 \text{ PJ/év}$$

$$(P_{\text{éves átl}} = 6489 \text{ MW})$$

Ez az eredmény elfogadható összhangban van a levegő kinetikus energiája alapján számított $E_o = 89,8 \text{ TWh/év}$ teljes szélenergia potenciállal. Az ország területének csupán kb. 23%-os felhasználása (21964 km^2) alapján ugyan nagyobb különbséget várnánk a két potenciál között, de 100%-os területfelhasználás esetén az η_{Park} hatásfok tovább romlana. Ezért a hasznosítható energia távolról sem nőne arányosan a felhasznált terület nagyságával. Másrészt a jelen számítás konkrét szélerőművei valószínűleg a h=200m-nél magasabban elhelyezkedő levegő kinetikus energiájának egy részét is hasznosítják (a függőleges energiaátadáson keresztül).

Megjegyzendő, hogy pl. a H=100m-es magasságban érvényes széltérképet és D=100m átmérőjű turbinákat használva (a H=75m-es magassághoz viszonyítva) kb. 38%-kal nagyobb ($77,6 \text{ TWh/év}$) potenciális energiát kapunk, ami egyértelműen arra utal, hogy ma már nem

szabad Magyarországon 100m-nél kisebb tengelymagasságú turbinákat alkalmazni! A növekedés egyértelműen a turbináknál magasabban levő légrétegek kinetikus energiájából származik. A 77,6 TWh/év kb. kétszeresen haladná meg az ország jelenlegi éves energiaigényét. Ha csupán az ország legszelesebb területeit ($v_{\text{átl}}(100) > 6\text{m/s}$) használnánk ezekkel a szélérőművekkel, akkor Magyarország jelenlegi energiaszükségletének több mint felét lehetne kinyerni az ország területének mindössze 4,5%-ról.

Az országos igényt meghaladó szélenergia potenciál természetesen nem jelenti azt, hogy szélérőművekkel termelt villamos energiával valaha is lehetne fedezni az ország teljes villamos energia igényét az év minden időszakában. A szélebbesség statisztikai törvények szerinti változása miatt – beleértve a szélcsendes időszakokat is – a szélenergia mindig csak kiegészítő energiaforrás lesz. A pillanatnyi fogyasztói igények és az aktuálisan szélenergiából előállított villamos teljesítmény közötti különbséget más, hagyományos (fosszilis, nukleáris) vagy alternatív energiaforrásokból kell előállítani. A tartalék teljesítmény rendelkezésre állásán túlmenően többletköltséget jelent, ha a belépő helyettesítő erőművek egy része részterheléssel, a névlegesnél lényegesen rosszabb hatásfokkal üzemel. Az így fellépő többletvesztéseket az adott egység névleges teljesítményének 15%-ra szokás becsülni. Miközben a részesedés 1%-ról 10%-ra növekszik, az energia fajlagos többletköltségei megduplázódhatnak.

A villamos teljesítményben jelentkező ingadozások kiegyenlítésére ma a legalkalmasabb és leggazdaságosabb megoldásnak a szivattyús tározós vízerőművek alkalmazása tűnik. Hosszú és esetleg középtávon az elektrokémiai energiatárolás is gazdaságos lehet, ha az több feladatot is ellát párhuzamosan, és ha annak elosztott (beágyazott) jellegéből fakadó előnyeit is figyelembe vesszük. Magyarországon jelenleg a pillanatnyi teljesítmények kiegyenlítésére fosszilis, elsősorban földgáz tüzelőanyaggal működő erőműveket alkalmaznak, amelyeknek nagy része a 200MW feletti blokk teljesítmények miatt nem alkalmas a gyakori indulásra és leállásra.

Egyedi szélérőművek, ill. kis és közepes nagyságú szélparkok esetén alapvető gazdaságossági követelmény, hogy 10km-es távolságon belül legyen csatlakozásra alkalmas közép feszültségű vezeték illetve szélérőmű parkok esetében 120kV-os alállomás. Ha a távlati energiapolitika jelentős szélenergia kihasználást tervez egy régióban, úgy célszerű lenne legalább áramszolgáltatói szinten előre megtervezni és kivitelezni a gerincvezetékét, és nem a beruházói igények jelentkezése szerint többször módosítani azt.

22.3.5. A szélérőművek technológiai fejlődése, a szélérőművek típusai, szerkezeti felépítésük [21] [24]

Ma a szélenergia hasznosításának alapvetően két irányzata különíthető el. A lokális felhasználásnál elsősorban a sűrű lapátos un. lassújárású szélérőgépeket (szélmotorok) találjuk meg, amelyek kis teljesítménnyel rendelkeznek és dugattyús v. membránszivattyút működtetve vizet szivattyúznak, tavakat szellőztetnek. Az ilyen kisteljesítményű gépek 1-2 kW teljesítménnyel villamos energia előállítására is felhasználhatók elektromos hálózattól távolabb eső területeken. Az energiatárolás akkumulátorokkal valósítható meg.

A hálózatra csatlakozó nagyteljesítményű szélérőművek jelentik ma a világban a szélenergia-hasznosítás fő irányzatát. A modern szélenergia-hasznosítás fejlődése 20 évre tekint vissza. 1980-ban adták át Dániában az első piacképes létesítményt. A robosztus és nehéz turbinák eleinte gúnyos kritikát kaptak az energia-szektor konzervatív szakembereitől. Az üzembiztonságuk sem érte el a kívánt szintet. Tíz év kellett ahhoz, hogy a szakma elfogadja, és bizonyítsa, hogy ez a technológia a közeljövőben az élvonalba kerülhet. 1999-re a valóság minden előrejelzést felülmúlt. Még a szakterület ismerői sem várták a 90-es évek eleji hirtelen fellendülést a szélenergia iparban. 1995-től a szélenergia ipar növekedése meghaladta

az évi 30 %-ot. A nyereség, a létrejött munkahelyek és a tervezett beruházások száma megháromszorozódott Európában.

2010 elejére a világszerte létesített szélenergia termelési teljesítménye elérte a 157899 MW-ot. Ez a teljesítmény 340TWh villamos energia termelésre képes és ezzel 204 millió tonna széndioxid kibocsátása kerülhet el egy év alatt.

A 157899 MW teljesítményből 74767MW Európában van. A világ 50 országában – ahol komolyan foglalkoznak a szélenergia hasznosítással – a szélenergia iparban foglalkoztatottak létszáma mintegy 400000 főre becsülhető. A németországi szélenergia iparban foglalkoztatottak száma 2009 végére meghaladta a 80000 főt.

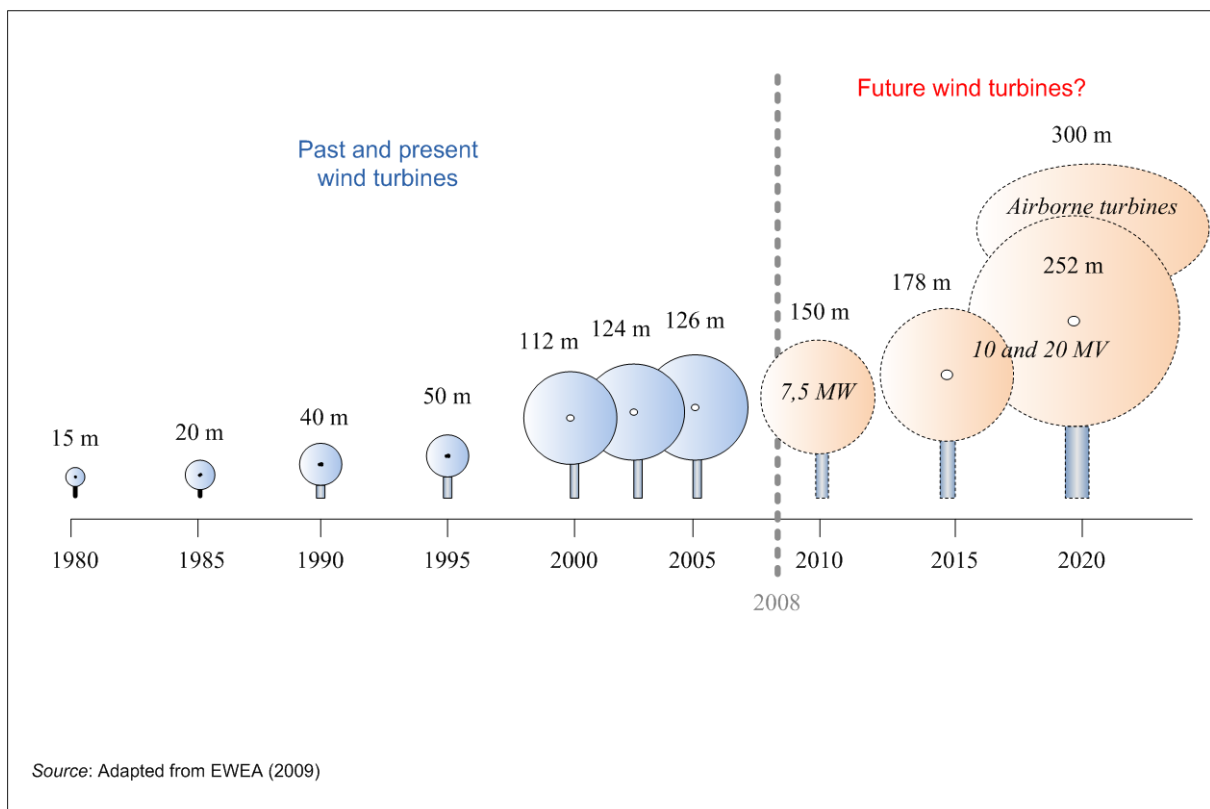
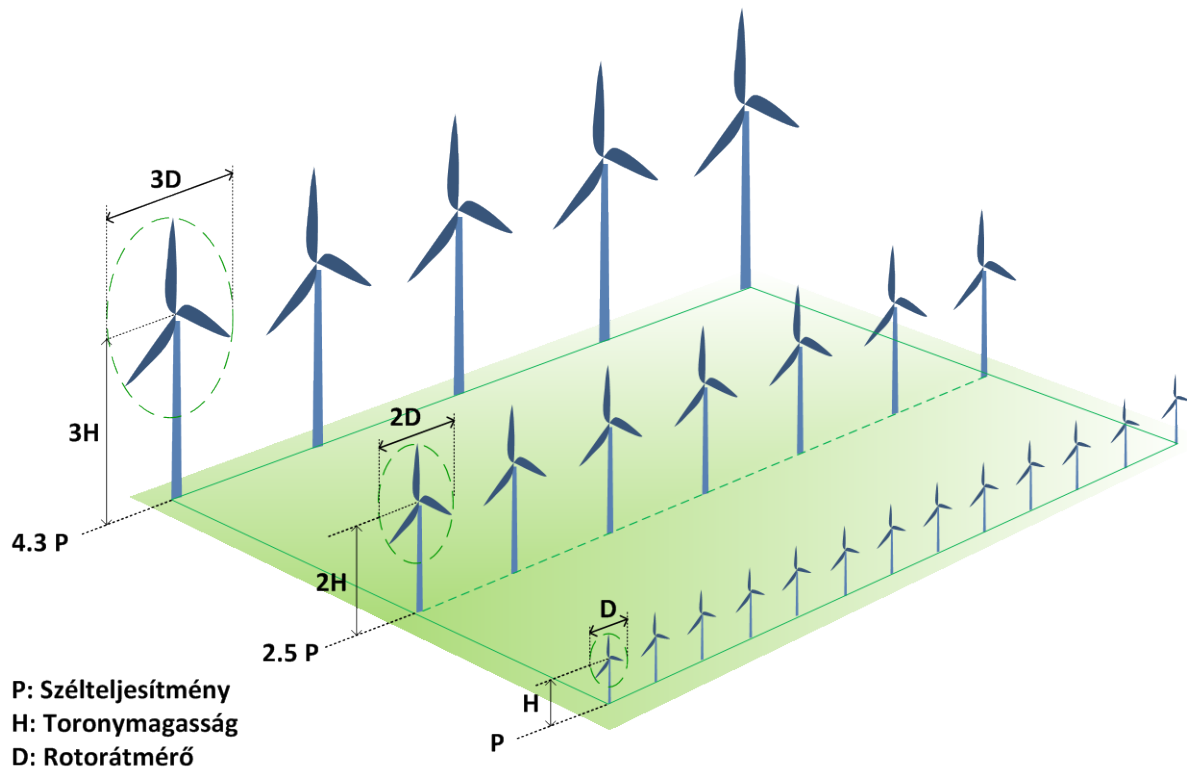
Mialatt a szélenergia ipar piaca jelentősen nőtt, addig a szélenergia fajlagos beruházási költsége jelentősen csökkent. A szélenergia iparban előállított villamos energia termelési költségei az utóbbi 15 évben mintegy 50 %-al csökkentek. (EWEA)

Ma már nem tűnik utópisztikusnak az a prognózis, hogy 2020-ra a világban a villamos energia igények 12 %-át szélenergia iparral biztosítsák.

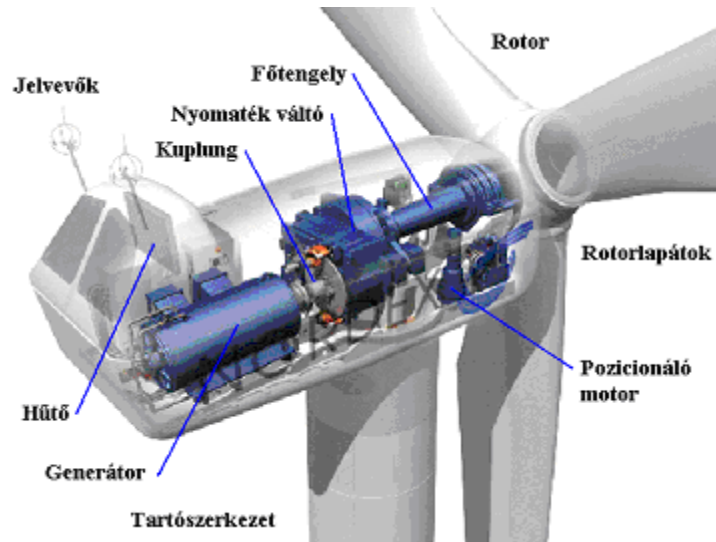
A szélenergia gyártás igen gyors technológiai fejlődését mutatja, hogy amíg a kilencvenes évek elején a legnagyobb szélenergia erőmű 0,5 MW teljesítményű volt, addig az évtized közepén már megjelentek az 1MW és 1,5 MW teljesítményűek is. 1999-ben üzembe helyezték az első 2,5 MW-os, 2000-ben a 3 MW-os berendezést. 2002 augusztusában telepítették a 4,5 MW teljesítményű Enercon E-112-es prototípust, melynél az 56 m-es lapátok a 10 m átmérőjű generátorral a 124 m magas tornyon helyezkednek el. 2010-ben elkészül az első 7,5MW, 2015-ben várhatóan az első 10MW míg 2020-ra az első 20MW teljesítményű szélenergia erőmű. A szélenergia ipar technológiai fejlődését a **235. ábra** mutatja.

A mai modern szélenergia erőműveknél már nem a szélllellenállás, hanem a lapátokra ható felhajtóerő elvét – mint repülőgépszárny – hasznosítják. Az ellenállás elven működő berendezéseknél a szél energiájának 15 %-a hasznosítható, míg a felhajtóerő elven működő berendezések max. 60 %-át hasznosítják. Egy meghatározott minimális szélsebesség esetén ((2,5-3 m/s között) – kezd működni a berendezés. A teljesítmény a szélsősebesség harmadik hatványával arányos, azaz a megduplázódó szélsősebesség mellett nyolcszoros lesz a leadott teljesítmény. Egy bizonyos, nagy szélsebesség esetén (kb. 24-26 m/s, 10-es szélsebesség) a rotor terhelése túl nagy lesz, ezért ekkor a „pitch” szabályozású berendezéseket automatikusan leválasztják a hálózatról, a szárnyak „zászlóállásba” (szélirányba) állnak, a turbina üres járásban forog. A profilszabályozású berendezéseket mechanikusan fékezni kell.

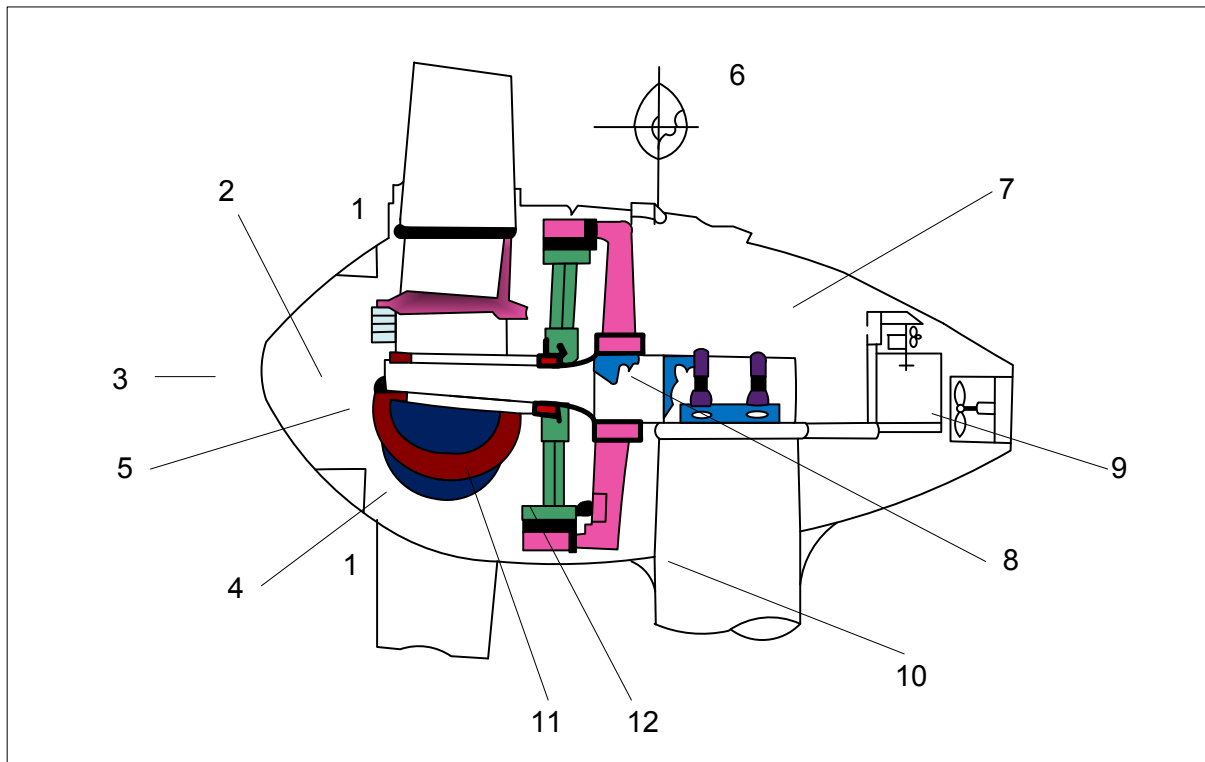
A korszerű szélenergia erőművek 3 lapátos rotorja hajtómű közbeiktatásával vagy közvetlenül hajtja meg az áramtermelő generátort. Kezdetben a 4 és 6 póluspárú a szinkron generátorral szerelt szélenergia erőművek terjedtek, melynél kisebb szélsősebességnél az 1000 -es és a nagyobb szélsősebességnél az 1500 -as percnkénti fordulatszámot a hajtómű biztosította. Ennek megfelelően a rotor fordulatszámát a két szélsősebesség-tartományban állandó értéken kell tartani. Újabban terjednek a hajtómű nélküli sokpólusú gyűrűs szinkrongenerátorokkal szerelt szélenergia erőművek. Itt a turbina közvetlenül hajtja meg a generátor forgórészét. A fordulatszámot, a lapátszög elfordításával az automatika fokozat nélkül úgy szabályozza, hogy a leadott nyomaték a legnagyobb legyen. A generátor által előállított változó feszültségű és frekvenciájú áramot egyenirányítják, majd ezt az egyenirányított (fordulatszámától független) áramot alakítják vissza a hálózatnak megfelelő feszültségű és frekvenciájú váltakozó árammá. Így gyakorlatilag a rendszer vezérlése a hálózatról történik. A két szélenergia erőmű típus a **236. ábra** és **237. ábra** látható.



235. ábra: A szél erőművek teljesítményének fejlődése



236. ábra: Hajtóművel szerelt szélérőmű [21]



237. ábra: Hajtómű nélküli szélérőmű sokpólusú szinkron generátorral [21]

1 - lapát, 2- lapátforgató motor, 3- burkolat, 4- tengely, 5- csapágy, 6- szélesség- és szélirány mérő, 7- alkatrész daru, 8- tengely felfogása, 9- hűtőventillátor, 10- állvány, 11- generátor forgórész, 12- generátor állórész

(Forrás: www.enercon.com)

A két típus közül egyelőre a hajtóműves változat terjedt el jobban, de a hajtómű zajemissziója, olajhűtése eddig is sok problémát vetett fel az üzemeltetés során. Várható, hogy a jövőben a hajtómű nélküli szélérőmű típusok terjednek el inkább főleg az „onshore” szélérőmű parkoknál. Ezt igazolni látszik az a tény is, hogy az első 5 MW teljesítményű szélérőmű is hajtómű nélküli, szinkron generátorral készült. A nagy teljesítményű szélérőművek telepítése elsősorban a tengerparti sekélyebb vizeknél várható, ahol a

környezeti hatások kevésbé jelentkeznek. Ma már 150 MW összteljesítményű „offshore” szélenergia park is üzemel 2 MW egység teljesítményű szélenergia gépekkel. Az „offshore” szélenergia gépek különleges lapátzással készülnek.



238. ábra: „Offshore” szélenergia gépek turbinájának lapátja (Forrás: EWEA)

Kis teljesítményű szélenergia gépek

Felhasználási lehetőségek:

- Vízpótló öntözés (többlettermést és jobb minőséget biztosít)
- Legeltetési állattartáshoz víz biztosítása (itatók, fürdetők kialakítása, legelő öntözése)
- Belvíz védelem, talajszint szabályozása, szennyvizek tisztítása, levegőtisztítás, környezetvédelem
- Halastavak, holtágak, tározók, vizes élőhelyek életben tartása vízpótlással, levegőtisztítással
- Vadgazdálkodási területen a vad helyben tartása, itatók, dagonyázók vízellátása

A villamos energia ellátó rendszerektől távolabb eső területek villamos energia ellátására az ún. hibrid rendszerek kiépítése



239. ábra: Napelem és kis teljesítményű szélérőmű villamos energia ellátó rendszerektől távolabb eső területek villamos energia ellátására [13] [24]

22.3.6. A szélenergia hasznosítás környezetvédelmi és területfejlesztési összefüggései, követelményei [24] [25]

A szélenergia hasznosítása és a természeti adottságok

A szélérőművek telepítését elsősorban a természeti adottságok határozzák meg. Alapvetően két tényezőt kell figyelembe venni, nevezetesen a szél intenzitását (szélsebesség) és megbízhatóságát (milyen gyakorisággal lehet olyan szélsebességgel számolni, amely alkalmas a szélérőmű gazdaságos üzemeltetésére). Eddig a szélenergia hasznosítás hagyományosan Európa tengerparti sávjaira koncentrált. Napjainkban az új generációs szélérőművek megjelenése lehetővé teszi a szélenergia hasznosítását olyan földrajzi területeken is, amelyek a korábbi évtizedekben kiestek a területhasználattal foglalkozó szakemberek látóköréből. A szélérőművek hatékonysága a tengeren, tengerpartokon nagyobb ugyan, de a robusztusabb kivitelű tengerparti gépek magasabb fajlagos beruházási költsége, a villamos hálózatra csatlakozás többlet költségei miatt versenyképesé váltak a szárazföld belsejében telepített szélérőművek is.

A szélenergia-hasznosítás és a klíma védelme

A szélenergia hasznosítása mentes a káros anyagoktól. A szélenergia-hasznosítás során nem keletkezik káros emisszió, szennyvíz, radioaktív hulladék, hamu és por. Minden egyes kWh villamos energia, melyet szélenergiából nyerünk a kőszénből, lignitből előállított villamos energiatermeléssel szemben 0,9 kg extra szén-dioxid kibocsátás megtakarítását teszi lehetővé, jelentősen hozzájárulva ezzel az éghajlatváltozást (globális felmelegedés) okozó szén-dioxid csökkentéséhez. Kifogyhatatlan, mert a természet korlátlanul és ingyen bocsátja rendelkezésünkre.

A fosszilis, nem megújuló forrásokból (kőolaj, földgáz, kőszén, urán) származó energia ezzel szemben mindig kevesebb és drágább lesz. Biztos, mert a szélenergia minden országban jelen van. Minél többen és jobban használjuk, annál inkább függetleníteni tudjuk magunkat más régiók politikai kríziseitől és konfliktusaitól.

Az European Wind Energy Association (EWEA) EU célkitűzéseit a szélenergia hasznosítással megvalósítható évi károsanyag kibocsátás csökkentésre a **56. táblázat** foglaltuk össze:

56. táblázat: A szélenergia hasznosítással tervezett évi emisszió csökkenés az EU-ban

Év	EWEA célkitűzései beüzemelt szélerőmű kapacitásra (MW)	Termelés TWh/év	CO2 csökkentés tonna/év	SO2 csökkentés tonna/év	NOx csökkentés tonna/év
2000	8 000	16	14 400 000	48 000	40 000
2005	20 000	40	32 200 000	114 000	95 000
2010	40 000	80	64 800 000	216 000	180 000
2020	100 000	200	134 400 000	480 000	400 000

Megjegyzés: Ha az EWEA céljai teljesülnének 2020-ig, akkor az EU energia ágazatának szén-dioxid kibocsátását több mint 11 %-kal lehetne csökkenteni. 2009 végén az EU-ban (EU-27) 74767MW teljesítményű szélerőmű volt üzemben.

22.3.6.1. A szélenergia hasznosítás területhasználata, táj –természetvédelmi követelményei, szélerőművek tájba illesztése[24]

a) Területhasználat

Egy szélerőmű park által elfoglalt terület 99 %-a érintetlen marad, vagy mezőgazdasági célokra felhasználható. Minden bizonyosság szerint a szélerőmű parkok nem befolyásolják jelentősen a szántóföldi művelést és az állattenyésztést. A különböző energiatermelési technológiák által igényelt területeket a **57. táblázat** foglaltuk össze.

57. táblázat: Az energiatermelési technológiák által igényelt terület

Technológia	Szükséges terület m ² /GWh (30 évre előre)
Geotermikus	400
Szél	800-1335
Fotovillamos	3237
Napenergia	3561
Szén	3642

A széntüzelésű erőművek, illetve az ahhoz tartozó bányászat és szállítási útvonalak jóval több területet igényelnek, mint a szélerőművek.

b) Szélenergia hasznosítás táj –természetvédelmi követelményei [23] [24] [25]

Vannak olyan tipikus struktúrái a tájnak, melyek a fajfenntartás szempontjából nagy jelentőséggel bírnak, s itt a szélerőművek lényegében idegen zavaró tényezőként jelenhetnek meg. Abban az esetben, amikor nem megszámlálható és mérhető tájvédelemről van szó, fontos az, hogy olyan módszereket alkalmazzunk, melyek a döntéseket előkészítettebbé, érthetőbbé teszik. (1996. évi LIII. törvény a természet védelméről, 2003. évi XXVI. Törvény az Országos Területrendezési Tervről.)

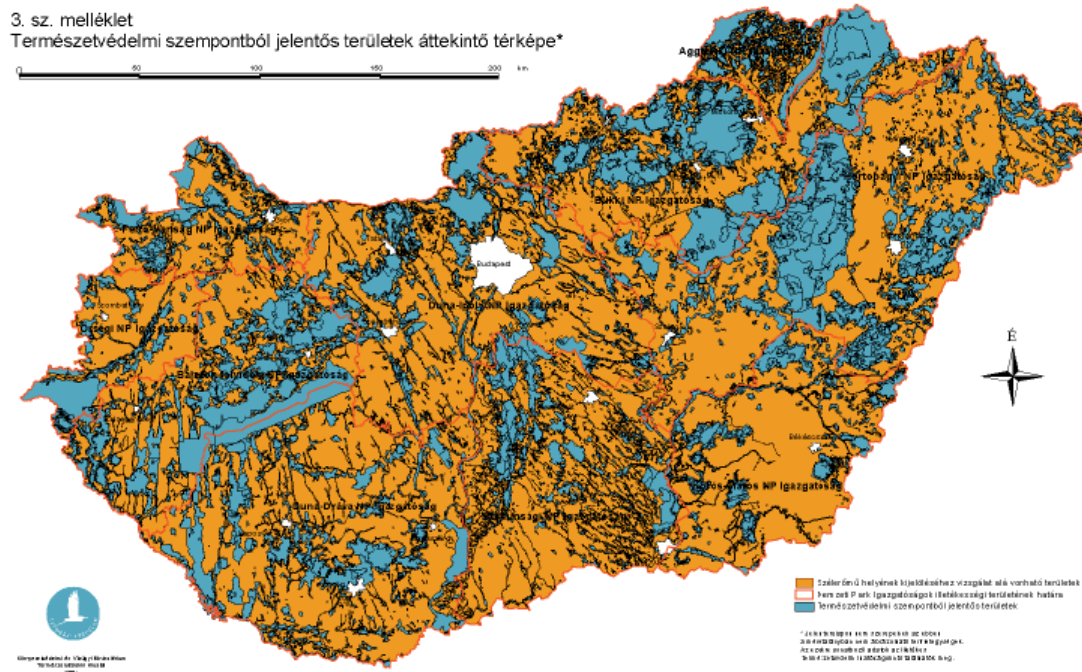
22.3.6.2. Tájvédelmi szempontok

Egy szélerőmű közvetlen helyigénye mintegy 300 m². A szélerőmű alapozása ekkora területet vesz igénybe. Ezen kívül a feltáró utakat, a transzformátor házakat és a vezetékeket

is figyelembe kell venni és csak ezekkel, együtt lehet meghatározni a közvetlen hatásterületet. A közvetett hatásterület a szélerőmű parkok esetében akár jóval nagyobb is lehet, ezt elsősorban a szélerőművek száma határozza meg. A védett természeti területek és értékek valamint az élőhelyek védelmének megőrzése érdekében biztonsági övezet célszerű kijelölni. Ez azt jelenti, hogy ezektől a területektől 800-1000 méterre javasolt a szélerőművek felépítése. Táj és természetvédelmi szempontból a szélerőművek telepítése nem jelent problémát az alábbi területeken:

- Kevésbé látogatott, táj és természetvédelmi szempontból nem túl értékes területeken.
- Mezőgazdasági területek között főként a kevésbé értékes szántók.
- Felhagyott ipari területek, hulladékterek, bányák.

Az országnak vannak azonban olyan tipikus tájrészei, melyek kiemelkedő jelentőségűek a fajfenntartás szempontjából. Ezen tájrészeken a szélerőművek idegen, zavaró tényezőként jelenhetnek meg. Ide sorolhatók például a Nemzeti Parkok, a Natura 2000-es területek, tájvédelmi körzetek, természetvédelmi területek, Ramsari területek stb. (240. ábra).



240. ábra: Természetvédelmi szempontból jelentős területek áttekintő térképe

A szélrómúvek telepítését kizáró területek:

- **Táj és természetvédelmi szempontból országos jelentőségű védet természeti területek:**
- **Nemzeti Parkok (NP)**
Összesen: 10 db; Területük: 482 582,7 ha; Az ország teljes területének 5,3 %-a
- **Tájvédelmi körzetek (TK)**
Összesen: 38 db; Területük: 335 096, 7 ha; Az ország teljes területének 3,5%-a.
- **Természetvédelmi területek (TT)**
Összesen: 159 db; Területük: 29 562, 7 ha; Az ország teljes területének 0,3%-a.
- **Természeti emlék (TE)**
Összesen: 1db; Területe és annak százalékos megoszlása nem kifejezhető.
- **Tájvédelmi körzetek (TK)**
Összesen: 38 db; Területük: 335 096, 7 ha; Az ország teljes területének 3,5%-a.
- **Természetvédelmi területek (TT)**
Összesen: 159 db; Területük: 29 562, 7 ha; Az ország teljes területének 0,3%-a.
- **Természeti emlék (TE)**
Összesen: 1db; Területe és annak százalékos megoszlása nem kifejezhető.
- **Nemzeti Ökológia Hálózat (NÖH)**
A hálózathoz tartozó területek a következő zónákra oszthatók: Magterület, puffer-terület, folytonos ökológiai folyosó illetve megszakított ökológiai folyosó.
Területük: 2991 002 ha; Az ország teljes területének 32,1%-a
Az ökológiai hálózat védelmének jogi háttere:
1996. évi LIII. törvény a természet védelméről (53. §)
2003. évi XXVI. törvény az Országos Területrendezési Tervről
132/2003. XII. 11. OGY határozat a II. Nemzeti Környezetvédelmi Programról
46/1999. (III.18) Korm. rendelet a hullámterek, parti sávok, a vízjárta, valamint a fakadó vizek által veszélyeztetett területek használatáról és hasznosításáról.
- **Magterület:** Kiemelt térségi és megyei területrendezési tervekben megállapított övezet, amelybe olyan természetes vagy természetközeli élőhelyek tartoznak, amelyek az adott területre jellemző természetes élővilág fennmaradását és életkörülményeit hosszú távon biztosítani képesek és számos védett, vagy közösségi jelentőségű fajnak adnak otthont.
- **Ökológiai folyosó:** Kiemelt térségi és megyei területrendezési tervekben megállapított övezet, amelybe olyan területek (többnyire lineáris kiterjedésű, folytonos vagy megszakított élőhelyek, élőhelysávok, élőhely-mozaikok, élőhely-töredékek, élőhely-láncolatok) tartoznak, amelyek, döntő részben természetes eredetűek, és amelyek alkalmasak az ökológiai hálózathoz tartozó egyéb élőhelyek (magterületek, puffer területek) közötti biológiai kapcsolatok biztosítására.
A felsorolt környezetvédelmi oltalom alatt álló területeken kívül, más olyan helyek is vannak, ahova nem célszerű illetve környezet-egészségügyi megfontolásból nem telepíthetők szélturbinák (pl. zajhatás vagy dőlés). Ilyenek, pl. a puffer területek.
- **Puffer terület:** Kiemelt térségi és megyei területrendezési tervekben megállapított övezet, amelybe olyan rendeltetésű területek tartoznak, melyek megakadályozzák, vagy mérséklék azoknak a tevékenységeknek a negatív hatását, amelyek a magterületek illetve az ökológiai folyosók állapotát kedvezőtlenül befolyásolhatják vagy rendeltetésükkel ellentétesek

- **Natura 2000 területek**

Natura 2000 jogszabályok:

- Hatályos Natura 2000 Kormányrendelet [275/2004. (X.8.)]
- Miniszteri rendelet a Natura 2000-rel érintett földrészletekről [45/2006. (XII. 8.)]
- FVM rendelet a nem termelő mezőgazdasági beruházások támogatásáról [33/2008 (III. 27.)]
- Natura 2000 gyepterületekre vonatkozó szabályok.

(Forrás: <http://natura.2000.hu/index.php?p=terkepek&nyelv=eng>)

- **Különleges természet megőrzési terület** (a vadon élő növény és állatfajok, illetve élőhely típusok védelme); Területe: 1397 338,6 ha; Az ország területének 15%-a.
- **Különleges madárvédelmi területek**; Területe: 1351 356,3 ha; Az ország teljes területének 14,4%-a.
- **Bioszféra rezervátumok**
Összesen: 5 db; Területük: 134 674 ha; Az ország teljes területének 1,5%-a (http://www.termeszetvedelem.hu/index.php?pg=menu_2051)
- **Ramsari területek**
Összesen: 28 db; Területük: 210 765,6 ha; Az ország teljes területének 2,3%-a (8. ábra).
Vonatkozó jogszabály: 1993. évi XLII. Törvény a nemzetközi jelentőségű vadvizekről, különösen, mint a vízimadarak tartózkodási helyéről szóló, Ramsarban, 1971. február 2-án elfogadott Egyezmény és annak 1982. december 3-án és 1987. május 28.-június 3. között elfogadott módosításai egységes szerkezetben történő kihirdetéséről. (<http://www.berkenyehaz.hu/uploads/images/biodiverzitas/Ramsar2006.jpg>)
- **Tájképvédelmi területek övezete** a Balaton Törvény hatálya alá tartozó területen
Területük: 59 552,8 ha; Az ország teljes területének 0,6%-a
- **Tájvédelmi körzetek (TK)**
Összesen: 38 db; Területük: 335 096, 7 ha; Az ország teljes területének 3,5%-a.
- **Természetvédelmi területek (TT)**
Összesen: 159 db; Területük: 29 562, 7 ha; Az ország teljes területének 0,3%-a.
- **Természeti emlék (TE)**
Összesen: 1db; Területe és annak százalékos megoszlása nem kifejezhető.

22.3.6.3. Természetvédelmi szempontok

Természetvédelmi szempontból az egyik legérzékenyebb kérdés a szélrómúvek telepítési helyének megfelelő kiválasztása. Ez mind a növény mind pedig az állatvilág szempontjából rendkívül fontos. Amikor a szélrómúvek élővilágra gyakorolt hatásait vizsgálják, elsősorban az állatvilágra, különösen a madarakra és a denevérekre kifejtett hatásokat elemzik. A szélrómú parkok telepítése előtti helykiválasztás során körültekintően kell eljárni az élőhelyek elvesztésének megelőzése, a közvetlen ütközésekből eredő hatások elkerülése továbbá a szűkebb és tágabb természeti értékek megőrzése érdekében. Ebből kifolyólag több jogszabályi előírásra kell tekintettel lenni a telepítés folyamán. Kiemelt figyelmet kell szentelni, az Európai Unióhoz való csatlakozással Magyarországra háruló kötelezettségeknek. A 2004. évi csatlakozással Magyarország az Európai Unió természetvédelmi programjának is részesévé vált. E természetvédelmi program egyik legfontosabbika a 90-es években hozzánk is elért CORINE program volt. A CORINE (CORINE: Coordinated Information on the Environment in Europe) az Európai Unió környezeti adatainak gyűjtésére szolgáló program. A CORINE Biotóp Programot 1985-ben az Európai Parlament döntése alapján hozták létre. A Programot a 90-es években a PHARE országokra is kiterjesztették. A Program célja, hogy a környezeti károsodások jellegéről, mértékéről, területi eloszlásáról és az élővilágra gyakorolt hatásáról a további döntéseket megalapozó, átfogó ismereteket szerezzenek. 1994-1995-ben

Magyarország is csatlakozott a Corine Biotóp projekthez, ami az addig kidolgozott élőhely rendszer jelentős bővülését eredményezte. A CORINE Biotópot nevezhetjük a Natura 2000-es program szakmai elődjének is, hiszen a Natura 2000 adatbázis és annak módszertana a CORINE Biotóp projekt módszertanából fejlődött ki. Azonban a hazai Natura 2000-es területek kijelöléséhez több információra volt szükség a hazai és az Unió nevezéktani követelményeket illetően, mint ami a CORINE Biotóp programban szerepelt. A szükséges információk összegyűjtése és értékelése azóta megtörtént.

A szélerőművek természetvédelemre gyakorolt hatását elsősorban a madarakra vonatkozóan vizsgálták. A Berni Egyezmény keretein belül a BirdLife International összefoglalta valamennyi vizsgálat eredményét.

A Bonni Egyezmény a vándorló fajok védelme érdekében határozatot fogadott el.

Megállapítása szerint a szélerőművek újthatású veszélyeztető tényezőként lépnek fel a vándorló madár- és emlősfajok számára.

A Bonni Egyezmény szerint:

- - meg kell határozni azokat a területeket, melyeken a szélerőművek, a szélerőmű parkok a vándorló fajok számára veszélyt jelentenek;
- meg kell határozni azokat a területeket, ahol a vándorló fajok védelme érdekében a szélerőművek elhelyezését értékelni kell;
- átfogó stratégiai környezeti hatásvizsgálatot kell lefolytatni a megfelelő szélerőmű telephelyek meghatározása érdekében;
- a természetre, különösen a vándorló fajokra lehetséges negatív hatásokat a szélerőművek engedélyeztetése előtt értékelni kell;
- a szélerőművek vándorló fajokra kifejtett kumulatív környezeti hatását is értékelni kell;
- a megelőzés elvét kell alkalmazni szélerőművek, szélerőmű-telepek létesítése során, figyelembe véve a környezeti hatásvizsgálat adatait, eredményeit.

22.3.6.4. Tájéztétikai szempontok

A szélerőművek tájképre gyakorolt hatása az egyik legfontosabb kérdés az erőművek telepítése során. A szélerőmű parkok látványának megítélése a rendelkezésre álló felmérések alapján eltérőnek mondható. Vannak, akik üdvözlik jelenlétüket, hiszen a környezetett szolgáló tiszta energiaforrást, látják bennük, míg mások a táj művivé válását említik és mesterséges, zavaró építménynek tartják a szélerőműveket.

A szélerőművek nem tájba illeszthetők, és ha a domborzati adottságok olyanok akár 20 km-ről is látni őket. Az erőművek növényzettel nem takarhatók el, hiszen magasságuk 50 és 120 méter között van. Vizuális hatásuk viszont megfelelő elhelyezéssel és festéssel elviselhetővé válik. Táj és természetvédelmi szempontból a világosszürke festés felel meg leginkább. Az elhelyezéskor számos szempontot figyelembe kell venni, ilyen például a lakott területektől való távolság vagy a természeti értékek óvása. Magyarország táj és természetvédelmi szempontból számos értékes területtel rendelkezik és ezeken, a területeken az erőművek elhelyezése nem kívánatos. A telepítés folyamán fontos szempont még a darabszám és a magasság is. Az elhelyezés szempontjából a négyzethálós forma előnyösebbnek mondható, mivel a kialakítás kisebb területre összpontosul, mint a hosszanti kialakítás esetében. Körültekintően kell eljárni az erőműhöz vezető kiszolgáló utak vezetésekor is, hiszen ezek sem érinthetnek védett, illetve értékes élőhelyeket. A legjobb megoldás az, ha a már meglévő utak nyomvonalán fektetik le a földkábel, mert így semmilyen negatív hatást nem gyakorolnak a környezetre. A tájba való jobb beilleszkedés a megfelelő gépkiosztással, a minél kevésbé zavaró elrendezéssel érhető el. A szélerőmű parkoknak feltűnő helyen kell

lenniük, hogy hatásuk kereskedelmi szempontból is kedvező legyen. Ma már a legtöbb szélérőmű hosszú, kúpos acéltoronyra van felszerelve, amit a legtöbb ember esztétikusabbnak talál, mint az USA-ban használt rácsos tornyokat. Elmondható hogy az ipar jelentős erőfeszítéseket tesz az erőművek tájképbe való beillesztését illetően. Számos szélérőmű gyártó cég professzionális tervezőket alkalmaz annak érdekében, hogy gépei megjelenése kellemesebb legyen. Az építési tervek vizuális értékelésébe rendszerint tájképfornálással foglalkozó építészeket vonnak be. Talán ezen erőfeszítéseknek is köszönhető, hogy a szélérőmű parkok megítélése a lakosság szemében javuló tendenciát mutat és a szélfarmokhoz ellátogatók nagy többsége kellemes tapasztalatokkal gazdagodik. Felmérésekből kiderül, hogy néhány helyi lakos tervezési szakaszban érzett félelme az üzembe helyezést követően megszűnt.



241. ábra: Szélérőművek és a 400kV-os távvezeték látványa [24] [25]

Külföldi tapasztalatokból azt az eredményt lehet leszűrni, hogy a turbinák közelében élő közösségek megszokták ezeket, és jelenlétüket nem találják zavarónak.

22.3.6.5. A szélérőművek hatása az élővilágra, a madarakra [4] [24]

A szélérőművek hatása az élővilágra

Bár a szélenergia termelés élővilágra gyakorolt hatásai jóval kisebb mértékűek, mint a hagyományos energiatermelési módoké felmérésükre mégis szükség van.

A szélérőmű beruházások tervezésekor kiemelt figyelmet kell fordítani a megfelelő helyszín kiválasztására. Fontos, hogy a telepíteni kívánt szélérőművek a szűkebb és tágabb természeti értékekre ne legyenek zavaró hatással. Ma többnyire szakértőket foglalkoztatnak a szélérőművek élővilágra kifejtett hatásainak elemzésére, a veszélyeztetett természeti értékek megóvása érdekében. A szélérőművek tervezése és az engedélyeztetési eljárás során célszerű az élővilág védelmi szempontokat egyedileg megvizsgálni, és annak alapján javasolható az engedély iránti kérelem elbírálása. Az előzetes hatásvizsgálat elkészítése előtt ki kell kérni a természetvédelmi hatóság véleményét a telepítés helyéről, és ha szükséges változtatnak, módosítanak azon.

A szélérőművek telepítése során a növényvilágra kifejtett hatások a szélérőmű park által érintett területeken és azok közelében a következők lehetnek:

- A szélérőművek által elfoglalt területek élőhelyek megszűnését eredményezhetik. A helyzet még rosszabb lehet, ha az erőművek telepítését ökológiailag jelentősebb területeken tervezik. Ilyen területek az erdők, gyepterületek vagy a vizes élőhelyek. Ezen területeken a szélérőmű park létesítése csak nagy körültekintést igényel.
- Az erőművek és utak, földkábelek építése során taposási károk keletkezhetnek.
- Változhatnak a környezet mikro klimatikus viszonyai, azaz a vegetáció életfeltételei.

Például, ha a szélérőműveket fás területeken telepítik akkor a fakivágások, megbontatják az állományt és ez újabb szegélyhatások, kialakulásához vezethet.

- Elmondható, hogy a szélérőművek által okozott árnyékhatás a legtöbb faj esetében nem okoz problémát.
- A lapátokról leváló jég esetenként problémát jelenthet.

A szélérőmű parkok tervezésekor rendkívül körültekintően kell eljárni. Törekedni kell arra, hogy az adott terület flórája és faunája ne változzon.

A szélérőmű parkok általában mezőgazdasági művelés alatt álló területen épülnek fel. Ezeken a területeken a mező- és erdő valamint a vadgazdálkodás tovább folytatható, a környező természetes élőhelyek nem sérülnek. Az őzek szívesen hűsölnek a szélérőmű árnyékában.



242. ábra: A szélérőművek és az őzek [24] (Forrás: Tóth et al, 2006)



243. ábra: Szélérőmű egy dániai farmon (Dr. Tóth P. 2001.Aarhus mellett)

A szélerőművek hatása a madarakra [4] [24]

A szélerőművek állatvilágra gyakorolt hatásának vizsgálatokor elsősorban a madarakra vonatkozó hatások kerülnek előtérbe. A szélerőművek 90-es években kezdődő kiépítésével egyidejűleg élénk vita bontakozott ki a szélerőművek madarakra gyakorolt lehetséges hatásával kapcsolatban. Míg kezdetben leginkább attól tartottak, hogy a madarak szélerőműveknek való ütközései miatt jelentős veszteség éri a madárállományt, addig napjainkban az élettérre gyakorolt káros hatások kerültek a vita középpontjába. A szélerőművek telepítési helyének megtervezésekor a madarakkal kapcsolatos lehetséges konfliktushelyzeteket az egyes madárfajok szélerőművekkel szembeni érzékenységének és az érintett területek természetvédelmi jelentőségének együttes értékelése alapján kell meghatározni (Reichenbach, 2003).

A szélerőművek okozta madárpusztulások három okra vezethetők vissza KINGSLEY & WHITTAM, valamint F.Bergen szerint:

- a madarak nem érzékelik a forgó rotorlapátokat és sérüléseket szenvednek azáltal, hogy nekik repülnek
- a vonuló madarakat vonzzák a széltornyok fényei, bizonyos mértékig megzavarodnak, amikor kimerültek, illetve a szerkezetnek ütköznek
- a madarak a szélerőművekhez kapcsolódó magasfeszültségű vezetékeknek vagy a rögzítő köteleknek ütköznek.

A madarak gyakran ütköznek olyan szerkezetekkel, melyeket nehezen látnak meg. Ilyenek a nagyfeszültségű vezetékek, az oszlopok, épületek ablakai, gépjárművek, repülőgépek.

Erickson és mások (2001) az Amerikai Egyesült Államokra vonatkozóan összefoglalták azokat a kutatásokat, amelyek a madarak szélerőműveknek való ütközésének kockázatát vetik össze a más emberi tárgyakkal való ütközés kockázatával. Becsléseik szerint az USA-ban évente százmillió és több mint egymilliárd közé tehető azoknak a madaraknak a száma, amelyek az emberi tárgyakkal való ütközés következtében pusztulnak el. Ez a szám a különböző ütközési tárgyak között a következőképpen oszlik meg:

- Járművek: 60–80 millió
- Épületek és ablakok: 98–980 millió
- Elektromos vezetékek: tízezres nagyságrend és 174 millió között
- Adótornyok: 4–50 millió
- Szélerőművek: 10 000–40 000

Az esetenként több nagyságrendnyi különbséget az okozza, hogy nagyon nagy számban (vagy vonalas létesítmények esetén nagyon nagy hosszban) fordulnak elő azok a létesítmények, melyek a madárpusztulásokat okozzák. Ezek az eredmények azt bizonyítják, a szélerőműveknek való ütközések aránya az állományvesztés többi okához viszonyítva elenyészőnek tekinthető. Az ütközések következtében történő madárpusztulásokat vizsgálta F.Bergen (2001) németországi szélerőmű-parkokban. Azon célból, hogy a dögfogyasztó ragadozókat – mindenekelőtt a rókát (*Vulpes vulpes*) – kizárják, elektromos kerítést, villanypásztor alkalmaztak a tornyok körül. Öt szélerőművet 82 alkalommal vizsgáltak és mindössze egy példány elpusztult királykát (*Regulus regulus*) találtak a szélerőművek közelében, amelyik bizonyítottan ütközés miatt pusztult el. A metodikai nehézségek ellenére az ütközéses balesetek esélyét meglehetősen csekélynek állapították meg.

Az ütközés kockázata a szélparkokban tehát általánosságban elenyészőnek tekinthető. Ugyan mindegyik szélparknál előfordul, hogy az ütközések miatt madarak pusztulnak el, a

veszteségek rendszerint nem olyan magasak, hogy a veszélyeztetett állomány jelentősen csökkenne. Egyes esetekben azonban előfordulhat, hogy növekszik az ütközések száma. A szélerőművek akadályozó hatásának a vizsgálatok elsősorban azt figyelték, hogy a szélerőművek akadályozzák-e a madarak vonulási útvonalát. A vizsgálatokból kiderül, hogy a kistestű madarak minden nehézség nélkül ki tudják kerülni a szélerőműveket. Problémák akkor jelentkezhetnek, ha a berendezéseket a frekvenciált vonulási útvonalakon a fő vonulási irányra merőlegesen, hosszú sorompóként helyezik el. Ezek a problémák hatékonyan kiküszöbölhetők, ha a szélerőműveket a fő vonulási iránnyal párhuzamosan rendezik el.

A szélerőművek madarakra gyakorolt zavaró hatása faj és terület specifikus. A zavaró hatás legsúlyosabb esete, amikor a madarak elvándorolnak a területről, azaz a terület kiesik a megfelelő élőhelyek közül. Ennek a hatásnak a súlyosságára hatással van egyfelől az élőhely kiesés mértéke, valamint a fajok számára meglévő egyéb megfelelő élőhelyek száma. A legtöbb tanulmány a szélerőművek hatását, (a madárszám csökkenését, a madarak megritkulását) az erőmű 600 méteres környezetére vizsgálta. A zavaró hatáshoz minden bizonnyal hozzájárul az erőművek környezetében megnövekvő emberi aktivitás is, mint a fenntartás, a látogatás ill. a terület megközelítéséből adódó zavarás (Zelenák, 2003). Számos vizsgálat igazolja, hogy a legtöbb vonuló és telelő madárfaj megváltoztatja a vonulási útvonalait, hogy elkerülje a szélerőműveket. Más vizsgálatok azt bizonyítják, hogy számos költő madárfaj csupán kis mértékben, illetve egyáltalán nem érzékeny a szélerőművek zavaró és elvándorlásra kényszerítő hatásával szemben. A problémák elkerülése érdekében a szélerőművek telepítési helyének megtervezésekor mindenképpen figyelembe kell venni a madarak vonulási útvonalaira vonatkozó információkat. Megfigyelték, hogy a madarakat egy 2 MW-os 90 méter átmérőjű turbina üzeme egyáltalán nem zavarja. A madarak 100-200 méterre a szélerőműtől megváltoztatják a vonulási útvonalukat és a turbina felett vagy mellett biztonságban haladnak el. Dániában és Németországban számos példát tapasztaltak arra, hogy sólymok a szélturbina tornyokon felállított kalitkákba fészkeltek (F.Bergen, 2001). Az eddigi hazai vizsgálatok ütközéses madárbalesetekről nem számolnak be. 2009-ben hazánkban a Kisalföldön kezdődtek madártani vizsgálatok. A Kisalföld kétségtelenül az egyik legszeleesebb térségünk és kiválóan alkalmas a szélenergia hasznosítására, emellett azonban számos ritka és veszélyeztetett madárfaj a Kisalföld területén, talál otthonra. Ezeknek a fajoknak a védelme kiemelt természetvédelmi feladat. A vizsgálat első részeként a vizsgálatokat végző két szervezet munkatársai rendszeresen ellenőrzik a Levél és Mosonszolnok községek külterületein felállított szélerőmű parkok egész térségét és regisztrálják az esetleges madárpusztulásokat. Felmérés másik része a legmodernebb technológiát hívta segítségül. A szélerőmű parkok peremén fészkelő kerecsensólyom párok két tagját jelölik meg műholdas jeladókkal, melyek naponta többször, méteres pontossággal mérik a madarak helyzetét. A napelemmel és beépített GPS egységgel rendelkező jeladók lehetővé teszik annak megállapítását, hogy a sólymok milyen aktivitással használják a szélturbinák közötti területet. Az eddigi tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a madarak biztonságos távolságot tartanak az erőművektől és a viselkedésformájukat, sem változtatják meg. A madarakra gyakorolt hatást mind a tervezők, mind pedig az üzemeltetők komolyan veszik, és a fejlesztésekből kizárják a madárvédelmi körzeteket.



244. ábra: A szélérőművek és a madarak[24] (Forrás: Tóth et al, 2006)

22.3.6.6. Zajhatások, hallható és infrahang tartományban [23]

Hallható hangok

A szélérőművek által keltett hang kétféle forrásból származik:

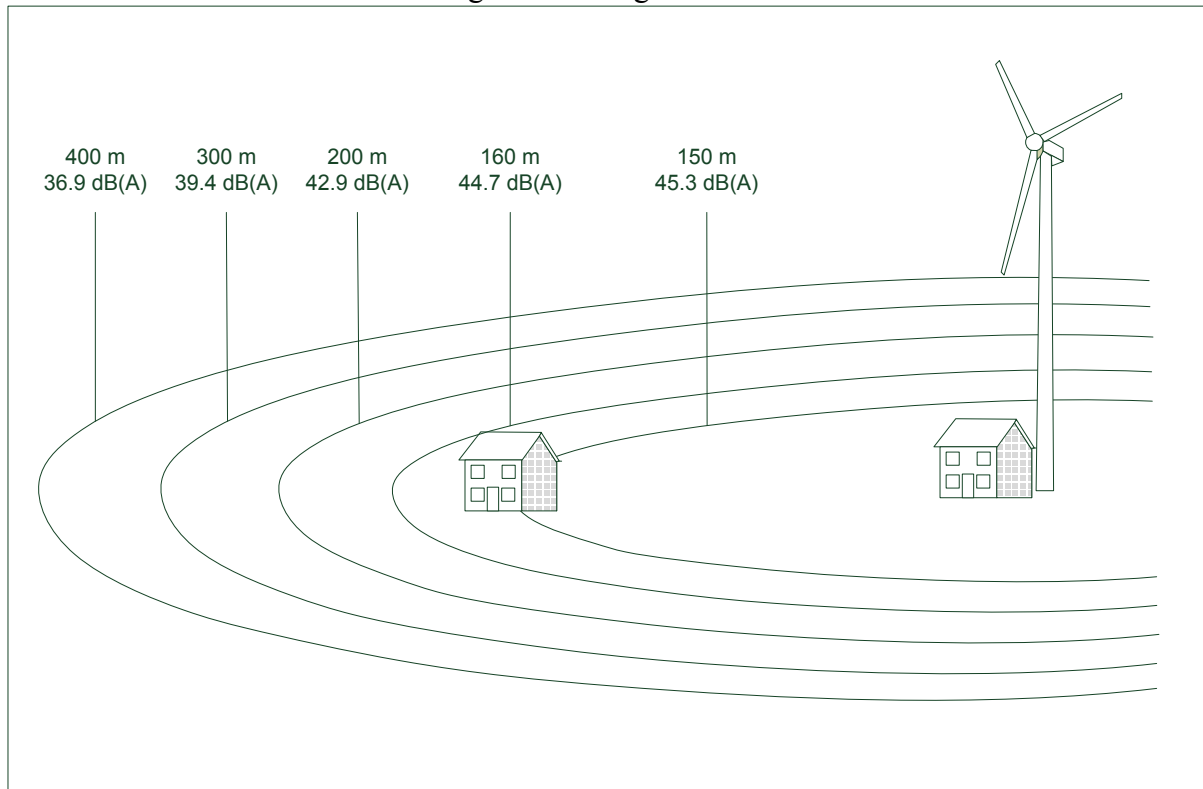
- turbina: áramlástechnikai eredetű zajok
- hajtómű: mechanikai eredetű zajok

A szélérőmű-egység fő zajforrása a torony tetején elhelyezett gépház, mely tartalmazza a hajtóművet, a villamos energia termelő berendezést (generátor), illetve a segédberendezések valamennyi egységét. A forgó-mozgó alkatrészek zajkeltésének jellege mechanikai eredetű. A fémrészek egymásnak ütődése, súrlódása során keletkező zajok a szélérőmű esetében minimálisak. A másik zajkeltő a turbina, mely a lapátok periodikus elhaladása, illetve a torony által zavart szélmező hatására áramlástechnikai eredetű zajhatást fejt ki. A turbina lapátok szögállásának működés közbeni változtatásával a surrogó zaj mérsékelhető, ez azonban a hatásfokot csökkenti. A zajhatást elsősorban a 8 m/s-nál erősebb szél kelti. Természetesen ennél nagyobb sebességnél már az erőmű maga is bocsát ki zajt. Típustól függően 95-105 dB(A)-t mértek. A torony lábától 50 m-re a zaj immisszió már csak 50-60 dB(A). Ez megfelel a beszélgetésnek vagy az irodai alappzajnak. 300-600 m távolságra a legrosszabb esetben talajszinten 35 dB(A) a hatás. Egy tíz szélérőgépből álló szélfarmtól 500 méterre ugyanolyan körülmények között kb. 45 dB(A) a mért zaj (www.windenergie.de) Kijelenthető, hogy a zaj nem probléma egy mai modern szélérőmű esetében, ha azokat gondosan a megfelelő helyre telepítjük. A szélérőművek építése során zajszennyezés a földkábel lefektetése, a földmunka végzése, és a szélérőmű felépítése során keletkezik. Ezen minimális zajhatások azonban az építkezést követően megszűnnek. A szélérőművek magyarországi létesítésével kapcsolatos zaj és rezgésvédelmi követelményeket a többször módosított 12/1983. (V.12.) MT sz. zaj és rezgésvédelemről szóló rendelet tartalmazza. A rendelet alapján a környezetbe zajt, illetve rezgést kibocsátó és a zajtól, illetőleg rezgéstől védendő létesítményeket úgy kell tervezni, elhelyezni, létesíteni, üzembe helyezni, hogy a zaj és rezgés ne haladja meg a megengedett zaj-, és rezgésterhelési határértékeket.

A telephely kiválasztása a szélerőmű telepítésére az Európában szokásos biztonsági előírások figyelembevételével történik. A szélerőművekkel határos lakóövezetek maximális megengedhető zajterhelése: 45 Decibel. A szélturbinák esetében a keletkező hallható zajok 300 m-es távolságban a 20-100 Hz-es tartományba esnek.

A modern szélturbinák csendesek és egyre zajtalanabbak. Sok erőfeszítés történt a minél csendesebb gépek megalkotása érdekében, amelynek során figyelmet szenteltek a formára, a lapátkerékre továbbá a gép mechanikus részeire. A mai szélparkok tervezésénél a 2 MW teljesítményű szélerőműveket legalább 400 m távolságra építik a lakott területtől.

A hangnyomás szintje a szélerőmű alapjától 50 méter távolságban 50-60 dB(A) nagyjából ugyanolyan szintű, mint a beszélgetésé. Elmondható tehát, hogy a körültekintően telepített modern szélturbinák esetében a hang nem okoz gondot.



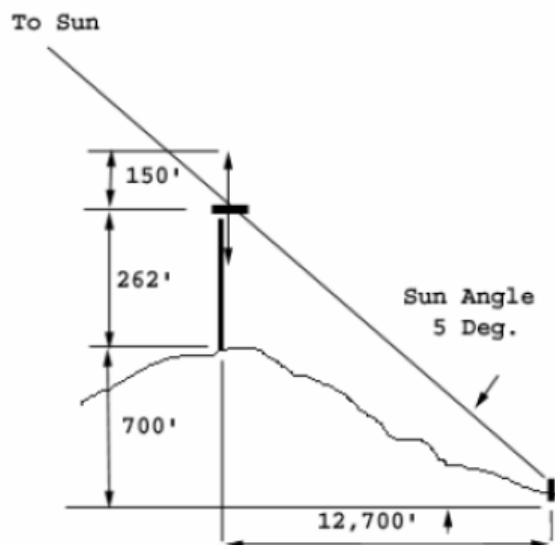
245. ábra: A szélerőművek zajhatása a hallható hang tartományban[24] (Forrás: <http://www.sze.hu/kornyezet/KTT7/Toth.ppt>)

Infrahang hatás

A szélerőmű által kibocsátott infrahangok – a németországi GIGAWIND program mérési eredményeit figyelembe véve – az emberi szervezet szempontjából nem jelentenek problémát. A szél természetes formákon is létrehoz infrahangokat – a szélereősségtől és a turbulenciától függően. A szélerőművek valóban bocsátanak ki infrahangot, viszont a tornyoktól 600 méterre 8 m/s sebességnél a mérhető infrahang immisszió az előírt határérték alatt van. Az infrahang tartományban a szélerőművek olyan infrahang nyomás szintet produkálnak, amelyek az ember érzékelési küszöbértéke alatt maradnak. A németországi kutatási és gyakorlati eredmények arról tanúskodnak, hogy az infrahangok az emberi szervezetre nem gyakorolnak káros hatást. (www.gigawind.de)

Árnyékhatás, diszkó-effektus

A szélturbinák vizuális hatását meghatározza a lapátokról visszaverődő fény és a forgó lapátok által keltett mozgó árnyék. A fényvisszaverődés megelőzése érdekében a gyártók a mai szélturbinákat tükröződésmentes bevonattal látják el. Az árnyékvetés azonban igen zavaró lehet a környező lakosok számára. A jelenség magyarázata, hogy a mozgó lapátok mozgó árnyékokat vetnek, amelyek a nap alacsony állása esetén óriási pörgő, gyorsan váltakozó világos és árnyékos foltokat okoznak. Ezt diszkó-effektusnak is hívják. Amennyiben a szélturbinát domb tetejére telepítették, ezek a mozgó árnyékok különösen hosszan látszanak.



246. ábra: Az árnyékvetés geometriája egy dombon álló szélturbina esetében (Mértékegysége: láb, forrás: Bolton, 2007)

Törvényi szabályozás nincs az árnyékhatás megengedhető mennyiségére, azonban egy német bírósági döntés évi 30 napban maximalizálta a lakóépületeket érintő még elfogadható diszkó-hatást. Ezt az ajánlást azóta több ország alkalmazza. (Danish Wind Energy Association) Egy további ajánlás szerint érdemes a szélerőművet úgy tájolni, hogy a legközelebbi érintett létesítmény messzebb legyen, mint a rotor átmérőjének a tízszerese. (Bolton, 2007)

Az árnyékhatást geometriai módszerekkel számíthatjuk ki, ha a rotorokat korong, a napot pedig pontforrásnak tekintjük. Az árnyékvetés hatása függ a felhősödéstől, a légkörben található aeroszolok hatásától, amelyek módosítják a napfény erősségét, illetve függ attól, hogy az árnyék milyen napszakban érinti az adott létesítményt vagy házat. Egy svéd felmérés alapján azok a lakosok, akikhez munkaidő után vagy este ért el a mozgó árnyék, kifejezetten zavarónak ítélték, ellenben azokkal, akiket napközben érintett az árnyékhatás. A szélerőművek tájolásánál nem csak az árnyékolásnak kitett órák számát kell figyelembe venni, hanem azt is, hogy ezek a hatások, mely napszakban érintik a lakosokat. A fény-árnyék hatás egyszerűen kivédhető azon a területen, ahol lehetőség van a szélturbinák lakott területhez viszonyított északi elhelyezésére. A környezeti hatástanulmány fontos eleme hazánkban is az árnyékvetés vizsgálata.

Elektromágneses sugárzás, elektromágneses interferencia

Bármely nagy mozgó szerkezet képes elektromágneses zavarást kelteni. Ez a szélturbinák esetében, úgy lehetséges, hogy a jelek visszaverődnek a lapátkerékről úgy, hogy a közelben

lévő vevőkészülék fogja mind a közvetlen, mind a visszaverődött jeleket. Az elektromágneses zavarás a fémes anyagoknál a legsúlyosabb, míg legkevésbé súlyosak a fa légcsavarok esetében, hiszen ezek erősen zajnyelők hatásúak. A modern lapátkerekhez üvegszálaspoliésztert használnak. Ezek részlegesen eresztik át az elektromágneses hullámokat és ezért közbelső helyet foglal el az elektromágneses zavarás skáláján. Azon polgári és katonai kommunikációs jeltípusok, amelyeket az elektromágneses zavaró hatások befolyásolhatnak, a tévé és rádióadásokat, a mikrohullámú és cellás rádiókommunikációt, valamint a különböző navigációs és légi közlekedési ellenőrző rendszereket foglalják magukba. A szélerőmű parkok vezetői konzultálnak az illetékes polgári és katonai hatóságokkal, hogy megállapítsák, várhatóak-e elektromágneses zavarások. A mikrohullámú hálózatokat és a légügyi kommunikációs rendszereket befolyásoló problémákat már ebben a szakaszban el kell kerülni. A szélturbinák és a telekommunikációs rendszerek párhuzamos telepítése az Európai Unióban már megszokott. Az eddigi Európai Unió tapasztalatok azt mutatják, hogy a megfelelően tervezett szélerőmű parkok nem zavarják a telekommunikációs rendszerek működését, továbbá a szélparkokból eredő rádiófrekvenciás sugárzás az emberre, a környezet növény és állatvilágára semmiféle káros hatást nem gyakorol.

Személyes biztonság

A Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság nemzetközi szabványt adott ki a szélerőművek biztonsági előírásairól. (MSZ EN 61400-1; MSZ EN 61400-2) Az eddigi európai üzemeltetési tapasztalatok szerint nem fordultak elő szélerőművek által okozott személyi sérüléssel járó balesetek. Fokozott figyelmet kell fordítani a tüzesetek megelőzésére. (Zurndorff, 1998)

22.3.6.7. Földet érő hatások

A szélerőművek telepítése és üzembe tartása valamint a felhagyása során a talajt érő hatások elkerülhetetlenek. Az építés előkészítésének időigénye gyakorlatilag a terület infrastruktúrájától függ. Az erőmű alkotóelemeinek összeszerelése csak néhány napot vesz igénybe és ezen időszakban a környezet csak minimális mértékben kerül átalakításra. A terület igénybevétel során figyelemmel kell lenni a termőföldről szóló 1994. évi LV. Törvény előírásaira. Az erőművek területét a művelésből ki kell vonni, ezért célszerű a gyengébb minőségű területek igénybevételét előtérbe helyezni. Nagyobb szélerőmű park esetében a földterület éppúgy művelhető, mint azelőtt. Az építési folyamat során az alapozáshoz szükséges munkagödör kerül kiásásra. Az oszlopok alapjának kiásásakor, a földkábelek fektetésekor a talaj szerkezetének védelme érdekében a humuszos talajt a többi kiemelt földtől elkülönítve kell, hogy deponálják, majd a későbbiekben az építési terület rendezésekor újra felhasználják. A humuszt nem tartalmazó föld egy részét elszállítják, de a jelentős részét az elkészült alapra kis dombként visszatermelik. A betonozás két fázisban történik. A mélyalap beöntését követően a felső alapozás zsaluzási munkája következik, mely a kúpos acéloszlop rögzítő elemet is tartalmazza. Ilyenkor az elkészült betonlapból csak a rögzítő csavarok állnak ki. Az építés időszakában a szélerőmű park területén az energiát szállító földkábelek tervezett nyomvonalain történhet talajt érő üzemanyag illetve olaj elfolyásból eredő hatás. Ez elsősorban a munkagépek és szállító járművek üzemanyag csöpögtetésének tudható be. Ez a talajszennyezés kiküszöbölhető amennyiben a szállítási munkák megfelelő műszaki állapotban lévő gépjárművekkel történnek. A munkagépek mozgása mellett az utak kialakítása is talajszerkezet romlást eredményezhet, valamint zöldkárak is keletkezhetnek, ezért célszerű a munkálatokat a vegetációs időn kívül végezni. A széltornyok több száz tonna tömegűek éppen ezért hatalmas súllyal nehezedenek a talajra és a talajképző kőzetekre. A tömörítő hatásuk függ azok szilárdságától és teherbíró képességüktől. A jelentős súlyú terhelő

hatás a karszterületeken a kőzetek szerkezetében kárt okozhat, ezért itt a telepítés kerülendő. A mennyiben erre mégis sor kerül, különösen körültekintően kell eljárni. A szélérőművek üzemeltetése és szükség szerinti karbantartása nem okoz talajszennyezést. A felszámolás időszakában káros hatások nem várhatók. A felhagyás miatti várható hatások megegyeznek a szerkezet telepítésekor várható hatásokkal. Az erőművek elbontását követően a környező területet az aktuális állapotának megfelelően rekultiválni kell.

22.3.6.8. Vizekre gyakorolt hatás

A szélérőművek, szélparkok építése, működése majd a felhagyása semmilyen vízhasználattal nem jár, ez azt jelenti, hogy sem szennyvíz, sem pedig más vízszennyező hatás nem keletkezik. Tekintettel arra, hogy az építmények alaptestei nem érik el a területre jellemző földalatti vizek és az általajvíz szintjét, ezért a tervezett létesítmények sem az építési, sem az üzemelési időszakban a talajvízre semmilyen hatással nincsenek. A szélérőművek alapozásának ugyan elvileg van némi hatása a talajvízáramlásra, ez a hatás azonban gyakorlatilag jelentéktelen. Mély alapok esetén azok egymástól független, pontszerű elhelyezkedése miatt a talajvíz gond nélkül körüláramolja őket. Érzékenyebb területnek számítanak elsősorban az élőhely veszélyeztetettség miatt a vízpartok menti területek, valamint a karszterületek a kőzet karsztvíz felszíni víz utánpótlásra gyakorolt hatása okán. Ezekben, a területeken szélérőmű felállítását lehetőleg kerülni kell, ha erre mégis sor kerül, különösen körültekintően kell eljárni.

22.3.6.9. A szélérőművek teljes életciklusa alatt keletkező hulladékok kezelése

A szélérőművek teljes életciklusa alatt a várható hulladék kibocsátások minimálisnak mondhatók. Az olajos készülékeket és anyagokat, tehát a veszélyes hulladékokat ellenőrzött körülmények között kezelik. A munkaterületen az építéssel megbízott cégnek kell gondoskodnia a különböző hulladékok fajta szerinti gyűjtésről és ártalmatlanításról. A helyszínen hulladék nem maradhat, az építési munkálatok végeztével az összegyűjtött hulladékot a területről elszállítják. A veszélyes hulladékokat az erre szakosodott telepre szállítják és a más helyről hozott hasonló hulladék fajtákkal együtt ártalmatlanítják. Az életciklus végén, tehát a felhagyás időszakában keletkező hulladékokat az akkor érvényben lévő előírásoknak megfelelően kell majd kezelni. Megfelelően tervezett hulladékgazdálkodás esetén a környezet védendő elemeire a helyszíni és a vizsgált területen kívüli hatások nem várhatóak.

22.3.6.10. A szélérőművek anyag és energia felhasználása

A mai modern szélérőművek rendkívül gyorsan megtermelik azt az energiamennyiséget, amit a gyártásukra, a beüzemelésükre és a végén a kiselejtezésükre fordítottak. A teljes életciklus alatt felhasznált energia mennyiség árát egy szélérőmű park körülbelül 3-4 hónap alatt behozza. A Dán Szélenergia Szövetség egy teljes életciklus elemzést hajtott végre a szélérőműveken. Kiderült, hogy egyre rövidebb a szélérőművek gyártási és üzemeltetési energiaszükségletének a visszatérülési ideje. A nagyobb távolságra elszállított szélérőművek elhelyezése csak kis visszatérülési különbséggel jár, mint a helyben beüzemelt.

A szélérőművek létesítésekor felhasznált anyagok tömege nem biztos, hogy arányos a szélérőmű park beépített teljesítményével.

A szélérőművek felújítása az alapok és a tornyok meghagyásával elvégezhető. Ennek köszönhetően, mint egy 80 százalékkal csökkenthető a második generációs erőművek anyagszükséglete.

58. táblázat: Szélerőmű park létesítésének anyagszükséglete[24]

Szélerőmű park komponensek	Teljes súly (tonna)	Súly (tonna)	Arány (%)
Megfigyelő tornyok	<1	<1	-
Szélerőművek	436	108	17
Szélerőmű alapok	1800	444	73
Más infrastruktúrák	241	60	10
Teljes felhasználás	2478	612	100

(Forrás: TÓTH et al, 2006: Széleenergia hasznosítása)

22.3.6.11. Újrahasznosítható anyagtartalom

A szélerőművek lebontása estén ezekre a berendezésekre úgy tekintünk, mint nagy arányban újrahasznosítható anyagokból összeállított szerkezetre.

59. táblázat: A szélerőművekhez felhasznált anyagok újrahasznosítási lehetőségei[24]

Komponensek	Újrafeldolgozás	Elégetés	Földfeltöltés
Rotor lapától GRP/poliészter GRP/epoxid	GRP mint adalékanyag a műanyagokhoz A gyanta üvegszállal olyan redukáló szer a fűvókemencékben, mint a salak, használható adalékanyag a cementmunkában.		
Alapzat és beton Alapozás Torony: - Köracél - Beton Generátor Fogaskerékház	Acél az acélszerkezetben. Beton, mint adalékanyag (pl. új beton vagy útalapokhoz). Ötvözött acél a jó minőségű acélt igénylő munkában. Másodlagosan finomított hajtóműolaj. Réz másodlagos rézberendezésekben.	A fogaskerék-hajtómű olaj hulladékégetőben. (veszélyes hulladék)	Szilárd feltöltő alapanyag a házhelyeknél.

Forrás: (TÓTH et al, 2006: Széleenergia hasznosítása)

Néhány új szempont a szélerőművek anyagainak felhasználásához:

- Törekedni kell a komponensek mennyiségének minimalizálására és biztosítani a könnyű lebonthatóságot.
- A rotor lapátot PVC nélkül kell előállítani.
- Az újrahasznosított beton törmelékét, mint adalékanyagot kell használni az alapozáshoz.
- Figyelembe véve az alapok könnyű lebonthatóságát, a megfelelő helyekre robbantásra előkészített lyukakat célszerű elhelyezni.
- Meg kell vizsgálni az újrahasznosított kenőanyagok további használhatóságát.
- Osztályozni kell pontos anyagi összetétel alapján, főként a felhasznált ötvözött acélokat.
- A rotor lapátokat újrahasznosítható nyersanyagból kell tervezni.

22.3.7. A szélerőművek szociális hatásai

A szélerőművek telepítésekor számos fontos szempontot kell figyelembe venni. A szélenergia hasznosítás szempontjain kívül fontos tényező a táj természetvédelmi jellege, a védett állat és növényvilág, továbbá az erőművek lakott területektől való távolsága, amire elsősorban az esetlegesen fellépő zajhatások miatt szentelnek kiemelt figyelmet. A szélerőművek telepítési helyének kiválasztása során figyelembe kell venni az erőművek szociális hatásait is. A szélerőművek szociális hatása alatt, azok emberi társadalomra, közösségekre gyakorolt hatását értjük. Alapvetően a szélenergia, mint megújuló energiaforrás pozitív fogadtatásnak örvend. A szélerőművek azonban a jellegzetes formájuk folytán más energiaforrásoktól eltérően messziről láthatók. Ez egyrészt komoly szimbolikus erőt kölcsönöz neki, másrészt viszont hasonlóan a többi új fejlesztésekhez a szélenergia hasznosítása ellen is hoznak fel érveket. A szélparkot a legközelebbi lakott területtől több mint 100 méterre kell telepíteni annak érdekében, hogy a zajhatás csak töredéke legyen az emberre vonatkozó határértéknek. A turbinák esetleges zavaró villódzása a környezetbe illő matt festett felülettel megoldható. Az emberéletet veszélyeztető tényezők (oszlop dőlése vagy jégdarabok hullása) minimalizálása az elsődleges szempontok a tervezés során. A településtől megfelelő távolságra épített szélerőművek esetében, a lakosság is biztonságban van, ha esetleg valamilyen meghibásodásra kerülne sor. A szélerőművek lakossági elfogadása erősen függ a projekt kialakításától és a lakosság bevonásától. Csak kevés projektnél merültek fel sérelmek a lakosság részéről, ezek főleg ott ahol megfelelő társadalmi tájékoztatás nélkül hozták létre a létesítményeket. A beruházónak még a projekt kezdeti szakaszában érdemes részletesen tájékoztatnia a lakosságot, mert ha bevonják őket a tervezési eljárásba, akkor a szubjektív sérelmek is messzemenően csökkenthetők. Az Európában szerzett összes eddigi tapasztalat azt mutatja, hogy ily módon a szélerőműveknél igen nagy mértékű elfogadás érhető el. Külföldi kutatási eredményekből kiderül, hogy azokban az országokban, ahol már jelentősebb mennyiségű erőművet telepítettek, a turbinák támogatottsága magasabb a már érintett lakosok között, mint azok körében, ahol még csak tervezik a szélturbinák felállítását. Dán felmérések szerint a megkérdezettek 96 %a támogatja a szélenergiát. A válaszadók 92% a gondolja úgy, hogy a szélenergia növeli a foglalkoztatottságot, 61% szerint az erőművek jól illeszkednek a tájképbe, míg 51% kifejezetten gyönyörűnek tartja őket. Egy skóciai kutatóintézet kifejezetten az erőművek közvetlen közelében élők véleményére volt kíváncsi. Háromszor annyian voltak azok, akik szerint pozitív hatásuk volt a beruházásoknak, mint azok, akik szerint negatív. A német SOKO intézet az évente elvégzett kutatásaiban a szélturbinák és a német turizmus összefüggését keresi. Fő kérdésük abból indul ki, hogy mely tájképi elemek zavarják az embereket nyaralásaik során. A 2005-ös felméréseknél a válaszadók mindössze 3,3% a jelölte meg a szélturbinákat. Németországban egyébként napjainkig, mint egy 70 000 embernek adott munkalehetőséget a szélenergia ipar és ez a szám 2020-ig a 110 000 főre is nőhet.

Hazánkban is készült olyan közvélemény kutatás, amely a szélerőművek társadalmi elfogadottságát vizsgálta. A kutatás 366 ember megkérdezésével készült 2003-ban. A Kulcsi és a Mosonszolnoki eredmények a nemzetközi statisztikákat támasztják alá. Ezeken a helyeken 77%-os volt az erőművek elfogadottsága.

Általában elmondható az, hogy a szélturbinákkal kapcsolatos negatív hatások csak kisebb mértékben igazolódtak be, mint ahogy azt a lakosok a megépültük előtt várták.

Turisztikai aktivitás

A szélerőművek turisztikai látványosságnak számítanak, ezért a létesítés helyén nagy számú látogatóval lehet számolni. Ez az adott területen tartós forgalmat eredményez, amit megfelelő

infrastruktúra kialakításával, a természetvédelemmel összehangolt korlátozásokkal lehet megfelelően szabályozni. (Zurndorfi szélerőmű park)



247. ábra: Egyetemi hallgatók Zurndorfban[24]

Más ökológiai hatások

A földi ökoszisztémát elsősorban a szélerőművek építésével kapcsolatos tevékenység és a terület felhasználás befolyásolja. A hatás mértéke függ az ökoszisztéma jellemzőitől, az építkezési technikától, az időzítéstől és a helyreállítási gyakorlattól. Ezek a hatások esetenként vizsgálандók. (20/2001. (II.19.) Korm. Rendelet, 314/2005 (XII.25.) Korm. Rendelet)

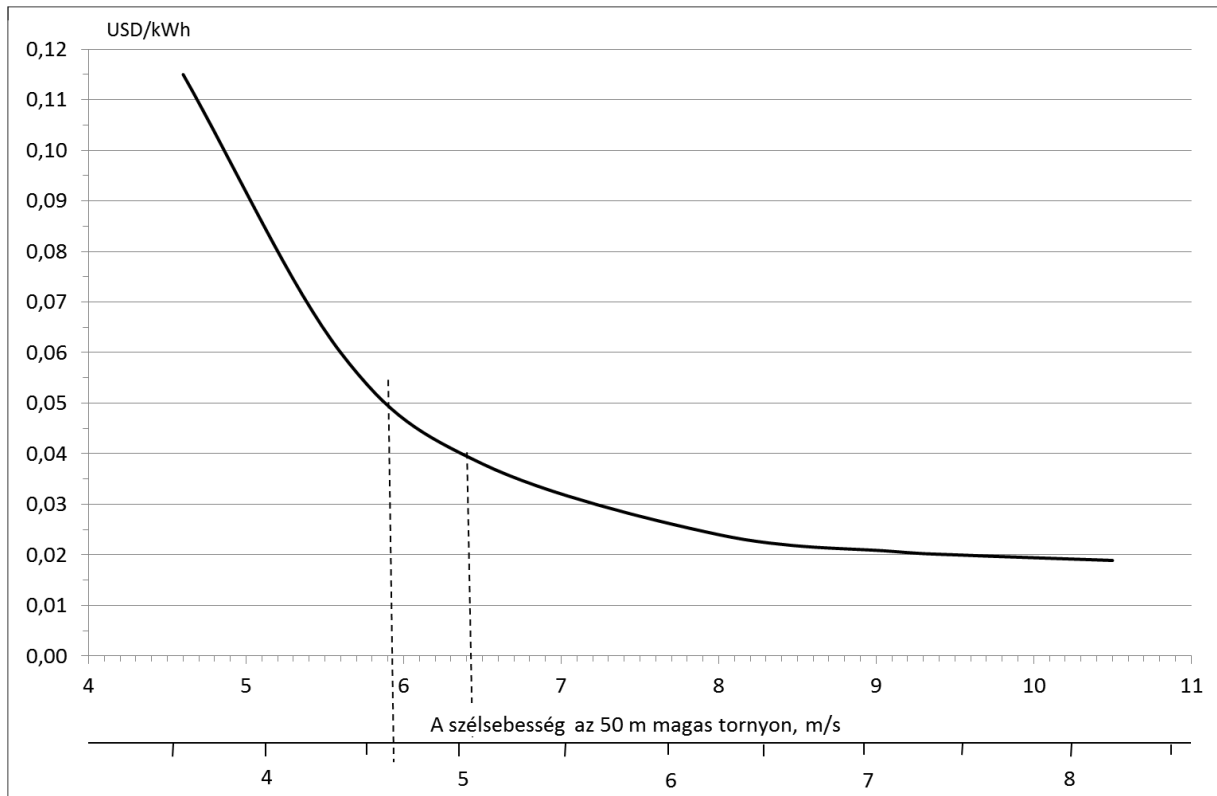
Nem táj és természetvédelmi területen a szélerőművek telepítése 2MWösszteljesítménytől, védett táj és természetvédelmi területeken 200 kW összteljesítménytől környezeti hatásvizsgálathoz kötött. A környezetvédelmi engedélyt kiadó hatóság hatáskörében mérlegeli a természet és tájvédelmi szempontokat.

22.3.8. A szélenergiából történő villamosenergia-termelés gazdaságossága

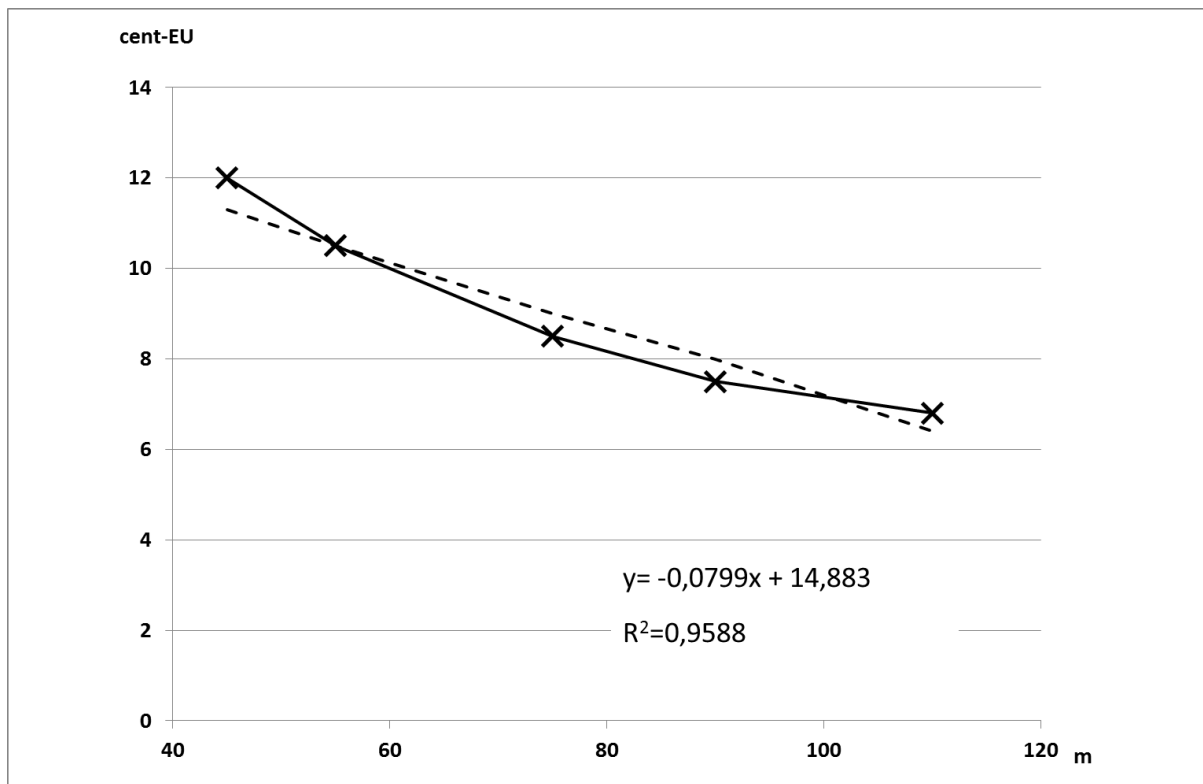
A szélerőmű park, szélerőmű energiatermelésének költsége három fő költség nemre bontható. A legnagyobb költség a szélerőmű, szélerőmű park létesítési, beruházási költsége. A második legnagyobb költséget a szélerőmű, szélerőmű park 20 év üzemideje alatt jelentkező üzemeltetési és karbantartási ráfordítások jelentik. Végül a harmadik legnagyobb költség a szélerőmű élettartama végén jelentkező lebontási, területrendezési költség.

A szélenergiából történő villamos energiatermelés gazdaságossága nem ítéhető meg kizárólagosan a gazdasági alapon, nevezetesen szem előtt kell tartani, hogy a szélenergiából nyert villamos energia termelése a teljes életciklus analízis alapján az egyik legkörnyezetkímélőbb energiatermelés.

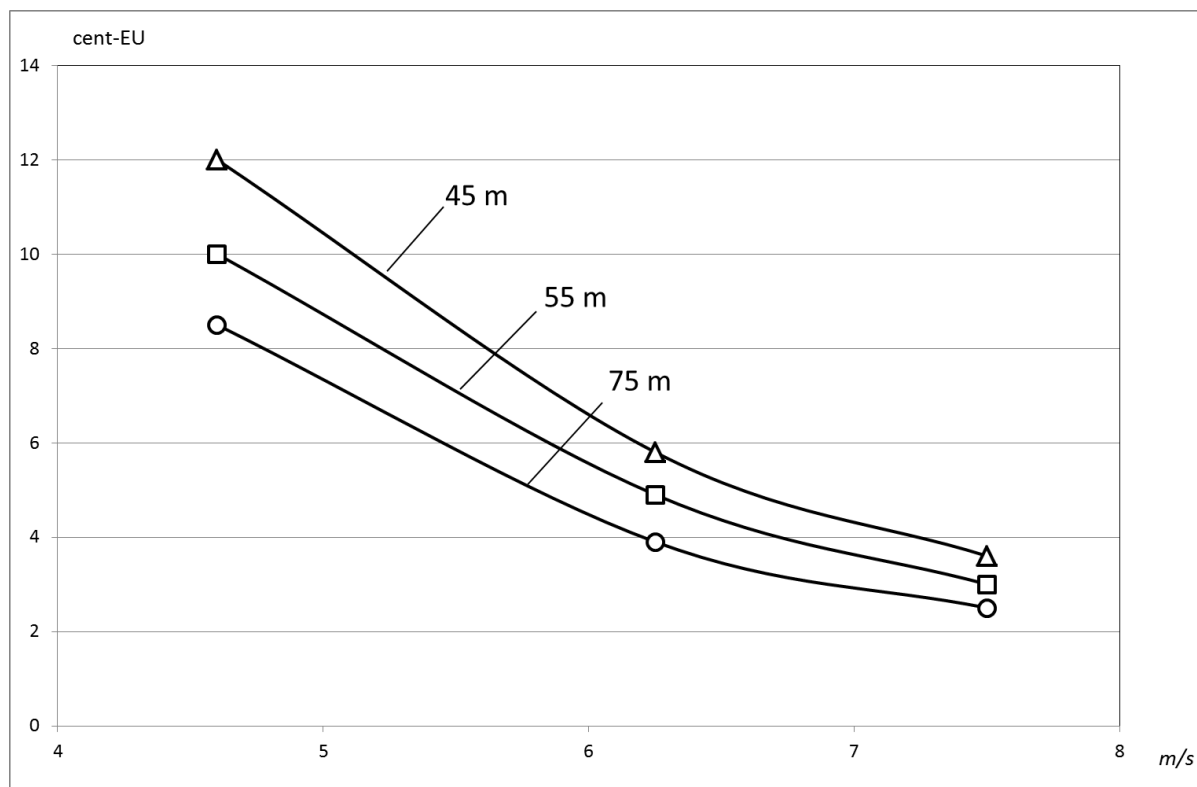
A részletes költségmodell LPC (Levelised Production Cost) számítások bemutatásából terjedelmi korlátok miatt el kell tekintenünk, csak a szélesebb, a toronymagasság növelésének hatását vizsgáljuk a fajlagos energiatermelés költségére.



248. ábra: A szélesebbesség növekedés hatása a fajlagos energiatermelés költségére [21]



249. ábra: A szélörmű toronymagasság növelésének hatása a fajlagos energiatermelés költségére [21]



250. ábra: Kisebbszélsebességek esetén a fajlagos energiatermelés költsége a torony magasságának növelésével mérhető. [21]

A tíz éves magyarországi üzemeltetési tapasztalatok szerint 6,35 m/s éves átlagos szélsebesség mellett a 105 m toronypont magasságú, 90 m turbinalapát átmérőjű, 2 MW teljesítményű szélerőművekkel illetve ezekből kialakított szélerőmű parkokkal érhető el a legjobb fajlagos energiatermelési költség. A jelenlegi KÁT (Kötelező Átvétel Mérlegköre) mérlegköri kötelező áramátvételi árak és pótdíjak mellett a szélerőművek becsült megtérülése Magyarországon 10-13 év.

22.3.9. A szélerőmű beruházás megkezdésének előfeltételei Magyarországon:

- környezetvédelmi engedély a 314/2005. (XII.25.) Korm. rendelet szerint
- jogerős építési engedély
- vezetékjogi engedély
- áramátvételtől szóló hosszú távú kereskedelmi szerződés (KAT mérlegkör, 389/2007.(XII.23)Korm. rendelet,109/2007.(XII.23.)GKM rendelet)
- összevont kiserőművi létesítési, működési engedély a 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról (VET) és 246/2005.(XI.10.)Korm.rend.)

A szélerőművek létesítésekor figyelembe kell venni a nemzeti környezetvédelmi, természetvédelmi jogszabályokat, EU jogszabályokat, nemzetközi szerződéseket, egyezményeket.

Tapasztalatok

Egy 1,5 MW teljesítményű szélerőmű a 20 évi várható üzemideje alatt 76 millió kWh tiszta („zöld”) áramot állít elő. Ez megfelel 84 000 tonna barnaszén helyettesítésének.

Egy 6 MW teljesítményű szélerőmű park létesítésével évente elkerülhetjük 13,6 millió kg szén-dioxid, 20720 kg kén-dioxid, 10 220 kg nitrogén-oxid, valamint 560 kg por kibocsátását.

A szélenergia hasznosításhoz kapcsolódó szolgáltató szektor, nevezetesen az

- üzembe helyezés
- karbantartás
- mérnöki tevékenység

új munkalehetőséget nyújt az adott régióban. Ezt igazolják a szomszédos ausztriai tartományban Burgenlandban (Zurndorf, Bruck an der Leitha) létesített szélenergia üzemeltetési tapasztalatai is.

Németországban 2006 végén a szélenergia iparban foglalkoztatottak száma meghaladta az atomenergia iparban foglalkoztatottak létszámát

A helyi lakosság számára a „Szélenergia Szövetkezetek” (lásd Dánia) befektetési lehetőséget nyújthatnak. A földtulajdonosok a terület bérbeadásával többletbevételekhez juthatnak. Egy 1,5 MW teljesítményű szélenergia 1000 háztartás évi villamos energia igényét biztosítja.

A szélenergia hasznosítás a regionális értékteremtés egyik eszköze lehet.

Szerző megjegyzése a 4.3.szélenergia fejezethez: a szélenergia működésének elméleti alapjait az „Alternatív energia” Szélmotorok, szélgenerátorok című (szerk:Dr.Tóth László-Dr. Horváth Gábor) a Szaktudás Kiadó Ház gondozásában az Oktatási Minisztérium támogatásával kiadott(ISBN: 9639553034) alapműnek tekinthető felsőoktatási tankönyv részletesen tárgyalja. A TÁMOP keretében megírásra kerülő „ENERGETIKA” jegyzet elsődlegesen a környezetmérnöki MSc oktatást szolgálja, ezért és a jegyzet korlátozott terjedelme miatt a szélenergia működésének elméleti alapjait, szabályozását, villamos hálózatra kapcsolását nem tárgyaljuk.

22.4. Irodalom a fejezethez

- [1] *Bartholy, J. és Radics, K.* (szerk.), 2000: A szélenergia hasznosítás lehetőségei a Kárpát-medencében. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek, No. 14*, p. 80.
- [2] *Bartholy, J. – Radics, K. – Bohoczky, F.*, 2003: Present state of wind energy utilisation in Hungary: policy, wind climate and modelling studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7., pp. 175-186.
- [3] *Bíróné Dr. Kircsi Andrea – Dr. Tóth P. – Dr. Bulla M.* (2009): *A szélenergia hasznosítás legújabb magyarországi eredményei*. Környezet és Energia Konferencia Debrecen, 2009. május 8–9.
- [4] *F. Bergen (2001): Untersuchungen zum Einfluss der Errichtung und des Betriebes von Windenergieanlagen auf Vögel im Binnenland*
- [5] *Betz, A.*, 1946: Windenergie und ihre Ausnützung durch Windmühlen. *Göttingen*.
- [6] *Dobi Ildikó* (szerk.) (2006): Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei. OMSZ, Budapest
- [7] *Hunyár, M. és szerzőtársak (2001): Megújuló és környezetbarát energetika villamos gépei és szabályozásuk. Műegyetemi Kiadó. Bp. 2001.*
- [8] *Imre László* szerk.: (2006): Magyarország megújuló energetikai potenciálja. Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottság, Megújuló Energia Albizottság Szakmai Csoportja, Tanulmány, Budapest 2006.
- [9] *Kakas J., és Mezősi, M.*, 1956: Szélviszonyaink vizsgálata és az országos energiagazdálkodás. *Időjárás*, 60., pp. 350-364.
- [10] *Keveiné Bárány, I.*, 2000: Adatok a szélenergia-hasznosítás alföldi lehetőségeihez. *Megújuló ó energiaforrások-bioüzemanyagok*. Energiahatékonysági konferencia, Kecskemét, pp. 44-50.
- [11] *Ledács-Kiss A.*, 1963: A szélenergia hasznosítása. *Műszaki Könyvkiadó, Budapest*.
- [12] *Major György* (2005): *Negyedik szakmai beszámoló a 2005. január 31. határidővel elvégzett feladatairól*. Projekt tartalma 2002–2005.
- [13] *Patay I.*, 2003: A szélenergia hasznosítása. *Szaktudás Kiadó Ház, Budapest*
- [14] *Radics, K.*, 2001: Eredmények a szélenergia hasznosítás területéről: mérések, szélklíma és modellezés. *Szélenergia konferencia előadásai*. Magyar Szélenergia Tudományos Egyesület, pp. 35-40.
- [15] *Radics K.*, 2004: A szélenergia hasznosításának lehetőségei Magyarországon: hazánk szélklímája, a rendelkezésre álló szélenergia becslése és modellezése. *Doktori (PhD) értekezés*, ELTE, Budapest.
- [16] *Szalai S.-Gács I.-Tar K.-Tóth P.* (2010): *A szélenergia helyzete Magyarországon*, Magyar Tudományos Akadémia Környezettudományi Elnöki Bizottság és az Energetika és Környezet Albizottság tanulmánya, Magyar Tudomány 2010/8. szám
- [17] *Tar Károly* (2007): Diurnal Course of Potential Wind Power with Respect to the Synoptic Situation. *Időjárás*. 111, 4, 261–279. (Abstract: www.met.hu)
- [18] *Tar Károly* (2008a): Energetic Characterization of Near Surface Windfield in Hungary. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12, 250–264. DOI: 10.1016/j.rser.2006.05.007.
- [19] *Tar Károly* (2008b): Some Statistical Characteristics of Monthly Average Wind Speed at Various Heights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12., 1712–1724. DOI: 10.1016/j.rser.2007.01.14.
- [20] *Tar Károly* (2009): *A magyarországi szélenergia potenciál meghatározásának megoldandó problémái*. MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság Energetika és Környezet Albizottsága részére
- [21] *Tóth L.- Horváth G.* (2003): *Alternatív energia, szélmotorok, szélgenerátorok*. Tankönyv, ISBN 963 9553 03 4; Szaktudás kiadó Ház Kft; Budapest 2003.
- [22] *Tóth P.* (2004): A szélenergia hasznosítás gyakorlati eredményei. II. Energexpo Nemzetközi Energetikai Szakkiállítás és Konferencia, pp. 143-154.
- [23] *Tóth Péter* (2007): *Szélenergia-zajemissziója*. Előadás a Széchenyi István Egyetem Környezettudományi Konferenciáján, 2007. nov. 9.

- [24] Tóth Péter szerk. (2007): *A szélenergia hasznosítása. Épületgépészet a gyakorlatban 3.kötet, 12.rész VERLAG DASHÖFER Kft. Budapest 2007. augusztus 6.*
- [25] Tóth Péter – Bíró Dr. Kircsi Andrea (2009): *A szélenergia hasznosítás környezetvédelmi és területfejlesztési összefüggései, követelményei.* Környezet és Energia Konferencia. Debrecen, 2009. május 8–9.
- [26] Tóth Péter (2009): A megújuló energiaforrásokból történő villamosenergia-termelés új támogatási rendszerének tapasztalatai. *"Erőművek jelene és jövője"* Nemzetközi Konferencia, Budapest, 2009 február 3-4.
- [27] Tóth Péter (2009): A magyarországi szélenergia hasznosítás legújabb eredményei. XIV. Országos Energiatakarékossági Konferencia és Ausztriai Energiatakarékossági Szakvásár, Sopron-Wels 2009. február 26-27.
- [28] Tóth Péter (2009): A megújuló energiák szabályozásának aktuális kérdései. *Környezet és Energia Konferencia*, Debrecen, 2009. május 8-9.
- [29] Tóth Péter (2009): A magyarországi szélenergia hasznosítás legújabb eredményei. *III. Magyar Műszaki Értelmiség Napja alkalmából rendezett Tudományos-Műszaki Konferencia*, Budapest 2009. május 14.
- [30] Tóth Péter (2009): Wind industry vision for 2020. *WIND ENERGY – THE FACTS project workshop*, Budapest, 2009. június 12.
- [31] Varga Bálint – Németh P. – Dobi I. (2006): Szélprofil vizsgálatok eredményeinek összefoglalása. In: Dobi Ildikó (szerk.): *Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei.* OMSZ. 7–20.
- [32] *Wantuchné Dobi I. – Németh P. – Varga B., 2004: Hazai szélprofil vizsgálatok eredményei. II. Energexpo Nemzetközi Energetikai Szakkiállítás és Konferencia*, pp. 173-177. [33] *Werner Zielke (2003): www.gigawind.de*

23. A hulladék biomassza energetikai hasznosítása vidéki településeken (Dr. Nagy Géza)

Széchenyi István Egyetem, Győr

A biomassza - a szén, a kőolaj és a földgáz után - a világon jelenleg a negyedik legnagyobb energiaforrás. Világátlagban a felhasznált energia 14 %-át, fejlődő országokban 35 %-át biomassza felhasználásával nyerik. A biomassza valamely élettérben egy adott pillanatban jelen levő szerves anyagok és élőlények összessége. A biomasszába tartozik:

- a szárazföldön és vízben található, összes élő és nemrég elhalt szervezetek (mikroorganizmusok, növények, állatok) tömege,
- a mikrobiológiai iparok termékei,
- a transzformáció után (ember, állat, feldolgozó iparok) keletkező valamennyi biológiai eredetű termék, hulladék.

Európában a potenciális biomassza-készletek mindössze 15-20 %-ának energetikai célú hasznosítása révén az elsődleges élelmiszer-termelés teljes hőenergia-szükséglete kielégíthető. A potenciális készletek további 20-25 %-nak hasznosításával a vidéki lakosság teljes hőenergia-szükséglete biztosítható. [1] A Magyarországon keletkező nagy mennyiségű melléktermékek azon részét, melyre a talajerő-visszapótlásban, az állattartásban, valamint az ipari felhasználásban nincs szükség, maradék nélkül célszerű lenne energiatermelésre felhasználni, ugyanis a nagy tömegben keletkező maradványok potenciálisan környezetszennyező anyagok is egyben, a főtermék termelésének technológiáját is akadályozhatják esetenként. Ma a keletkezett mennyiség 10 %-át sem használják tüzelési célra [2., 3.]

A biomassza energetikai átalakításának célja: közvetlenül hasznosítható energiahordozó nyerése. Ezen belül a cél lehet hőtermelés, villamos energiatermelés vagy motor hajtóanyag előállítás. Minél kevesebb lépésben történik az átalakítás, annál nagyobb a biomassza nettó energia hozama, viszont ezzel együtt annál helyhez kötöttebb a nyert energia felhasználása (kis energiasűrűsége és az emiatti nagy szállítási költségek miatt). Ellenben minél több lépcsős az átalakítás, annál kisebb a nettó energia hozam, de annál kisebb fokú a felhasználás helyhez kötöttsége is.

A hasznosítási módok közül a legegyszerűbb a tüzelés, amelyhez átalakítási módként az aprítás a legegyszerűbb megoldás, fajlagosan a legkisebb költséggel, ám ez jelentősen nem növeli meg a szállíthatóságát az alapanyagának. Magasabb fokú, nagyobb energia-bevitelt jelent a pelletálás, brikettálás, amelyek jelentős költségnövekedéssel járnak, azonban csökkentik a szállítás költségeit a tömörítés révén és a tüzelés automatizálásában (hatásfokjavulás, kényelmi, gazdaságossági szempont) is előnyökkel járnak. [4., 5.]

Bonyolultabb és fajlagosan költségesebb berendezéseket kíván a gázosítás és a biogáz termelés. Környezetvédelmi szempontból kiemelendő a biogáz termelés, amely hozzájárul a hulladékok ártalmatlanításához és így kifejezetten csökkenti a környezetterhelést.

A legtöbb átalakítási lépcsőt a metanol-, etanol-, alkohol-, növényi olaj termelés tartalmaz. Ennek a nettó energia hozama a legkisebb, ám az így létrehozott energiahordozó hasznosítási lehetősége a legszélesebb és a felhasználási helyhez kötöttsége is a legkisebb fokú. [4., 5.]

E fejezet alapvetően a hulladéklerakókon utóválogatás és mechanikai-biológiai előkezelés eredményeként kinyert hulladékot (MBH), más néven másodlagos tüzelőanyagot igyekszik elhelyezni a biomasszák, mint megújuló energiaforrások családjában. Röviden rámutatva a

válogatás nélküli végleges lerakás/ártalmatlanítás tilalmából fakadó feladatra, nevezetesen az így keletkező fertőtlenített szerves hulladék környezetbarát – energetikai hasznosításának – szükségességére és lehetőségeire.[6.,...17.)

23.1. A biomassza hulladékok csoportosítása:

- Elsődleges biomassza hulladék a természetes vegetáció (mezőgazdasági növények, erdő, rét, legelő, kertészeti növények, a vízben élő növények) feldolgozása során képződő olyan melléktermék, amely nem épült be a főtermékbe és más technológiáknál sem használható fel alap-, segéd- vagy adalékanyagként. Ide sorolható a gyártási selejt valamint az elhasználdott, anyagában nem hasznosítható tárgyak, berendezések.
- Másodlagos biomassza hulladék: állatvilág, illetve az állattenyésztés melléktermékei, hulladékai.
- Harmadlagos biomassza: a feldolgozóiparok gyártási mellékterméke, az emberi életműködés melléktermékei.

A korszerű regionális hulladéklerakókon Európa-szerte elkülönített, Mechanikai Biológiai módszerrel előkezelt Hulladékot (MBH), más néven másodlagos tüzelőanyagként nevezik. 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 ezáltal 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.

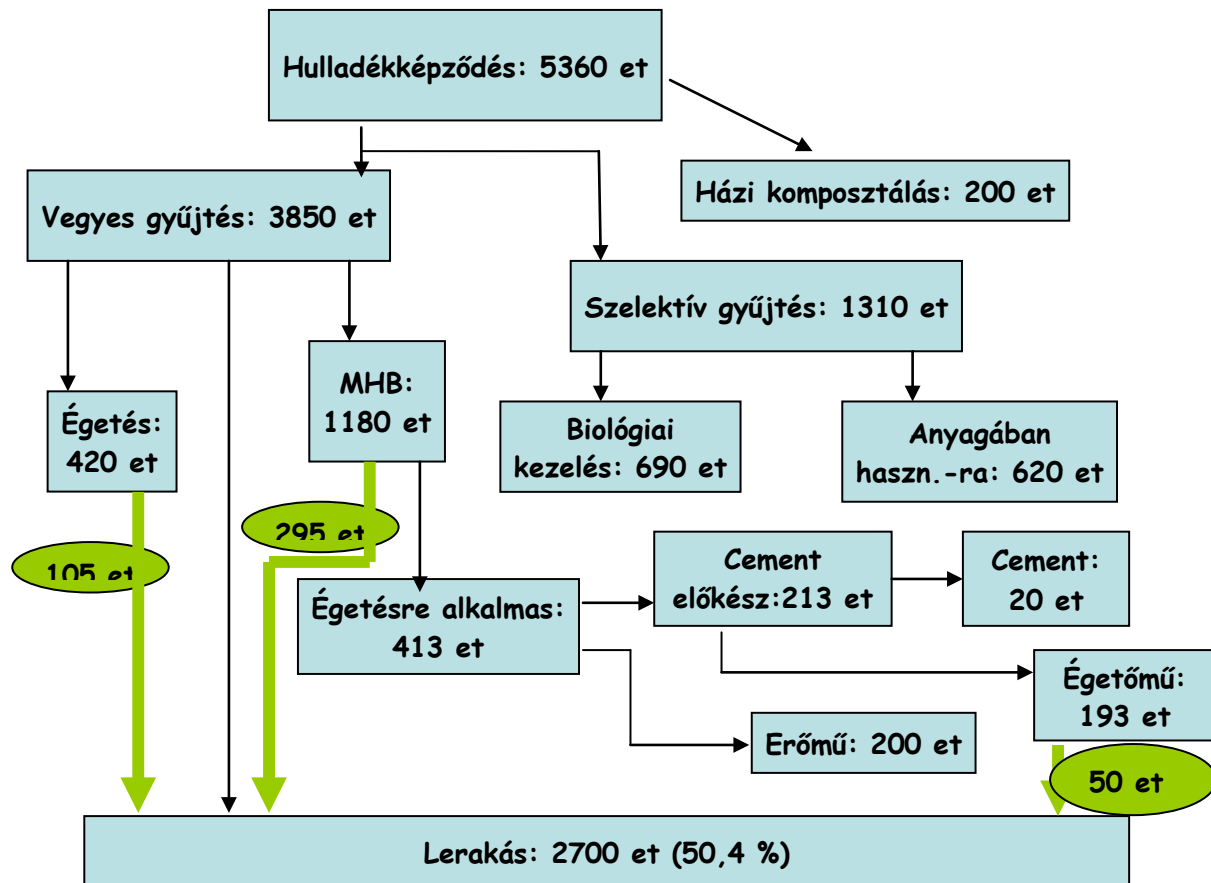
A vegyesen gyűjtött, előkezeletlen maradék hulladék jellemzően 7,5-8 MJ/kg fűtőértékével szemben a mechanikai-biológiai kezeléssel származó másodlagos tüzelőanyag legalább 12-14 MJ/kg fűtőértékű, nedvességtartalma átlagosan 10-12 % alá redukált, hamutartalma szintén erősen csökkentett, mintegy 20-25 %.

Kézenfekvő, hogy a fenntartható gazdaság megvalósítását szolgálja, ha hulladékoknak – már csak – energetikai célra használható részét mint környezeti erőforrást (megújuló energiahordozót) tervszerűen hasznosítjuk. (251. ábra)

(2004-2005-ben 40 ezer tonna TSZH mechanikai-biológiai kezelése valósult meg, amely mintegy 20 ezer tonna biológiailag lebomló szerves összetevő stabilizálását jelenti. A kezelt mennyiség a lerakók működtetése során takaró-réteggé került felhasználásra.)

A keletkező biomassza elsődlegesen élelmiszer, illetve takarmányként kerül felhasználásra, de az utóbbi években főleg az iparilag fejlett mezőgazdasággal rendelkező országokban az élelmiszer-túltermelést a közvetlen energiahordozó céljára termesztett biomasszával tervezik levezetni. Nő az energetikai célra termesztett cukorrépa, édescirok, faapríték, burgonya (szeszkrumpli) kukorica (szemes), manióka, gabonafélék termelése, sőt a kifejezetten energetikai célra nemesített növények (pl. elefántfü) termesztésének mennyisége is. Ezek gyűjtését, termesztését a 4. fejezet tartalmazza. Itt, mint a megújuló környezeti erőforrás kategóriájába sorolt – mechanikai biológiai módszerekkel – vegyes TSZH-ból nyert MÁSODLAGOS energiahordozók kinyerését ismertetjük röviden.

A megújuló energiák támogatását célzó 2009/28/EK irányelv szerint a biomassza fogalmkörébe tartozik a települési szilárd hulladék (TSZH) biológiailag lebomló hányada is. Így ez az a pont, ahol összekapcsolódik a megújuló energiaforrások keresése a hulladékgazdálkodással (60. táblázat).



251. ábra: A 2013-ra prognosztizálható hulladékkezelési folyamatára [18]

60. 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

A Mechanikai Biológiai módszerrel előkezelt Hulladékot (MBH), más néven másodlagos tüzelőanyagot tekinthetjük a hulladékok energetikai hasznosítása jövőbeli ígéretes pillérének.[20]

Rövid meghatározás:

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,

víz tartalma, 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 [20.,21[]].

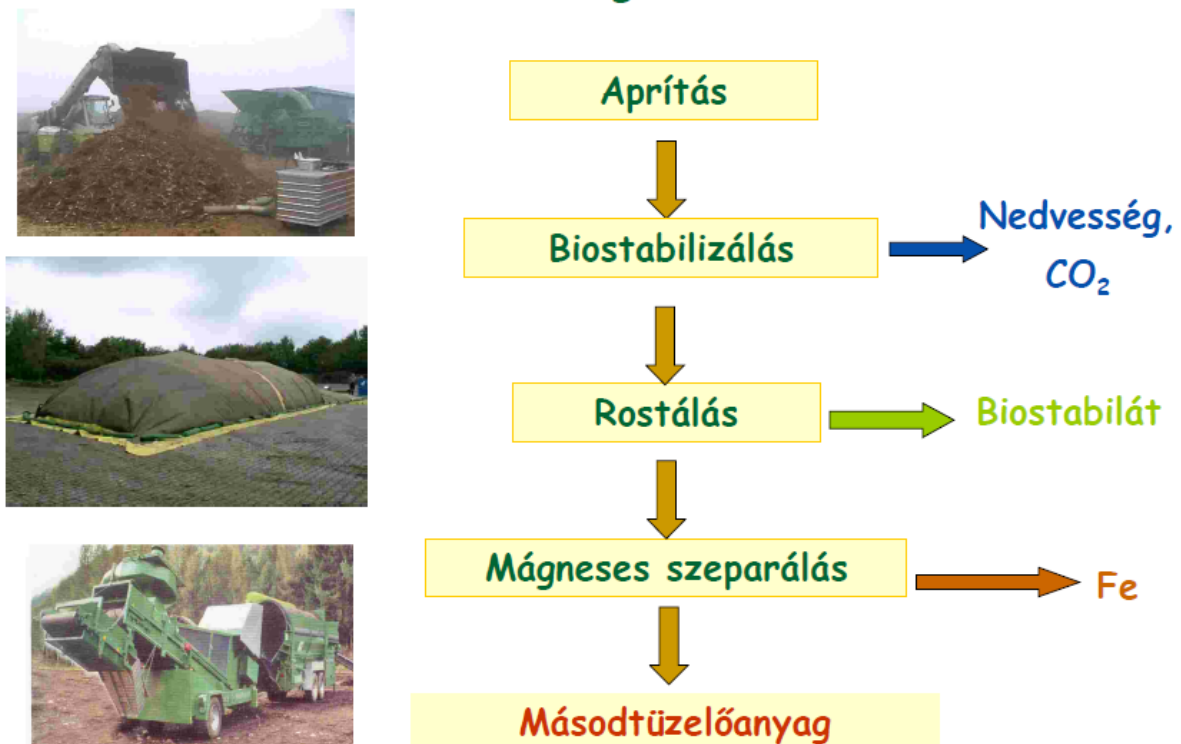
A technológia leírása

Az MBH megvalósítására – a kezelendő hulladék minőségétől, összetételétől, az ártalmatlanítás módjától (lerakás, égetés), valamint a hulladékkezelő telep technikai felszereltségétől függően – többféle technológia alakult ki, és terjedt el a gyakorlatban.

A tipikus technológiai lépések a következők (252. ábra):

- aprítás
- rostálás (az előzővel együtt is végezhető, erre alkalmas berendezésben)
- finomfrakció (<40 vagy 50 mm): legfőképpen szerves anyag durvafrakció (>40 vagy 50 mm): fém, papír, fa, fólia, egyéb műanyag, üveg, textil, bőr, kövek, stb.
- a finomfrakció aerob vagy anaerob biológiai kezelése (az így kezelt hulladék általában lerakásra kerül)
- a durvafrakció további szeparálása (fémek leválasztása, a nehézfrakció és a magas fűtőértékű könnyűfrakció szétválasztása)
- a könnyűfrakció (textil, papír, műanyag, stb.) további kezelésével másodlagos tüzelőanyag előállítása, az igényektől függően a fűtőérték és a fizikai tulajdonságok (nedvességtartalom, szemcsenagyság, sűrűség, stb.) beállítása (tömörítés, bálázás, esetleg pelletálás vagy brikettálás)

Mechanikai-biológiai kísérleti stabilizálás

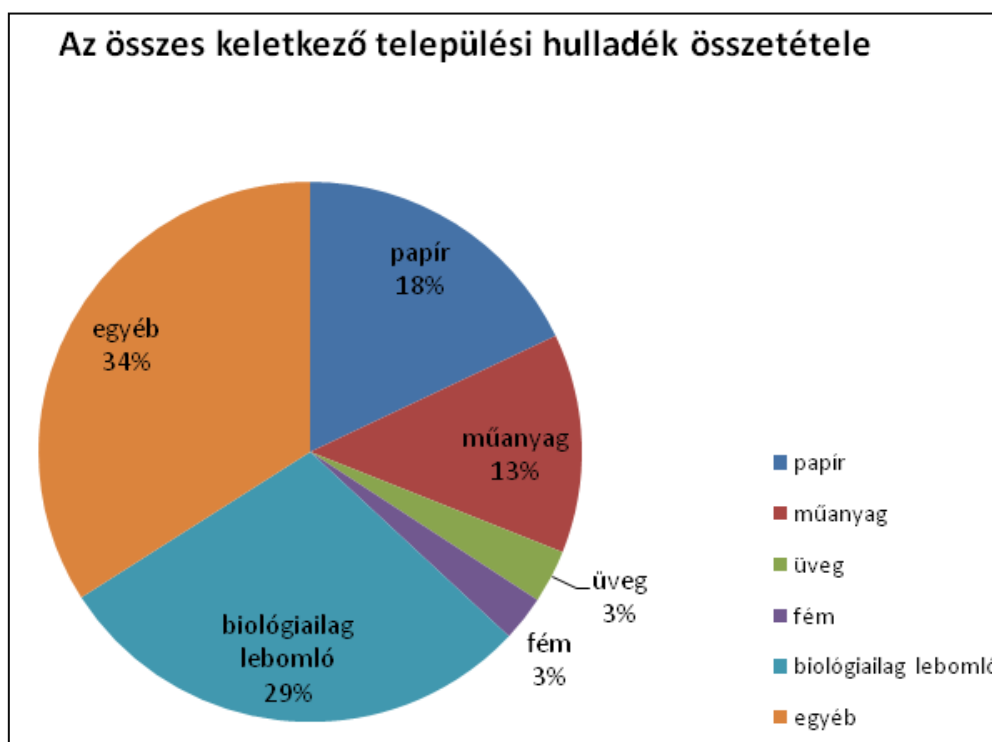


252. ábra: MBH technológia [21]

A másodlagos tüzelőanyag fűtőértéke és egyéb tulajdonságai:

A szelektív gyűjtés kiterjedt alkalmazásával a maradék hulladék mennyisége és minősége energetikai szempontból kedvezőtlenül változik, ezért az MBH technológia bevezetésével előállított másodlagos tüzelőanyag hasznosítása mind energetikai, mind kapacitáskihasználás szempontjából kifejezetten kedvező az előkezelés nélküli maradék hulladék elégetésével szemben. Nem elhanyagolható szempont az sem, hogy a mechanikai-biológiai előkezeléssel előállított tüzelőanyag a maradék hulladéknál homogénebb és az előkezelés során alkalmazott kikészítéssel könnyebben és olcsóbban szállítható, illetve az igényeknek megfelelően hosszabb, rendszerint másfél-két évig is károsodás nélkül tárolható.

A vegyesen gyűjtött előkezeletlen maradék hulladék jellemzően 7,5-8 MJ/kg fűtőértékével szemben a mechanikai-biológiai kezeléssel származó másodlagos tüzelőanyag legalább 12-14 MJ/kg fűtőértékű, nedvességtartalma átlagosan 10-12% alá redukált, hamutartalma szintén erősen csökkentett, mintegy 20-25% (253. ábra).



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

23.2. A biomassa közvetlen hő-hasznosítása

A biomassa energiataralma hasznosítható:

- Közvetlen tüzeléssel, előkészítéssel, vagy előkészítés nélkül;
- Kémiai átalakítás (elgázosítás, vagy cseppfolyósítás) után éghető gázként, vagy folyékony üzemanyagként;
- Alkohollá erjesztéssel üzemanyagként;
- Növényi olajok észterezésével biodízelként;
- Anaerob fermentálás után biogázként.

A biomassa alapú távfűtés és kapcsolt energiatermelés megvalósításában egyaránt a hőigény és a hőfogyasztók közössége a meghatározó. A hőfogyasztók tulajdonosi joga csak szövetkezéssel, a közösségi tulajdon értékrendjének hazai megteremtésével érhető el. A biomassa-tüzelésű távfűtést és kapcsolt energiatermelést indokolt támogatni, ez a támogatás

a hőfogyasztók közösségét kell, hogy megillessen. Ha a biomassa távfűtés és kapcsolt hőtermelés megvalósítása és üzemeltetése során figyelembe vesszük a hőfogyasztók tulajdonosi jogát és érdekét, akkor az energetikai és környezeti szempontból hatékony energiaellátás csökkenti a távhő árát, és nem kell azt „politikai megoldással” (pl. ÁFA-csökkentés) mérsékelni.

Egy biomassa-program a vidékfejlesztés nagyon hatásos eszköze lehet. Nem túlzás azt állítani, hogy Magyarország felemelkedését elsősorban a vidék, a falvak és a mezőgazdaság megtartó erejével és fejlesztésével lehet elérni. Számos biomassa (nyesedék, venyige, száraz gallyak, fű stb.) szakszerű összegyűjtése – az energetikai hasznosításon túl – természeti környezetünket gondozottá, rendezetté tenné. A biomassa alapú falufűtés már több országban (pl. Németország, Ausztria) bizonyította gazdasági és társadalmi életképességét, valódi vidékfejlődést biztosított (nálunk is megjelentek egyedi kezdeményezések, pl. Pornóapáti, Megyer). A vidék lemaradását, pl. a vasúti szárnyvonalak tömeges megszüntetését a biomassa alapú falufűtéssel és kapcsolt energiatermeléssel fékezni, sőt megfordítani lehetne: a lemaradási folyamat helyett fejlődési pályára állhatnánk.

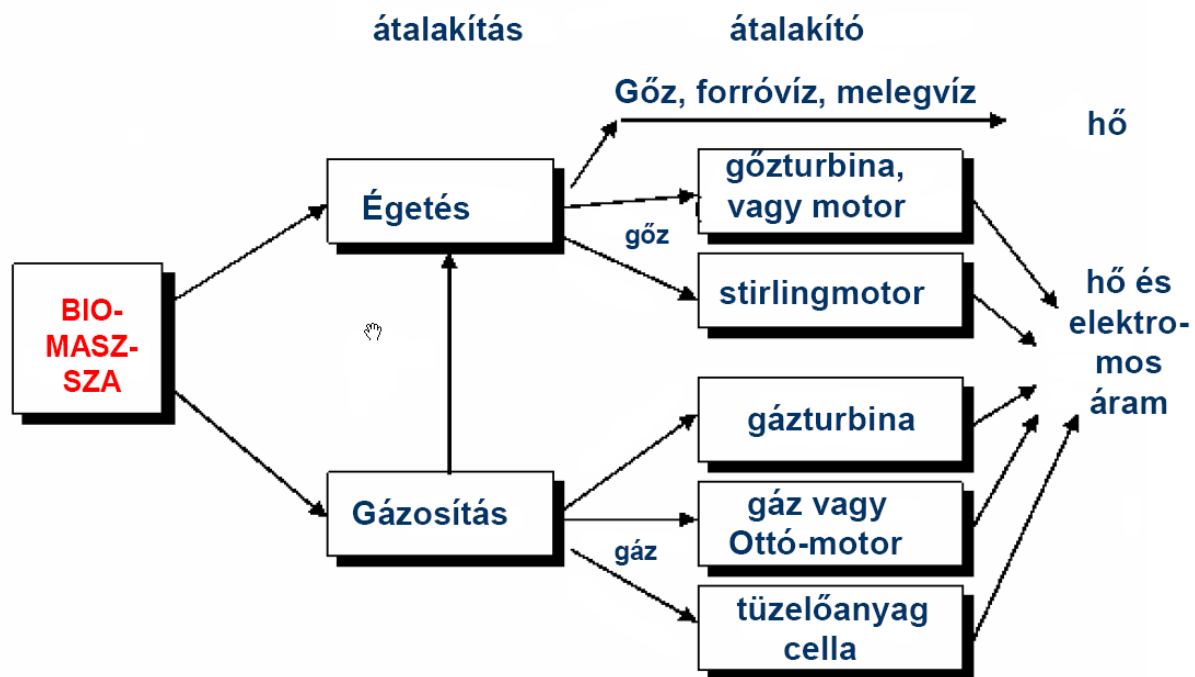
Egy átfogó biomassa-programmal a megújuló energiák részarányát jelentősen és hatékonyan lehet növelni a hazai energiaellátásban, amivel számottevően csökkenne a hazai földgáz-felhasználás, az energiaellátásunk kockázata és függősége szolgálva egyidőben a vidékfejlesztést, a munkahely-teremtést és a klímavédelmet. Így számos környezetszennyező hulladék a természeti (primer) erőforrások helyettesítőjeként – visszakerülve a gazdasági körfolyamatba – meghosszabbított életciklussal szolgálná a fenntartható gazdaságot.[22., 23., 24.]

2010 első negyedében 145 százalékkal növekedett a megújuló energiák nemzetközi piaca 2009 hasonló időszakához képest – állapította meg a KPGM cég Powering Ahead: 2010 – An outlook for renewable energy című felmérése. A nagy újság ezen belül az, hogy a befektetők részéről a legnagyobb érdeklődést a biomassa váltja ki. A befektetések 37 százaléka a biomassa-alapú energiaiparban történt az adott időszakban, megelőzve a megújuló energiák közül a nap- és a szélenergiát is. Ez a figyelem azzal magyarázható, hogy a biomasszával működő létesítményeknek nagyobb a gazdasági hozadéka, szemben más típusú megújuló energiákkal [3].

Elég arra gondolni, hogy ezek egyidejűleg képesek elektromos és hőenergiát termelni. Ugyancsak előnyük, hogy stabil módon, folyamatosan képesek energiát termelni, és nem kell esetükben számolni a szél- és naperóművekre jellemző kihagyásokkal.

A különböző biomasszák felhasználására már számos technológia áll rendelkezésre, illetve több területen folynak kutatások (**254. ábra**).

Fontos szempont az is hogy a különböző energiasűrűségű biomasszából és biomassza-keverékből könnyen, jó hatásfokkal eltüzelhető, reprodukálható fűtőértékű tüzelőanyag-koncentrátum készíthető: apró (pellet), közepes (brikett) és nagy (tömb, bála) formában, amelyek kissé drágábbá teszik ugyan az energiát, de ezt ellentételezi a jól és sokkal kisebb helyen történő tárolhatóság.



254. ábra: A biomassza energetikai célú hasznosítása[26]

A biomassza alapú tüzelőanyagok jellemzői

A biobrikett jellemzői: Brikettnek nevezzük a 40 mm vagy ennél nagyobb átmérőjű kör, négyzög, sokszög, vagy egyéb profilú tömörítvényeket, melyeket mező- és erdőgazdasági melléktermékekből állítanak elő. Brikettet hidraulikus, dugattyús és csigás préseken gyártanak.

Legjellemzőbb általános tulajdonságai:

- természetes alapanyagokból (faporok, faforgács, faapríték, energianád, energiafű, mező- és erdőgazdasági melléktermék) készül;
- idegen kötőanyagot nem tartalmaz - nedvességtartalma kicsi (10% körüli), ezért könnyebben és jobb hatásfokkal ég, mint a hagyományos tűzifa;
- fűtőértéke nagy, kétszerese az átlagos tűzifának kb. 17-19MJ/kg;
- hamutartalma kicsi (0.7-1,5%), hamuja környezetbarát, a kiskertek trágyázásához alkalmazható;
- a fában kén gyakorlatilag nincs, ezért füstje a környezetre káros kén-dioxidot nem tartalmaz;
- a tűzifával szemben 2-3-szor nagyobb sűrűségű, és mintegy 50%-kal nagyobb fűtőértékű, ezért ugyanolyan fűtőhatás eléréséhez a tüzelőberendezés tűzterében kisebb mennyiséget kell elégetni;
- nagy sűrűségű (1000-1400 kg / m³), vízben elsüllyed.



255. ábra: Biobrikett formák

A biobrikett előnyös tulajdonságai:

- fűtőértéke a hagyományos tűzifához képest közel a kétszerese, ezért biobrikettből elegendő fele annyi mennyiséget raktározni;
- környezetkímélő, mivel CO₂ semleges. Ez nem azt jelenti, hogy elégetésekor nem szabadul fel CO₂, hanem azt, hogy elégetésekor csakis annyi CO₂ kerül a levegőbe, mint amennyit a növény élete során lekötött;
- hamu tartalma (0,3-1,5%) között mozog.

A pellet jellemzői:

A **pellet** nem más, mint finomított alapanyagból (elsősorban fából) tömörítéssel készített fűtőanyag. A pellet alakja hengeres, átmérője 6-10 mm, hossza 10-30 mm közötti lehet. Alapanyagai lehetnek a fafeldolgozás vagy a mezőgazdaság különböző melléktermékei (forgács, fűrészpor, illetve szalma vagy különböző energianövények). A pellet a fabrikett alternatívája azokon a helyeken, ahol fontos az automatizálható fűtési rendszer kialakítása.



256. ábra: Biopellet [1]

A pellet mint tüzelőanyag, először Észak-Amerikában jelent meg. Európában a kilencvenes évek elején kezdett elterjedni. Napjainkban Svédországban, Dániában és Ausztriában a megújuló fűtőanyagok között a pellet és a brikett komoly gazdasági jelentőséggel bír. Az utóbbi 8-10 évben Európa-szerte újabb és újabb pelletgyárak épülnek (évente megduplázódik a pelletgyártók száma). Magyarországon a pelletfűtés még nem elterjedt, a működő gyártó üzemek termelésük komoly hányadát egyelőre külföldi piacon értékesítik. Az ezredforduló után érezhetően komolyan megugrott a pelletgépek iránti érdeklődés. **Ezzel párhuzamosan – a kisebb és közepes méretű beruházások növekvő számából – látható, hogy a megújuló fűtőanyagok piacán a brikett mellett a pellet megkerülhetetlen tényező lett (különösen a növekvő gázárak és csökkenő támogatások mellett).**

A pellet – és nagytestvére, a brikett – jellemzően hengeres alakú. Mindkét termék esetében igaz, hogy a gyártás előtt az alapanyagokat (amely lehet feldolgozási melléktermék vagy friss biomassza) a technológiák igényének megfelelően aprítani és szárítani kell. A pellet nedvességtartalma alacsony (7-12%), hasonlóan hamutartalmához, amely fél százalék alatti (fa pellet esetében).

Az ömlesztett pellet sűrűsége 650-750 kg/m³. Fűtőértéke 4.7 – 5.0 kWh/kg (16.9 – 18 MJ/kg). Ebből adódóan fűtőértéke 3 000 – 3 300 kWh/m³, mely megegyezik 300 – 330 liter fűtőolaj értékével. Egy tonna pellet kb. 1,5 m³ helyigényű, és egyenértékű 470 – 500 liter fűtőolajjal. A pellet rosszul tűri a nedvességet. Ha víz éri, könnyen felveszi azt, megduzzad és szétesik. A pellet általános jellemzői az alábbi táblázatban láthatók.

61. táblázat: A pellet általános jellemzői

Méreték	átmérő: 6-10 mm hosszúság: 10-30 mm
Energiatartalom:	4,7-5,0 kWh/kg (16,9-18,0 MJ/kg) kb. 3 MWh/ ömlesztett m ³
Nedvességtartalom:	7-12%
Hamutartalom:	kb. 0,5% (fa pellet)
Alapanyagok:	fűrészpor, faforgács (mezőgazdasági hulladék, energianövények)
Ömlesztett sűrűség:	650-700 kg/m ³
Helyigény:	kb. 1,5 m ³ /t
Összehasonlítás más fűtőanyagokkal:	1 m ³ könnyű fűtőolaj = 2,1 t pellet 1 t könnyű fűtőolaj = 2,5 t pellet 1 m ³ ömlesztett faapríték = 0,28 m ³ pellet = 0,18 t pellet 1 m ³ földgáz = 2 kg pellet

23.3. A biomassa tüzelő anyagok égési tulajdonságai és meghatározásuk[27 -31].

- nedvességtartalom,
- hamutartalom,
- illótartalom,
- éghető hidrogén tartalom,
- éghető karbon tartalom,
- égéshő és fűtőérték.

23.3.1. Nedvességtartalom meghatározása

A számítás elve

Az összes nedvesség (W_t) a durva nedvesség és a higroszkópos nedvesség összege. A tüzelőanyag összes nedvességtartalma meghatározható egy és két lépcsőben, utóbbi esetben a durva majd a higroszkópos nedvesség meghatározásával.

A tüzelőanyagok összes nedvességét egy lépcsős szárítási módszerrel az MSZ 751-77 szabvány előírásai alapján határozzuk meg [1].

A mintákból 3 párhuzamos mérést végzünk.

Az egylépcsős módszerrel meghatározott összes nedvességet az alábbi képlettel számítjuk ki:

$$W_t = \frac{m_1}{m} \cdot 100 \quad \text{m/m \%}$$

ahol

m_1 [g] a tömegvesztés a bemért minta szárításakor.

m [g] a bemért minta tömege.

23.3.2. Hamutartalom meghatározása

A számítás elve

A szilárd tüzelőanyag levegőben való elégetése után hamu marad vissza, amely az eredeti tüzelőanyagban lévő szervesetlen komplexekből és ásványi anyagokból származik. A mérés elve, hogy a mintát zárt térben áramoltatott levegőben, előírt sebességgel 815 ± 10 °C hőmérsékletre hevítjük és e hőmérsékleten tömegállandóságig tartjuk. A minta hamutartalmát az égés utáni maradék tömegéből számítjuk [2].

A méréseket az MSZ ISO 1171 szabvány előírásai szerint végezzük 3 párhuzamos mintán.

A tüzelőanyag minta hamujának mennyiségét (A) tömegszázalékban kifejezve a következő képlettel számítjuk ki:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad \text{m/m \%}$$

ahol

m_1 [g] az izzítóedény tömege,

m_2 [g] az izzítóedény és a minta eredeti tömege,

m_3 [g] az izzítóedény és a hamu izzítás utáni tömege.

23.3.3. Illótartalom meghatározása

A számítás elve

A tüzelőanyag illótartalmán a zárt térben hevített tüzelőanyagokból eltávozó gáz-halmazállapotú bomlástermékek nedvességtartalom nélküli mennyiségét értjük. Meghatározásának elve, hogy a becsiszolt fedelű tégelybe bemért tüzelőanyag-mintát levegőtől elzártan 7 percen keresztül hevítjük. Az illót a bemért tüzelőanyag tömegének csökkenése és a nedvesség elpárolgása következtében fellépő tömegvesztés-különbség alapján számíthatjuk.

A vizsgálatokat az MSZ 24000/10-83 [3] szabvány előírásait követve végezzük el.

A mért értékekből számított illótartalmat és a bemért mennyiségeket a 4. táblázat foglalja össze.

A tüzelőanyag elemzési minta illóját (V) tömegszázalékban a következő képlettel számolhatjuk ki:

$$V = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad \text{m/m \%}$$

ahol

m_1 [g] a tégely és a fedő együttes tömege,

m_2 [g] a tüzelőanyag, a tégely és a fedő együttes tömege a vizsgálat előtt,

m_3 [g] a tüzelőanyag, a tégely és a fedő együttes tömege a vizsgálat után.

23.3.4. Karbon- és hidrogéntartalom meghatározása

A számítás elve

Szilárd és folyékony tüzelőanyagok C és H tartalmát a vonatkozó ismeretek és előírások szerint Dennstedt eljárással határozzuk meg laboratóriumi körülmények között [4].

Ehhez a vizsgálandó mintát porcelán csónakba bemérve a kemence égető csövébe helyezve, oxigénáramban 800 °C-on elégetjük. A minta tökéletes égetésekor keletkező vizet és széndioxidot szilárd adszorbenseken megkötjük, majd az adszorbensek tömegnövekedéséből kiszámítjuk a karbon-és a hidrogéntartalmat. A párhuzamos mérések adatait átlagoljuk és a további számolást mintánként az alábbiak szerint végezzük.

Karbontartalom meghatározása

A minta összes karbontartalmát tömegszázalékban (C_t) a következő képlettel számítjuk:

$$C_t = 0,2729 \cdot \frac{m_5 - m_2}{m_3} \cdot 100 \quad \text{m/m \%}$$

ahol:

- m_2 [g] a széndioxid-elnyelő U csövek tömege elnyeletés előtt,
- m_3 [g] a vizsgálatához bemért minta tömege,
- m_5 [g] a széndioxid-elnyelő U-csövek tömege elnyeletés után,
- 0,2729 átszámítási tényező a széndioxid szénre való átszámításához.

Az eredményeket tizedszázalékra kerekítve adjuk meg.

23.3.5. Hidrogéntartalom meghatározása

Az összes hidrogéntartalmat tömegszázalékban kapjuk:

$$H_t = 0,1119 \cdot \left(\frac{m_4 - m_1}{m_3} - \frac{W_t}{100} \right) \cdot 100 \quad \text{m/m \%}$$

ahol:

- m_1 [g] a vízgőzelnyelő U cső tömege elnyeletés előtt,
- m_3 [g] a vizsgálatához bemért minta tömege,
- m_4 [g] a vízgőzelnyelő U cső tömege elnyeletés után,
- 0,1119 átszámítási tényező a víz hidrogénre való átszámításához,
- W_t [m/m %] az összes nedvesség.

23.3.6. Égésmeleg és fűtőérték meghatározása

A számítás elve

A kaloriméter vízártéke (V), vízgyenértéke, a berendezés hőkapacitása, az a grammokban kifejezett 20 °C hőmérsékletű vízmennyiség, amely azonos hőmérsékletemelkedéskor ugyanakkora hőmennyiséget vesz fel, mint a kaloriméter (azaz a bomba a tartalmával együtt, a kaloriméter-edény a bemért vízzel együtt, a keverő berendezés és a hőmérő vízbe merülő része összesen). A vízárték megadja a hőmérséklet egységnyi emelkedésének megfelelő égésmeleg értékét J/°C egységben kifejezve.

A kaloriméter vízártéke:

$$V = \frac{\dot{E}_m \cdot G + \Sigma b}{t_m - t_0 + c} \quad \text{J/°C}$$

ahol:

- \dot{E}_m [J/g] a benzoésav vagy más a vízérték kiméréséhez elégetett anyag ismert égésmelege,
 G [g] a benzoésav tömege,
 Σb [J] a gyújtó anyagok égésmelegeinek összege,
 t_m [°C] a főkísérlet utolsó hőmérséklete,
 t_0 [°C] a főkísérlet első hőmérséklete,
 c [°C] a kaloriméter és környezete közötti hőközlés korrekciós tényező.

Az egymással jól egyező három vízérték adatot átlagolva kaptuk azt az értéket, amellyel az egyes minták égésmeleg értékeit számítottuk. A számítást a szabvány [5] előírásai szerint a következő pontban részletezett módon végeztük:

A. Az égésmeleg meghatározása

$$H_a = \frac{V(t_m - t_0 + c) - \Sigma b}{G} \quad \text{kJ/kg}$$

ahol:

- V [J/°C] a kaloriméter vízértéke,
 t_0 [°C] a főkísérlet első hőmérséklete,
 t_m [°C] a főkísérlet utolsó hőmérséklete,
 c [°C] a kaloriméter és környezete közötti hőközlés korrekciós tényező,
 Σb [J] a kísérletnél fellépő, idegen anyagokból származó égéshők összege,
 G [g] a bemért minta tömege.

A c hőközlési korrekciós tényezőt kiszámíthatjuk a Regnault-Pfaundler-, a Botló- vagy a Langbein-képlettel. A vizsgálatoknál a Regnault-Pfaundler-képletet alkalmaztuk, mind a vízérték, mind az égéshő kiszámításához.

Regnault-Pfaundler-képlete a következő:

$$c = -m \cdot \Delta e - \frac{\Delta u - \Delta e}{t_u - t_e} \cdot \left(\sum_1^{m-1} t - \frac{t_e + t_m}{2} - m \cdot t_e \right)$$

Az előző három képletben:

- m [min] a főkísérlet időtartama,
 Δe az előkísérlet közepes hőmérsékletváltozása (értéke negatív, ha az előkísérletben a hőmérséklet emelkedik),
 Δu az utókísérlet közepes hőmérsékletváltozása (értéke negatív, ha az utókísérletben a hőmérséklet csökken, és pozitív, ha az utókísérletben a hőmérséklet emelkedik);
 t_e [°C] az előkísérlet közepes hőmérséklete,
 t_u [°C] az utókísérlet közepes hőmérséklete,
 t_0 [°C] a főkísérlet első hőmérséklete,
 t_1 [°C] a főkísérlet második hőmérséklete,
 t_m [°C] a főkísérlet utolsó hőmérséklete,
 Σt [°C] a főkísérlet leolvasott hőmérsékleteinek összege, az első és az utolsó kivételével,
 Σb [J] az idegen anyagok égésmelegeinek összege.

B. A fűtőérték meghatározása

A fűtőérték meghatározására a szabvány a következő összefüggést adja meg [5]:

$$H_u = H_a - 24,49278 \cdot (9 \cdot H + W_t), \quad \text{kJ/kg}$$

ahol

- H_a [kJ/kg] a fentiek szerint meghatározott égésmeleg,
 H a minta éghető hidrogéntartalma, m/m % (meghatározása az MSZ 24000/11) szerint [4],
 W_t [m/m %] a minta nedvességtartalma (nedves minták esetében az összes nedvesség, száraz minták esetében „0”).

23.4. Biogáz termelés és felhasználás

A [mezőgazdasági](#) eredetű - biológiailag gázosítható - biomassa tömege 8-10 millió tonnára tehető Magyarországon, amelyből 7-9 PJ energia is előállítható. A szubsztrátokat tekintve a „nedves” (8-20%-os szárazanyag-tartalom melletti), illetve a „félszáraz” (20-50% közötti szárazanyag-tartalom melletti) technológiák alkalmazása választható hazai körülmények között a kedvező gázképződés szempontjából, amelyeknek bázisai főleg a nagyobb állattartó telepek lehetnek. Ebben az esetben a híg állapotú állati trágyák kiegészítve a [mezőgazdasági](#) termelésből származó szerves-anyagokkal kedvező szubsztrátot képeznek az anaerob fermentációhoz. Átlagos körülmények között 1 kg szárazanyagból 300-400 liter 60% metántartalmú biogáz állítható elő, amelynek a mennyisége nagyobb energiataartalmú, hevítő hatású [mezőgazdasági](#) eredetű fő- (pl. teljes-[kukorica](#)növényi zúzalék) és melléktermékeknek (pl. répaszelet) a bevitelével, ill. erjesztésével még növelhető is.

A nyers biogáz - amelynek 1 m³-e megközelítőleg 0,5 liter gázolajat képes helyettesíteni - tisztítás és dúsítás után úgynevezett „Greengas” minőségben motorok hajtására vagy földgáz hálózatba történő beadagolásra alkalmas.

Magyarországon a biogáz az állattartó telepek fűtése vagy hűtése mellett mindenekelőtt áramtermelésre hasznosítható. Az áramtermelő blokk hulladék hője pedig a fermentorok fűtésére, a technológia saját energiafogyasztásának kielégítésére használható fel.

A megújuló energiákkal termelt villamos áram átvételére Magyarországon is kötelezettek az áramszolgáltatók a hatályos [rendelet](#)ek értelmében. A következő években várható új biogáztelepek beruházása Magyarországon.

A biogáz nyerésére más területeken is kínálkozik lehetőség, mint ahogy már található az országban erre is példák. A kommunális hulladéklerakókból depóniagáz nyerhető, a szennyvíztisztító telepek is kiegészíthetők biogáztermelő egységekkel. Magyarországon jelenleg jelentős hulladéklerakó korszerűsítési és bővítési program zajlik, melynek keretében a biomassa hasznosítással és a depóniagáz termeléssel kapcsolatos fejlesztések is egyre nagyobb figyelmet kapnak. [33]

Számos szakember szerint a megújuló energiatermelésen belül a mezőgazdasági biogáz lehet legnagyobb hatással a mezőgazdaság fejlődésére. Tervek szerint hazánkban 2020-ra már százötven mezőgazdasági biogáz üzem állhat a gazdálkodók szolgálatában.

Az EU tagországai között a biogáz alapú energiatermelésben Magyarország az utolsó helyen áll kiváló biomassa termelő potenciálja ellenére. A Magyar Energiapolitika jelenlegi tervezetében 2025-re előirányzott évi 128 GWh villamos áram termelés eléréséhez bőségesen elegendő a szerves hulladékok által biztosított alapanyag bázis. Az elsődleges célnak a korszerű hulladékártalmatlanítást és kezelést kell tekinteni. A szerves hulladék-anyagokat feldolgozó biogáz üzemek esetében különös figyelmet kell fordítani a keletkező biotrágya szántóföldi elhelyezésére, a termőföld védelmére vonatkozó jogszabályok betartásával.

Hazánknak jelentős a biogáz termelési potenciálja energianövényekből – de nem szabad figyelmen kívül hagyni a teljes folyamat energiahatékonyságát és CO₂ mérlegét sem. Egy elvi, 100.000 ha szántóföld biogáz technológia alkalmazásával történő hasznosítása 200-250 MW bioerőmű kapacitás létrehozását jelentheti, amelyben évente 1.400-1.750 GWh villamos áramot lehet termelni (1.400-1.800 GWh hőenergia mellett).

Biogáz előállítására legalkalmasabb a híg szerves trágya, az állatnevelő telepekről származó hulladék. Hasonlóképpen lehetséges a szennyvíziszapból is gázt kinyerni. A trágyát homogenizálás és hígítás után nagy fermentor (erjesztő) tartályokba vezetik, ahol baktériumokat adnak hozzá, melyek gázokat fejlesztenek. A folyamat pontosan szabályozható, ill. szabályozandó a folyadék hőmérsékletével. A folyamat fűtését a keletkező biogáz elégetéséből nyerik, ez mintegy 30%-a a teljes előállított hőmennyiségnek.

23.5. Biomassza alapú távhő-ellátás a vidékfejlesztés és a fenntartható energiagazdálkodás szolgálatában

A hazai távhő szolgáltatóknak nemcsak az utóbbi két évtizedben a fogyasztói előítéletek mellett meg kellett küzdeniük a rendszerváltozást követő árrobbanás és az évekig csökkenő életszínvonal által gerjesztett, - minden áron - spórolni akarás következményeivel. Az 1990-es évek közepén volt a legnehezebb időszakuk, amikor a szakma túlélése volt a tét, ugyanis oly mértékben romlott a helyzet, hogy sokan lerombolták volna a távhő rendszereket. Ezt sajnos néhány kisebb településen meg is tették. Ám 1998-ban, a távhő törvény megjelenése jótékony hatással volt erre az energetikai ágazatra, és a fejlesztés, korszerűsítés időszaka következett. Ugyanakkor eddig nem sikerült a távhő versenyhátrányát felszámolni a földgáz alapú központi fűtéssel szemben. Szükséges, de nem elégséges lépésnek tekinthetjük az ÁFA csökkentést. Persze ennek fontos üzenete van: nemzetgazdasági szinten lekerülhet a napirendről a távhő rendszerek felszámolása, hiszen ennek a közelmúltban is voltak baljós jelei, elsősorban a Budapesten tapasztalt leválások formájában.

A távhő elleni averzió nem szűnt meg kormányzati szinten sem, de ami rosszabb, a fogyasztók fejében sem. Manapság még mindig valamiféle szükséges rossznak érezhetik magukat. Pedig nem kell messzire menni: a fejlett nyugat-európai országokban a távhő közmegebecsülésnek örvend, támogatott és folyamatosan fejlesztett szolgáltatás. Nagyon nagy torzítás a hagyományos panelépületekre jellemző energiaveszteségek és a távhőszolgáltatás közé egyenlőségjelet tenni. Egy bármilyen típusú, korszerűtlen, rosszul szigetelt épület ugyanis, a hőtermelés módjától függetlenül, energiapazarló.

További nagy kihívás az, hogy a gázárak szabadpiacivá válásával és negyedévente történő változásával a jelenlegi, részben központosított árképzés nem tud lépést tartani. A távhőszolgáltatás gazdasági Achilles-sarka a be nem fizetett díjak miatti kintlévőség csomag.

Ez nehezíti és drágítja a szolgáltatók gazdálkodását. A megújuló energiákra szükség van ezek szakszerű, országosan összehangolt elterjesztése optimistább perspektívát jelent.

A Tiszaújváros távfűtésének racionalizálása során számos műszaki, gazdasági társadalmi szempont rendszerszemléletű figyelembevétele javasolható, de fontos az EU fejlettebb országaiba követett tendenciák és a hazai újszerű megoldások kritikai elemzése is.

A tőlünk nyugatra fekvő országok felismerve a távfűtés számos energiahatékonysági és környezetvédelmi előnyét széles körben és folyamatosan korszerűsítve alkalmazzák.

Napjaink leggyakoribb új eleme a fejlesztéseknek a megújuló energiahordozókra történő áttérés.

Ez a jelenség szerencsére hazánkban is felismerhető és már vannak olyan megvalósult, ill. megvalósítás alatt álló projektek, amelyek hasznosítható tapasztalatokat nyújtanak az energiahordozó-váltásban gondolkodók számára.

A távhőszolgáltatás az épületek hőellátásának korszerű módja, amit az egész világon elterjedten használnak. A központi fűtéstől abban különbözik, hogy a tüzelőanyag elégetése nem az épületekben, hanem attól távolabb, olykor nagy távolságban történik. Ez jelenti egyben egyik legnagyobb előnyét: nem szennyezi a közvetlen lakókörnyezetet égéstermékekkel. A központi fűtések magyarországi klasszikus megoldása a hőerőművekben termelt hő felhasználása, városok lakótelepek energiaellátására.

Ez a kettős célú energiatermelés kiegészíti egymást: összességében lényegesen kevesebb tüzelőanyagot kell így elégetni, kisebb a környezeti terhelés, kevesebb a föld légkörét szennyező széndioxid kibocsátás, javul a hőtermelés gazdaságossága. A távfűtések létjogosultságának ez a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés az alapja. Leegyszerűsítve

úgy is lehet fogalmazni, hogy a távhőellátás részben a villamosenergia termelés során keletkező hulladékhőt hasznosítja.

A hőhordozó közeg felmelegítése nagyrészt a turbinákban már munkát végzett gőz segítségével történik. Az így nyert forró vizet a hőfelhasználási helyre kell juttatni, hőtartalmát hasznosítani kell, és végül a lehűlt vizet az erőműbe vissza kell juttatni újabb felmelegítésre. A hőhordozó közegnek ez a szüntelen körforgása egy zárt csővezetékrendszerben történik, keringtetését az erőműben elhelyezett szivattyúk végzik.

A felhasználási hely közelébe érkező forróvíz hőközpontokba kerül, ahol az úgynevezett primer hőenergiát a fogyasztók által közvetlenül felhasználható szekunder hőenergiává alakítják át, mivel a nagy nyomással és magas hőmérséklettel érkező primer hőhordozó az épületek fűtőberendezéseibe biztonságtechnikai okok miatt közvetlenül nem vezethető be. Az átalakítás hőcserélő készülékekben történik.

Ugyanilyen módon történik a használati melegvíz előállítása is. A hőközpontba érkező hidegvíz a forróvíz hőcserélőn keresztül a szükséges 40-45 °C hőmérsékletre melegítik és az épületben elhelyezett vezetékhálózaton keresztül kerül a víz a lakások csapolóiba. A hőcserélőkön kívül a hőközpontokban kerülnek elhelyezésre többek között a keringtető szivattyúk, a tárolók, a nyomástartás eszközei, a biztonságtechnikai- és szabályozó berendezések.

A fűtési szabályozók a külső időjárás függvényében a fűtőberendezések által mindenkor igényelt hőmérsékletű fűtővíz előállításáról automatikusan gondoskodnak. A használati melegvíz előállításának szabályozása is önműködő és ezért a hőközpontok állandó kezelőszemélyzet nélkül, automatikusan üzemelnek. A hőközpontok a fogyasztók vagy a szolgáltató tulajdonában vannak. Ezek lehetnek különálló épületben elhelyezett, több épülettömböt ellátó, úgynevezett tömb hőközpontok és lehetnek olyanok, amelyek az épület alagsorában vagy földszintjén vannak elhelyezve és egy épületet látnak el. Tömb hőközpontos ellátás esetén minden ellátott épületben található még egy hőfogadó.

A hőfogadók az épületek olyan létesítményei, amelyek a szekunder hőenergia fogadását, mérését és elosztását teszik lehetővé.

A hőfogadó helyiségben vannak elhelyezve minden esetben az épületek hőmennyiségmérői és a szekunder vízelosztást végző berendezések. A hőfogadók legnagyobb jelentősége abban áll, hogy a mindegyikükben elhelyezett hőmennyiségmérő segítségével lehetőség van az épületek önálló, hőmennyiségmérés szerinti elszámolására. A hőfogadó helyiségek általában jóval kisebb méretűek, mint a hőközpontok ezért az épületek alagsorában, zárható helyiségekben vannak elhelyezve. Abban az esetben, ha a hőközpont az ellátott épület alatt van elhelyezve, nincs külön hőfogadó.

Előremutató kezdeményezés a biomassza közepes léptékű, közösségi fűtőműben való felhasználása. Előnyei:

- Gazdaságos méretarány
- Megújuló energiaforrás
- Ideális tüzelőanyag beszállítási körzet nagyság (max. 50 km)
- Munkahelyteremtés
- Civil közreműködés
- Korszerű távfűtés, stb.

Ennek igazolására egy követendő külföldi példát és egy szerény, de szintén példaértékű hazai esetet mutatunk be:[34]

EGY külföldi példa: Güssingi Távfűtőmű Kft.

Annak érdekében, hogy a széndioxid-kibocsátást jelentősen csökkenteni lehessen, 1996-ban megépült Güssingben a biomassza távfűtőmű. A fosszilis tüzelőanyagokkal ellentétben a

biomassza, újratermelő energiaforrás és elegendő mennyiségben rendelkezésre is áll. A biomassza távfűtőműben apríték, fűrészpor, kéreg és pellet formájában is lehet fát felhasználni. A güssingi távfűtőmű a biomasszát kizárólag a helyi és a regionális erdőgazdálkodóktól szerzi be, ezáltal a magas regionális értékteremtés mellett a környező erdők ápolása és karbantartása is biztosított. A biomassza füstgáztisztítással egybekötött, ellenőrzött eltüzelése a Güssingi Biomassza Távfűtőműben a számos meglévő egyedi fűtőberendezéssel szemben a káros anyagok töredékét bocsátja ki.

Csak egy fűtőközpontból történik a csatlakozott egységek, úgymint családi házak, üzemek, iskolák stb. hővel történő ellátása. A biomassza elégetése által a központ fűtőkazánjában vizet melegítenek fel, amelyet aztán jól szigetelt vezetékeken a felhasználókhöz juttatnak. A szükséges hő hőcserélő segítségével veszi át a házi központi fűtés. A lehűlt víz a visszatérő vezetékeken keresztül visszakerül a fűtőműbe. A biomassza fűtőműből elektronikus úton szabályozzák és ellenőrzik a hőtermelést, az elosztást, az átadást és a fogyasztást. A fejlett technika biztosítja az optimális fűtési üzemet, minimalizálja a munkaerőigényt és segíti a költségsökkentést. A fogyasztók számára sok előnyt biztosító Güssingi Biomassza Távfűtőmű a teljes régió számára is meghatározó példát jelent.

HAZAI Példa, melyet egy újságcikk szolgáltatott [35]

A csereháti Homrogd általános iskolájában a régi gázkazán helyett egy korszerű, 300 kW-os faapríték tüzelésű kazánt állítottak üzembe. Nemcsak a fűtési számla csökkent, még munkát is tudnak adni a helyi lakosoknak. A Cserehát dombvidék lankáin, a borsodi régió egyik legszegényebb területén található az a kis falu, Homrogd, ahol néhány hónappal ezelőtt nagy-nagy környezetvédelmi változtatásokat indított el az önkormányzat. Kis lépésekkel kezdődik minden nagyobb csoda, mondják, és hogy példát mutassanak, több milliós beruházásra szánták el magukat: a helyi általános iskolában az öreg gázkazán helyén most egy új, csúcstechnológiájú, biomasszával működő gép áll. Talán nem passzolnak hozzá a falon található agyagtálok, és a csipketerítő sem emeli ki a fém csillogását, de a falu filozófiája az: úgy őrizzük meg a település falusias jellegét, hogy közben nem félünk a fejlődéstől sem.

Nem mintha a Heizomat kazánnal annyira eltávolodnának a természettől: hiszen a 300 kW-tal dübörgő, 90%-os hatékonysággal dolgozó, könnyen kezelhető berendezés kizárólag növényi alapanyagokkal működik: bármilyen éghető, fás szárú részt eltüzelhetünk benne: faaprítéket, faforgácsot, fafűrészport, erdészeti hulladékot és még sok egyéb anyagot. A rendszer egy kapcsoló beindításával meleg vizet állít elő a biomasszából, felfűti a rendszert, és anélkül, hogy folyton ellenőriznünk kellene, modulálja a saját működését.

Nem csak környezetkímélőbb, mint a földgázzal működő típusok, de abban az értelemben is energiatakarékosabb, hogy olcsóbb az üzemeltetése (a gázkészülékhez képest 58,5% megtakarítás érhető el, ha pedig önmagunk gondoskodunk fűtőanyagról, akár 67,5% is). Ugyanaz a komfortfokozat olcsóbban, ráadásul környezetszennyezés nélkül, apríték-tüzelésű kazánnal – a polgármestert azonban nem csak ezek az érvek győzték meg a beruházáskor. Hanem az, hogy közmunkát tud adni a helyieknek, akiknek - csak úgy, mint a többi Észak-Magyarországi település lakóinak - jelentős hányada évek óta munkanélküliséggel küzd. Tisztul a környék is, hiszen a munkások - miközben aprítéknak valót gyűjtenek - rendbe teszik az elhanyagolt mezőket. Rég nincs már állattartás ezen a vidéken, az elvadult kaszálókra pedig ráfér a karbantartás.

Az elmúlt hónapok alatt felgyorsultak az események a kis településen: a fűtőberendezéstől távfűtést építettek egészen az óvodáig, a következő lépés pedig a templom és a polgármesteri hivatal öko-tudatos felújítása lesz. A beruházás nem két fillérbe kerül, de mivel a falu gázszámlája egyötöde a korábbinak, a befektetés 3-5 év múlva megtérül. És még azt mondják, bonyolult és drága a környezetvédelem? Ha egy kis borsodi falu azt mondja, nekik megéri, mivel tudnak még takarózni a nagyok?

PÉLDA: egy korszerű kombinált BIOMASSZA HULLADÉK Energetikai hasznosítására. Az egyre csökkenő fosszilis energiahordozó-tartalékok, illetve az üvegházhatás problematikájának egyre növekvő tudatosodása az utóbbi években erőteljesebb érdeklődést ébresztett a biomasszából történő áramtermelés iránt.

A Kyoto-egyezmény és egy EU fehérkönyv („Energia a jövő számára: újrahasznosítható energiahordozók“) fontos mérföldkövet jelentettek ezen az úton. A biomasszából előállított áram CO₂-semleges és kiküszöböli az energiainporttól való függőséget, még hozzá helyi értékteremtés segítségével.

Annak érdekében, hogy biomasszából az áram-előállítás kis és decentralizált erőművekben is lehetővé váljon, egy új erőműtípust fejlesztettek ki. A központi lépés egy elgázosítási eljárás, amely mint erőmű – hőtermelés kogeneráció az égetési eljárásokkal szemben előnyösebb.

A güssingi biomassza erőműben 1760 kg fából óránként 2000 kW áram és 4500 kW távfűtési hő állítható elő.

Annak érdekében, hogy ez a projekt az ötlettől a kész létesítményig megvalósítható legyen, a REPOTEC, mint a berendezés kivitelezője, a bécsi Műszaki Egyetem kutatói, az Alsó-Ausztriai Energiaszolgáltató és a Güssingi Távhőmű együtt megalapította a RENE-Austria kompetencia-hálózatot és kifejlesztettek egy új, gazdaságilag és műszakilag érett biomassza-elgázosításon alapuló erőmű-hőtermelés kogenerációs rendszert.

Az eljárás neve gőzös elgázosítás. A berendezés szíve, a fluidizációs gőzelgázosító, amely két, egymással összekapcsolt fluidizációs rendszerből áll. Az elgázosítási részben a beadagolt biomasszát kb. 850 °C-on gőzbevezetés mellett elgázosítják. A levegő helyett a vízgőz alkalmazása mint elgázosítási közeg, egy nitrogénmentes, kátrányszegény és magas fűtőértékű termék-gáz keletkezését teszi lehetővé. A fennmaradó koks egy részét a keringő mederanyag (homok) segítségével, ami hőhordozóként szolgál, az égetési részbe szállítják, és ott égetik el. Ezen idő alatt a mederanyag leadott hő az elgázosítási reakció fenntartásához kell. A füstgázt elkülönítve vezetik el, amelynek a hőtartalmát a távhőhöz való kapcsolódás hasznosítja. A kapcsolódó gázmotor üzemeltetéséhez a termék-gáz hűtése és tisztítása szükséges. Természetesen a hűtésnél felhalmozódó hőt ismét a távhőtermelésre használják. Ezután a gázt egy fémhálós szűrővel portalanítják. Az ezután következő mosó csökkenti a kátránynak, az ammóniának és a savas gázösszetevőknek a koncentrációját. A speciális technológia lehetővé teszi, hogy az összes mellékterméket folyamatba visszavezessék, ezáltal a gáztisztításnál sem hulladék, sem szennyvíz nem keletkezik.

A gázmotor a termék-gáz kémiai energiáját alakítja át elektromos energiává. A motor által termelt hő szintén távhő előállítására szolgál.

Ezáltal olyan hatásfokot lehetett elérni, amely eddig a biomassza hasznosításánál teljesíthetetlen volt. Az elektromos hatásfok 25 – 28 %, a teljes hatásfok (áram és hő) pedig 85 % felett van.

23.6. A hazai biomassza potenciál optimális hasznosítása

Az energiahasznosításra rendelkezésre álló biomassza-potenciált sem túl-, sem alábecsülni nem szabad. Az energetikai hasznosítás eltúlzása nem károsíthatja a természetet (erdőpusztítás), és nem ronthatja a mezőgazdaság és élelmiszerellátás színvonalát. De az erdő- és mezőgazdaság számos hulladékát és melléktermékét indokolt energetikai célokra hasznosítani. Az évente hasznosítható hazai energetikai biomassza-potenciál 100–150 PJ-ra becsülhető, ezt pontosítani kell (ez megfelel egy 2000 MW teljesítményű atomerőmű nukleáris energia felhasználásának).

Más a helyzet az MBH hulladék esetében. Amíg a termelő és szolgáltató ágazatok hulladékait elsősorban csökkenteni, majd (a prioritási sorrend szerint) újra használni illetve anyagában hasznosítani szükséges, addig a telepre vegyesen beszállított hulladék az Unió akarat szerint

válogatás nélkül nem ártalmatlanítható (depóniára nem vihető). A hulladék kb. 1 hónapos biológiai kezelése/fertőtlenítése után következő mechanikai kezelése révén 12-14 MJ/kg fűtőértékű úgynevezett „másod tüzelőanyagot” kapunk.

Ennek 10-12% nedvességtartalma van és kb. 1-2 évig tárolható tüzelőanyag. Ezt a tüzelőanyagot a legésszerűbb/egyetlen útvonalon továbbítva kell valamilyen (a helytől, a rendelkezésre álló /folyamatosan keletkező mennyiségtől függően) biológiailag lebomló hulladékok égetésére (pirotechnológiai kezelésére) alkalmas módszerrel hő- és/vagy villamos energiává alakítani.

A rendelkezésre álló biomasszát nem szabad rossz hatásfokú fatüzelésű erőművekben eltüzelni (ami az eddigi gyakorlat), hanem hatékony hőellátásra kell hasznosítani! A hőellátásban a felhasznált biomasszával gyakorlatilag megegyező energiataralmú földgázt válthatunk ki. A biomassza hőellátás célú hasznosításának programját három lépcsőben, egyszerre vagy szakaszosan lehet megvalósítani:

- alaptendenciának a biomassza alapú hőellátást tekinthetjük a földgáz-fűtések helyett, mert a biomassza olcsóbb, mint a földgáz;
- ezen belül a főirányt a biomassza-tüzelésű távhőellátás képezheti, mert a távfűtésben koncentráltabban eltüzelhető biomassza (venyige, szalma stb.) jóval olcsóbb, mint az egyedi fűtésben használható pellet, biobrikett, stb.. A biomassza-tüzelésű távhő új és elterjesztendő formája a falufűtés lehet;
- a hatékony megoldást a biomassza alapú kapcsolt energiatermelés jelenti, amelyet széles körben alkalmazható kisteljesítményű (néhány MW) biomassza-tüzelésű fűtőerőművekben valósíthatunk meg.

Az egyes lépések energetikai életképességét az évente elérhető jelentős fajlagos tüzelőköltség-megtakarítás, a megvalósításukhoz szükséges mérsékelt fajlagos beruházási költségtöbblet és az ezekből fakadó nem hosszú megtérülési idő jellemzi.

A tömeges biomassza alapú távhő és kapcsolt energiatermelés (köztük a falufűtés) a hazai gépgyártásnak nagy volumenű lehetőséget biztosítana korszerű berendezések szállítására. Egy biomassza-hasznosítási programmal jelentős hazai munkahelyteremtés járna együtt. A biomassza termelése, összegyűjtése, előkészítése és hasznosítása, valamint a kapcsolódó hazai gépgyártási lehetőség sok hazai munkahelyet biztosít. A tevékenységek nagy része nem igényel különös szakképzettséget. A hazai munkaerő foglalkoztatásával a program lehetővé tenné a világpiacon költségesen beszerezhető import földgáz jelentős kiváltását.

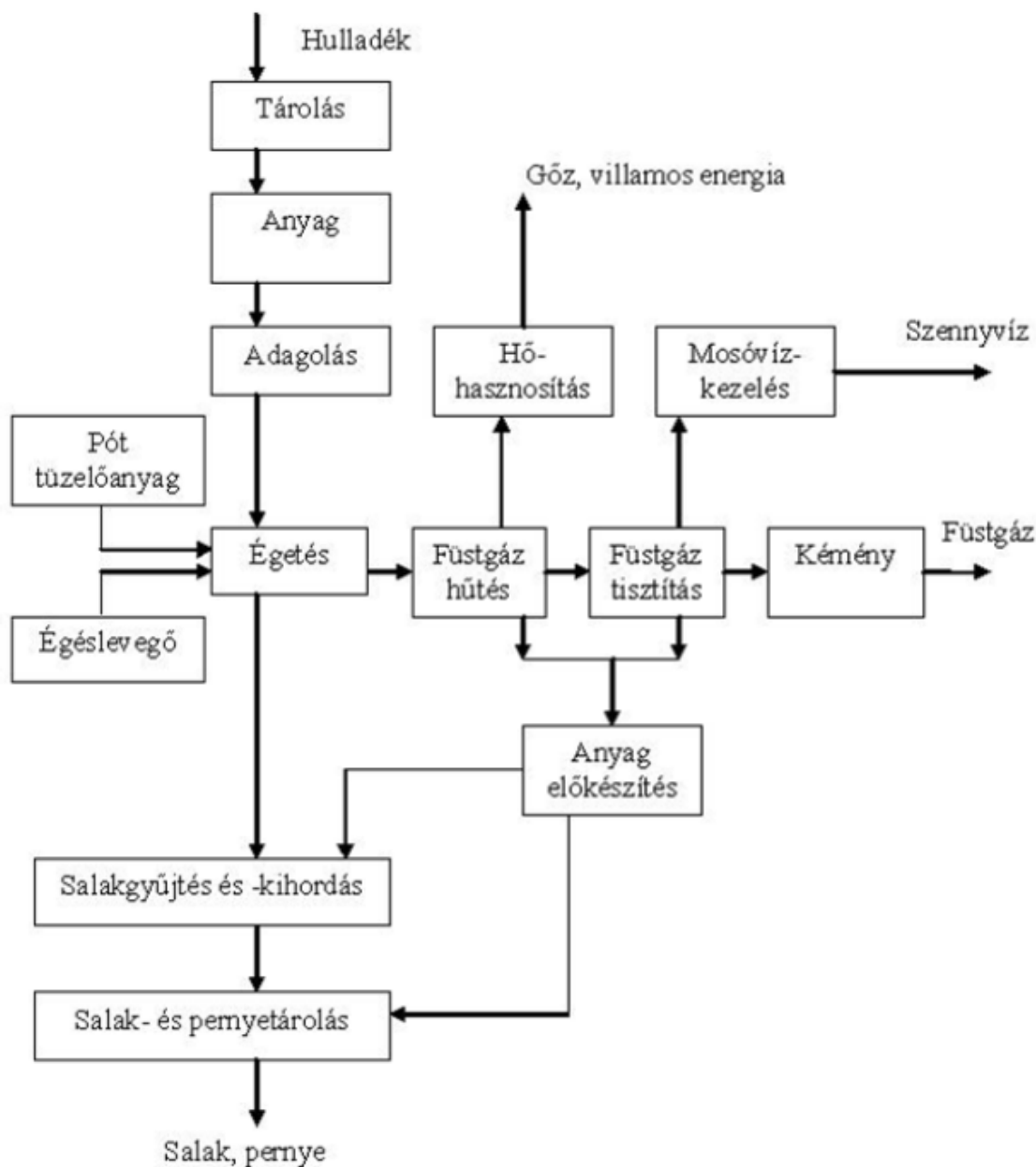
Gazdasági és társadalmi életképességét, valódi vidékfejlődést biztosított (nálunk is megjelentek egyedi kezdeményezések, pl. Pornóapáti, Megyer). A vidék lemaradását, pl. a vasúti szárnyvonalak tömeges megszüntetését a biomassza alapú falufűtéssel és kapcsolt energiatermeléssel fékezni, sőt megfordítani lehetne: a lemaradási folyamat helyett fejlődési pályára állhatnánk.

A biomassza-programmal a megújuló energiák részarányát jelentősen és hatékonyan lehet növelni a hazai energiaellátásban, amivel számottevően csökkenne a hazai földgáz-felhasználás, az energiaellátásunk kockázata és függősége.

23.7. Veszélyes hulladék égetése

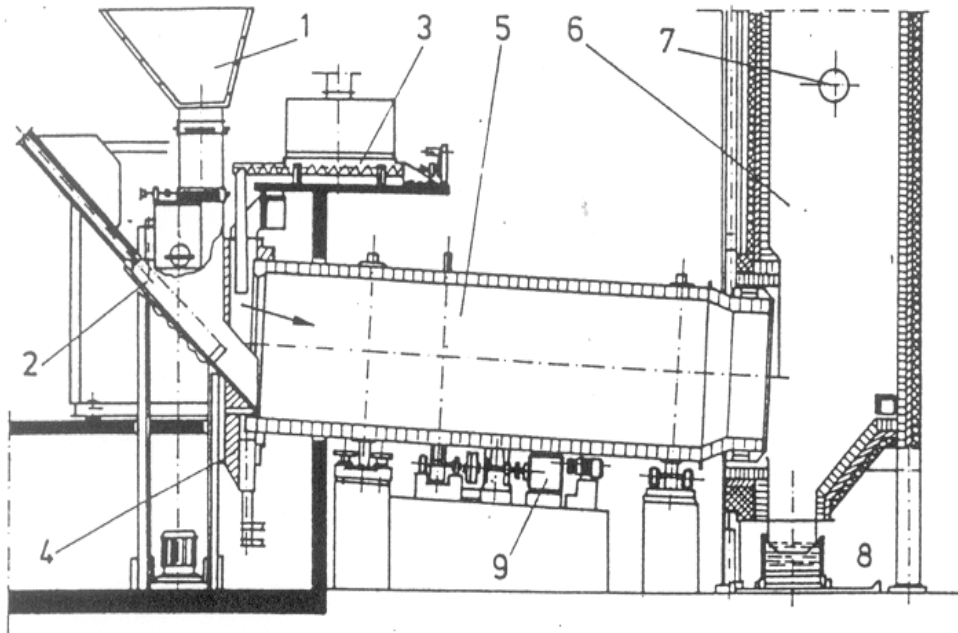
Előre kell bocsátani, hogy a hulladék égetés technológiája nagyrészt azonos veszélyes és nem veszélyes hulladék esetén. A különbség abban van, hogy veszélyes hulladék esetén az összetétel pontos ismeretén alapuló speciális óvintézkedéseket kell alkalmazni a hulladék szállítása, tárolása és adagolása, a tüzzóna megfigyelése, valamint a káros emissziók kézbentartása terén.

A hulladékégetés néhány általános jellemzőjének ismertetése után vázlatosan bemutatunk egy konkrét hazai- valamennyi előírásnak eleget tevő- égetési technológiát.



257. ábra: A hulladékégetés technológiai blokkvázlata

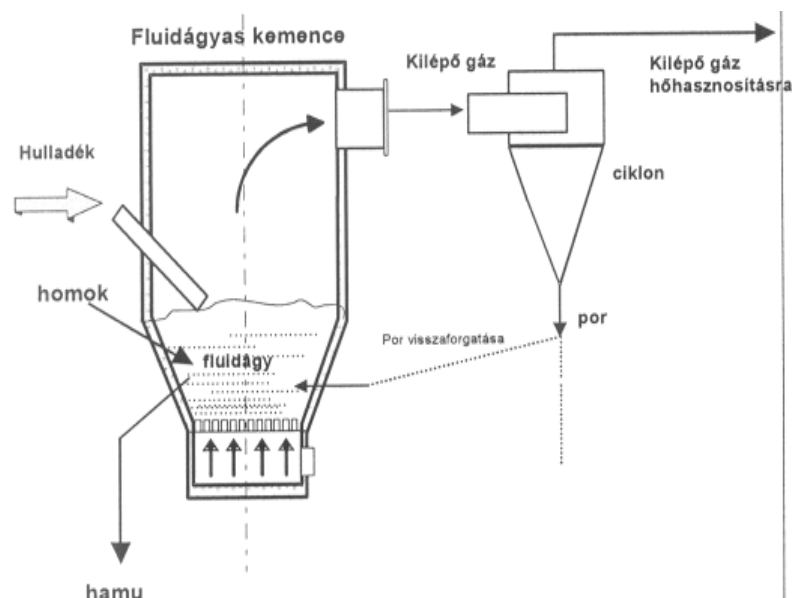
A forgó csökemencés égető rendszer vázlatát a **258. ábra** látható.



258. ábra: Forgó csőkemencés égető rendszer vázlatja

1. szilárd anyag beadagolása; 2. hidraulikus adagoló; 3. csigas adagoló iszap beadagolásához; 4. kemence fejrésze; 5. falazott forgódobos kemence; 6. utóégető; 7. folyékony hulladék égetése; 8. salak kihordó; 9. hajtómű

A fluidizációs kemence égéstere henger alakú, melynek alján megfelelően kiképzett tartó rostélyon finom szemcsés, ömlesztett anyagból álló réteg helyezkedik el. Ezt az anyagot a rostélyon átfúvott levegőáram tartja lebegő, örvénylő mozgásban. A kemence szerkezete egyszerű, mint azt a 259. ábra mutatja.



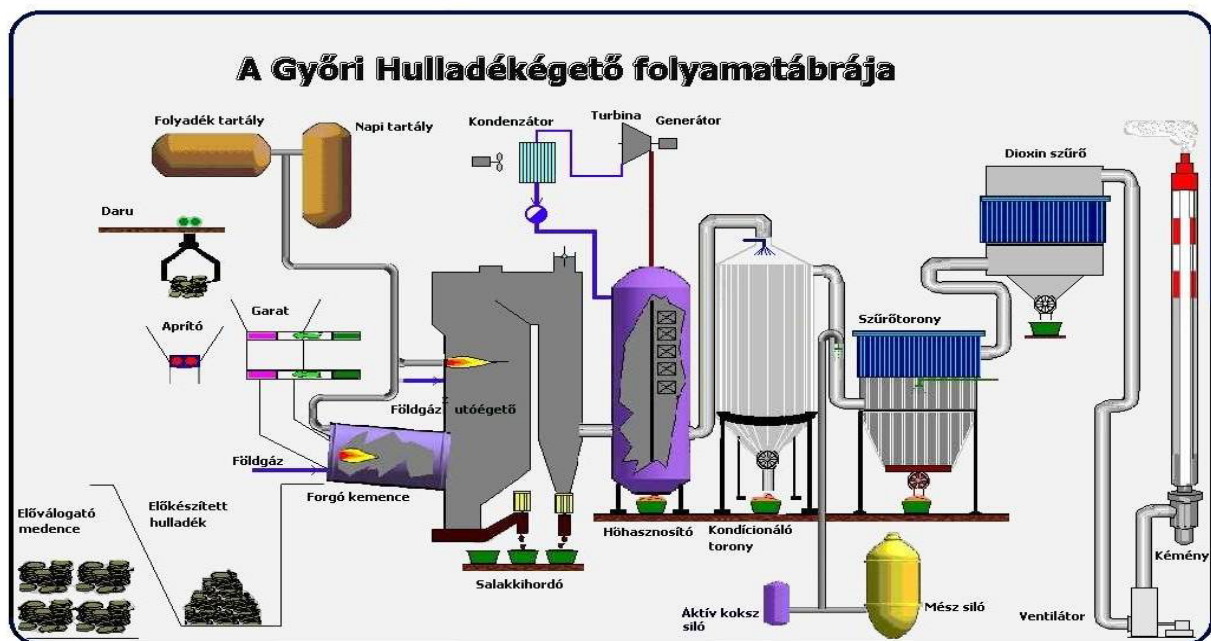
259. ábra: A fluidizációs kemence vázlatja

A fluidizációs kemencében technológiai szempontból alapvetően egyenáramú folyamat megy végbe. Az égetendő anyag a fluid ágy rétegeire esik, vagy részben az fluid réteg felett porlasztják be. Az elgőzöltetéssel, bomlási és kigázosodási reakciókkal a komponensek

illóvá válnak, jól elkeverednek az égéshez szükséges levegővel, majd az örvényréteg felett elhelyezkedő gázzrétegig jutnak és ott reagálnak. Az ehhez szükséges tartózkodási idő rövid. A szilárd anyagrészcskéket, amelyek gyakran hosszabb kiegészítési időt igényelnek, tovább tartják az örvényágyban. Az égetési zóna felett helyezkedik el a fő égéstér, amelynek térfogata az égésgázok tökéletes kiegészítési követelményeinek megfelel. Az égés javítására esetenként a fő égéstérbe szekunder levegőt is fújnak be. A kemence szokásos tüztér hőmérséklete 750 – 850 °C. A fluidizációs kemence szokásos légefelesleg-tényezője: $\lambda = 1,3$. Az égés során visszamaradó hamu a kemence fejrészén távolítható el vagy az örvényágyból az ágy anyagával együtt vehető ki. Felső eltávolítás esetén a hamu a füstgáztisztító berendezésbe kerül leválasztásra. Az ággal együtt történő kihordás során közvetett vagy közvetlen hűtésről kell gondoskodni.

Különleges hulladékok égetése

Ipari és egyéb folyamatokból, egyre nagyobb mennyiségben keletkeznek környezetünket terhelő hulladékok, amelyek összetétele jelentősen eltér a kommunális hulladéktól. A különleges, veszélyes hulladékokkal kapcsolatos szabályozásokat előírások, direktívák, rendeletek tartalmazzák.



260. ábra: A győri hulladékégető technológiai folyamatábrája [40]

A különleges kezelést igénylő mérgező, fertőző (veszélyes, különleges) hulladékok ártalmatlanításának legelterjedtebb eljárása a nagyhőmérsékleten történő oxidáció, égetés. Nem minden veszélyes hulladék ártalmatlanítható égetéssel, hiszen a nagyhőfokú oxidáció is termel veszélyes hulladékokat, anyagokat. Az égetést olyan veszélyes hulladékok ártalmatlanítására célszerű alkalmazni, amelynek nagy a szervesanyag-tartalma, ezért az égetés nagy térfogat- és tömegcsökkenéssel jár, valamint veszélyességük is jelentősen csökken. Jól alkalmazható az égetés abban az esetben is, amikor a hulladék fűtőértéke olyan nagy, hogy vagy önfenntartóan ég vagy kevés hőenergia bevitelével elégethető. A veszélyeshulladék-égetőkben kétféle égetési technológia terjedt el: a teljes oxidációs égetés és a parciális pirolízis. A kisteljesítményű veszélyeshulladék-égetőkben a parciális pirolízis terjedt el. A középteljesítményű létesítményekben mindkét technológia használatos, általában a hulladék jellemzői alapján döntenek. A nagyteljesítményű létesítményeknél leggyakrabban a teljes oxidációs égetést alkalmazzák.

Speciális égetőkamrákat alkalmaznak pl. klórozott szénhidrogén tartalmú hulladék elégetésénél, valamint folyékony, nagy sótartalmú hulladék illetve szennyvíz iszap égetésénél.

Példaként bemutatjuk a Győri – veszélyes – hulladék égetési és hőhasznosítási technológia névadó elemét.

Hulladékégetőnk emissziós értékei a határértékekkel összehasonlítva:

62. táblázat: A Győri Hulladékégető emissziós értékei

Mért komponensek	Győri Hulladékégetőben mért mg/Nm ³	Félórás határértékek mg/Nm ³	Napi határértékek mg/Nm ³
Szilárd por	0-2,8	30	10
Szén-monoxid	0-5,9	100	50
Kén-dioxid	2-17,5	200	50
Nitrogén-oxidok	80-180	400	200
Elégetlen szénhidrogének	0-1,7	20	10
Sósav	2-5,4	60	10
Hidrogén fluorid	0-0,65	4	1
Higany és vegyületei	0-0,035	0,05	0,05
Kadmium,tallium	0-0,0017	0,05	0,05
As,Pb,Cr,Cu,ni,Mn,V	0-0,27	0,5	0,5
Dioxinok és furánok	0-0,006x ¹⁰⁻⁶	0,1x10 ⁻⁶	0,1x10 ⁻⁶

A Győri Hulladékégető Kft égető-berendezésének technológiája

A hulladékégető engedélyezett égetési kapacitása 980 kg/h, ami 8000 t/év hulladék ártalmatlanításának felel meg.

A hulladék átvétele a 98/2001. Kormányrendeletben előírtak alapján történik. A beérkező anyagok és okmányainak ellenőrzése után a mennyiségi átvétel a hídmérlegen történik. Az anyagok minőségi ellenőrzését a telep laboratóriumában végzik el. A beérkező hulladékok égetési paramétereinek ismeretében állítják elő a napi égetési menüket.

A szilárd hulladékok konténerben, hordóban, zsákokban, vagy speciális edényzetben (az egészségügyi hulladékok műanyag badellában, dobozban, zsákban, a vegyszerek dobozban, stb.), a folyékony hulladékok hordókban-ballonokban vagy tartályautókban érkeznek a telepre.

A hulladékokat az átvétel után tulajdonságaiktól, minőségüktől függően a telep különböző gyűjtőhelyeire helyezik el.

A folyékony halmazállapotú hulladékokat kármentővel ellátott tárolótartályokba fejtik be, ahonnan zárt csővezetéken keresztül szivattyúk nyomják a tűztér különböző pontjaira. A folyadékok beporlasztása a hőmérséklettől függően automatikusan történik.

A hulladékok égetés előtti gyűjtése-tárolása fedett hordókban, konténerekben, fedett, szigetelt, dréncsővezetett gyűjtőhelyen vagy tartályokban, illetve a fedett betonbunker előtároló medencéjében történik. A Győri Hulladékégető Kft. partnereivel olyan szerződések megkötésére törekszik, melyek lehetővé teszik az ütemezett beszállításokat.

Az égető főbb technológiai berendezései a következők: bunker, forgókemence, utóégető kamra, hőhasznosító kazánok, -turbinával, füstgáztisztító berendezés, dioxin adszorberrel.

A hulladéktároló bunker szilárd és pasztaszerű hulladékok tárolására szolgál, 500 m³ befogadóképessége van. A bunker négy részből áll, az első rész az ún. előválogató medence, ide helyezik be a beérkezett hulladékokat ömlesztett, vagy hordós formában. Az előtároló medencéből válogatós serleges markoló (**261. ábra**) segítségével kerül a hulladék az előtároló bunkerbe, ahonnan folyamatosan egy őrlőberendezésbe adagolják a szilárd hulladékot, amelyből az a bunker belső kazettájába hullik. Az őrlés célja a méretcsökkentés és a hulladék homogenizálása.



261. ábra: Hulladéktároló markoló [40]

Az így homogenizált hulladékot markolóval egy adagolóberendezés felhordójába helyezik, mely számítógép által vezérelten egyenletesen juttatja azt a kétszilipes adagológarat tölcserébe. Az adagolótölcseréből az alsó zsilip alatti adagolóvályúba hullik a hulladék, ahonnan hidraulikus működtetésű betolódugattyú nyomja a kemence első szakaszába.

A különlegesen kezelendő, nem aprítható hulladékokat (tipikusan az egészségügyi hulladékokat, laboratóriumi vegyszermaradékokat) csomagoló edényzetükkel együtt az aprítót és a felhordót kihagyva közvetlenül a zsilipes adagolóba adagolják.

A forgókemence 2008 mm átmérőjű 9000 mm hosszúságú, tűzálló bélésellátott acélcső. A dob alsó vége az utóégető kamrába nyúlik be. A dobvég hűtését ventilátor által befűvott levegő biztosítja. A forgódob homlokfalán a támasztó tüzelést biztosító földgázégő és egy

folyadékéggő van elhelyezve. A forgódobba beadagolt szilárd hulladék a tüztér hőmérsékletének, illetve az égő lángjának hatására gyullad meg. A dob forgása és lejtése következtében a hulladék a dobban fokozatosan halad lefelé. A dob közepén a hulladék szervesanyag-tartalma kiég és az izzó salak a dob végén hullik ki, majd vízhűtés után kaparólánccal salakkihordó útján gyűjtőkonténerbe kerül. A szilárd anyagok égetéséhez szükséges légfelesleg biztosítására 6000 Nm³/h teljesítményű, aláfűvő ventilátor üzemel. A füstgázok a forgódob végén az ún. utóégető kamrába jutnak, mely 70 m³ térfogatú, tűzálló falazattal ellátott kéthuzamú kamra. Az utóégető kamrában egy földgázéggő és egy oldószeréggő segítségével a füstgázokból kiégetik a még éghető szennyeződések. Az oldószeréggőn keresztül különböző hulladékoldószeresek, egyéb folyadékok elégetése lehetséges a hulladék égéshőjétől függően változó mennyiségben. Az utóégető kamrában 1150-1300 °C körüli hőmérsékleten a füstgázok tartózkodási ideje két másodpercnél több.

Az utóégető kamrából távozó füstgázokat fekvő füstcsöves hőhasznosító kazánba vezetik be. A folyamatos üzemmenet biztosítására három hőhasznosító van beépítve, melyek felváltva üzemelnek. A kazán által termelt gőzt (2-3,5 t/h 6-8 bar nyomású) részben az égetőmű és a szomszédos folyékony ártalmatlanító technológiai berendezéseinek működtetéséhez, épületeinek és egyéb kiszolgáló-létesítmények fűtésére használják, részben a turbinára vezetik, amely a telep energiaellátásához 100-120 kWh villamos árammal segít rá. A turbináról távozó gőzt kondenzáltatás után visszavezetik a kazántápvízhez, így csökken a lágyítandó víz mennyisége.

A kazánból a füstgázok 270-300 °C hőmérsékleten távoznak és a füstgáztisztító rendszerbe kerülnek. A füstgáztisztító berendezés a svéd ABB-Fläkt cég által szállított száraz adszorpciós elven működő 3 részből álló egység. Első része az ún. kondicionáló torony. A toronyba bevezetett füstgázt egy porlasztófűvőkán keresztül beporlasztott vízzel 150 °C-ra hűtik le. A füstgázzal bejutó durvább pernye és hamuszemcsék a gázáramból kiülednek a torony aljára, ahol egy hamukihordó működtethető ennek eltávolítására. A kondicionáló toronyba a hűtővízzel együtt lúgadagoló szivattyú segítségével folyékony NaOH is adagolható a füstgáz sósav, illetve kén-dioxid tartalmától függően. A lúgadagoló szivattyúját a sósavmérő és a kén-dioxidmérő által mért jellel vezérlik.

A megfelelő hőmérsékletre beállított füstgázt egy csőreaktorban finom eloszlású mészhidráttal és aktív koksszal keverik össze. A füstgáz savas komponensei kémiai reakcióba lépnek a mészhidráttal, míg az aktív szén megköti a szerves vegyületeket (dioxinokat, furánokat, elégetlen szénhidrogéneket, illetve a gőzalakú higanyt). Ezután a füstgázt a zsákos porleválasztó egységbe vezetik, melyben porzsákokban történik a szilárd porok kiszűrése a füstgázból. Az egységet úgy méretezték, hogy az adszorbensként viselkedő porkeverék a zsákos szűrőn maradjon és a gáz tartózkodási ideje a szövetre rakódott porrétegben maximális legyen. Így az adszorpciós folyamatok tovább folytatódnak a szűrő felületén. A por letapadásának megakadályozására a szűrőkamra palástját villannyal fűtik. A zsákra tapadt, kimerült szűrőréteget pneumatikus lökessel rázzák le a kamra aljára, ahonnan egy folyamatosan működő kihordócsiga távolítja el. A kihordott filter port 1-1,5 m³-es, úgynevezett big-bag zsákokban gyűjtik, és konténerben veszélyes hulladéklerakóra szállítják.

A zsákos porszűrőt követően a füstgázban maradó kis koncentrációjú szennyezések további csökkentésére egy mozgó ágyas, ellenáramú dioxin adszorber került beépítésre. Az ellenáramú üzemeltetés során az adszorbens kis sebességgel felülről lefelé mozog, a füstgáz pedig alulról fölfelé áramlik. Az adszorbens töltet a Sorbalit nevezetű 10 % aktívkokszot és 90 % mészhidrátot tartalmazó granulátum. A füstgázok belépését követő zónában kötődik meg a por és adszorbeálódnak a dioxinok/furánok és a nehézfémek. A következő zónában kötődik meg a kén-dioxid, majd ezt követően a sósav és a halogének. Az adszorber tetején egy elosztó rendszeren lép be a friss adszorbens és ez a zóna pufferként szolgál az esetleges koncentrációcsúcsok esetén.

Az adszorber alján lévő használt adszorber tárolóból szakaszosan 1-2 havonta történik az elhasznált töltet elvétele, melyet az elégetendő szilárd hulladékhoz kevernek és elégetnek.

A mészhidrát tárolására mésziló szolgál, melyet pneumatikus úton töltenek fel tartálykocsiból. A meszet a sósav, illetve SO₂ tartalomtól függő mennyiségben csigaadagolók vezetik a füstgázba. Az aktív kokszt un. big-bag-ben tárolják.

A távozó füstgázok szennyezőanyag tartalmát – a kéménybe beépített szondákkal vett mintákból – korszerű emisszió-mérő műszerek mérik folyamatosan. A mért komponensek: szilárd por, szén-monoxid, kén-dioxid, nitrogén-oxidok, elégetlen szénhidrogének, sósav, valamint az oxigéntartalom. Az emissziós értékeken kívül az égetési folyamat valamennyi lépése műszerekkel ellenőrzött és automatikusan szabályozott. A technológia legfontosabb paraméterei az emissziós értékekkel együtt számítógépes rögzítésre kerülnek. Ennek köszönhetően az egész technológia szigorúan kontrollált és szabályozott.

A technológiából szennyvízként a vízlágyító oszlopok regenerálásakor keletkező vizek távoznak, melyeket dolomittal töltött medencében semlegesítenek. A telepre hullott csapadékvizeket, udvartakarításból származó szennyvizet egy 40 m³-es illetve egy 80 m³-es záportárolóba gyűjtik össze, melyből egy szennyvíztisztítón és egy szelektív ioncserélőn történő kezelés után visszavezetik a kondicionáló toronyba hűtővízként. Csak a technológiában fel nem használt szennyvizet nyomják a csatornahálózatba.

A hulladékégető rendelkezik ISO 9001 minőségügyi és ISO 14001 környezetvédelmi minősítéssel. 2004 januárja óta integrált minőségügyi és környezetvédelmi irányítási rendszert működtet. A korszerű technológia és a szigorú szabványrendszerek biztosítják, hogy az ártalmatlanítás nagy biztonsággal és a lehető legkisebb környezetterheléssel történik.

23.8. Irodalom a 23. fejezethez

- [1.] Dr. Szemmelveisz Tamásné: Fás- és lágyszárú biomasszák energetikai célú hasznosítási feltételeinek vizsgálata, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, 2006. p.100
- [2.] Gögös Zoltán: Biomassza potenciál és hasznosítása Magyarországon http://www.agraroldal.hu/biomassza-3_cikk.html
- [3.] Dr. Bai Attila: A biomassza felhasználása, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2002. p. 225.
- [4.] http://www.tszolg.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=47&Itemid=0
- [5.] <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2008-0611+0+DOC+XML+V0//HU>
- [6.] COM(97) 599 of 26.11.1997 Energy for the Future: Renewable Source of Energy, White Paper for a Community Strategy and Action Plan
- [7.] Nagy Géza, Szűcs István, Palotás Árpád Bence, Szemmelveisz Tamásné.: Termikus eljárások fejlesztése a hulladékgazdálkodásban ELŐADÁS; Egyetemek és Főiskolák környezetvédelmi oktatóinak I. Országos Tanácskozása Kecskemét 2010.
- [8.] Nagy Géza (szerk. Csöke Barnabás): Hulladékgazdálkodás (HEFOP jegyzet) 2., 3., 8. fejezet. 2007.
- [9.] Nagy Géza szerk.: Hulladékgazdálkodás jegyzet SZE Universitas Győr Kht. 2007.p. 168.
- [10.] Dr. Nagy Géza, Dr. Bulla Miklós, Dr. Tóth Péter: A megújuló energiahordozódokon alapuló komplex energiaellátó rendszerek alkalmazási lehetőségei a mezőgazdaságban. VII. Biomassza konferencia Sopron. 2004.
- [11.] Dr. Nagy Géza, Dr. Szemmelveisz Tamásné, Dr. Szűcs István, Dr. Palotás Árpád Bence: Lakossági célú biomassza tüzelés elterjesztésének időszerűsége és korlátai. E-tudomány, Zöld különszám: Fókuszban a biomassza. 2009 p.18
- [12.] Gazdasági és Közlekedési Minisztérium: Magyarország energiapolitikája 2007-2020, A biztonságos, versenyképes és fenntartható energiaellátás stratégiai keretei, 2007. június, p: 44
- [13.] http://www.petav.hu/a_tavhoszolgáltatatas/a_tavhoellatas_fogyasztói_berendezesei
- [14.] <http://www.carbonarium.com/articles.aspx?show=1&id=7>
- [15.] Dr. Barótfi István: Energiafelhasználói kézikönyv, Környezettechnikai Szolgáltató Kft., Budapest, 1993. p. 627-904
- [16.] Nagy Géza, Rácz Éva szerk.: IX. Környezettudományi Tanácskozás, Regionális Környezethasználatok és –fejlesztések Fenntarthatósági vizsgálata , konferencia kiadvány, CD. Győr SzE 2009. 11. 06.
- [17.] Dr. Nagy Géza: Faipari hulladékok magyarországi hasznosításának lehetőségei (tanulmány) MÉH Rt. Győr 2005. december
- [18.] DR. Szerdahelyi Gy. :Energiapolitikai aktualitások. Előadás KHEM Budapest2009 04. 07.
- [19.] dr. Örvös Mária: Ártalmatlanítás termikus eljárásokkal Előadás (BME) 2008
- [20.] Dr. Hornyák Margit: Az EU szabályozás felülvizsgálatának hatása a hulladékok energetikai hasznosítására
- [21.] Bagi Beáta: Biológiailag bontható hulladékok kezelése Magyar Minőségi Komposzt Társaság Budapest, 2007. március 27-28. http://www.bipro.de/waste-events/doc/events07/hu_presentation_7nhei_bb.pdf
- [22.] Dr. Nagy Géza, ny. főiskolai tanár, DR. Szemmelveisz Tamásné, egyetemi docens, prof. Dr. Szűcs István, egyetemi tanár, Dr. Palotás Árpád Bence, egyetemi docens: Lakossági célú biomassza tüzelés elterjesztésének időszerűsége és korlátai E-tudomány különszáma 2009. november.
- [23.] Nagy Géza, Szűcs István, Szemmelveisz Tamásné, Mikó J., Wopera Lné.: Többfunkciójú fűtőberendezés főleg gyengén előkészített mező- és erdőgazdasági melléktermékek, hulladékok környezetkímélő eltüzelésére, Elfogadott Szabadalom, 2003. 02. 05. Lajstromszám: 221 552
- [24.] Farkas Ottóné, Szemmelveisz Tamásné: Gondolatok a biomassza hazai hasznosításáról Északkelet-Magyarország Gazdaság-Kultúra-Tudomány Miskolc, 2008. XIII. évf. 2. p. 21-26

- [25.] Dr. Nagy Géza: A tisztább termelés stratégiájának hasznosítása a regionális hulladékgazdálkodásban XIV. Országos Környezetvédelmi Információs Konferencia Balatonboglár, 2003. szeptember. p. 25-26.
- [26.] Biomassza fogalma hasznosítása. Forrás www.kekenergia.hu 2008. április 04.
- [27.] ME Tüzeléstan Tanszék: ZÁRÓJELENTÉS a „Tanulmányterv és laboratóriumi vizsgálatok kocszdara hasznosítására” Miskolc 2007 augusztus, p. 53
- [28.] MSZ KGST 751-77: Szilárd tüzelőanyagok nedvességtartalmának meghatározása
- [29.] MSZ ISO 1171: Szilárd ásványi tüzelőanyagok. A hamu meghatározása
- [30.] MSZ 24000/10-83: Szenek laboratóriumi vizsgálata. Illó meghatározás
- [31.] MSZ 24000/11-1988: Szenek laboratóriumi vizsgálata. A széntartalmak és a hidrogéntartalom meghatározása
- [32.] MSZ 12000/5-68 Feketeszenek laboratóriumi vizsgálata. Égéshő meghatározása és fűtőérték kiszámítása
- [33.] Hegedűs Bence: Biogáz pörgetheti a vidék gazdaságát. Vállalkozói negyed 2010.04.28:
- [34.] Falvak megújuló energián alapuló komplex közmű-modelljei (tanulmány) BFH Európa Projektfejlesztő és Tanácsadó Kft, Szombathely, 2008 p. 129
- [35.] Nagy Boldizsár : Egy hazai ökotudatos falucska története. Zöldtech 2010.09.06
- [36.] Dr. Büki Gergely: Kapcsolt energiatermelés. www.ete-net.hu/html/BG_Kapcsolt.html
- [37.] Dr. Büki Gergely: a távfűtés, a kapcsolt energiatermelés és a biomassza hasznosítás, 2009. www.enpol2000.hu/?q=node/409
- [38.] Huba Bence: Új Magyarország Fejlesztési Terv, Az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások fejlesztése, Energiaközpont Kht. http://www.ahkungarn.hu/fileadmin/user_upload/Dokumente/Bereich_HF/Dienstleistungen/Kooperationsboersen/Energia_Koezpont_Huba.pdf
- [39.] Dr. Szerdahelyi György: Energiapolitikai aktualitások, Magyarország Energhatékonsági Cselekvési Terve és megújuló energiahordozó stratégiája. 2009. április 7.
- [40.] Vargáné Matlári Eleonóra, Dr. Nagy Géza: A Györi Hulladékégető technológiája, Győr 2010 09. 25.

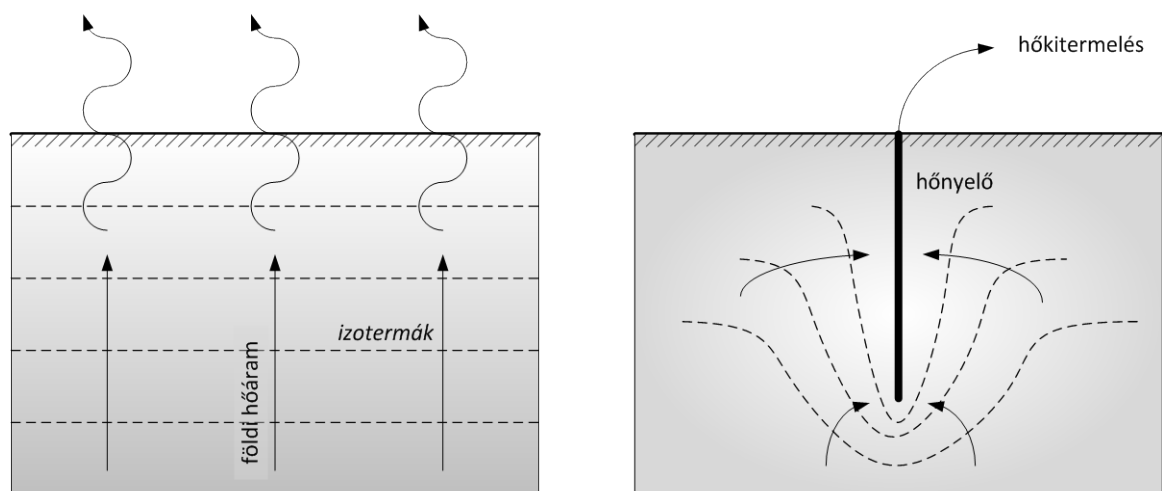
24. Geotermikus energia (Dr. Nagy Géza)

Debreceni Egyetem, Egyetem

A geotermikus energia alapja a Föld belsejében termelődő és tárolódó hő. A földbelső 99 %-a melegebb, mint 1000 °C, és mindössze kevesebb, mint 1 %-a alacsonyabb hőmérsékletű, mint 100 °C. A Föld bolygó a földfelszínen keresztül a földi hőáramot 40 millió MW teljesítménnyel adja át az atmoszférának. A Föld belső hőtartalma 10×10^{25} MJ nagyságrendű, a földkéregé 5×10^{21} MJ [4.1]. Ez utóbbi számot összevetve a világ energiafogyasztásával, ami 10^{14} MJ, tízmilliószor többnek adódik. A földhő tehát óriási mennyiségű, kimeríthetetlen, és mindenütt jelen van. A **technikai-társadalmi rendszerek időskáláján megújulónak** tekinthető.

A földhő jellemzője a többi megújuló energiafajttával szemben, hogy állandóan rendelkezésre áll, független a meteorológiai körülményektől, rugalmasan alkalmazható, alapteljesítményre ugyanúgy, mint az igények maximumának idején csúcsteljesítményre. A geotermikus energia a kitermelés helyén áll rendelkezésre, ezért decentralizáltan használható, és csökkentheti az importenergiától való függést. A használatához szükséges kutatás, kiépítés és karbantartás hazai munkahelyeket teremt, és tart meg.

A földhő, mint megújuló készlet, fenntartható módon használható. Ha nem hasznosítjuk, akkor felhasználás nélkül lép ki az atmoszférába (262. ábra). Minden felszín alatti hő/fluidum-kiemelés egy hőnyelőt, illetve hidraulikus depressziót hoz létre. Ez termikus és hidraulikus gradienseket generál, amelyek mentén intenzív beáramlás indul, azért, hogy a hőkihasználás által kialakult deficitet kiegyenlítse. Ezért félrevezető lehet a „hőbányászat” kifejezés. Míg a kibányászott érc, szén stb. a kiürült telephelyen nem regenerálódik, a hő és a geotermikus fluidum előbb-utóbb visszaáramlik. Modellezési tapasztalatok alapján a hőmérséklet regenerálódásához – a rezervoár fajtájától és a kitermelés módjától függően, 95 %-os szinten – legalább annyi idő kell, mint amennyi a kitermelés ideje volt. A fenntartható termelési szint a helyi geotermikus készlet adottságainak: telepnagyság, természetes utánpótlódás stb. függvénye.



A földi hőáram kilép a világűrbe, „elvész”

A hőnyelő „befogja” a földi hőáramot

262. ábra: A földhő elvi hasznosítása [4.1]

Modellezési tapasztalatok alapján a hőmérséklet regenerálódásához – a rezervoár fajtájától és a kitermelés módjától függően, 95 %-os szinten – legalább annyi idő kell, mint amennyi a

kitermelés ideje volt. A fenntartható termelési szint a helyi geotermikus készlet adottságainak: telepnagyság, természetes utánpótlódás stb. függvénye.

A különböző szakirodalomban a geotermikus energiának számos megfogalmazásával találkozunk.

A **geotermikus energia a földkéreg belső energiája** (földhő), amely energetikai céllal hasznosítható, és ami legalább 30 °C hőmérsékletű folyékony vagy gáz halmazállapotú anyagok közvetítésével (geotermikus energiahordozókkal), ezek földkéregből való kitermelésével vagy recirkulálásával nyert energia [4.2]. Ez a definíció az 54/2008 (III.20) Kormányrendeletben került megfogalmazásra [4.3], amely az ásványi nyersanyagok és a geotermikus energia fajlagos értékének valamint az értékszámítás módjának meghatározásáról szól.

A geotermikus energia

- a Föld belső alkotói között hosszú bomlási idejű radioaktív izotópok bomlása,
- felső kéregben vulkáni jelenségek révén a kéregben maradó mélyégi kőzetek ásványtartalmának radioaktív bomlása, és
- a kőzetek kémiai átalakulásának hőfejlődéssel járó folyamatok hatására keletkező,

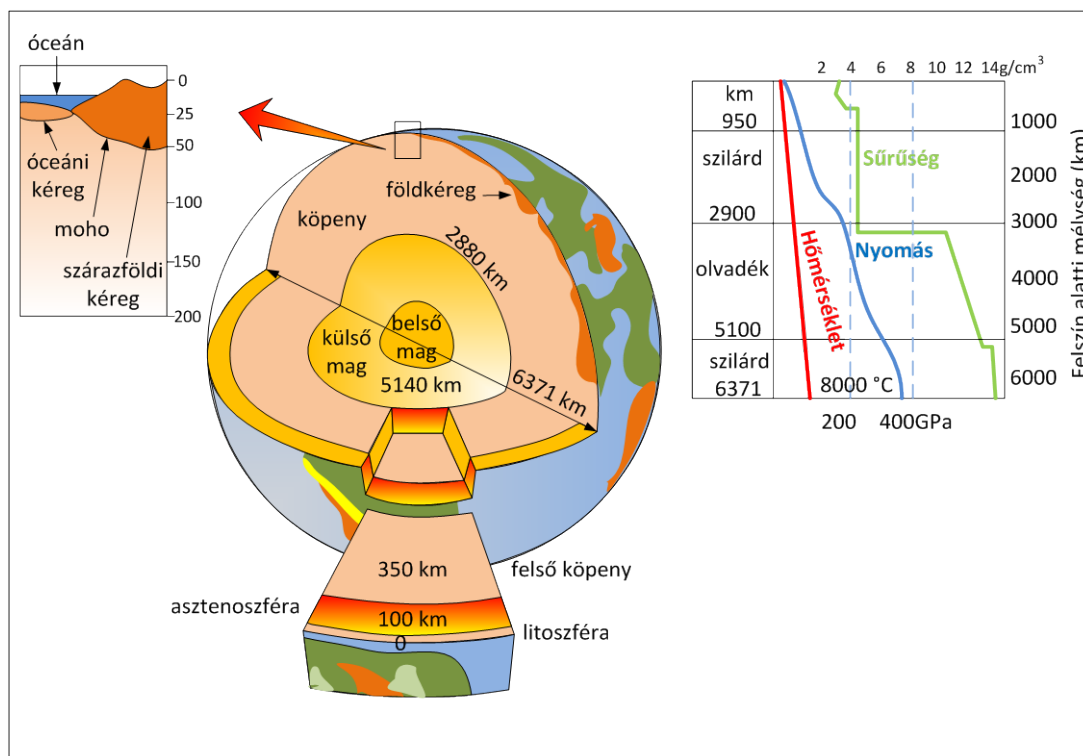
a kőzetekben és pólusvízben tárolódó termikus energia, amely folyamatosan a Föld felszíne felé áramlik. Nagysága gyakorlatilag kimeríthetetlennek tekinthető. Nem szabad azonban megfeledkezni arról, hogy a radioaktív bomlás mértéke exponenciálisan csökken, közvetlenül a Föld kialakulása után a bomlásból származó hő ötszöröse lehetett a mainak.

Szűkebb értelemben a **felszín alatti víz hőtartalmában** rejlő energia a geotermikus energia, hisz jelenleg, egyes szakirodalom szerint gazdaságosan a **földhő** csak hévíz közvetítésével hasznosítható, amit a víz nagy hőkapacitása tesz lehetővé [4.2]. Tágabb értelemben a geotermikus energia a földi hőáram következtében a kéregben mindenütt jelenlévő, nem szoláris eredetű termikus energia.

Földünk energetikai rendszerének vázlatja.

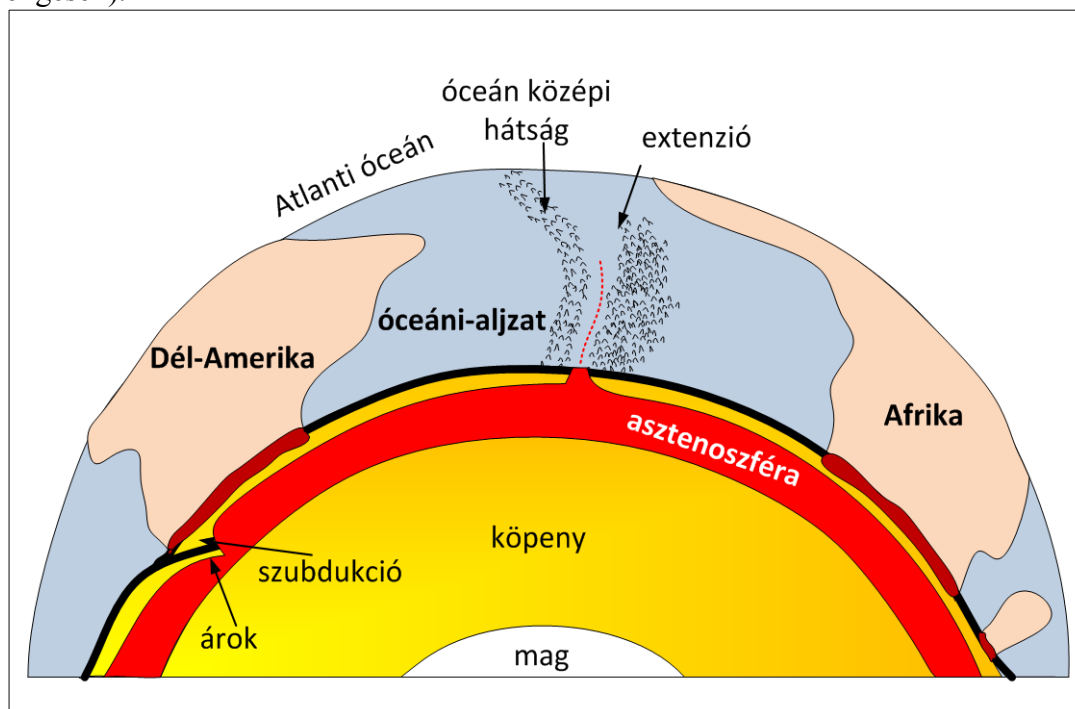
A 4,6 milliárd éve fejlődő földi anyagevolúciós rendszer változásainak alapvetően két (belső ill. külső) hajtómotorja van, amely az anomáliák, illetve az anyag- és energiaáramlások újratermelésével egy dinamikus egyensúlyközeli állapotot tart fenn. Ennek csekély kilengéseire olyan véletlenszerű külső hatások szuperponálódhatnak rá, amelyek drasztikus, ugrásszerű változásokat, klímaingadozásokat, pusztító katasztrófasorozatokat, tömeges kihalásokat okozhatnak.

Az említett két energetikai hajtóerő az úgynevezett **belső és külső energia**. A Föld esetében a belső energia a Föld köpenyében és kérgében (**263. ábra**) jelen lévő hasadóanyagok (radiogén izotópok) bomlásából származó hőt jelenti, amely többféle formában jut el a földfelszínig, s sugározódik ki a világűrbe. E hő termelődése sem térben, sem időben nem egyenletes, így a belőle származó hő terjedése nem tekinthető sem gömbszimmetrikusnak, sem stacionernek. A ma legkorszerűbbnek elfogadott feltevések szerint a különböző mélységzónákban termelődött hő részben diffúzió módon jut el a felszínig, részben hosszasan elnyúló lineáris övekben hatol fölfelé konvekciós köráramokat idézve elő a felső köpeny kváziplasztikus anyagában. Ezek az áramlási rendszerek 1–100 millió év időtartamúak, s a tartósság eltérő időtartamára jelenleg nem ismerünk megbízható magyarázatokat.



263. ábra: A Föld belső övei és azok főbb fizikai tulajdonságai [4.4]

E konvekciós áramlások mozgatják a szilárdként viselkedő legfelső, izzó állapotú köpenyzóna és a vele összeforrott, szilárd kristályos anyagokból álló földkéreg nagy méretű, úgynevezett litoszféra lemezeit (264. ábra). Voltaképpen az így kialakuló mozgások felelősek a felszínen is jól látható vertikális tagolódások, térszínkülönbségek, horizontális térrövidülések, gyűrődések, süllyedések, alá- és fölételődések folyton újratermelődő jelenségeinek sokaságáért (pl. hegység- és medenceképződés, óceáni kéreg fejlődés, vulkanizmus, földrengések).



264. ábra: A Föld litoszférájának mozgási mechanizmusa a táguló és ütköző lemezszegevényeken [4.4]

ismét szerepet kapnak a geotektonikai folyamatok, a betemetődés sebessége és mértéke, valamint a rendszert átfűtő geotermikus földhőáramok helyi sűrűségértékei, s e körülmények fennállásának időtartama.

Az energetikában szintén szerepet játszó hasadóanyagok az előbbieken vázolt köztéciklus magmás folyamataihoz kapcsolódnak, az izzón folyó szilikátolvadékok kristályosodásakor kerülnek be az őket hordozó ásványokba, s rendszerint a külső erők pusztító-áthalmazó-újraülepítő munkája során jutnak el a telepszerű koncentrációig (lásd a mecseki perm homokkövei).

Mindezek a nyersanyagképző folyamatok napjainkban is folyamatosan zajlanak, de időtartamuk csupán a földtani időskálán mérhető léptékekben képes megvalósulni. Így az emberiség által az ipari forradalom óta egyre növekvő mértékben kitermelt energiahordozók antropogén felhasználása nagyságrendekkel gyorsabb, mint a létrehozó geológiai folyamatok sebessége.

Az előzőekből következően a földkéregben lefelé haladva folyamatosan nő a hőmérséklet, de a hőeloszlás egyenlőtlenségei és a földkéreg összetételének helyi változásai miatt ez a növekedés helyenként eltérő lehet.

Az egész földkéreg átlagát tekintve 33 m-enként nő 1 °C-kal a hőmérséklet a mélység felé. Ez az úgynevezett **geotermikus mélységlépcső** a pozitív hőanomáliájú területeken 5–10 m/°C-ra is lecsökkenhet, míg a negatív anomáliájú területeken 100 m/°C felé növekedhet.

A geotermikus mélységlépcső reciprokát, az úgynevezett **geotermikus gradienst** gyakran használjuk a műszaki gyakorlatban. Ennek értéke az említett világátlag esetében 3 °C/100m, illetve 30 °C/km.

A harmadik közismert és gyakran használt geotermikai alapfogalom a hőáram (pontosabban **hőáramsűrűség**), amely a földkéreg egységnyi felületén átáramló hőmennyiséget fejezi ki. A földi átlag ~74 mW/m², amelytől jelentős eltérések lehetnek a helyi adottságok függvényében.

A föld szilárd kérgé a kontinensek alatt átlagosan 30–35 km közötti vastagságú, összetétele a 2,7 g/cm³ átlagos sűrűségű gránitokak felel meg. Az óceáni kéreg mindössze 6–8 km vastagságú, összetétele a 2,9–3,1 g/cm³-es sűrűségű bázisos-ultrabázisos kőzeteknek felel meg. A Föld kérgén áthaladó földhő a nagy nyomás miatt igen tömör szerkezetű kristályos kőzeteken alapvetően vezetéssel terjed. A felszín közeli 2–3 km-es felső zónában a csökkent nyomás és a szerkezeti mozgások, valamint a kisebb tömörödöttség miatt porózus és hasadékos övben jelentős mennyiségben vannak jelen fluidumok (víz, szénhidrogének, oldott gázok), így ebben a zónában a vezetés mellett jelentős szerepet kaphat porozitástól függően az áramlással történő hőterjedés is. A harmadik, úgynevezett gázfázis megjelenése csak a felszín közeli néhány 10 m-es szakaszon jellemző, így itt a sugárzás is megjelenik, mint hőterjedési forma, de szerepe a folyamat egészét illetően alárendelt.

A hővezetéssel terjedő **hőáram (q)** értéke függ a hőmérsékletgradienstől (grad T) és a vizsgált kőzet egy anyagi jellemzőjétől, az úgynevezett hővezetőképességtől (k):

$$(4.1) \quad \bar{q} = -k \cdot \text{grad}T$$

Adott vízzel telt kőzetestben tárolt hőenergia (H KJ) számításához szükséges a víz és a kőzetestek sűrűségének (ρ kg/m³), fajhőjének (c KJ/kg⁰K)) és a kőzet porozitásának (p),

valamint a hőmérsékletének és a felszíni átlaghőmérséklet különbségének (ΔT °K) ismerete [4.5]:

$$(4.2) \quad H = [(1-p)c_{\text{kőzet}}\rho_{\text{kőzet}} + pc_{\text{víz}}\rho_{\text{víz}}]V\Delta T$$

A leggyakoribb kőzetfajták alapvető hőtani paraméterei a **63. táblázat** található.

63. táblázat: A gyakoribb kőzetfajták alapvető hőtani állandói [4.6]

kőzet	hővezetőképesség, k (W/mK)	fajhő, c (kJ/kgK)
gabbró	1,9–2,8	1,0–1,1
bazalt	1,8–2,9	1,2–2,1
gránit	2,2–3,7	0,9–1,55
riolit	2,3–2,8	1,1–1,6
tufák	1,4–2,1	0,9–1,3
homokkő	1,7–5,0	1,0–3,3
agyag	0,8–2,8	1,24–3,5
mészakő	2,2–4,0	1,0–1,6
agyagpala	1,0–4,0	1,1–1,7
gneisz	2,0–4,8	1,0–1,2
kvarcit	5,3–8,5	0,99–1,33

Termikus felfűtöttség szempontjából a **rezervoárokat hőbányászati** szempontból három kategóriába: a **kis, közepes vagy nagy entalpiájú rezervoárok** közé sorolhatjuk. A három kategóriát a különböző szerzők eltérően határolják el, egyes források nem is különítik el a közepes entalpiájú rezervoárokat.

64. táblázat: A geotermikus rezervoárok osztályozása entalpiájuk alapján [4.2]

	Muffler – Cataldi (1978)	Benderitter – Cormy (1990)	Hochstein (1990)	Nicholson (1993)	Axelsson – Gunnlaugsson (2000)
kis entalpiájú	< 90 °C	< 100 °C	< 125 °C	< 150 °C	< 190 °C
közepes	90–150 °C	100–200 °C	125–250 °C	–	–
nagy entalpiájú	> 150 °C	> 200 °C	> 250 °C	> 150 °C	> 190 °C

A **64. táblázat** látható, hogy az egyes szerzők különféle megfontolások alapján igen eltérő hőmérsékleti intervallumokat jelölnek meg és e téren még nem történt nemzetközi egységesítés, bár időszerű lenne. A Benderitter – Cormy féle beosztás felel meg legjobban az utómagmás hidrotermás ásványparagenezisek hőmérsékletek szerinti kategorizálásának. A termálvizek többsége azonban nem köthető közvetlenül magmához, vagy magma okozta direkt felfűtődéshez, így a hűléskor belőlük kicsapódó ásványi vegyületek (pl. vízkő) sem tekinthetők magmás eredetűnek.

Hazánkban a sajátos medenceszerkezet és porózus, ill. hasadékos hévíztartó rezervoárok kategorizálásához mind genetikai, mind energetikai szempontokból a Muffler – Cataldi (1978) beosztás felel meg, így hazai meghonosodása [4.7] érthető és elfogadható.

A földkéreg felső 1 km-ének becsült hőtartalma a világ jelenlegi energiafelhasználásával számolva millió évekre elegendő [4.10] Ennek figyelembevételével jogosnak tűnik a geotermikus energiát a megújulók közé sorolni. A hő terjedésének korlátos sebessége miatt ugyanakkor szüzségyszerű definiálni a földhőtermelés fenntarthatóságának feltételeit. Az izlandi Orkustofnun Munkacsoport [4.8] meghatározása alapján a termelés

fenntarthatóságának feltétele egy meghatározható teljesítmény-határérték alatti termelés, mely hosszú ideig (szerintük 100–300 évig) biztosítható. E definíció tehát nem tartalmazza a földi hőáram nagyságával kapcsolatos aggályokat, elfogadhatónak tartja a közettestek lehűtéséből kinyerhető hőmennyiség hasznosítását is, ha az kellően lassú. A jelenlegi termelési tapasztalatok alapján nem tekinthetjük fenntartható művelésűnek sem a bemutatott erőműveket, sem a legtöbb hévíztermelési módot [4.9] A középtávú gazdaságosság azonban ennél nagyobb ütemű hőkitermelést is lehetővé tesz, amennyiben a működtetőnek nem elsődleges célja a fenntarthatóság.

A geotermikus rendszereket földtani helyzetük és hőátadási helyük szerint a következő hőátadási kategóriákba osztották [4.10], melyet a magyar szakirodalom is átvett [4.11]:

-konvektív geotermikus rendszerek

- hidrotermikus rendszerek nagy porozitású és permeabilitású környezetben, melyek sekély mélységű magma-benyomulásokkal kapcsolatosak
- -cirkuláló rendszerek kis porozitású, repedéses permeabilitású környezetben, normális és nagy regionális hőáramú területeken

-konduktív geotermikus rendszerek

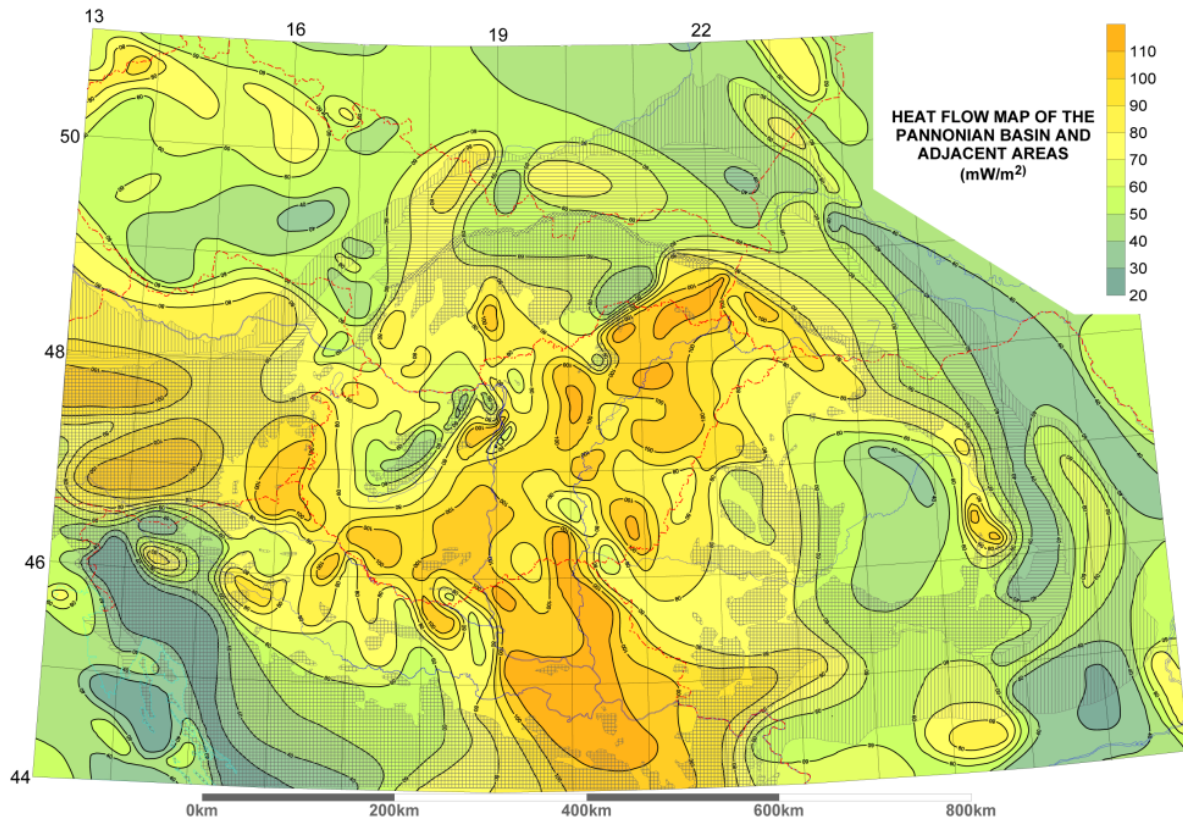
- kis entalpiájú víztárolók a nagy porozitású és permeabilitású üledéksorozatokban (beleértve a rendellenes túlnyomású, litosztatikus nyomású övezeteket is), a normális és kissé magas hőáramú területeken
- száraz forró kőzet nagy hőmérsékletű és kis permeabilitású környezetben

A felszín alatti hidrodinamikai áramlási rendszerek adott környezet- és vízföldtani provincia lokális és regionális geotermikus viszonyait pozitív vagy negatív módon egyaránt befolyásolhatják. A hidrológiai ciklus hatása leginkább a felszín közeli víztárolókban érvényesül, s a mélység felé fokozatosan veszít hatásából. E kapcsolat bizonyos mélység alatt meg is szakadhat, különösen, ha nagy kiterjedésű szigetelőrétegek települnek közben.

A felszín alatti víztípusok közül kiemelkedően legnagyobb jelentősége az ún. meteorikus vizeknek van, amelyek aktív résztvevői a hidrológiai ciklusnak, bár annak lassuló szakaszában tartózkodnak. Törések mentén 8–12 km mélységig is lejuthatnak, azonban 2000 m alatt már minimálisra csökken jelenlétük. Sekélyebb tárolókból történő kitermelés esetén utánpótlódásuk részben vagy egészen megvalósulhat, de a mélységgel ennek lehetősége rohamosan csökken. Legmélyebb ismert termákvíztároló rezervoárjaink is 2500 m-es mélységszint fölöttiek, a leggyakoribb előfordulási mélységük 600–1200 m közötti.

24.1. A geotermikus energia hazai adottságai

A geotermikus energia kiaknázási lehetőségeinek meghatározásánál figyelembe vett fizikai paraméterek közül az egyik legfontosabb a felszíni hőáram. Ennek értéke elsősorban az Alföld területén nagy, helyenként a 110 mW/m² értéket is elérheti (**266. ábra**), melynek elsődleges oka a vékony kéreg és a mélytörések jelenléte, az intenzív konvekció lehetősége. Figyelembe véve, hogy a kőzetek hővezetőképessége között nincs jelentős különbség, így a magas hőáram általában nagy geotermikus gradienssel társul. Ez a mutató lényeges eleme az energiatermelésnek, ugyanis adott hőmérsékletigény esetén meghatározza a kitermelés hozzávetőleges mélységét, így a beruházás költségét is.

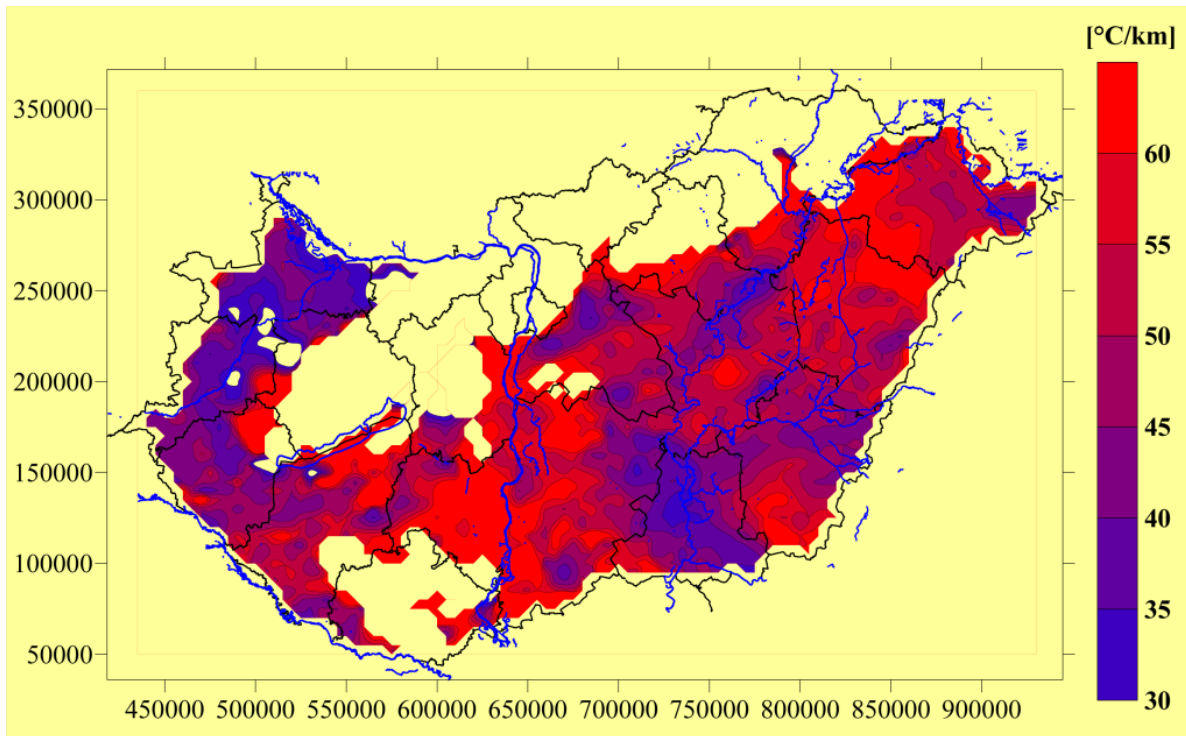


266. ábra: A Kárpát-medence és környezetének hőáramtérképe [4.12]

Mivel medenceterületeinken a termálvízartó képződmények nagyrészt a pannóniai rétegsorban találhatóak, ezért hasznos ismeretet nyújt egy olyan térkép (267. ábra), amely e képződménysor fekéjéig adja meg a geotermikus gradiens várható értékét [4.13]

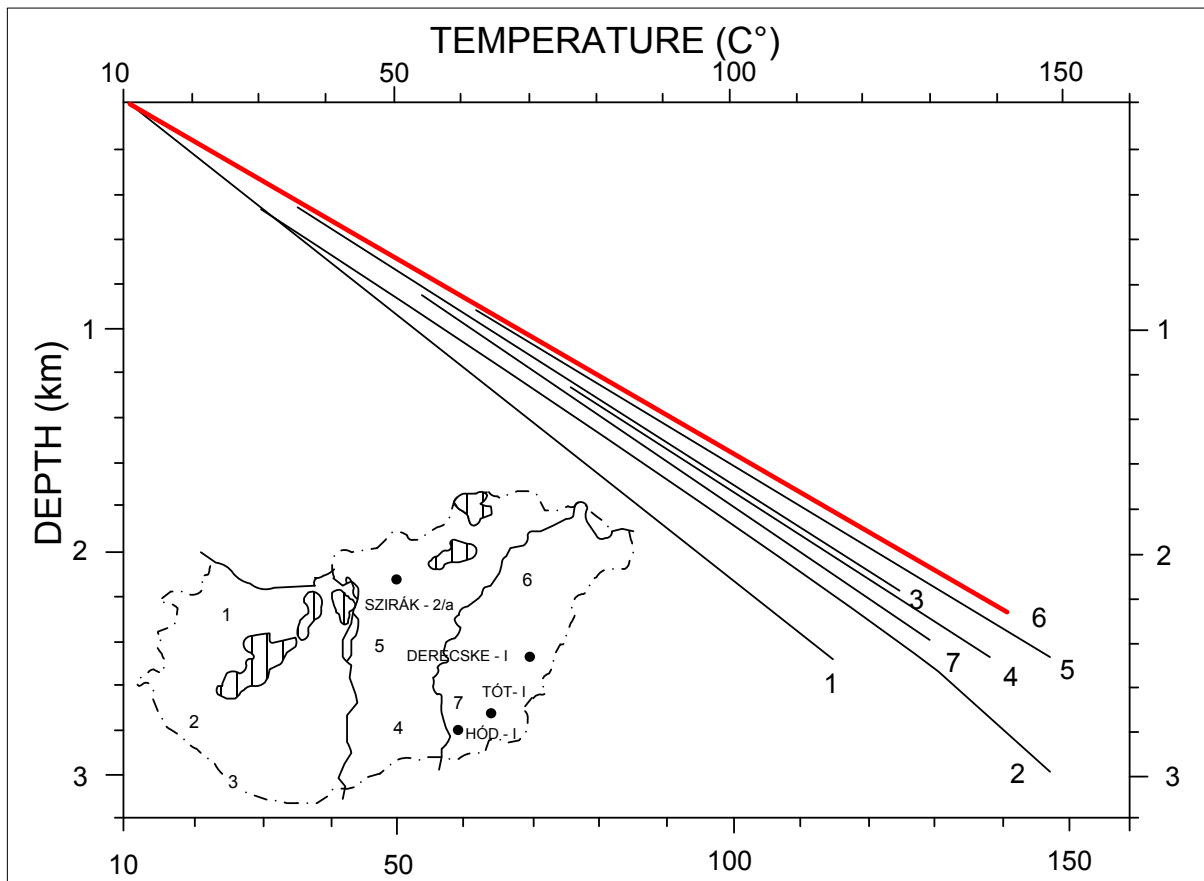
A tervezhetőség szempontjából lényeges a geotermikus gradiens mélység szerinti változása, ugyanis a mélyhőbányászat esetében fokozott anyagi kockázatot jelent az, ha az elérni kívánt hőmérséklet mélyebben található, mint a felszíni geotermikus gradiensből az becsülhető lenne. Erre példa az Európai Unió által támogatott souldzi project (Elszász), ahol a felszíni nagy geotermikus gradiens 900 m után lecsökkent, és a 200 °C-os zónát a várt 2000 m helyett 5000 m-en érték el.

A hőmérséklet (és így a gradiens) változását csak a mélyfúrások hőmérsékletméréseinek általánosításával becsülhetjük. Erre vonatkozólag mértékadó mélyfúrási adataink azt mutatják, hogy az üledékekben a geotermikus gradiens egy-egy fúrásban csupán kis mértékben változik, általánosságban a növekvő mélységgel csökken. A geotermikus gradiens teljes fúrásokra vonatkozó maximális értékei megközelítik a 60 °C/km értéket (Kaba EK-1, Hajdúszoboszló-6, Edelény E-475). Sok fúrásunkban ez az érték csupán 40 °C/km körüli, mely még mindig kb. egyharmaddal több, mint a világátlag [4.14]



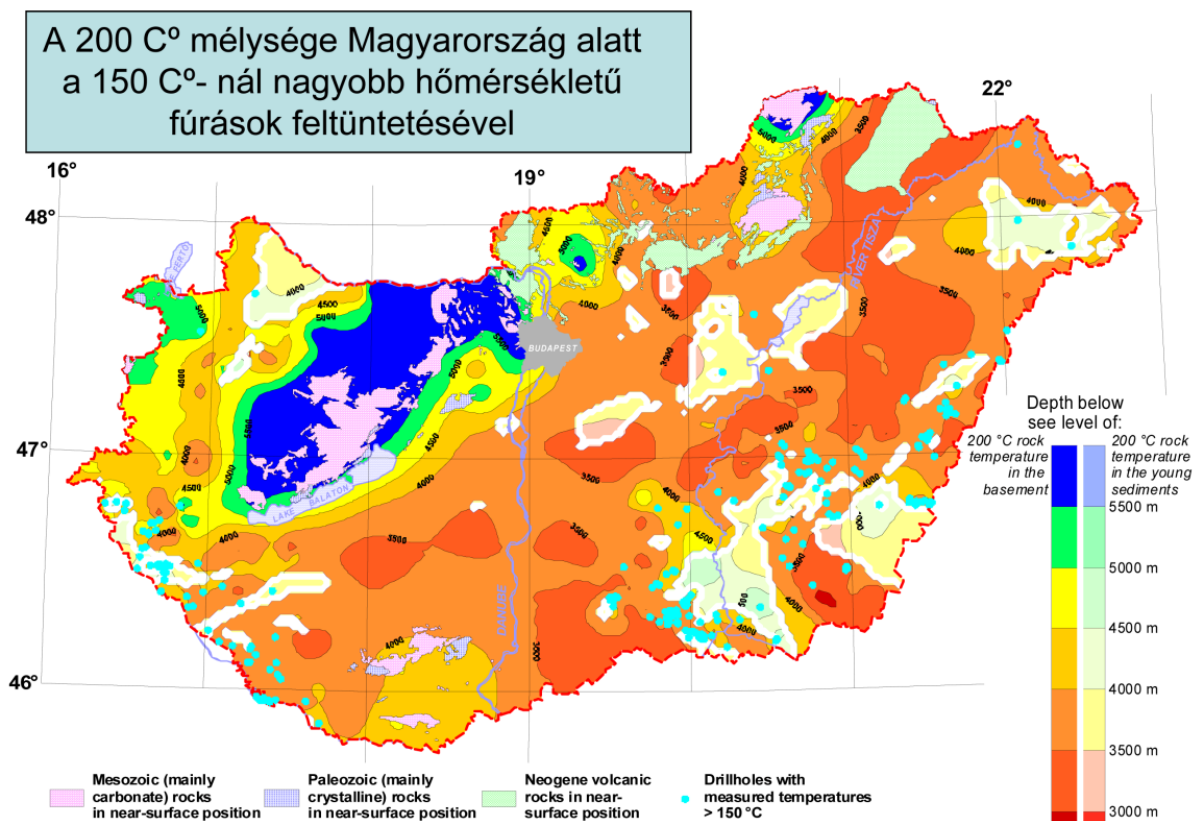
267. ábra: Geotermikus gradiens a pannóniai képződmények fekéjéig [4.13]

A megvalósítani kívánt befektetések hő- és hőmérsékletigényeinek megfelelő termelőkutak szükséges talpmélysége a fenti adatokból számolható. Hozzávetőlegesen a fürdőüzemi használathoz szükséges 45 °C-os hévizet 700–800 m-en, a 60 °C-ot 900–1200 m-en, a 100 °C-ot 1600–2000 m-en érhetjük el (**268. ábra**). A 2500 m-nél mélyebb zónákat a kompaktió miatt vízmentesnek tekinthetjük. Ebből az következik, hogy az áramtermeléshez, nagyobb energiakivételhez szükséges nagy hőmérsékletű rezervoárok elterjedése területileg igen korlátozott. Legmélyebb fúrásaink (Tótkomlós-I, Derecske-I, Hód-I) alapján bizonyos helyeken 5000 m körül érhető el 200 °C körüli hőmérséklet, mely paraméter megegyezik az európai EGS project értékeivel. Jelentős különbség viszont a két eset között, hogy ott kb. 1600 m után kristályos kőzetekben kellett fúrni, míg hazánkban az említett területeken a kristályos aljzatot rendre 3635 m, 4988 m-en érték el, míg a Hód-I. 5842 m-es talpmélységével sem érte el a kristályos aljzatot [4.14]



268. ábra: Jellemző átlagos hőmérséklet-mélység diagram néhány Magyarországi tájegységen, pirossal kiemelve a Tiszántúlra vonatkozó összefüggés [4.14]

Érdeemesnek tartjuk kiemelni azt a tényt, hogy hazánk ugyan világszerte közismerten jelentős geotermikus energiával rendelkezik, magas a hőáram és a geotermikus gradiens értéke, valamint viszonylag nagy mélységben is rendelkezünk jó vízáadó rétegekkel, de még ezek az adottságok sem elegendőek ahhoz, hogy jelentős kiterjedésű nagy entalpiájú geotermikus mezőink legyenek, melyek energiáját változatosan és jó hatásfokkal lehet átalakítani. Ez nem csupán a magyar lehetőségek csökkenését jelenti, hanem azt, hogy a geotermikus energia jelentős mennyiségű kitermelése csak a tektonika és vulkanizmus által kialakított különleges hidrogeotermikai rendszerekben és az aktív lemezhatárok, hotspot tevékenység környezetében lehetséges. A 200 °C-os közet hőmérséklet a mélyfúrások tanúsága szerint az ország legnagyobb részén 3000–4000 m között érhető el, mely a Békési-süllyedék és Makói-árok kivételével legtöbbször az aljzat kristályos vagy karbonátos kőzeteinek szintjét jelenti (269. ábra).



269. ábra: A 200 °C-os izotermafelület mélysége és konszolidáltsága [4.12]

A hazai környezetben nagy hőmérsékletű kőzettestek éppúgy lehetnek kristályosak (és emiatt pl. EGS módszerrel vagy zárt rendszerű hőszonda segítségével termelhető rendszerek) vagy kis porozitású, kis konszolidáltságú üledékek. Ez utóbbiakban nem hozható létre másodlagos porozitás, így belőlük valószínűsíthetően csak zárt rendszerű, csak a hővezetés jelenségén alapuló hőszondás termelés segítségével lehet energiát kinyerni. Az ilyen módon kinyerhető teljesítmény becsléseink szerint jóval alulmúlja az ugyanilyen hőmérsékletű víztartó rezervoárokból kinyerhető teljesítményt.

Hazánkban is előfordulnak olyan túlnyomásos tárolók, melyekben a gyors süllyedés miatt a kompaktió nem tud kellő ütemben végbemenni, így a közrezárt rétegvíztartókban jelentős túlnyomás alakulhat ki. Bár ezekben a rendszerekben a geotermikus gradiens általában kisebb, mint a környezetükben, a nagy mélység miatt a hőmérséklet így is nagy lehet, ráadásul a nagy túlnyomás miatt – a $H(T,p)=E(T)+pV$ összefüggés alapján – az entalpia (H) nagyobb lehet az azonos mélységben található magasabb hőmérsékletű, de normál nyomású rendszerekénél. Az ilyen rendszerekben a termelés megindulása a nyomás és így az entalpia csökkenésével jár, a kinyerhető teljesítmény csökkenése a rezervoár kiterjedésétől és a nyomáscsökkenés időbeli ütemétől függ. Legjelentősebb túlnyomásos tározóink a leggyorsabban süllyedő Makó-Hódmezővásárhelyi-árokban alakultak ki, melyben a mérések tanulsága szerint a porozitás – a gyors süllyedés miatt elmaradó kompaktió következtében – 2000 m-nél mélyebben alig csökken [4.11]. Ennek viszont fontos következménye lehet, hogy a 3000–5000 m-es zónákban jelenlevő fluidum segítségével ennek a mélységnek az energiája zárt hőszondás kitermelés esetén konvekció segítségével nyerhető ki.

Nem megkerülhető a hévízbányászattal kapcsolatos geotermikus lehetőségek tárgyalásánál a már korábban említett hazai adottság, miszerint a jó vízadók a felső-pannóniai összletek. Így ezen rétegek vastagsága és talpmélysége is meghatározó tényező a hévíz hőmérsékletének, és energiataralmának szempontjából. Így azokon a területeken, ahol az alsó-pannóniai összletek

vastagabb kifejlődésűek, hiába érhető el mélyfúrással magas hőmérsékletű réteg, a hévíztermelés a kis fajlagos vízhozamérték miatt korlátozott.

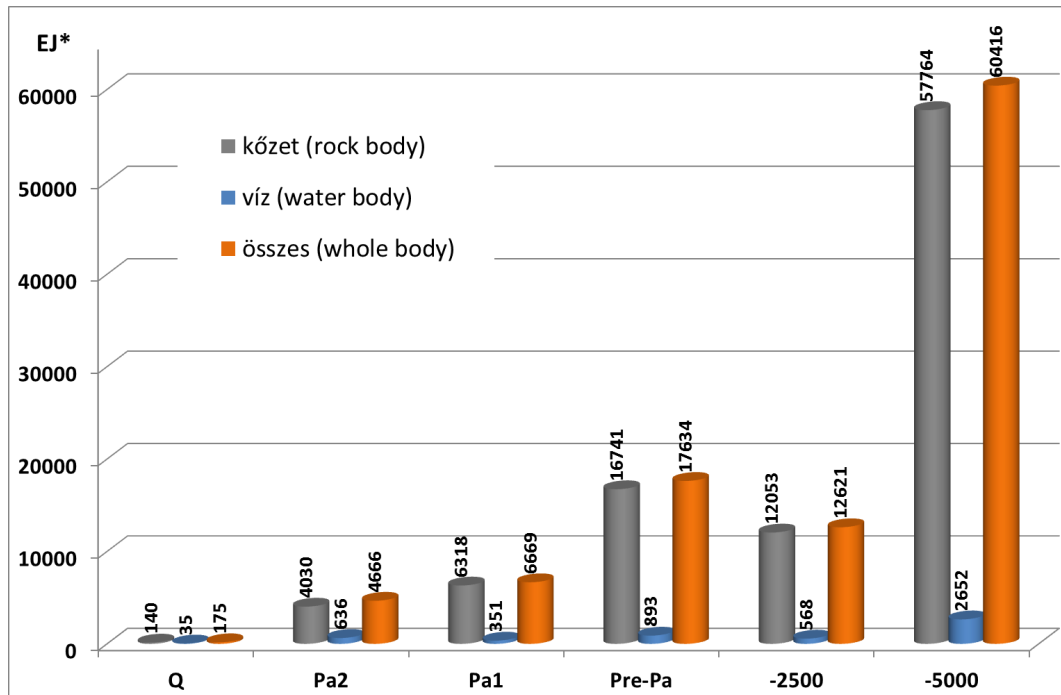
A hévízkutatási gyakorlatban a talphőmérséklet mellékes adat, hiszen a kinyert víz hőmérsékletét a beszűrözött vízadósint vizének felszínre érésekor mérhető hőmérséklete jelenti. Több vízadó réteg esetén ezek vizének keveredésével így egy hozamarányos átlaghőmérséklettel számolhatunk. Emiatt a kifolyó víz maximális hőmérsékletét szokták megadni, ami a felhasználó szempontjából leginkább szükséges paraméter. A legnagyobb kifolyó fluidumhőmérséklet a Délkelet-Alföldön Szentés és Szeged közötti sávban és Szentestől keletre az országhatárig terjedő sávban mérhető, értéke meghaladja a 90 °C-ot. 70 °C-tól magasabb hőmérsékletek várhatók a Körös–Maros-közén, Mosonmagyaróvár környékén, a nyugati országhatár mentén, és a belső flisöv peremén, így Hajdúszoboszló és Debrecen környékén is.

50 °C-nál melegebb hőmérsékletű vizek már az ország területének kb. feléről kitermelhetők, míg 30 °C-nál melegebb víz gyakorlatilag a középhegységeink kivételével mindenhol bányászható. Geotermikus „nagyhatalmi” státuszunk pontosan abban rejlik, hogy bár a fluidumok kis entalpiájúak, de az ország területén sok helyütt, viszonylag nagy mennyiségben elérhetők.

A **geotermikus potenciál számszerű meghatározására** számos módszert vezettek be. Ezek közül a legelterjedtebb és legegyszerűbb az ún. **felszíni hőáram módszer**, mely a hővezetéssel (kondukciónal) és nagy hőmérsékletű anyagok felszínre kerülésével (konvekcionál) az atmoszféra v. hidroszféra irányába terjedő energiahozamot (teljesítményt) adja meg. Ennek konduktív része az átlagos hőáramsűrűség ismeretében számolható, hazánk esetében 90–100 mW/m²-es értékkel számolva kb. 8,4–9,3 GW termikus teljesítményt jelent a teljes országterületre.

Sokkal nehezebb megbecsülni a konduktív rész szerepét az energiamérlegben, ugyanis elvben minden olyan anyagáramot figyelembe kellene venni, melynek hőmérséklete nem egyezik meg az aktuális felszíni hőmérséklettel. Ebbe nem csupán a 30 °C feletti ún. termálkutak hőkivételét (2002-ben 15,2 PJ, azaz közel 500 MWt), hanem az ennél kisebb hőmérsékletű vizek energiáját is (további 11,4 PJ, azaz 361 MWt) beleszámolhatjuk [4.15]. Így összesen mesterségesen (fúrt kutakból) évente kb. 26,6 PJ energia jut a felszínre, ami a kondukciónal felszínre kerülő energiának kb. tizede. Ez a számolás ugyanakkor nem tartalmazza a természetesen felszínre lépő hőforrások energiaértékeit. A hőárameloszlás területi egyenetlenségeit a hőáramtérképekről, a fúrt kutak elhelyezkedésének ismeretében leolvashatjuk. A legjelentősebb becsült energiakészletek az Alföldön, főként az Észak-Tiszántúlon találhatók, miközben a legmagasabb hőfokú pannóniai víztárolók a délkelet-alföldi süllyedésekben találhatók.

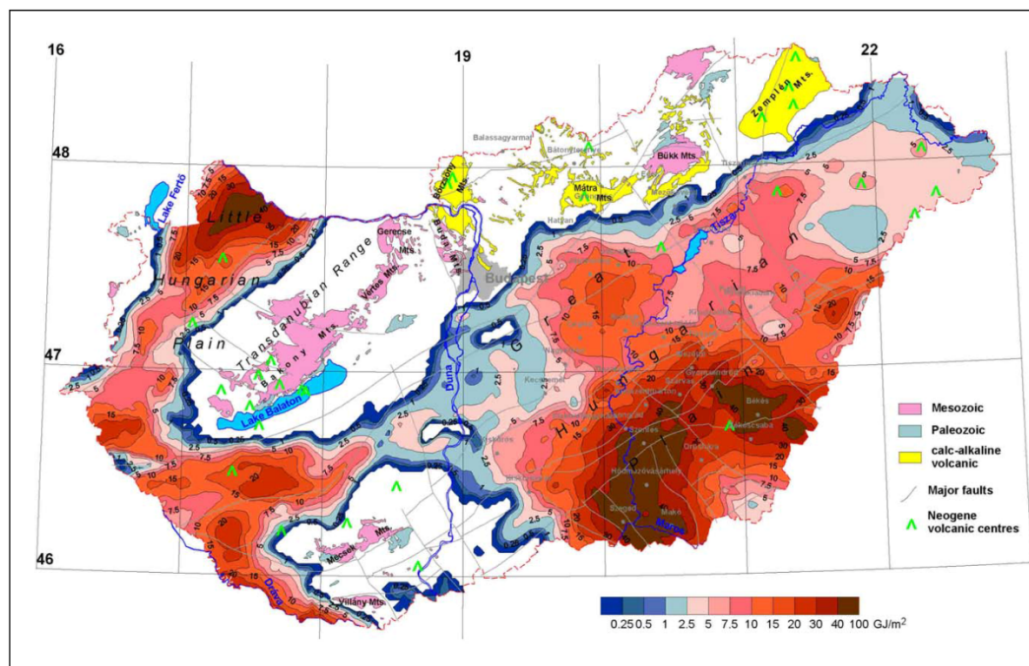
Elkészült Magyarország **geotermikus készletének térfogati módszerrel történő meghatározása** [4.16] melyhez az adathiányos helyeken interpoláció volt szükséges, ami az eredményt becslés jellegűvé teszi. Az 5000 m-es rácsávolsággal a vízadókra külön-külön és együtt is meghatározták a hővagyunkat, melynek értéke 5000 m-es mélységig számolva 60416 EJ. Ennek kb. huszad része, kb. 2652 EJ köthető a felszín alatti vizekhez. A viszonylag kis mélységekben elérhető felső pannóniai víztartók közetvázában 4030 EJ energia tárolódik, ebben a zónában a vizek hőtartalma 636 EJ (**270. ábra**, idézve [4.15]).



270. ábra: Kőzetvázban, pórusvízben és együttesen tárolt hőmennyiségek modellezett értékei [4.15]

Q: negyedidőszak; Pa2: felső pannóniai; Pa1: alsó pannóniai, Pre-Pa: pannóniai és az aljzat között; 2500 m-ig; 5000 m-ig

Ennek segítségével kirajzolható a pannóniaitól fiatalabb porózus tározók fajlagos energiataralma, mely kifejezés alatt a pannóniai feküig raktározott összes energiát értjük. Így az értékben együtt fejeződik ki a legfiatalabb üledékeink vastagsága, hőmérséklete és víztartalma is. A fajlagos energiaértékek maximumai szintén a Dél-Alföld keleti észén és a Kisalföldön található (271. ábra).

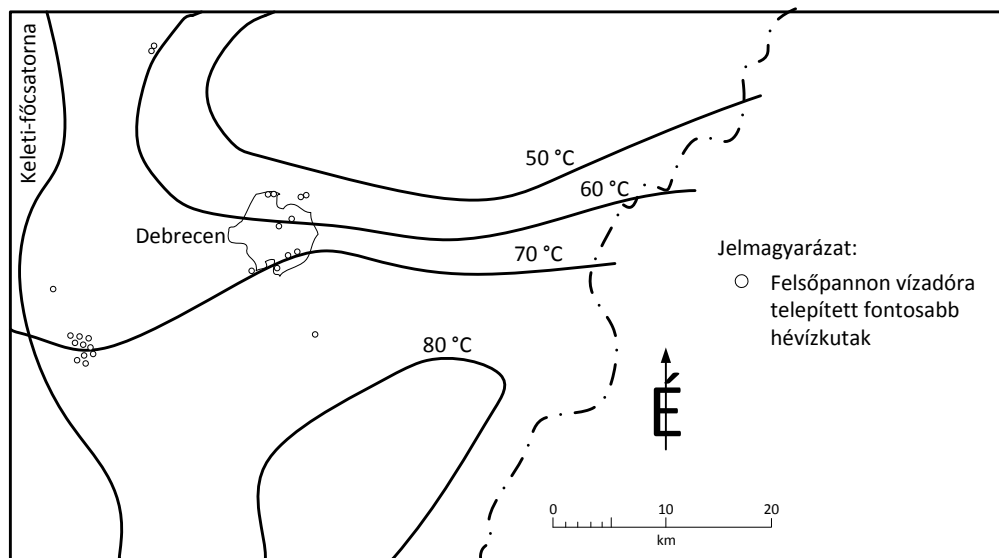


271. ábra: A felső-pannóniai-negyedidőszaki üledékekben tárolt energia GJ/m²-ben kifejezett fajlagos mennyisége [4.14]

Mindkét becslési módszer teljes energiakészletre vonatkozik, azonban ennek kitermelhetőségére, és a kitermelés lehetséges ütemére nem ad felvilágosítást. E hiányosságban rejlenek bizonyos beruházói kockázatok, mivel egy kiépített hőkivételi rendszer gazdaságossága meghatározó módon függ a kitermelés ütemétől, s kevésbé annak hosszútávú élettartamától, fenntarthatóságától. A bizonytalanul ütemezhető jelleg miatt nehéz előtervezési szinten e készletekhez rendelni a kitermelésükhöz optimális műszaki rendszereket.

Szokásos ún. **dinamikus készletbecslést alkalmazni**, melyben a kitermelés lehetséges hozama is figyelembe van véve, melyet gyakran numerikus modellezéssel támogatnak. Magyarország esetében elvégzett becslések arra utalnak, hogy a visszasajtolással kitermelhető dinamikus hévízkészlet mennyisége 380 millió m³/év. Ebből évente – átlagosan 40 °C-os lehűtéssel számolva – 63,5 PJ energia nyerhető ki.

Debrecen esetében az 1000 m körüli vízadózintekben elérhető vízhőfok 55–75 °C (**272. ábra**). Egy kút telepítésekor a várható vízhozam 500–600 l/perc körüli, így a kitermelhető energia hőteljesítménye 1,5–2 MW. Az ebből kinyerhető energia tényleges mennyiségét az alkalmazott eljárások határozzák meg.



272. ábra: Felső-pannóniai porózus hévíztározók kitermelhető, kifolyó vizének legvalószínűbb hőmérsékleti értékei [4.17]

24.2. A geotermikus hő-hasznosítás

A viszonylag alacsony hőmérsékletű termálvizet hazánkban nagy mértékben **balneológiai célokra** használják (fürdők, főleg gyógyfürdők ellátására, valamint gyógyvíz forgalmazásra), kisebb mértékben az **ivóvízellátásban** (ipari vízként is) hasznosul. Jelentős mértékben használják **mezőgazdasági** (növényházak, állattartó telepek fűtésére, valamint szárításra) **célokra** (l. 65. táblázat). Kifejezetten **energetikai célú hasznosítása** (fűtés, használatmelegvíz előállítás, elektromos áramtermelés) jelenleg még nem kielégítő.

A közepes és kis entalpiájú geotermikus energiát kiválóan hasznosíthatjuk a központosított hőellátásban. A hőhasznosítás történhet termálvíz kitermeléssel és kitermelés nélkül. A kis hőmérsékletű kitermelés nélküli rendszerek az 50–150 m mély földszondákkal működő hőszivattyúk. Kis hőmérsékletű termálvíz kitermelése esetén is alkalmazhatunk hőszivattyú berendezéseket csakúgy mind a kitermelt nagy hőmérsékletű termálvíz többcélú hasznosítása esetén, amikor a folyamat végén a 20-30 °C hőmérsékletű termálvíz hőenergiáját is hasznosítani szeretnénk a visszatáplálás előtt.

Hő hasznosítás termálvíz kitermeléssel [4.2]

A központosított hőellátás termálvízzel történhet:

- **Közvetlenül**, amikor a termálvíz kedvező fizikai és kémiai tulajdonsággal rendelkezik, nem hajlamos üledékképzésre, nem fejt ki korróziós hatást a csővezetésekre, berendezésekre. A termálvíz ebben az esetben közvetlenül a fogyasztóhoz jut. Ebben az esetben a termálvízzel közvetlenül fűthetjük az épületeket és elláthatjuk a használati melegvízes berendezési tárgyakat.
- **Közvetetten**, amikor a termálvíz kedvezőtlen kémiai és fizikai tulajdonsággal rendelkezik. Ebben az esetben termálvíz a hőhasznosításban mint primer közeg szerepel és *hőcserélő* közbeiktatásával megfelelően kezelt szekunder közeg szállítja a hőt a fogyasztóhoz. Ebben az esetben a fogyasztók alapvetően:
 - fűtési rendszerek,
 - használati melegvíz-termelő rendszerek,
 - abszorpciós hűtőgépek lehetnek.

65. táblázat: Hévíz kutak hasznosítás szerinti megoszlása a kifolyóvíz hőmérséklete szerint 2004. január 1-i állapot [4.18]

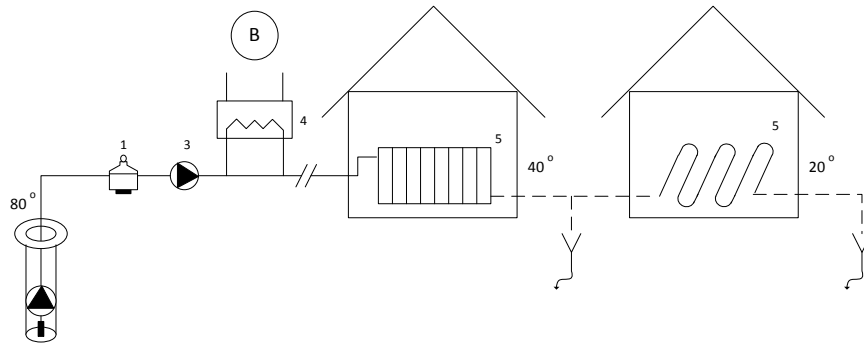
	Hőfok (°C)	30,0-39,9	40,0-49,9	50,0-59,9	60,0-69,9	70,0-79,9	80,0-89,9	90,0-99,9	>100	Összesen	Arány (%)
Hasznosítás (kút db)	Fürdő	73	118	50	33	9	2	4	0	289	20,20
	Ivóvízellátás	203	30	7	0	0	0	0	0	240	16,80
	Mezőgazdasági	73	17	15	17	17	20	33	0	192	13,40
	Ipari	44	13	11	5	5	3	1	0	82	5,70
	Kommunális	1	2	2	1	5	1	5	0	17	1,20
	Többcélú	6	17	13	29	16	5	0	1	87	6,10
	TERMELŐ-KUTAK	400	197	98	85	52	31	43	1	907	63,47
	Visszasajtoló	0	0	5	8	1	1	0	0	15	1,10
	Zárt (lezárt)	119	44	21	20	10	6	4	1	225	15,80
	Észlelőkút	48	33	10	3	4	0	0	0	98	6,90
	Selejt	113	44	10	13	1	1	2	0	184	12,90
Kutak száma (db)	680	318	144	129	68	39	48	2	1429	100	
Százalék (%)	47,6	22,3	10,1	9,03	4,76	2,73	3,43	0,14	100	100	

A termálvíz termelőkútból való kivétele, és a hasznosítási rendszer kapcsolata alapján a geotermikus rendszer lehet:

- **Nyitott**, ha a termálvíz a termelő kútból való kivétel majd hasznosítás után közvetlenül a víztárolóba, vagy közvetlenül elvezetőcsatornába kerül. A termálvizet a saját túlnyomása vagy szivattyú juttatja a fogyasztóhoz, és lehűtése után jut a befogadó víztárolóba. Ezekben a rendszerekben a rezervoárok energiáját úgy juttatják a felszínre, hogy a rezervoár víz-, illetőleg gőztartalmát emelik ki. A telep hőtartalmának (hőmérsékletének) csökkenése mellett számolni kell a rétegnyomás csökkenésével, viszonylag jelentős tömörődéssel, az oldott anyagok koncentrációjának változásával is. A hőkinyerés után számolni kell a lehűlt, de gyakran a környezeténél még melegebb, nagy oldottanyag-tartalmú víz elhelyezésének környezeti-gazdasági problémáival. A használt termálvizek felszíni elhelyezése történhet csatornahálózatba, de gyakran a vizet hűtési és elszikkasztási célból felszíni vizekbe (csatornába, tavakba) juttatják. Ezekben az esetekben környezetterhelési, környezetszennyezési bírságot kötelesek fizetni, hiszen nem csupán a hőszennyezés jelentős, hanem nagy Ca^{2+} és HCO_3^- -ion koncentráció esetén mészkiválás, magas Na^+ -tartalom esetén pedig a talaj szikesedése következhet be.
- **Zárt**, ha a felhasznált termálvíz visszatápláló furaton visszasajtolással jut az eredeti víztartó rétegekbe. Egyes szakirodalmak zárt rendszerű hőbányászat alatt azt a technológiát értik, amely szerint a rezervoár energiáját egy zárt rendszerben keringetett fluidum veszi fel, és ez a fluidum juttatja fel a hőenergiát a felszínre. Így a rétegnyomás alig csökken, a felszín alatti vizek oldottanyag-tartalma nem, vagy minimálisan változik, és nem jut a felszínre, így a kútszerelvényekben, hőcserélőben stb. nincs korrózió és vízkőképződés. Zárt rendszerben termelnek a hőszivattyús rendszerek (horizontális kollektorok és vertikális szondák) jelentős része és néhány egyedi kivitelezésű mélyhőszonda, melyek energiája akár áramtermelésre is alkalmas lehet [4.19].

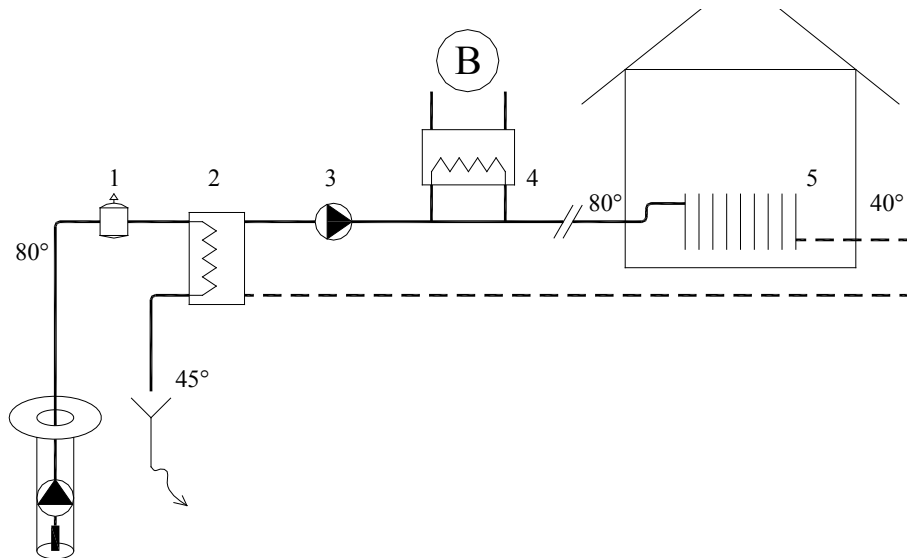
Magyarországon a kitermelt termálvizek sótartalma, vegyi alkata a közvetlen hő hasznosítást nem teszi lehetővé. **A kizárólag energia hasznosítás céljából kitermelt termálvizet – 219/2004. (VII.21.) Korm. rendeletben megfogalmazottak szerint – vissza kell táplálni, így a nyitott rendszer sem megfelelő műszaki megoldás.**

A **273. ábra** és a **274. ábra** egy közvetlen nyitott, és egy közvetett nyitott rendszerű fűtés kapcsolási rajza, a **275. ábra** pedig egy követett zárt rendszerű fűtés sémája látható.



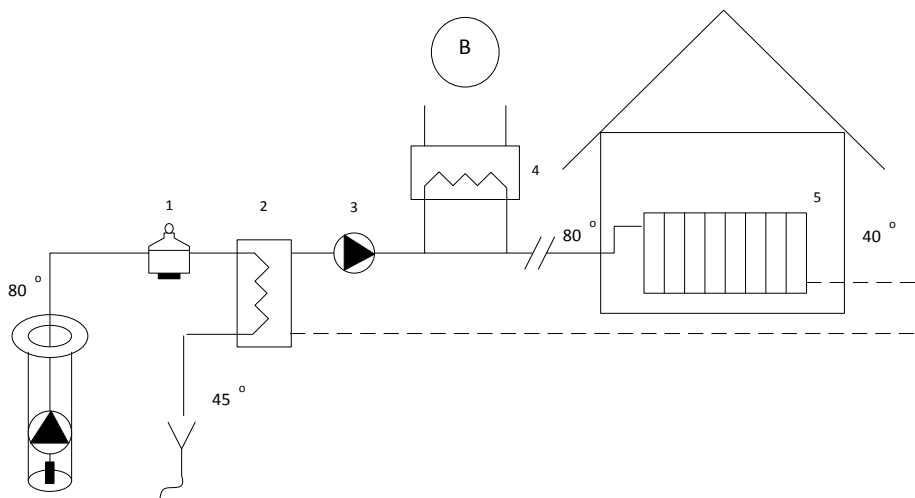
273. ábra: Közvetlen nyitott rendszer, sorba kapcsolt különböző hőmérsékletű fűtési rendszerrel [4.2]

1 - gázválasztó, 3 - szivattyú, B (4)– tartalék kazán (csak a régi rendszerekben), 5 – hőleadók (izlandi példa)



274. ábra: Közvetett nyitott rendszer

(1 - gázválasztó, 2 – hőcserélő, 3 - szivattyú, B (4) - tartalék kazán (csak a régi rendszerekben), 5 - hőleadók) [4.2]

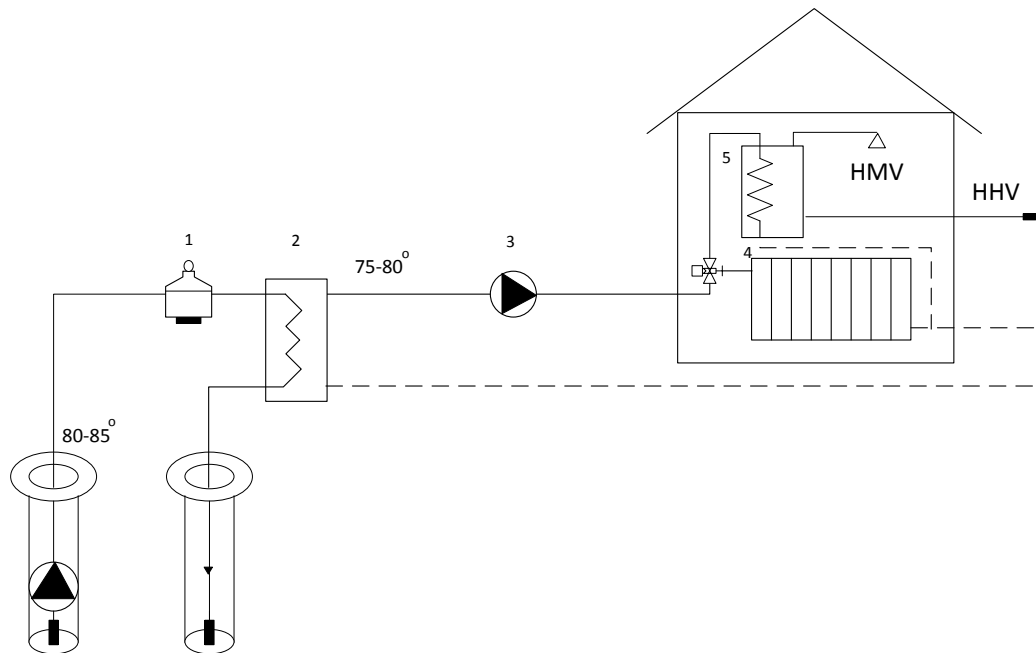


275. ábra: Használati melegvíz előállítására és épület fűtésére szolgáló közvetett zárt rendszer (1-gázválasztó, 2-hőcserélő, 3-szivattyú, 4-hőleadó, 5-HMV tároló) [4.2]

Geotermikus energia hasznosítása hőszivattyús rendszerekkel

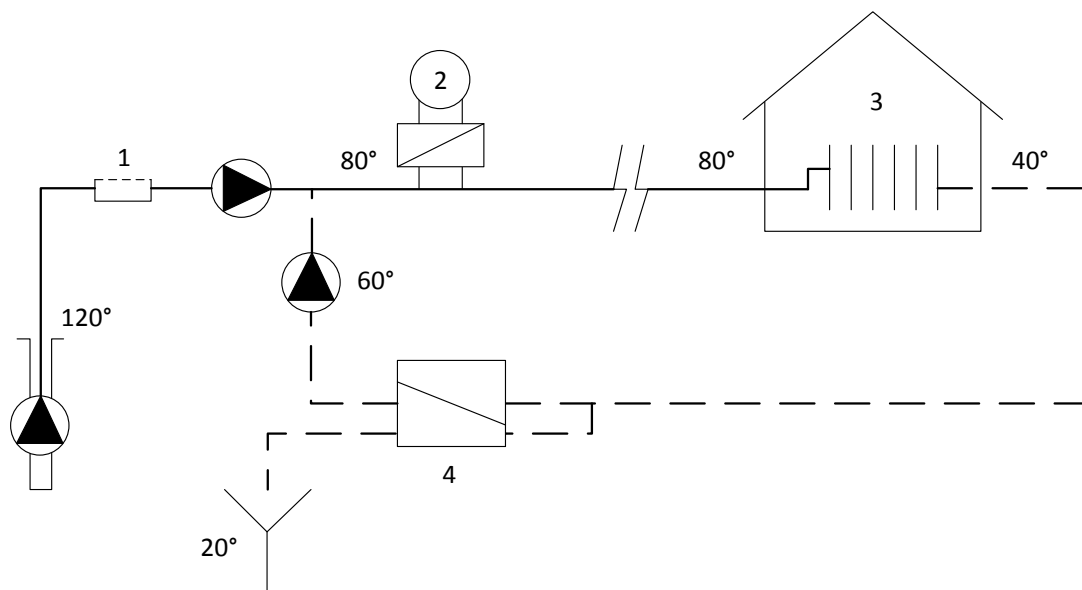
A geotermikus energia hasznosítása hőszivattyúval történhet:

- **Termákvíz kitermeléssel** (ahogy ezt az 276. ábra és 277. ábra jelű egyszerű ábrákon látható) kis hőmérsékletű fluidum esetén illetve többcélú termákvíz hasznosításakor.
- **Kitermelés nélkül, zárt, indirekt típusú, víz primer közeggel működő.**
- **Kitermelés nélküli, direkt elpárologtatós, hűtőközeggel működő.**



276. ábra: Közvetett nyitott rendszer, kis hőmérsékletű termákvíz esetén. [4.2]

(1 - gázleválasztó, 3 - szivattyú, B (4)– tartalék kazán (csak a régi rendszerekben), 5 - hőleadó, 6 – hőszivattyú) (izlandi példa)



277. ábra: Közvetlen nyitott rendszer.

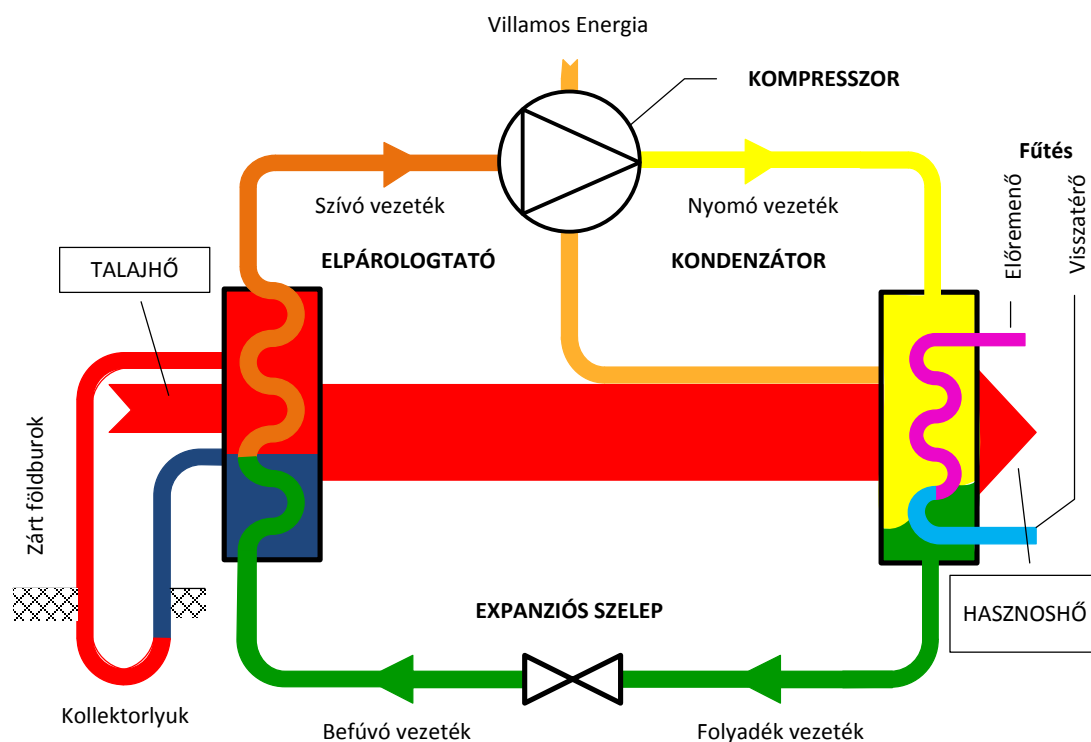
(1 - gázleválasztó, 2– tartalék kazán (csak a régi rendszerekben), 3 - hőleadó, 4 – hőszivattyú) (izlandi példa) [4.2]

Hőszivattyúk működési eleve:

A hőszivattyú olyan berendezés, amely zárt rendszerben áramló munkaközeg segítségével egy tér adott hőmérsékletén hőenergiát vesz fel, és amit mechanikai vagy hőenergia közbeiktatásával, egy nagyobb hőmérséklet szintre emel, és a nagyobb hőmérsékleten lévő energiát egy másik térben leadja (278. ábra). A **hőszivattyú fűtési üzemmódban** működik, ha a nagyobb hőmérséklet szinten lévő leadott energia a hasznos energia, és **hűtési üzemmódban** akkor, ha a kis hőmérséklet szinten történő hőelvonás a hasznos energia.

A hőszivattyú legfontosabb elemei:

- kompresszor,
- kondenzátor (cseppfolyósító)
- expanziós szelep (adagoló szelep)
- elpárologtató (elgőzölögtető)



278. ábra: A hőszivattyú működési sémája. [4.2]

A hőszivattyúban végbemenő idealizált Carnot körfolyamat során a következő állapotváltozások zajlanak le, (a 279. ábra jelöléseivel):

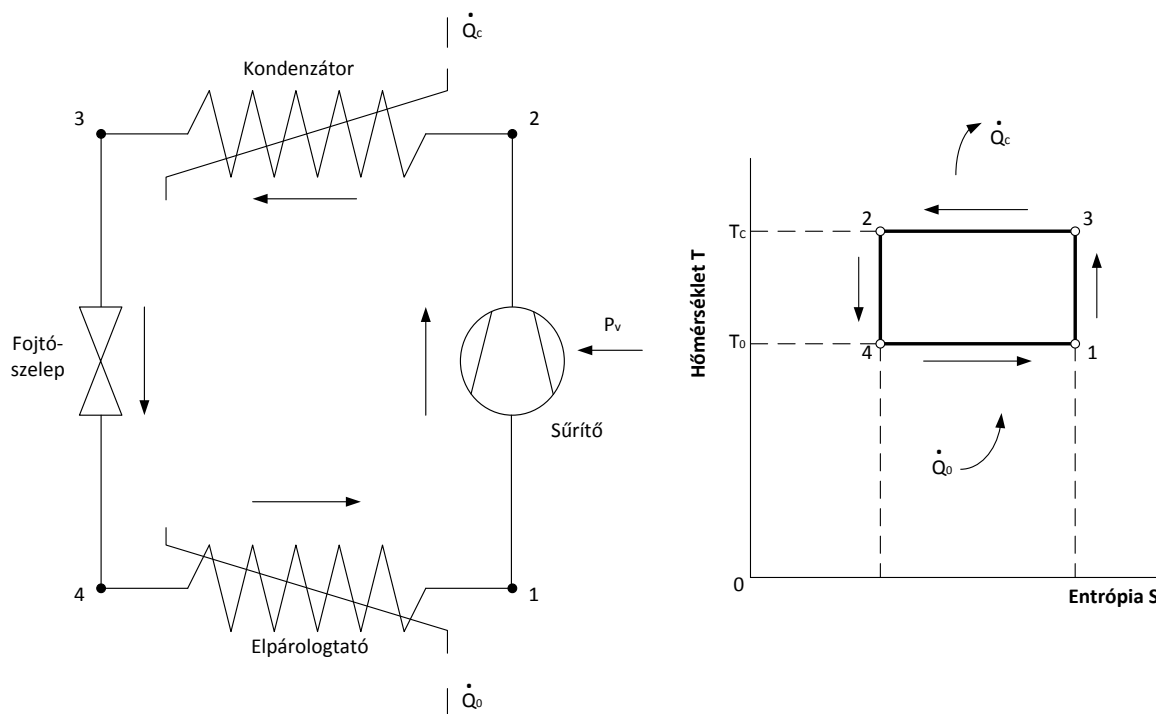
- ✓ 1-2 izentropikus kompresszió (kompresszor)
- ✓ 2-3 izotermikus hőleadás (kondenzátor)
- ✓ 3-4 izentropikus expanzió (expanziós szelep)
- ✓ 4-1 izotermikus hőfelvétel (elpárologtató)

Az ábrán a \dot{Q}_c a kondenzátorban hasznosított hőáram, az elpárologtatóban felvett hőáram \dot{Q}_0 , a P_v a kompresszor működtetéséhez szükséges teljesítményigény. A T_c a fűtési hőmérséklet (kondenzátornál), a T_0 a környezeti hőmérséklet (elpárologtatónál).

A hőszivattyú idealizált körfolyamatának teljesítménytényezője az ábra jelöléseivel a következő:

$$(4.3) \quad \varepsilon = \frac{\dot{Q}_c}{P_v} = \frac{T_c}{T_c - T_o} = \frac{1}{1 - \frac{T_o}{T_c}}$$

Az idealizált körfolyamat teljesítménytényezője annál nagyobb, minél nagyobb a környezeti hőmérséklet és minél kisebb a fűtési hőmérséklet.



279. ábra: Ideális Carnot körfolyamat [4.2]

A hőszivattyú három üzemmódban dolgozhat: csak fűt, csak hűt és egyszerre hűt és fűt.

A fűtési és hűtési teljesítménytényezőkre az angol nyelvű irodalom általánosan használja a **COP** („coefficient of performance” kifejezést) jelölést. A fűtési teljesítménytényező a leadott termikus teljesítmény és a felvett elektromos teljesítmény hányadosa. Általánosan megfogalmazva, a leadott hasznos hőteljesítmény hányszorosa a működtetéshez felhasznált hajtási teljesítménynek. A hűtési teljesítménytényező a hűtési teljesítmény és a felvett elektromos teljesítmény hányadosa.

EER (Energy Efficiency Ratio) egy adott munkapontban a berendezés leadott teljesítménye és a felvett összes elektromos teljesítmény (beleértve a szivattyúk, ventilátorok stb. is) hányadosa. Megmutatja a berendezés hatékonyságát egy adott terhelésen, jellemzően a maximális teljesítményen.

ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) Mivel a folyadékűtők és klímaberendezések ritkán üzemelnek teljes terhelésen, az igazi hatékonyságukat a valós működésre vonatkoztatva, vagyis a részterheléseket is figyelembe vevő mutatóra van szükség.

A hőszivattyúk teljesítménytényezője is változhat az év folyamán, a hőforrás (elpárolgató primer oldali) hőmérsékletének változásával, és a kondenzátor szekunder oldali közeg hőmérsékletének változásával, ezért az egy évre vonatkozó energiaszám (éves munkaszám) pontosabb képet ad a hőszivattyúról.

A hőszivattyúkat csak és kizárólag azonos hőmérséklet viszonyok mellett lehet COP szám alapján összehasonlítani. A gyártmánykatalógusok a berendezések teljesítményadatait, COP értékét 0 °C primerközeg, és 35 °C fűtési előremenő hőmérsékletek esetére (5°C-os Δt -nél) adják meg. A COP az EN 255 szerint 0/35 °C mellett 10 K-es hőmérséklet-különbséggel kb. 5 – 6 %-kal magasabb, mint az EN 14511 szerint.

Hőszivattyúk meghajtási módjai:

A hőszivattyú kompresszorát működtető energia szerint lehet:

- elektromos,
- gázmotoros, vagy
- szorpciós hőszivattyú.

A ma használatos hőszivattyúk többsége kompressziós, tehát egy kompresszor segítségével emeli meg annak a speciális anyagnak, munkaközegnek a hőmérsékletét, mely a hőt szállítja. A hőenergia forrása több helyről is származhat, a hőszivattyú működésének energiaforrása ettől független. A befektetett energia a kompresszor működéséhez szükséges. Amennyiben **elektromos hőszivattyúról** van szó, akkor a kompresszort elektromos motor hajtja. Elektromos áram forrása lehet napenergia, szélenergia, továbbá egyéb bioenergiák. Az elektromos hőszivattyú leggazdaságosabb formája, amikor a kompresszor működéséhez felhasznált energiát is a környezetből nyerjük, amire a napkollektor lehet egy megfelelő eszköz. Amennyiben a beruházás csak az erőműből érkező elektromos áram felhasználását teszi lehetővé, akkor is lehet gazdaságos a hőszivattyú.

Hőszivattyúk lehetséges hőforrásai:

- Levegő
- Talajvíz
- Földkollektor
- Földszonda
- Hulladékhő

Termásvíz hasznosítása kitermelés nélkül direkt elpárologtatós rendszerrel

Némely országokban kizárólag fűtési céllal, kísérleteznek olyan kialakításokkal amikor a talajban elhelyezett csőrendszer maga az elpárologtató. Ebben az esetben a csővezetékekben nem közvetítő közeget (vizet, sóoldatot, glikolos oldatot) keringtetünk, hanem a hűtőközeget, amelyet a hőszivattyú kompresszora keringtet. A csőhálózatot általában vékony (1 mm) műanyag bevonatos 12-14 mm átmérőjű rézcsőből építik. A műanyag bevonat megvédi a vezetékkel a korróziótól.

Kísérleteznek a vízszintes és függőleges csőszonda kialakításokkal is. Ennek a kialakításnak vitathatatlan energetikai előnyei vannak, az alacsony előremenő vízhőmérsékletű jól megtervezett fűtési rendszerek esetében (fal-fűtés, padlófűtés) a COP > 5 is lehet.

Ezek az előnyök a következőkből adódnak:

- a talaj oldali hőcsere direkt, a keringtetett hűtőközeggel történik, kiiktatva egy lépcsőt a víz/talaj és a víz/hűtőközeg kétlépcsős, hagyományos rendszer helyett,

- nem szükséges a talaj oldali hőcserélőben a közeg keringetésére még egy szivattyút alkalmazni, amely lerontja a rendszer energetikai hatékonyságát, ugyanis a hűtőközeget maga a kompresszor keringeti,
- a rézcsövek hőátadása sokkal jobb, mint a vizes rendszereknél alkalmazott KPE csöveké, ezért rövidebb szakaszokra van szükség, kevesebb földmunkával kialakíthatóak.

Hogy nem alkalmazzuk tömegesen ezt a rendszert, annak az az oka, hogy nagyon sérülékeny, és rendkívül nehezen javítható. Ha a talajszonda megsérül, elszökik a hűtőközeg (amelynek ára jelenleg kb. 15-szöröse a glikolos oldaténak). A talajban elhelyezett csőhálózat nehezen hozzáférhető és javítható, nehéz a szivárgást megtalálni. Ezen túlmenően rendkívül pontosan kell a direkt elpárologtatós csőrendszert megtervezni és megépíteni, mert egészen kis tévedés is felborítja a hűtőköri egyensúlyt, és pont az ellenkező hatást érjük el, nagyon pazarló lesz a rendszer vagy egyáltalán nem működik. Ezzel szemben a vizes rendszerek könnyen telepíthetőek, könnyebben javíthatóak, és a méretezésnél is nagyobb szabadságunk van.

A direkt elpárologtatós rendszerek képezhetik a jövő energetikailag hatékonyabb megoldását, de egyelőre nem biztonságos az alkalmazásuk.

24.3. A geotermikus villamosenergia hasznosítás

Ahhoz, hogy a geotermikus energiát villamosenergia-termelésre használjuk, előfeltétele hogy a primerenergia-forrásként szóba jöhető geotermikus energia megfelelő hőmérsékletű, entalpiájú fluidummal kerüljön felszínre, és kellően koncentráltan és kellő mennyiségben álljon rendelkezésre. Napjaink technikai fejlettsége szerint gazdaságosan kiaknázható geotermikus "hőforrások" általában 3000 méternél kisebb mélységben találhatóak. Ilyen energiaforrások Izlandon, Új-Zélandon, az Amerikai Egyesült Államokban, Olaszországban, Oroszországban és Délkelet-Ázsiában találhatóak, s mindenütt az ún. aktív lemezszegélyek magmatizmusával hozhatók összefüggésbe.

A geotermikus erőművek előnye, hogy képesek folyamatos energiatermelésre, egyes más megújuló erőforrást használó energiatermelési módoktól eltérően nincs a termelésnek napi, évszakos vagy időjárásfüggő ingadozása. Változhat azonban a rétegnyomás, a fluidum időegység alatt kitermelhető mennyisége, geokémiai jellege.

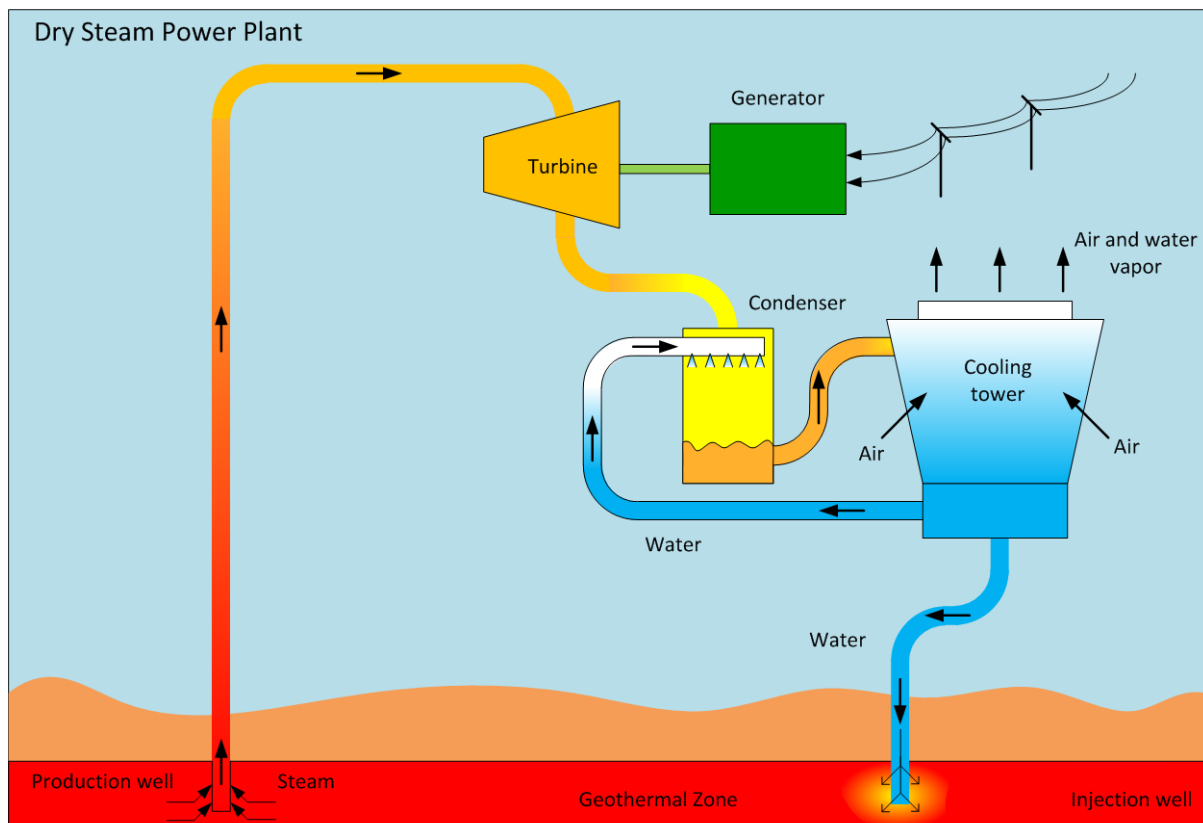
Villamosenergia-termelési célokra száraz gőz, nedves gőz, illetve forróvíz fluidummal felszínre jutó geotermikus energia egyaránt hasznosítható. A 150–180 °C-nál kisebb hőmérsékletű forróvíz illetve gőz nem kifejezetten erőművi forrás.

A geotermikus energia villamosenergia-termelési célú hasznosításának főbb technológiái a következők:

- túlhevített (száraz) gőzzel működő, erőművi körfolyamattal,
- közvetlen kigőzölögtetéssel, és egy illetve két nyomású közvetett gőztemeléssel működő körfolyamattal,
- kettős ciklusú erőművi körfolyamattal megvalósított technológia.

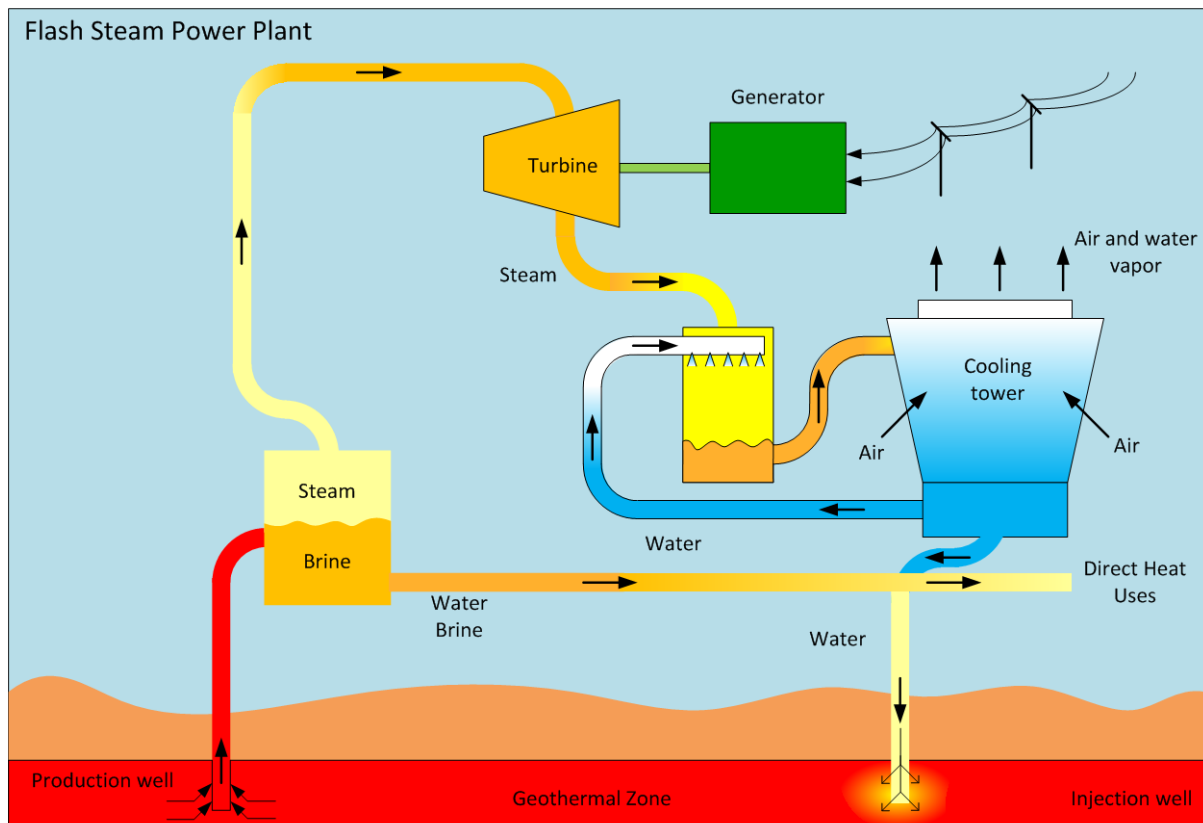
Műszaki szempontból a legegyszerűbb megoldás akkor adódik, ha a geotermikus energia száraz gőz formájában áll rendelkezésre (**280. ábra**). A túlhevített gőz hőmérséklete jellemzően 180–185 °C, nyomása 0,8–0,9 MPa. Vannak azonban olyan geotermikus erőművek, amelyek esetében a gőz hőmérséklete nagyobb, 300–350 °C, s ennek megfelelően a nyomása is nagyobb. Ezekben az erőművekben a nagy telephőmérsékletnek köszönhetően

az energiaátalakítás viszonylag nagy hatásfokú (elérheti a 60 %-ot), a szükséges berendezések egyszerűbbek a többi erőműhöz képest, így telepítésük fajlagos ára a legkedvezőbb az erőművek között. Ebben az esetben úgynevezett nyitott körfolyamatú gőzerőművi technológia alkalmazható, természetesen abban az esetben, ha a gőz nem tartalmaz olyan gázokat vagy sókat, amelyek ellehetetlenítik a közvetlen alkalmazást. A konvencionális gőzerőművi technológiához képest ebben az esetben a gőzkazán mint technológiai főberendezés elmarad. A kondenzátumot általában visszajuttatják a földkéregbe, annak érdekében, hogy az adott terület vízháztartása ne boruljon fel. Széleskörű telepítésének gátat szab, hogy a szükséges 240 °C-nál nagyobb hőmérsékletű rezervoárok elterjedése korlátozott, így ez a technológia csak nagyon kevés helyen alkalmazható. Izlandon, az Amerikai Egyesült Államokban, Olaszországban, Új-Zélandon, Délkelet-Ázsiában található példa ilyen technológia alkalmazására.



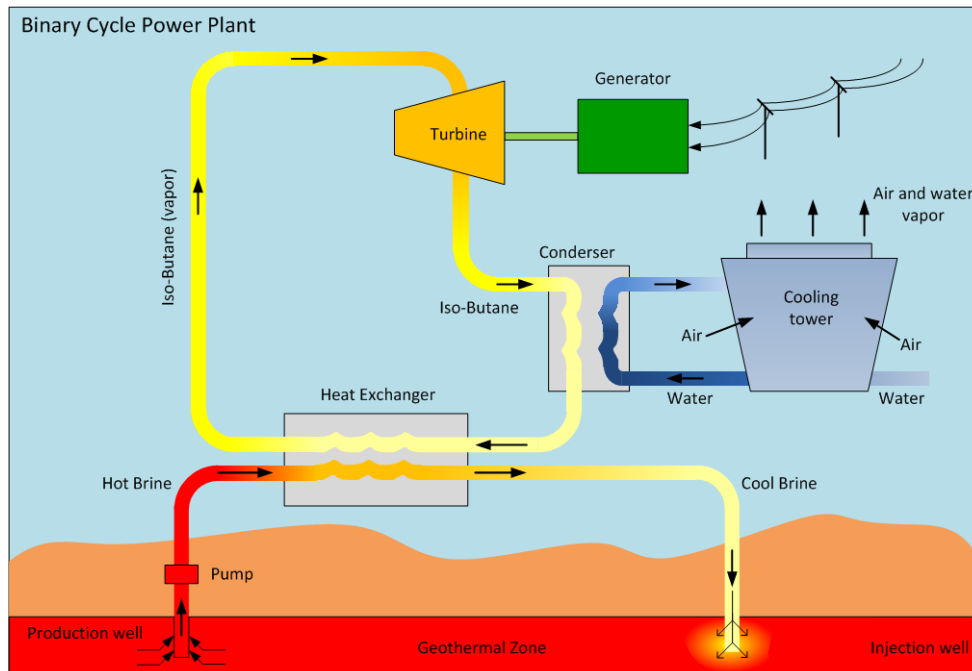
280. ábra: A szárazgőz erőmű blokk-sémája [4.2]

A geotermikus energiaforrások többségében a geotermikus energia forró víz formájában áll rendelkezésre. A mélyben uralkodó nagy nyomás miatt ugyanis a munkaközeg elsődlegesen mindig folyadék halmazállapotú. A rendelkezésre álló forró vízből többféle módon állítható elő gőz. Lehetséges hőcserélő segítségével zárt körfolyamatú, egynyomású gőzerőművi technológia alkalmazásával. Van példa hőcserélő nélküli egynyomású kigőzölögtetésre is (281. ábra), de létezik kétnyomású közvetlen kigőzölögtetéses technológia is. Ez utóbbi két esetben értelemszerűen nyitott gőzerőművi körfolyamatról van szó. A forróvíz, ha hőmérsékletéhez tartozó telítési nyomástól kisebb nyomású térbe jut kigőzölög. A közvetlen kigőzölögtetés hátránya, hogy telített gőzöket eredményez, azaz nincs lehetőség túlhevítésre. A másik hátrány, hogy a nyitott gőzerőművi körfolyamat esetében nincs lehetőség a tápvíz előmelegítésére. Összességében azonban a nyitott körfolyamatú geotermikus gőzerőművek hatásfoka magasabb, mint a hőcserélős, zárt körfolyamatú geotermikus erőműveké, mert a gőztermelés termodinamikai átlaghőmérséklete nagyobb.



281. ábra: Egyszeres kigőzöltetős erőmű bloksémája [4.2]

Abban az esetben, ha a rendelkezésre álló gőz, vagy a forró termálvíz 150 °C-nál alacsonyabb hőmérsékletű, a villamosenergia-termelés a bináris Rankine-ciklusú vagy Kalina körfolyamat alkalmazásával lehetséges. A bináris körfolyamatok alkalmazása jelentősen kiterjeszti a geotermikus energia villamosenergia-termelési célokra való alkalmazásának lehetőségeit, az esetek túlnyomó többségében ugyanis az adott geológiai, technikai vagy gazdasági feltételek nem teszik lehetővé 150 °C-nál magasabb hőmérsékletű gőz előállítását. Ezekben az erőművi blokkokban a kitermelt fluidum energiáját hőcserélőn keresztül egy a víznél alacsonyabb forráspontú fluidumnak adják át, így hozva létre a turbinahajtáshoz szükséges gáz halmazállapotot (282. ábra). Azonos tömegáram mellett a kisebb hőmérsékletű, folyékony halmazállapotú víz belső energiája jóval kisebb, mint a fent említett technológiákban szereplő gőznek, melynek következtében az erőművek hatásfoka 10 % körüli, így ezek az erőművek általában csak néhány MW (1–50 MW) elektromos teljesítményre képesek a jelenlegi ismereteink szerint. A geotermikus energiát hasznosító bináris körfolyamatot megvalósító rendszerek fajlagos beruházási költségei azonban jelentősen meghaladják az előzőekben említett technológiák beruházási költségeit.



282. ábra: Segédközeges erőmű bloksémája [4.2]

66. táblázat: Geotermikus alapú elektromosáram-termelés

ország	beépített kapacitás (MWe)	éves energiatermelés (2003) (TWh/év)
Ausztrália	0,2	0,5
Ausztria	1,2	3,2
Costa Rica	163	1145
El Salvador	151	967
Franciaország	15	102
Fülöp-szigetek	1930	9253
Guatemala	33	212
Izland	202	1483
Indonézia	797	6085
Japán	535	3467
Kenya	129	1088
Kína	28	96
Mexikó	953	6282
Németország	0,2	1,5
Nicaragua	77	271
Olaszország	791	5340
Oroszország	79	85
Pápua Új-Guinea	6	17
Portugália	16	90
Thaiföld	0,3	1,8
Törökország	20	105
Új-Zéland	435	2774
USA	2564	17917
összesen	8933	56786

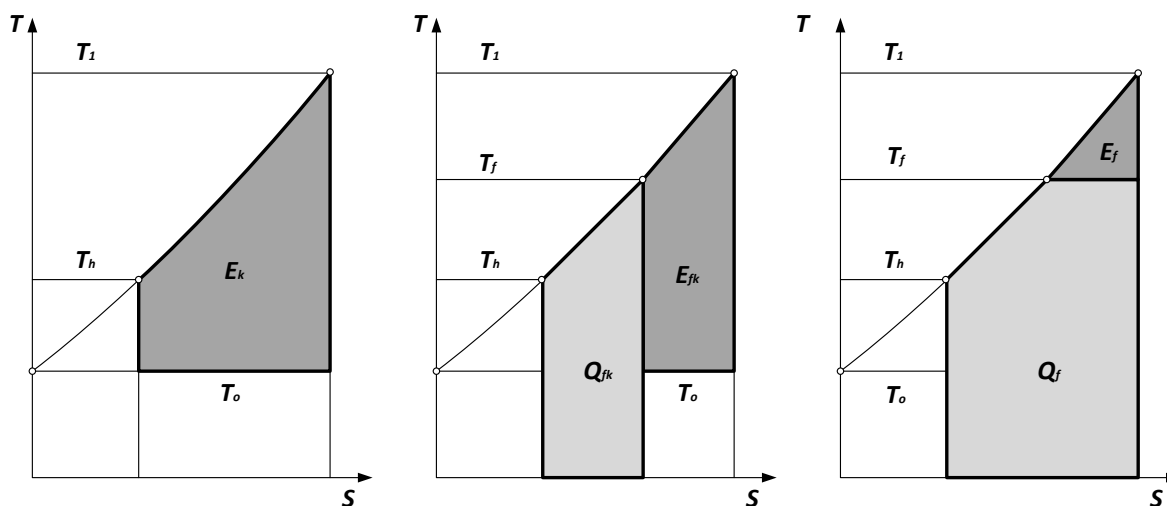
A világ geotermikus eredetű áramtermelése 2003-ban kb. 57 PWh/év volt (**66. táblázat**), mely a teljes áramtermelésnek 0,3 %-a. A geotermikus erőművek – más erőművekhez képest – csekély fajlagos üvegház-hatású gáz kibocsátással, a nagy üzemórászámukkal, a segédközegees erőművek széles telepíthetőségével versenyképes társai lehetnek a helyi igényeket ellátó, kis teljesítményű szénhidrogén-bázisú erőműveknek.

Jelenleg a geotermikus eredetű elektromosáram-előállítás az EU-belül csupán Olaszországra, Németországra, Ausztriára, Franciaországra és Portugáliára korlátozódik. Német és osztrák területen csupán egy-egy kis teljesítményű segédközegees erőmű épült, míg Franciaország és Portugália esetében a jobb adottságú Európán kívüli megyékben találhatóak az erőművek. A nem EU-tag Izland esetében mind az áramtermelés, mind a közvetlen hasznosítás jelentős értékű (lásd 4.4. fejezet-ben leírt esettanulmányt).

Magyarországon jelenleg a geotermikus energiát az energiaellátásban kizárólag hőhasznosításra fordítják, villamosenergia-termelés nincs, ez utóbbira jelenleg még csak egy kísérleti projekt született (MOL Rt. Iklódbördöce), miközben a világon már 2006 végén mintegy 440 geotermikus erőművi blokk működött, közel 9 ezer MW összkapacitással. A kapcsolt energiatermelés a megújuló forrásokra támaszkodó villamosenergia-termelés növelése elengedhetetlen.

A kis hőmérsékletű hő hasznosítása a villamosenergia-termelésben

A kis hőmérsékletű hőforrások (hulladék hő, földhő) hasznosítása a koncentrált energiatermelésben és az olcsó tüzelőanyagú erőművekben eddig nem bizonyult gazdaságosnak. A környezetvédelmi megfontolások fokozódásán túl a decentralizált energiatermelés és a drágább tüzelőanyagok újra felvetik, hogy lehetséges-e, és indokolt-e a kis hőmérsékletű hőt helyben, mikroegységekben hasznosítani. Az is kérdés, hogy a hasznosításban a hőellátás mellett hogyan alakulnak a kizárólagos villamosenergia-termelés és a kapcsolt energiatermelés lehetőségei.



283. ábra: Kis hőmérsékletű termálvíz reverzibilis energiaátalakításának változatai [4.20]:

a) kondenzációs villamosenergia-termelés; b) kondenzációs villamosenergia-termelés hőellátásra; c) ellennyomású villamosenergia-termelés hőellátással

A kis hőmérsékletű termálvíz hasznosítási lehetőségét villamosenergia-termelésre és hőellátásra három változatban vizsgáljuk [4.2], [4.20] (**283. ábra**), a rendelkezésre álló termálvíz hőmérséklete T_1 , a környezeti hőmérséklet T_0 a termálvíz hőtartalma Q_0 . A termálvizet a hasznosításkor T_0 -tól nagyobb T_h hőmérsékletig hűtjük le. Azt feltételezzük, hogy a közvetlen és a kapcsolt villamosenergia-termelés folyamatai veszteségmentesen valósulnak meg a megjelölt hőmérséklet határok között [4.2], [4.20].

a) Abban az esetben, ha a termálvízből kizárólag villamos energiát termelünk, az eszményi hatásfok különböző hőmérséklet értékek mellett is igen alacsony.

A villamosenergia hatásfoka:

$$(4.4) \quad \eta_{ko} = \frac{E_k}{Q_o} = \frac{T_1 - T_h}{T_1 - T_o} \left(\frac{\frac{T_1 - T_h}{T_h} - T_o}{\ln \frac{T_1}{T_o}} \right)$$

Abban az esetben, ha $t_1=120$ °C $t_0=10$ °C és $t_h=30$ °C a termálvíz hasznosítás elméleti, eszményi hatásfoka közvetlen villamosenergia-termelés esetén: 15,4 %.

Természetesen az eszményi hatásfok érzékenyen nő a T_1 termálvíz növekedése esetén, a T_0 környezeti/kondenzációs hőmérséklet csökkentésével számottevően nő, vagyis fontos az alacsony (mínusz) környezeti hőfokszint kihasználása, a hasznosítás T_h hőmérsékletétől eltérően függ, befolyása a nagyobb hőmérsékletű termálvizeknél mérséklődik.

b) Abban az esetben, ha a termálvizet T_1 és T_f hőmérséklet között közvetlen villamos-energia-termelésre, T_f és T_h között fűtésre hasznosítjuk, a kvázi kapcsolt energiatermelés eszményi villamos részhatásfoka:

$$(4.5) \quad \mu_{Eo} = \frac{E_{fk}}{Q_o} = \frac{T_1 - T_f}{T_1 - T_o} \left(\frac{\frac{T_1 - T_f}{T_f} - T_o}{\ln \frac{T_1}{T_o}} \right)$$

és eszményi termikus hatásfoka:

$$(4.6) \quad \mu_{Q_0} = \frac{Q_{fk}}{Q_0} = \left(\frac{T_1 - T_f}{T_1 - T_o} \right) \left(\frac{T_1 - T_h}{T_1 - T_f} - 1 \right) \left(\frac{T_f - T_h}{\frac{T_f}{\ln \frac{T_f}{T_h}}} \right) \left(\frac{T_1}{\ln \frac{T_1}{T_o}} \right)$$

A Q_0 hőtartalomra vetített mennyiségi hatásfok:

$$(4.7) \quad \eta_{Go} = \mu_{Eo} + \mu_{Qo}$$

A termikus részhatásfok értéke $t_1=120$ °C, $t_f=80$ °C, $t_0=10$ °C hőmérsékleteknél 44,4 %, míg a villamos részhatásfok 9,7 %-ra adódik és a rendszer Q_0 hőtartalomra vetített mennyiségi hatásfoka 54 %. A mennyiségi hatásfok kis értékét részben a nem teljes hőhasznosítás, részben a kondenzációs villamosenergia-termelés nagy disszipációs vesztesége okozza.

c) Abban az esetben, ha kapcsolt (ellennyomású) energiatermelést hajtunk végre, a T_1 és T_f hőmérséklet között a termálvizet villamosenergia-termelésre, T_f és T_h között közvetlen fűtésre fordítjuk, az eszményi villamos részhatásfok a fenti példában alkalmazott hőmérsékletek figyelembe vételével 2,13 %-ra, míg az eszményi termikus részhatásfok 69 %. Ebben az esetben a legkedvezőbb a mennyiségi hatásfok 71,13 %, az energiaarány viszont kedvezőtlenebbül alakul.

A bemutatott számértékek mindegyik változatban azt jelzik, hogy a kishőmérsékletű termálvíz hasznosítása közvetlen villamosenergia- és kapcsolt energiatermelésre még eszményi viszonyokat feltételezve sem hatékony. Úgy tűnik, hogy **előnyösebb a termálvizet közvetlenül hőellátásra felhasználni**, hiszen hőmérséklet szintje nem nagyobb, mint távhőrendszereink szokásos (egyébként magas) hőmérséklete.

A valóságos energiaátalakítás jellemzői természetesen még kedvezőtlenebbek a körfolyamat és a berendezések veszteségei miatt.

Geotermikus vízgőz-körfolyamatok

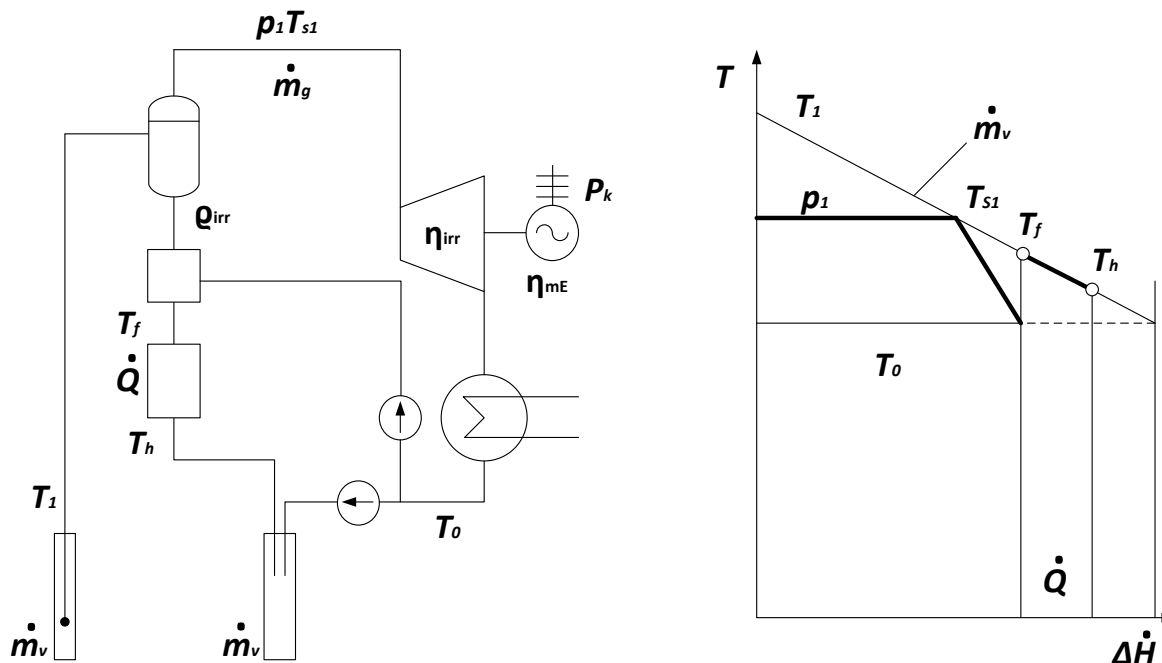
A kis hőmérsékletű termálvizet – ahogy az előzőekben ezt már említettük – hasznosíthatjuk kondenzációs vízgőzerőműben. A gőztermelés történhet közvetlenül kigőzölögtetéssel vagy közvetve gőzfejlesztőben, egy vagy több nyomásfokozatban. A kis hőmérséklet szint miatt a gőz túlhevítését elhagyjuk.

A **284. ábra** a termálvíz egyfokozatú közvetlen kigőzölögtetését mutatja. Kigőzölögtetéssel p_1 nyomású, T_{s1} hőmérsékletű, m_g tömegáramú telített gőzt termelünk, amit a gőzturbinába vezetünk. A kigőzölögtetéssel és a tápvíz-előmelegítéssel a termálvizet T_1 hőmérsékletéről T_f -re hűtjük le. A villamosenergia-termelésre fordított hőteljesítmény:

$$(4.8) \quad Q_1 = m_v c (T_1 - T_f),$$

a kinyert villamos teljesítmény P_k . A reverzibilis hőkörfolyamathoz képest a hatásfokot rontja a kigőzölögtetés és a tápvíz-előmelegítés irreverzibilitása. A fűtésre fordítható hőteljesítmény:

$$(4.9) \quad Q = m_v c (T_f - T_h).$$



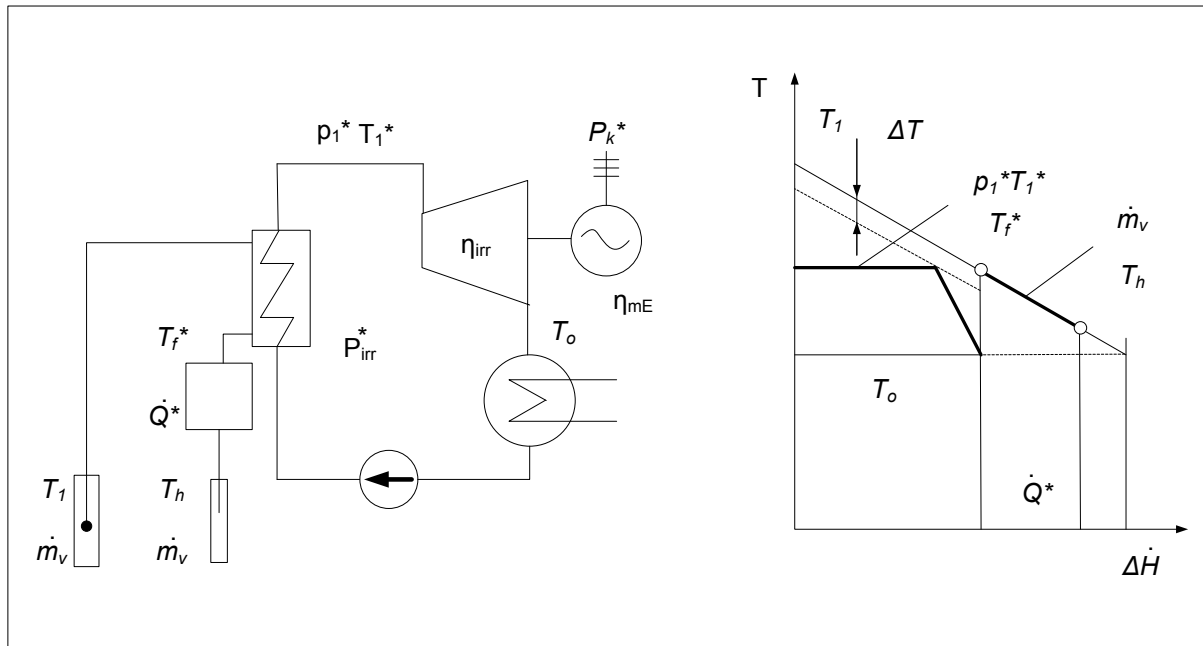
284. ábra: Termálvíz hasznosítása egynyomású közvetlen kigőzölögtetéssel [4.20]

Közvetlen kigőzölögtetésnél a termálvíz sótartalmának bizonyos része a gőzbe, illetve a nyitott körfolyamatú gőzerőműbe kerül. Emiatt nagy sótartalmú termálvíznél a kigőzölögtetés nem engedhető meg.

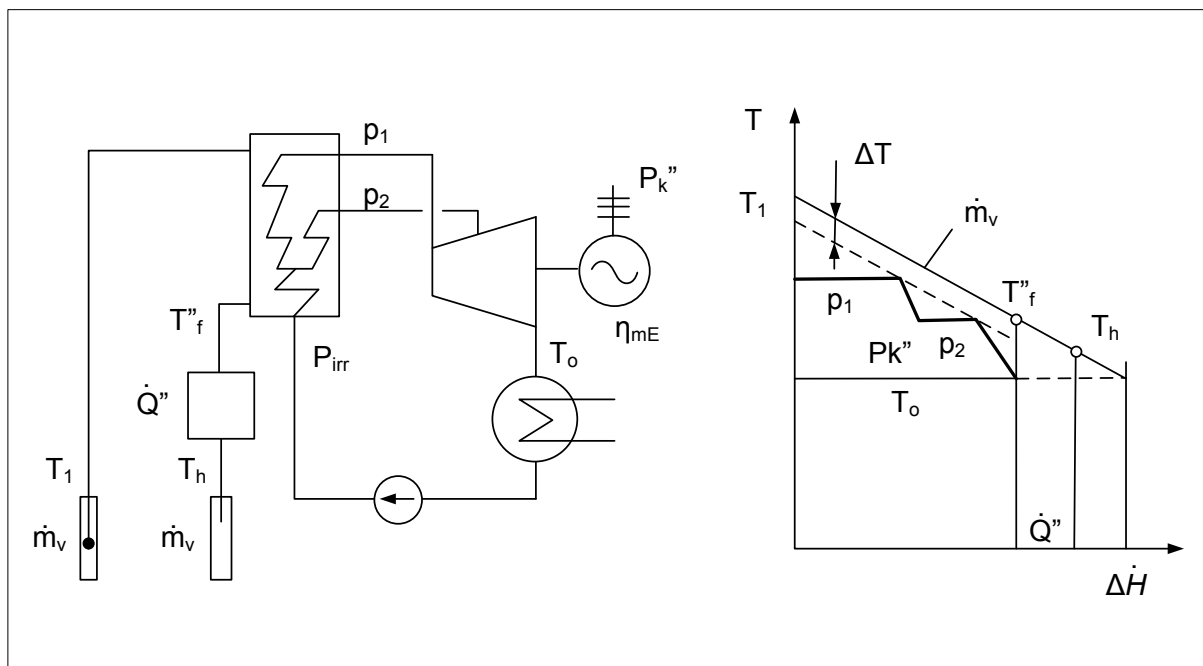
A gőz elszódása elkerülhető, ha a gőzt egy fokozatban, a termálvíz-fűtésű gőzfejlesztőben termeljük (285. ábra). Itt figyelembe kell venni a hőcserélőben fellépő hőmérsékletkülönbséget. Ennek hatására a zárt körfolyamatú gőzerőmű gőzparaméterei csökkennek, nő a hőközlés irreverzibilitása, esetleg kisebb hőteljesítmény szolgálja a villamosenergia-termelést ($T_f^* > T_f$) és csökken a villamos teljesítmény ($P_k^* < P_k$). Ugyanakkor nő a fűtésre fordított hőteljesítmény ($Q^* > Q$).

Az egyfokozatú közvetlen kigőzölögtetés és közvetett gőztermelés hátránya, hogy a hűtadás során a termelt gőz hőmérséklete nem követi a termálvíz folyamatosan változó hőmérsékletét, és ez számottevő irreverzibilitást okoz. Termálvíz esetén a kétnyomású közvetett gőztermelés kapcsolását és jellemzőit a 286. ábra szemlélteti. A kétnyomású gőztermelés hatására csökken a hőközlés irreverzibilitása, növelhető a villamosenergia-termelésre fordított hő ($T_f'' < T_f^*$), s ezek következtében nő a villamos teljesítmény ($P_k'' > P_k^*$), illetve csökken a fűtési hőteljesítmény ($Q'' < Q^*$).

A kis hőmérsékletszintű termálvíz hasznosítására alkalmas vízgőz-körfolyamatok több hátránnyal rendelkeznek. A hőközlés oldalán hátrány, hogy még többnyomású gőztermelés esetén is nagy átlagos hőmérsékletkülönbség lép fel a termálvíz és a gőz között, továbbá a termelt gőz nyomása többnyire az atmoszféricusnál kisebb, emiatt a teljes hőkörfolyamat „vákuumban” üzemel. A hőelvonás oldalán a vízgőznél a fagyveszély miatt nem tudjuk kihasználni a téli hidegebb környezetet, noha erre a kis hőmérsékletszintű hő hasznosítása nagyon érzékeny.



285. ábra: Termásvíz hasznosítása egynyomású közvetett gőztermeléssel [4.20]



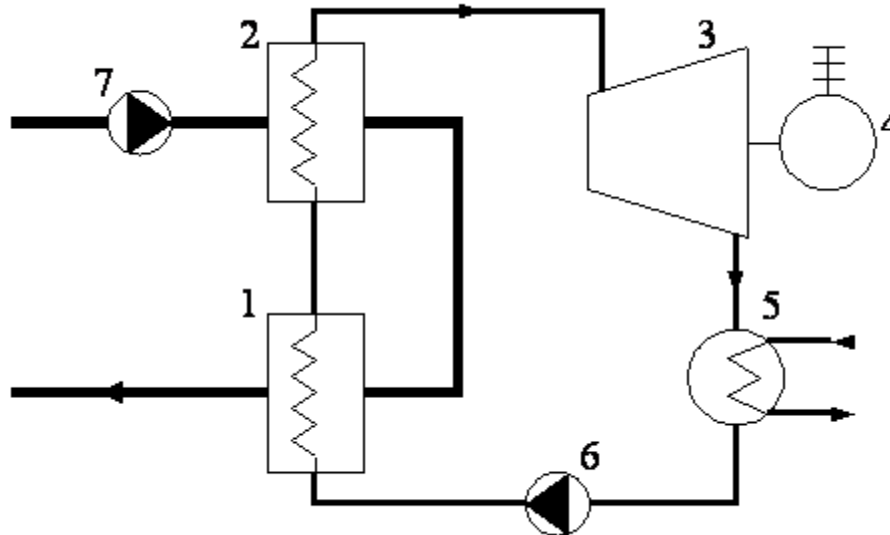
286. ábra: Termásvíz hasznosítása kétnyomású közvetett gőztermeléssel [4.20]

ORC és Kalina körfolyamatok

A **Szerves Rankine Körfolyamat** (Organic Rankine Cycle - **ORC**) (287. ábra) hasonló a hagyományos gőzkörfolyamathoz, egyedül a turbinát meghajtó közeg eltérő, ami ammónia, vagy nagy molekuláris tömegű szerves fluidum (freon, propán, bután, vagy más, környezetbarát hűtőközeg). Az alkalmazott folyadékok lehetővé teszik, hogy már az alacsonyabb hőmérsékletű hőforrásokat is hatékonyan kihasználjuk, és segítségükkel eltérő teljesítményű (néhány kW-tól több MW-ig) elektromos energiát állítsunk elő. A termásvízzel fűtött hőcserélőben termelt pl. freon-gőzzel turbinát hajtanak, az expandált gőzt hűtővízzel kondenzáltatják, és a freon kondenzátumot visszatáplálják a hőcserélőbe. Ezeknek az ORC

rendszereknek a hatásfoka alapvetően a geotermikus forrás és a hűtővíz hőmérsékletétől függ. A működő egységek hatásfoka 8–20 % között van.

Az OECD / IEA statisztikák, ha nincs specifikus adatuk, geotermikus erőműveknél átlagban 10% hatásfokkal számolnak.



287. ábra: ORC körfolyamat [4.20]

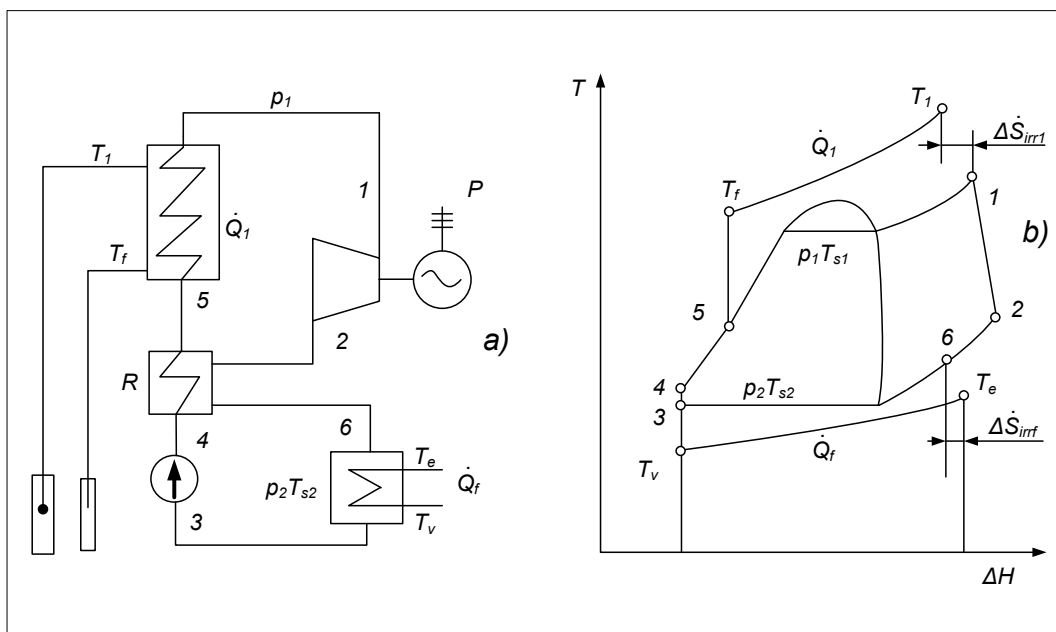
1 előfűtő, 2 termámvíz fűtésű gőzhevítő, 3 turbina, 4 generátor, 5 kondenzátor

Kapcsolt ellennyomású energiatermelő ORC körfolyamatot mutat a **288. ábra** jelű ábra is, a hozzá tartozó T-s diagrammal. A kis hőmérsékletű hőközlésnél (Q_1) előny, hogy az alacsony elgőzölögtetési hőmérséklethez (T_{s1}) is az atmoszferikus nyomásnál nagyobb telítési nyomás (p_t) tartozik. A hőközlés okozta irreverzibilitás viszonylag mérsékelt lehet, ezt csökkenti a túlhevítés és az expandált gőzzel végzett folyadék előmelegítés (2-6 vonal alatti terület megegyezik a 4-5 vonal alatti területtel), illetve még tovább csökkenthető, ha a gőztermelést több fokozatban valósítjuk meg.

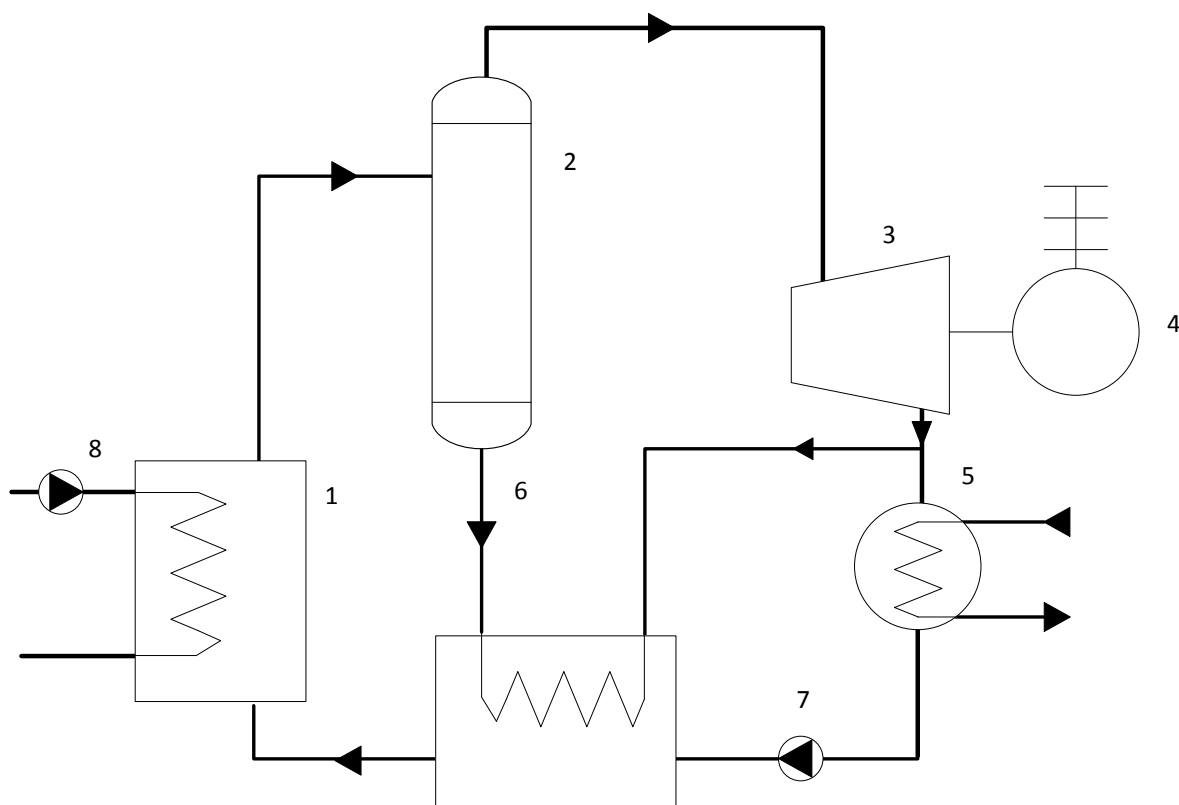
Az ORC körfolyamatok másik lényeges előnye, hogy a rendelkezésre álló környezeti vagy fűtési hőmérsékletekhez (T_v és T_e), illetve a hőelvonáshoz (Q_f) jobban illeszkedik, mint a vízgőz-körfolyamat (kiseb lehet az entrópiánövekedés).

A kondenzációs energiatermelés esetén lényeges előny, hogy ezeknek a körfolyamatoknak a véghőmérséklete (a p_2 nyomáshoz tartozó T_{s2} telítési hőmérséklet) a fagyhatár alatt is lehet, ha a hőelvonást pl. léghűtéssel tudjuk biztosítani. A kondenzátor hőmérséklet csökkentése a kis hőmérsékletszintű termámvíznél különösen előnyös. Vegyes kondenzációs-fűtési üzem is lehetséges, ha a túlhevítési hőt az R hőcserélőből fűtésre adjuk ki, a telítési hőt pedig hűtővízzel vonjuk el.

A Kalina-körfolyamat munkaközege nem homogén, hanem kettős közeg, pl. ammónia és víz keveréke. A különböző koncentrációjú keverék forrasi hőmérséklete képes követni a termámvíz hőmérsékletének változását, ezzel csökkentve a hőközlés irreverzibilitását, és növelve a hőközlés termodinamikai átlaghőmérsékletét (**289. ábra**).



288. ábra: Kapcsolt energiatermelő ORC körfolyamat és T-s diagramja [4.20]



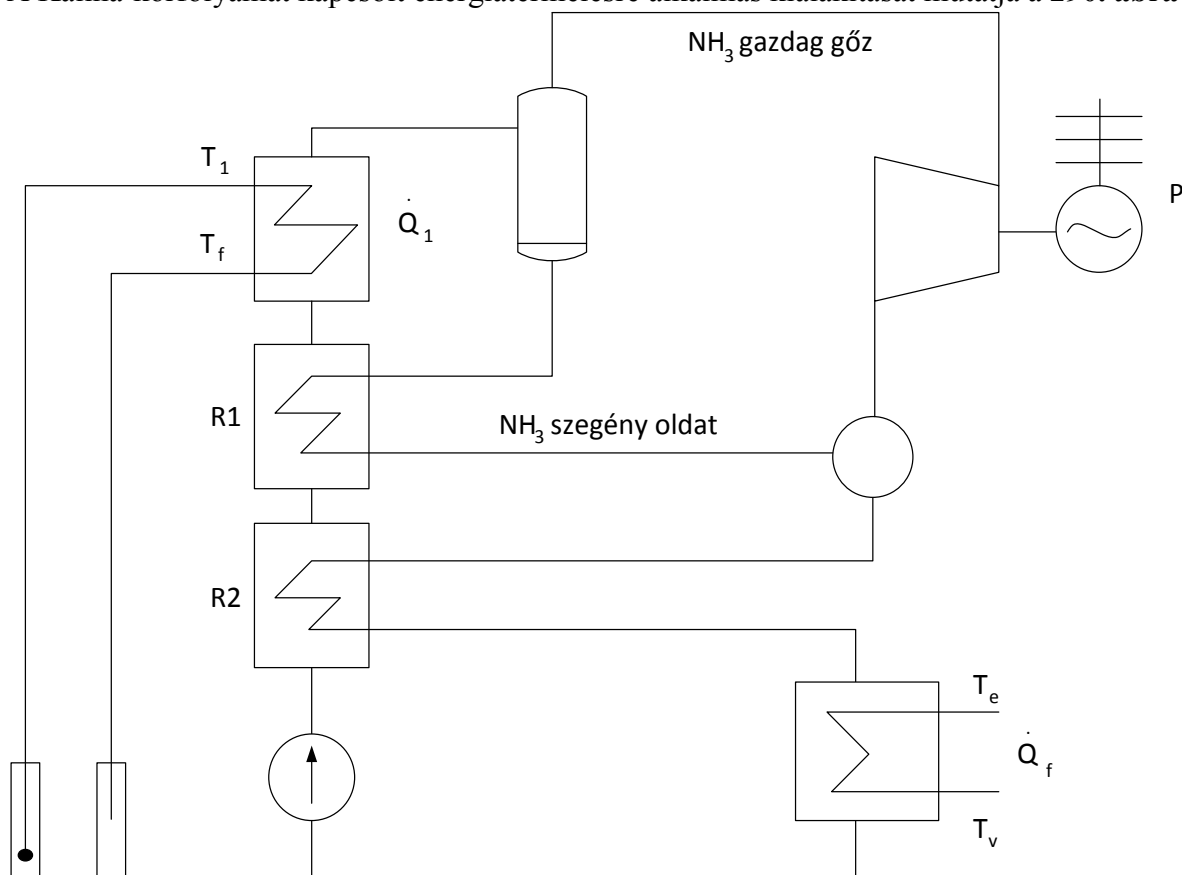
289. ábra: Kalina körfolyamat [4.2]

1 elpárolgató, 2 szeparátor, 3 turbina, 4 generátor, 5 kondenzátor, 6 előfűtő hőcserélő, 7 és 8 szivattyú

A forró termásvíz az elpárolgatóban az ammónia-víz elegyet részben elgőzölögteti. A nedves gőz a szeparátorba jut, ahol elválik a telített gőztől a folyadék. Az ammóniában feldúsult telített gőz tovább áramlik a gőzturbina felé, a leválasztott melegvíz pedig a hőcserélőben (rekuperátorban) előmelegíti a hideg folyadékelegyet. A turbinába beömlő gőz, miközben expandál a gépben, hőenergiáját leadja, ami mozgási energiává alakul, amit a

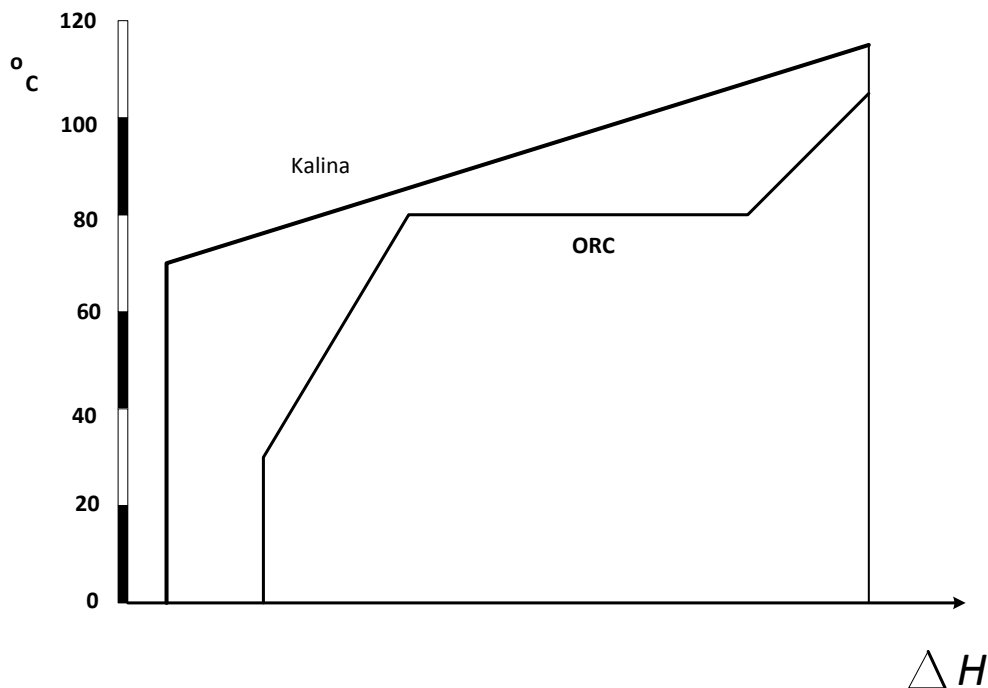
generátor elektromosáram-termelésre fordít. A rekuperátorból kilépő vizet a turbinából kilépő nedves gőzbe vezetik, ekkor a keveredés mellett az ammónia abszorpciója is végbemegy, a nedves gőz pedig az ellenáramú kondenzátorban lecsapódik. A kondenzátorban a hűtővíz, a gőz rejtett hőjét átveve és így felmelegedve további célokra (pl. fűtés) használható fel. A rendszerből kilépő termásvíz maradék hője is felhasználható. Egy adott nyomáson a folyadék elgőzölgése nem állandó hőmérsékleten megy végbe, mint az például a víznél vagy más egynemű folyadéknál történik, hanem minden relatív nedvességtartalomhoz más-más hőmérséklet tartozik. (A nedves gőz állandó nyomású - izobár - állapotváltozásának diagramja nem vízszintes egyenes, mint a vízgőznél, hanem ferde egyenes.) Ez a tény azért jelent előnyt, mert a gőzfejlesztés veszteségei úgy csökkenthetők, ha a mindenkori hőmérsékletkülönbséget a fűtő közeg (például forró víz) és az elgőzölgő közeg között mindenütt a lehető legkisebb értéken tartják.

A Kalina-körfolyamat kapcsolt energiatermelésre alkalmas kialakítását mutatja a **290. ábra** is.



290. ábra: Kalina körfolyamat felépítése kapcsolt energiatermelés esetén [4.20]

Az ORC és a Kalina-körfolyamatok hőmérsékletváltozását a hőközlés folyamán a **291. ábra** szemlélteti. A termásvíz hőmérsékletváltozásához történő jó illeszkedésen kívül a Kalina körfolyamat további előnye, hogy a termásvíz kisebb hőmérsékletre hűtését is lehetővé teszi.



291. ábra: Az ORC és Kalina körfolyamat hőközlési hőmérséklete [4.20]

Azonos hőmérsékletszintnél a Kalina ciklus 15–20 %-kal hatékonyabb, mint az ORC körfolyamat. Az erőművekben szokásos munkaközegek jellemzőit a **67. táblázat** mutatja.

67. táblázat: Energiatermelésben használt munkaközegek kritikus értékei [4.2]

A közeg megnevezése		Kritikus hőmérséklet °C	Megjegyzés
Propán/etán	0,9 /0,1	90,7	Két komponensű zeotropic keverék (tömeghányad)
	0,8 /0,2	84,6	
	0,7 /0,3	78,4	
	0,6 /0,4	72,1	
	0,5 /0,5	65,7	
propilén		92,4	Egy komponensű természetes folyadék
R227ae		101,7	Egy komponensű szintetikus folyadék
RC318		115,23	Egy komponensű szintetikus folyadék
R236fa		124,92	Egy komponensű szintetikus folyadék
isobutan		134,7	Egy komponensű szintetikus folyadék
R245fa		154,05	Egy komponensű szintetikus folyadék

24.4. Esettanulmányok

• Geotermikus energiahasznosítás Izlandon [4.21]

A termálvíz használata Izlandon az épületek fűtési igényének kielégítésére 100. éve kezdődött és 1930-tól a legtöbb épület (jelenleg a 89%-a) rákapcsolódott a geotermikus távhőellátó rendszerre. A 315.000-es lakosságú országban 22 távhőellátó rendszer az önkormányzatok birtokában van és 200 magántulajdonban a vidéki térségben. Ezek a rendszerek évente 24 PJ hőt termelnek 125 millió m³ termálvízből. A termálvíz alacsony ásványi anyagtartalma és korrozivitása révén vegyi kezelés vagy hőcserélő beépítése nélkül is lehetővé teszi a közvetlen felhasználást. A termálvizet használati melegvízként is használják, bár jellegzetes illata van a hidrogén-szulfid tartalma miatt.

A felhasznált vizet nem juttatják vissza a víztározóba, (nincs visszasajtolás) hanem a szennyvízrendszerbe jut. Az alkalmazott búvárszivattyúk típusát hosszú idő óta nem változtatták és a hőszigetelt csövek ugyanazok, mint amelyeket a hagyományos távhőellátó rendszerekben használnak. Az épületek fűtési rendszerei azonosak bármilyen más melegvízes fűtési rendszerrel ugyan úgy, mint az alkalmazott berendezések, csak alacsonyabb hőmérsékleten üzemelnek. Az előre menő hőmérséklet 55-80 °C közötti, míg a visszatérő hőmérséklet 35 °C. Több esetben a termálvíz hőjét még nagyobb mértékben kihasználják, mivel a 35 °C hőmérsékletű vízzel a járdát és az utakat fűtik, ezáltal jégmentesítik ezeket.

A kiváló természeti adottságoknak és a modern, hatékony technológiának köszönhetően ezek a rendszerek gazdaságosak. A termálvizet alacsony áron értékesítik, mennyiségét hagyományos vízőrával mérik (60-120 IKR/m³, ami 0.15-0.30 Euro/kWh árnak felel meg). Egy családi házra éves fűtési költsége 500 Euro körül van.

Az, hogy milyen termálkút kialakítást választanak az leginkább az áramlási jellemzőktől/követelményektől függ. A legnagyobb átmérővel rendelkező kutakat Reykjavik és környéke esetében alkalmazzák (300 mm termelési csőátmérők és 90 l/s tömegáram), kisebb városoknak elegendő 250 mm termelési csőátmérő 45 l/s tömegáram mellett, míg a falusi környezetben 10 l/s tömegáramhoz 200 mm csőátmérőt alkalmaznak. Az, hogy a termelő kútban milyen mélyen helyezik el a csővezést, leginkább a felsőbb rétegek hidegebb víztározóinak szigetelésétől függ és attól, hogy milyen mélyre kell elhelyezni a búvárszivattyút (tipikusan 150-800 m). A nagy teljesítményű kutak mélysége minden esetben 700-2500 m között van, míg a kisteljesítményű kutak mélysége 300-1200 m. A kutak többsége függőleges, de az irányított ferde furások egyre népszerűbbek, mivel ezekkel pontosan elérhető a legjobb teljesítményt adó réteg és ennek hasadécai. A ferde furások indulhatnak a felszínről ebben az esetben 10-30 ° dőlésszög kivitelezhető, ezért nagyobb szögeknél a kivitelezés úgy történik, hogy függőlegesen lefúrnak 350 m mélységig, ami után a kívánt szöveget lépcsőzetesen érik el (2,5 °/30 m) így 30-45 ° dőlés érhető el (irányított furások). Ez azt jelenti, hogy a kiindulási ponton keresztül haladó függőlegestől való eltérés vízszintes irányban 500-800 m lehet. Nyilvánvaló, hogy a kútúró berendezés kötélzeteinek méretében (kötélzet terhelés 50-200 t) és a kútköltségben nagy különbség van (0.1-1.5 M Euro). Csak kettő vagy három drótkötelet használnak és a béléscsöveket mindig összehegesztik, és nem karima toldást alkalmaznak azért, hogy a kialakított kút átmérője a lehető legnagyobb legyen. Minden alacsony hőmérsékletű kutat karima és ellenkarima nélkül zárnak le a kútfejnél. A bazalt kőzet rétegek elég stabilak ahhoz, hogy megtámasztás nélkül stabilan álljanak. A kutak tiszta vizet termelnek és a homok, illetve az agyag bejutása a rendszerbe kizárt.

A víz a leggyakoribb fűrófolyadék, ami tisztítja a kutat a fúrás előrehaladtával. Az öblítőfolyadékhoz bentonitot, illetve polimer tablettákat csak akkor adnak, amikor a vízzel történő kúttisztítás nehezzé válik. Levegővel dúsított vizet, (sűrített levegőt adagolnak a

vízhez) inkább csak azért használnak, hogy kialakuljon a nyomásegyensúly, mivel ebben az esetben a fűrés folyamat során eltávolított törmelékek nem tömítik el a természetes hasadékokat, így a kút közvetlen környezetében található rétegek, sértetlenek maradnak.

A termálkutakat a fűrés folyamat végén sűrített levegővel tesztelik. A kialakított termálkútnál az áramlási folyamatok beindításához különböző stimulációs módszereket alkalmaznak. Ilyen pl. a nagy mennyiségű hidegvíz kútba történő sajtolása (60 l/s 100 bar) amelyet igen hatékonyan találtak egyes területeken a kúthozam javítására.

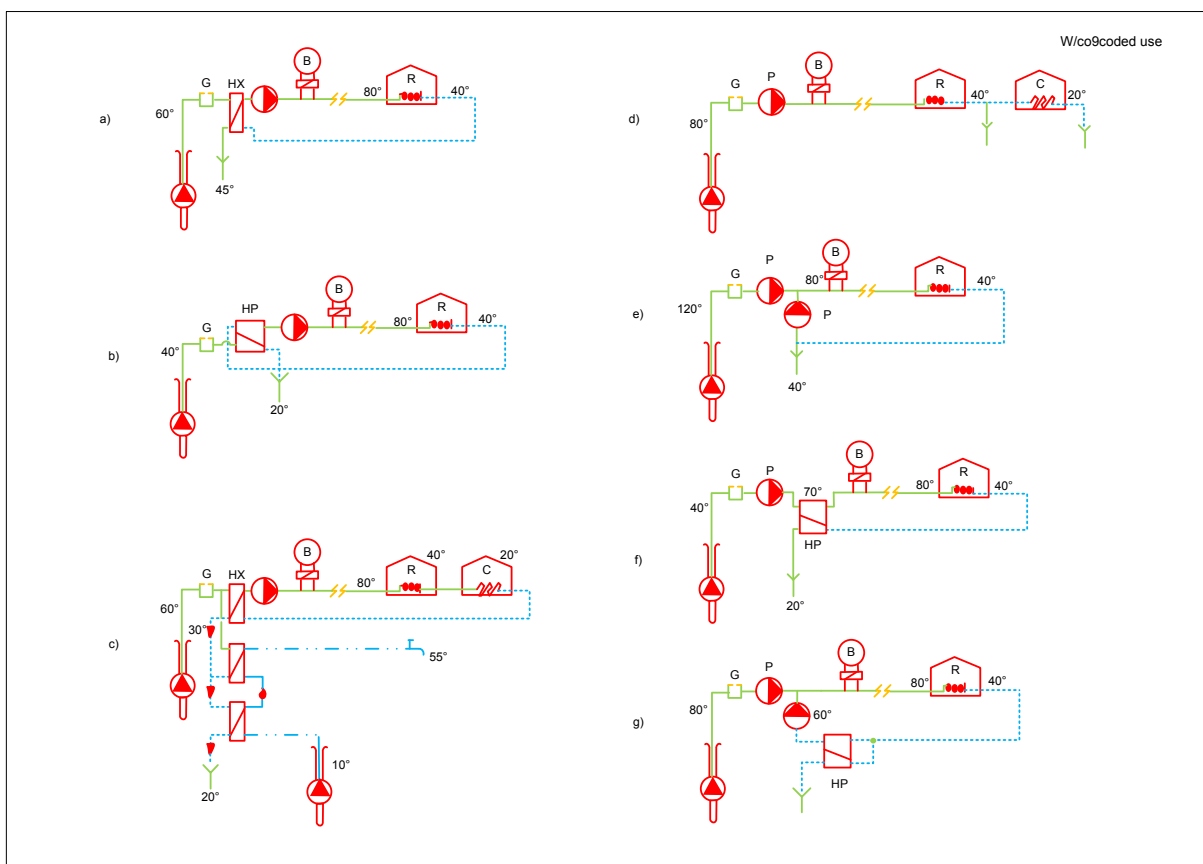
Kezdetben a források és a sekélymélységű kutak túlnyomásúak voltak így szivattyúzás nélkül termelték a vizet a távhőellátó rendszerek számára. Amikor az nem volt elég, néhány éven keresztül sűrített levegőt használtak Reykjavikban néhány évig, egy légkompresszor és egy levegőt szállító cső elhelyezésével a termelő kútban. Ez növelte a tömegáramot, de korróziót okozott a rendszerben a felvett oxigén miatt. 1964-ben helyezték el az első bűvárszivattyút Reykjavikban. Volt néhány probléma a működésben, de ezeket úgy kezelték, hogy a tengelymeghajtású szivattyúkat módosították úgy, hogy tefloncsapágyakon üzemeltek, melyeknél vízkenést alkalmaztak. Ezeket a szivattyúkat izlandi geotermikus szivattyúknak is nevezik és 250 m mélyre helyezik el max. 130 °C hőmérsékletű vízben ahhoz, hogy 20, 40, vagy 90 l/s vizet termeljen ki.

A leginkább alkalmazott szivattyú átmérője 190 mm és kitermelt tömegárama 40 l/s. Ennek tervezése abból áll, hogy meg kell határozni az emelési lépcsők számát (többlépcsős szivattyú) ahhoz, hogy a szükséges emelőmagasságot biztosítsuk az élettartam során. A szivattyúk tervezésénél figyelembe kell venni a dilatációkat, amelyek a magas üzemi hőmérsékletek miatt lépnek fel. Ezeket axiális támcsapágy beépítésével oldják meg. A szivattyú tengelye tefloncsapágyakon forog, melyeket a kiszivattyúzott víz keni. Ezek a szivattyúk megbízhatóak, az egyes beavatkozások között 6-12 év telik el.

Napjainkban a legtöbb szivattyú fordulatszám szabályozású motorral rendelkezik. A teljesítménygörbe éveken keresztül nem változik egyedül a rezervoár nyomásának csökkenése tolja el görbét lefelé. Ezért amikor egy bűvárszivattyút cserélnek, az újat általában egy kicsit mélyebbre helyezik el, ami kompenzálja a vízszintcsökkenést és némileg biztosítja a megfelelő működést kisebb nem várt igényváltozások esetén. Ezeknek a kutaknak egy figyelemre méltó jellemzője az, hogy a tömegáram hosszú éveken keresztül várhatóan állandó marad, és nem történik lerakódás, vagy eltömődés.

Várhatóan a kutaknál több mint 50 évig beavatkozás, vagy karbantartási munka nem szükséges csak a bűvárszivattyúk igényelnek periodikus karbantartási munkákat. A kutakat felhagyják abban az esetben, ha az eredeti csövezés nem volt megfelelő vagy ezeknek a csöveknek a korrózió által okozott hibáit nem tudják korrigálni. A korrózió leginkább a földfelszíntől 2-3 m mélységben okoz problémát az oxidáció miatt (a víz dúsabb az oxigénben). Abban az esetben, ha artézi kutak találhatóak a termál kutak közelében, akkor az előzőeknek a vízmennyisége csökken a szivattyúzás miatt (a termálkút szivattyúja elszívja a vizet az artézi kúttól). Általában szivattyúzással a természetes kifolyás 4-10-szeresét termeli ki. Jelenleg kb. 180 alacsony hőmérsékletű kút szolgálja ki a 62 különböző kerület 22 önkormányzati tulajdonban lévő távfűtési rendszerét. Egy kút átlagos térfogatárama 45 l/s a teljesítmény pedig 10 MWt, 2006-ban az összes kitermelt termálvíz 98 millió m³ volt. Az eladott víz 125 millió m³, ami 24 PJ energiatermeléshez volt elegendő. Az eladott és kitermelt vízmennyiségek különbözőségének oka az, hogy a visszatérő víznek egy részét bekeverik az előremenő vízmennyiségbe ahhoz, hogy 80 °C hőmérsékletű vizet állítsanak elő (egy adott mennyiséget, tehát kétszer adnak el). Ez azt jelenti, hogy egy adott mennyiségű vizet kétszeresen használnak ki és egy kisebb mennyiséget kell csak visszasajtolni a rezervoárba. A felhasznált vízmennyisége legnagyobb része viszont csatornába ömlik 25-40 °C hőmérséklet mellett.

A távhőellátó rendszerek közvetlenül a felhasználóhoz szállítják a termálvizet. A nitrogéngázt a tartályokba leválasztják és a keringető szivattyúk táplálják az elosztóhálózatot. Nagyméretű fővezetékén keresztül jut el a termálvíz a lakott területekre, ahol előreszigetelt csöveken keresztül történik az elosztás hasonlóan hagyományos távfűtőrendszerekhez, kivéve azt az egy eltérést, hogy általában nincs csak előremenő vezeték, visszatérő vezetéket csak sűrűn lakott települések hőellátásánál alkalmaznak. Különböző rendszertípusokat alkalmaznak és az **292. ábra** mutatja be a legelterjedtebb változatokat. A geotermikus távfűtési rendszerekre vonatkozóan különleges tervezési előírásokat alkalmaznak, s erre vonatkozóan az Izlandi Szabványügyi Hivatal kiadta a tervezési segédletet. Mindegyik épületnél beépítésre kerül egy vízóra, mivel a termálvizet m^3 -re vonatkozóan számolják el, illetve az ár tartalmazza a készenléti díjat és a 7 %-os ÁFA-t. A felhasználó dönti el, hogy mennyi energiát használ fel a termálvízből egyes esetekben az utolsó felhasználás a járdák és közlekedési utak jégmentesítése. Reykjavík központjában minden járda és út ilyen rendszerrel van ellátva.



292. ábra: Geotermikus távfűtés típusok [4.22]

Közvetett hasznosítás

- a) termálvíz hőmérséklete $> 75^{\circ}C$
 - b) termálvíz hőmérséklete $30-50^{\circ}C$
 - c) termálvíz hőmérséklete $> 75^{\circ}C$
- kaskád hasznosítás

Közvetlen hasznosítás

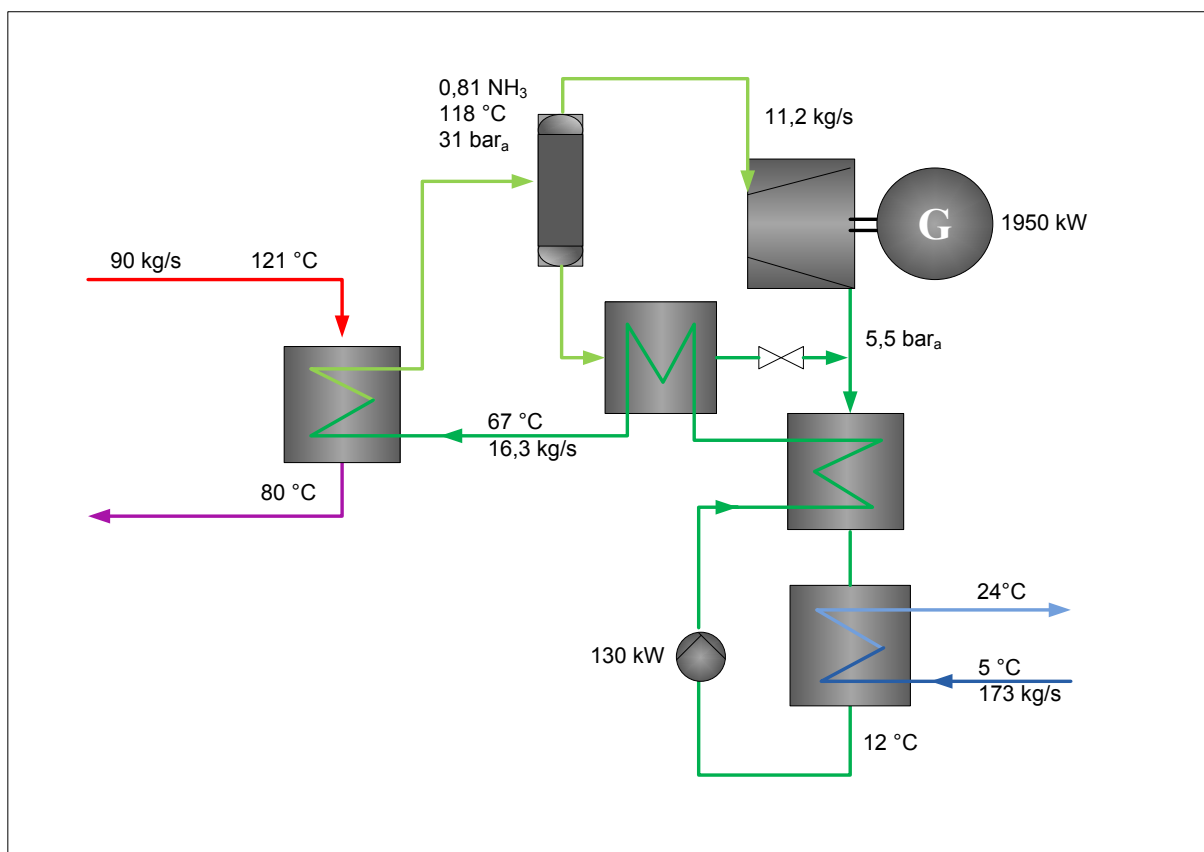
- d) termálvíz hőmérséklete $< 100^{\circ}C$
- e) termálvíz hőmérséklete $> 100^{\circ}C$
- f) termálvíz hőmérséklete $30-50^{\circ}C$
- g) termálvíz hőmérséklete $< 100^{\circ}C$

G-gázleválasztó; P-szivattyú; B-kazán; R-radiátoros fűtés; C-fan-coil fűtés; HP-hőszivattyú; HX-hőcserélő

Az épület hőközpontja tartalmaz egy elosztót, a vízórát egy egyszerű elzáró szelepet, szűrőt egy nyomásszabályozó szelepet, ami a radiátorok termosztatikus szelepek miatt szükséges. A hőleadó általában radiátor, de az utóbbi időben egyre több helyen alkalmaznak padlófűtést, illetve légfűtést. Egy átlagos épület hőigénye 18 kW/m^3 és az éves energiafogyasztás átlagosan 75 kWh/m^3 . A hőmérséklet szabályozó rendszer egyszerű termosztatikus szelepekből áll, de alkalmaznak más modern szabályozó rendszereket is. A helyiség hőmérséklet egész nap állandó így a rendszer terhelésének ingadozása alacsony. Egész évben szükséges a fűtés a nyári hőigény közel fele a téli hőigénynek. A használati melegvíz hőmérséklete az érvényben lévő szabvány alapján nem haladhatja meg $60 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot, de sajnos több régi épületben ez a hőmérséklet eléri a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot, így fennáll a veszélye az égési sérüléseknek zuhanyozás során.

A hőellátó rendszerekhez először a nagyvárosok kapcsolódtak. Napjainkban a termálvizet elszállítják akár 60 km -re is a hőforrástól a gyéren lakott területekre flexibilis előszigetelt csövek beépítésével. Nem ritkák az 1 km hosszú csatlakozó vezetékek egyetlenegy felhasználó miatt.

- A 2000-ben üzembe helyezett **izlandi husaviki geotermikus erőmű** 2 MW teljesítményű fűtőerőmű, amely 90 kg/s $120 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű termálvizet használ fel. A kilépő $80 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű vízzel lakásokat fűtenek (**293. ábra**).



293. ábra: Kalina körfolyamat üzemi paraméterekkel (Izland, Husavik) [4.2]

• **Geotermikus villamosenergia termelés Olaszországban. [4.21]**

2006. december 31-én Olaszországban a geotermikus villamosenergia termelés a következő volt:

- összes beépített geotermikus kapacitás 810,5 MW
- összes nettó termelt energia 2006-ban 5,2 TWh

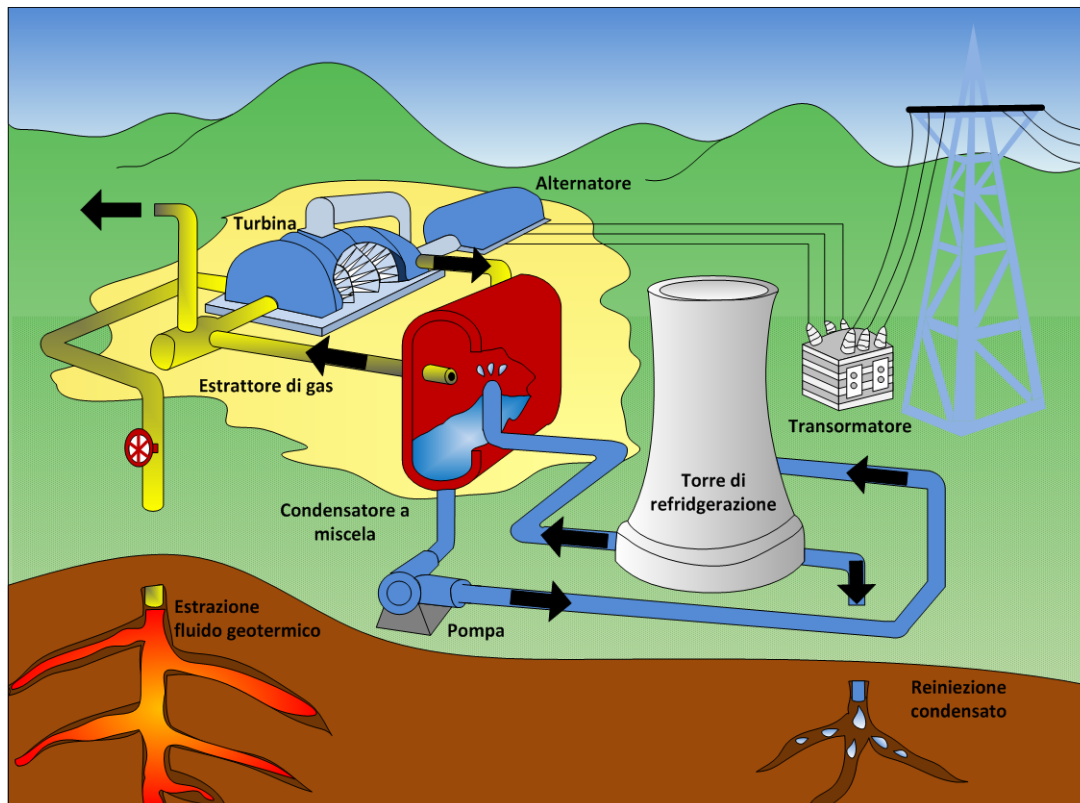
Az elmúlt néhány évben a villamosenergia termelés és geotermikus kapacitás folyamatosan növekedett az ENEL befektetéseinek köszönhetően (meglévő erőművek felújítása és új erőművek építése). Egy kisebb csökkenést tapasztalhattunk 2005-ben, amikor részlegesen és rövid időre néhány erőművet le kellett állítani. 1999. és 2006. között a beépített kapacitás 64 MWe, ami 8 %-ot jelent, míg a geotermikus jellegű termelés 800 GWh, ami 18 %-ot jelent. Ez a kiváló teljesítmény 12 erőmű felújításának és hatásfok növelésének köszönhető, illetve a visszasajtolási stratégiának és a mélyfúrási technológiák (közel 4000 méter) sikerének néhány termelő kút esetében. Minden idők termelési rekordja (bruttó 5527 GWh 2006-ban) 10 %-át jelenti a világ geotermikus energia termelésének és 25 %-át fedezi Toscana villamosenergia igényének.

Figyelembe kell venni, hogy a beépített kapacitás egyenértékű a gépek névleges kapacitásával, míg a hatékony kapacitás az erőműveket gőzzel ellátó geotermikus területekről kinyerhető tényleges kapacitást jelenti. Ez az érték időben változó, hiszen a geotermikus fluidumok nyomása és az egyes kutak termelése az idők folyamán természetesen csökkenni fog. Ez a csökkenés mérsékelhető:

- ha a hűtőtornyoknál a kondenzált gőzt összegyűjtjük és visszasajtoljuk a rezervoárba,
- ha periodikus jelleggel a geotermikus területet karban tartjuk (néhány kút tisztítása esetleg új kutak furása azok helyett, melyekben csökken a nyomás).

A nettó termelt villamosenergia egyenlő a bruttó termelt villamosenergiával (a villamosenergia generátornál) amelyből le kell vonni azt a villamosenergia mennyiséget, melyet magában az erőműben használunk fel (a megtermelt villamosenergiának közel 6 %-a). Más szavakkal a nettó villamosenergia alatt azt a mennyiséget értjük, melyet az országos rendszerbe betáplálunk.

A geotermikus villamosenergia termelés Toscanára koncentrálódik, helyileg Pisa, Siena és Grosseto környékén. Az előbb megadott villamosenergia termelési adatok 32 termelőegység által összesen megtermelt energiára vonatkoznak, melyek egyenként állnak egy turbinából, egy a turbinával meghajtott elektromos generátorból, egy kompresszorból (melynek funkciója, hogy kivonja azokat a gázokat, melyek nem kondenzálódnak) egy kondenzátorból és egy hűtőtornyból (**294. ábra**). Ebből a 32 egységből 21 működik Larderelloban, 6 Travale-Radicondoliban és 5 Monte Amiataban.



294. ábra: Geotermikus erőmű felépítése [4.21]

Geológiai szempontból a gőz, mely ellátja a termelőegységeket, négy geotermikus területről származik:

- Larderello (Pisa, Grosseto környékén)
- Travale-Radicondoli (Siena és Grosseto környékén)
- Piancastagnaio (Siena és Monte Amiata környékén)
- Bagnore (Grosseto és Monte Amiata környékén).

A Larderelloi terület, mely villamosenergia termelés szempontjából történelmileg az első volt Olaszországban és a világon, továbbra is legnagyobb Olaszországban a hozzátartozó 200 db termelő kúttal és a 4300 t/h hozamú túlhevített gőzzel (150-270 °C, 2-18 bar nyomás) és egy átlagos 3,1 %-os nem kondenzálható gáztartalommal. A Travale-Radicondoli geotermikus terület (2.2 táblázat) 25 kúttal rendelkezik 1300 t/h túlhevített gőztermeléssel (190-250 °C 8-28 bar nyomással és egy átlagos 5 %-os nem kondenzálható gáztartalommal).

Fontos kihangsúlyozni azt, hogy 1970-től (először kísérleti jelleggel, majd később szisztematikusan fejlesztve) alkalmazzák a mélyfúrásos technológiát (4000 méter, vagy annál mélyebb kutakkal).

Ez a technológia lehetővé tette a villamosenergia termelés folyamatos növekedését és azt is bizonyította, hogy a két geotermikus terület (Travale-Radicondoli és Larderelloi) nagy mélységben egy és ugyanazon rezervoárhoz kapcsolódik. Ugyanakkor Larderelloban 1970-től kísérletek folytak a visszasajtolási technológiára vonatkozóan, nem termelő kutakon keresztül visszajuttatva hűtőtornyok, illetve a közeli geotermikus víztározók vizét mélyebb víztározókba. Ez a gyakorlat lehetővé tette a fő víztározó részleges feltöltését, melyben egyébként a folyamatos kitermelés miatt nagymértékű nyomáscsökkenés lépett volna fel.

• **Geotermikus energia hasznosítása Kisteleken.**

A Kisteleki termálprogram eredeti tervei 2003-ban készültek el, a végleges megvalósítási tervek 2006-ban születtek meg a termelő és visszasajtoló kút és termálvíz adatainak, és a potenciális fogyasztói igények ismeretében. A rendszert 2008-ban adták át.

A termelő kút hőtechnikai és hidraulikai méretezés szempontjából fontos adatai:

Talpmélység:	2095 m
Talhfőmérséklet:	90,6 °C
Buborékpont:	-110 m
Maximális kúthozam:	1000 l/perc
A kút ellenállása maximális vízhozamnál:	21 mv.o

A kút hidrodinamikai diagramjából megállapítható, hogy télen, fűtési időszakban búvárszivattyúval működik, a nyári időszakban, kis terhelésnél gravitációsan.

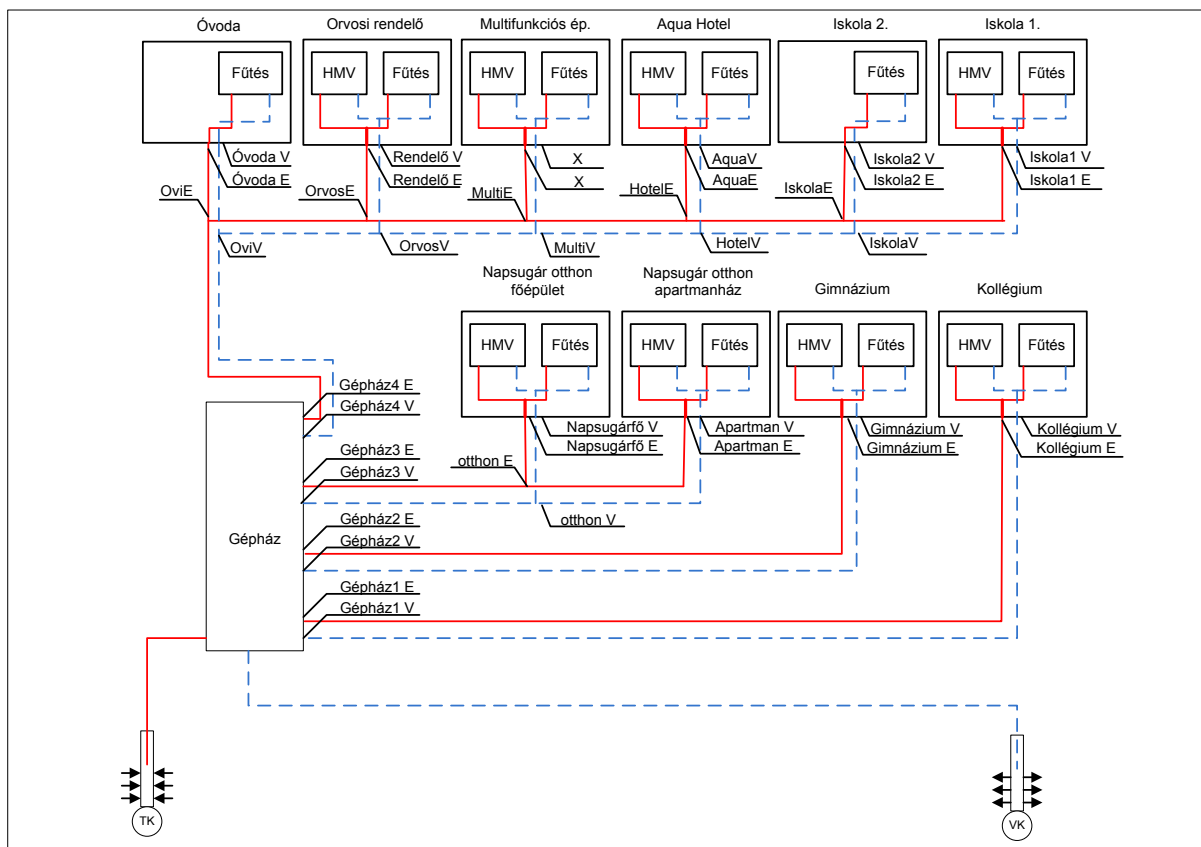
A visszasajtoló kút hőtechnikai és hidraulikai méretezés szempontjából fontos adatai:

Talpmélység:	1678 m
Talhfőmérséklet:	71,5 °C
Üzemi vízszint:	-11,45 m a sorban megjelölt
Vízhozamnál:	1050 l/min
Maximális kúthozam:	1000 l/perc
Mélységi depresszió (1000 m ³ /nap)	0,05 MPa .

A potenciális fogyasztók meglévő rendszereinek legfontosabb jellemzői:

- A potenciális fogyasztók számos önkormányzati épületek (iskola, óvoda, könyvtár, rendelő...) fűtési és használati HMV ellátó rendszerei.
- A fűtési rendszerek méretezési állapotban 80/60 °C hőmérsékletű melegvízre méretezettek.
- A hőellátó rendszerek hőtermelői régi típusú, hagyományos acéllemez gázüzemű kazánok, az Aqua szállót kivéve, ahol modern, kondenzációs kazán került beépítésre.
- A fűtési rendszerek általában kétsöves szivattyús radiátoros rendszerek.
- A rendszerek többsége a külső hőmérséklet függvényében szabályozott fűtőközeggel működik, de van olyan rendszer is, amely szabályozatlan.
- A HMV termelés általában indirekt fűtésű tárolókban történik, de létezik közvetlen gázfűtésű HMV tárolók is.
- Nyári hőigény jelentősen csökken, elsősorban a HMV termelésnek van hőigénye. Potenciális hűtési fogyasztó nincs. Az AQUA hotel rendelkezik egy fürdővel, amelynek azonban nem számottevő a termálvizes medence vízigénye (max. 6 m³/h).

A tervezett és megépült termálvizes vezeték rendszer (295. ábra), a meglévő hőellátó rendszerekre az épület hőközpontjában, kazánházában illetve kazánhelyiségben csatlakozik. A csatlakozás hőcserélőkön keresztül történik. Indirekt fűtésű, változó termál primer tömegáramú rendszerek kerültek kialakításra. A hőcserélők párhuzamosan vannak kapcsolva, ennek következtében a visszatérő primer termálvíz közeg hőmérsékletnek lehülése nem kellő mértékű, a visszasajtoló kút, 50 °C hőmérsékletű közeget kap. A hőcserélők elé együtű motoros szabályozó szelepek kerültek beépítésre, feladatuk fűtésnél a külső hőmérséklet függvényében a szekunder oldali közeg hőmérsékletének szabályozása, míg HMV termelésnél a használati melegvíz hőmérsékletének értéken tartása.



295. ábra: A kistéleken megépült termálvizes rendszer kapcsolási rajza [4.2]

A tervezett rendszer a kitermelő kútból a visszasajtoló kútig:

- A kútba beépített búvárszivattyú a kitermelt vizet 10 m^3 -s üzemi vízszintű gáztalanító tartályba nyomja fel 6 m magasra. A termálvíz tartályban tartózkodásának ideje 1000 l/perc kútermelésnél 0,16 óra, azaz 10 perc. Ez idő elegendő a víz egyensúlyba kerüléséhez és az elő-gázkiváláshoz.
- Az előgáztalanító, kiegyenlítő tartályból a termálvíz nyomásfokozó szivattyúk segítségével jut a gáztalanítóba. A szivattyúkat a gáztalanító tartály vízszintjéről történik. A gáztalanítás csak állandó nyomás és kúthozam mellett hatékony.
- A közeget további nyomásfokozó szivattyú a vastalanítókon keresztül, távvezetéken át szállítja a fogyasztókhoz, leküzdve a lehűlt közeg visszatérő vezetékén az áramlási ellenállást a visszatérő kiegyenlítő tartályig.
- A visszatérő kiegyenlítő tartályból a közeg szintén egy nyomásfokozó szivattyú csoport segítségével jut a visszasajtoló kútba.
- A távvezeték anyaga előre szigetelt műanyag csővezeték, míg a hőközpontokban, kazánházakban, gépházban hagyományos acélső.

24.5. Irodalomjegyzék az 24. fejezethez

- [4.1] Mádlné Szőnyi Judit - Rybach László - Lenkey László-Hámor Tamás – Zsemle Ferenc: Fejlődési lehetőségek a geotermikus energia hasznosításában, különös tekintettel a hazai adottságokra. MTA tanulmány, Budapest, 2008.
- [4.2] Halász Györgyné - Kozák Miklós - Kalmár Ferenc – Buday Tamás – Papp István: A geotermikus energia felhasználása a létesítmények energiaellátásában. Tanulmány, EGT/Norvég Finanszírozási Mechanizmus, Debrecen, 2009.
- [4.3] 54/2008. (III. 20.) Korm. rendelet az ásványi nyersanyagok és a geotermikus energia fajlagos értékének, valamint az értékszámítás módjának meghatározásáról.
- [4.4] Török Á.: Geológia mérnököknek. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007.
- [4.5] Muffler, L. P. J. – Cataldi, R. :Methods for regional assessment of geothermal resources. Geothermics 7. 1978.
- [4.6] Egerer F. – Kertész P. : Bevezetés a közetfizikába. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1993
- [4.7] Korim K: GEOINFORM. Üledékes medencékben előforduló termálvizek kutatásának módszerei és eszközei. MÁFI, Budapest, 1981.
- [4.8] Orkustofnun Munkacsoport: Sustainable production of geothermal energy – suggested definition. IGA News 43. 2001.
- [4.9] Buday T. – Kozák M. – McIntosh R.W. : International experience of geothermal energy production regarding sustainability. – In 14th „Building Services, Mechanical and Building Industry days” International Conference, Debrecen, Hungary, 2008.
- [4.10] Rybach, L. – Mégel, Th. – Eugster, W.J. : At what timescale are geothermal resource renewable? – In: Proc. World Geothermal Congress 2000.
- [4.11] Bobok E. : Geotermikus energiatermelés. – Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.
- [4.12] Dövényi P. – Tóth Gy. (2008): A Kárpát-medence geotermikus és hévízföldtani adottságai. – http://www.geotermika.hu/eloadasok_080226/Dovenyi_Toht_kistelek.pdf
- [4.13] Kovács B. – Szanyi J. – M. Tóth T. – Vass I. (2007): Termálvizeink hasznosítási lehetőségei entalpiájuk függvényében. http://www.hidrotanszek.hu/asvkonf/8_Szanyi.pdf
- [4.14] Dövényi, P. – Horváth, F. : A Review of Temperature, Thermal Conductivity, and Heat Flow Data for the Pannonian Basin. – In: Royden, L. H. – Horváth F. ed. The Pannonian Basin. A Study In Basin Evolution, AAPG Memoir 45. 1988.
- [4.15] Szanyi J. – Kovács B. : Magyarország aranytartaléka – a geotermikus energia. – In: Tanulmányok a geológia tárgyköréből Dr. Kozák Miklós tiszteletére, Debrecen, 2008.
- [4.16] Rezessy G. – Szanyi J. – Hámor T. : Jelentés a geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának kialakításáról. – kézirat, MGSZ, Budapest, 2005.
- [4.17] Pálfalvi F. – Kozák M. : Előzetes környezeti hatástanulmány Debreceni Gyógyfürdő Kft. IX. sz. hévízkút létesítéséhez. – kézirat, Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék adattára. Debrecen, 1999.
- [4.18] Szilágyi Eszter: A debreceni termálvíz kémiai összetétele és környezetre gyakorolt hatásai, TDK dolgozat, DE-AMTC-MK, Debrecen, 2008.
- [4.19] Kovács M.-Kozák M. : New application of geothermal energy-ACTA GGM-CINA Geology, Gemorphology, Physical Geography Series 2. 2007.
- [4.20] Büki G. : Kapcsolt energiatermelés, Műegyetem kiadó, Budapest, 2007.
- [4.21] Kalmár Ferenc: Geotermikus energiahasznosítás TÁMOP- 4.2.2-08/1-2008-0017 projektben részvevő országokban, Tanulmány, Debrecen, 2009.
- [4.22] Eliasson. E, Armannsson. H, Thorhallsson. S, Gunnarsdottir. M, Bjornsson. O, Karlsson. T: Space and District Heating. Geothermal energy and utilization and technology. Edited by Mary H. Dickson and Mario Fanelli. UNESCO. ISBN 92-3-103915-6. 2003.

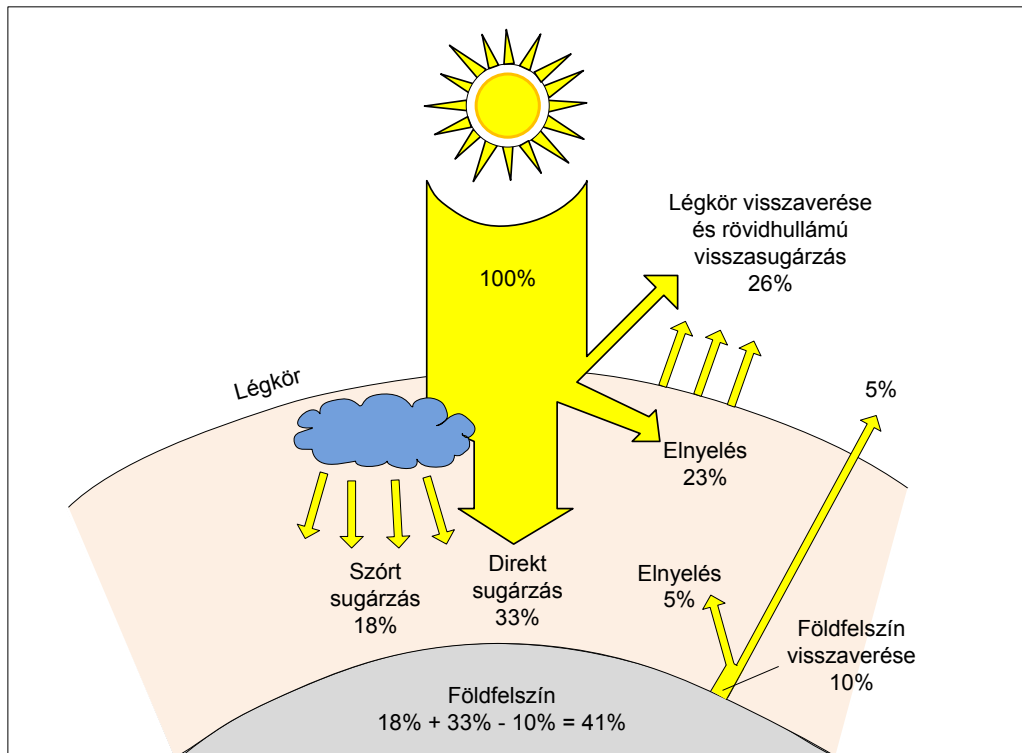
25. Napenergia (Dr. Nagy Géza)

Debreceni Egyetem, Debrecen

Az energiaáramlás elektromágneses hullámok – például látható fény vagy infravörös sugárzás – formájában is történhet. Ez a konvekció és a vezetés mellett a harmadik fő hőközlési mód két objektum között, ami nem igényel közvetítő közeget. A Nap ilyen módon látja el energiával a Földet, hő és fény formájában, a Föld ilyen módon veszít hőt – kisugárzással az űrbe (**296. ábra**). A sugárzási konstans értéke az az energiamentiség, ami a földi légkör felszínének egy a napsugárzás irányára merőlegesen felvett négyzetméterére esik a napsugárzásból kifolyólag (a Földnek a Naptól számított távolságának középértékén). Az általánosan elfogadott értéke 1368 W/m^2 ami egy műhold által regisztrált értékek éves átlaga [5.1]. Ez azt jelenti, hogy egy zavartalanul napsütött négyzetméterről ennyi energiát tudnánk begyűjteni a 100%-os hatásfokú eszközökkel.

A napsugárzás folytonos spektrumú, azaz különböző hullámhosszakon, különböző intenzitással történik. Fénynek nevezzük az elektromágneses sugárzásnak egy bizonyos tartományát, amelyből a 400–800 nm hullámhosszúságú az ember számára látható a következő színekben:

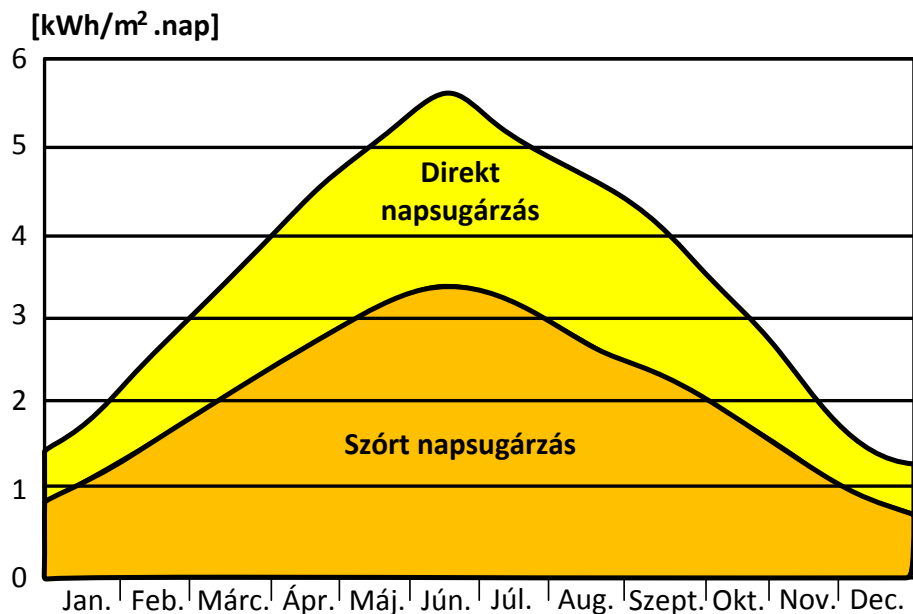
- 400–420 nm – ibolya
- 420–490 nm – kék,
- 490–540 nm – zöld,
- 540–640 nm – sárga,
- 640–800 nm – vörös
- Felette az ún. „hősugárzás” (infravörös)



296. ábra: A Napsugárzás energiámérlege [5.1]

A napsugárzással naponta több kWh energia érkezik egy négyzetméterre, még akkor is, ha

kissé felhős az ég. A napsugárzást hasznosító berendezések, mint a nap(hő)kollektor és a napelem ezért szórt fényben (sugárzásban) is működnek (297. ábra).



297. ábra: A naponta érkező energiamennyiség [5.1]

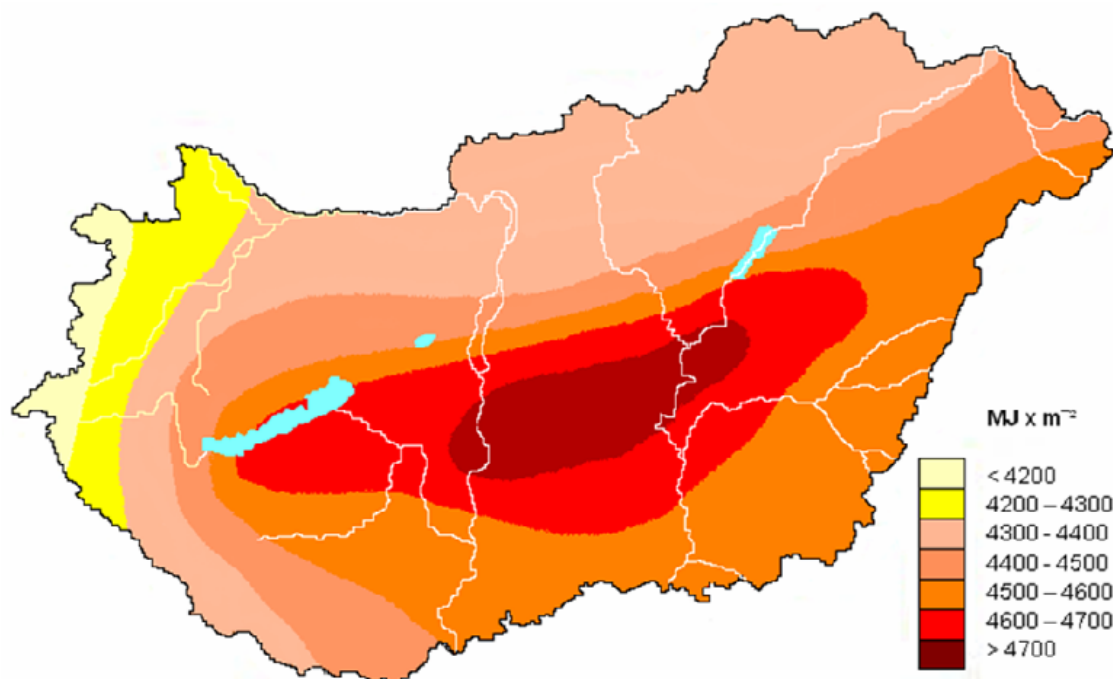
25.1. A napenergia hazai adottságai

Magyarország a szoláris éghajlati felosztás szerint a mérsékelt övben helyezkedik el a 45°45' és a 48°35' északi szélességek között, amely nagyjából az Egyenlítő és az Északi-sark közötti középhezletnek felel meg. Ez a csekély 3°-ot sem elérő szélességkülönbség nem okoz markáns éghajlati eltéréseket. Ehhez hozzáadódik, hogy az ország felszínének több mint fele 200 méternél alacsonyabb tengerszint feletti magasságú és a 400 méternél magasabb területek nagysága nem éri el a 2 %-ot. Így az ország éghajlata meglehetősen egysíkú, azonban a kis kelet-nyugati szélesség és az orografikus tényezők nem teljesen hatástalanok.

Éghajlata a hűvös éghajlatok tartományban a hosszabb meleg évszakú kontinentális éghajlati altípusba tartozik. Az évi hőmérsékletingás jelentős, a négy évszak élesen elkülönül.

Emellett jellemző a hőmérséklet szeszélyes időbeli alakulása, az egyes évszakok, hónapok időjárásának nagy változékonysága. Csapadékellátottságára is a változékonyság jellemző, mely csapadék nagyobbik része a nyári félévben hullik. A szárazsági index, jellemző választó vonala, a humid és arid területeket egymástól elhatároló 1-es érték ezen az éghajlati területen halad át, így a zóna a nedves és száraz éghajlatú területek közötti átmenetet reprezentálja.

A Napból Magyarország felszínére jutó globális sugárzás évi összege az ország területének túlnyomó részén 4200-4600 MJ/m² értékű. A legtöbb besugárzás a Duna-Tisza közének középső területén, valamint az Alföld középső és keleti részein tapasztalható. A legkevesebb besugárzásban az Alpokalja és az Északi-középhegység részesül, ahol a besugárzás évi összege alig éri el a 4100 MJ/m²-t (298. ábra). Ennek oka, a földrajzi szélesség változása, amely a mérsékelt öv középső területein befolyásolja legérzékenyebben a besugárzás évi mennyiségét. Az ország területének 3°-os észak-déli kiterjedése 200-250 MJ/m² sugárzáskülönbséget jelent (68. táblázat).



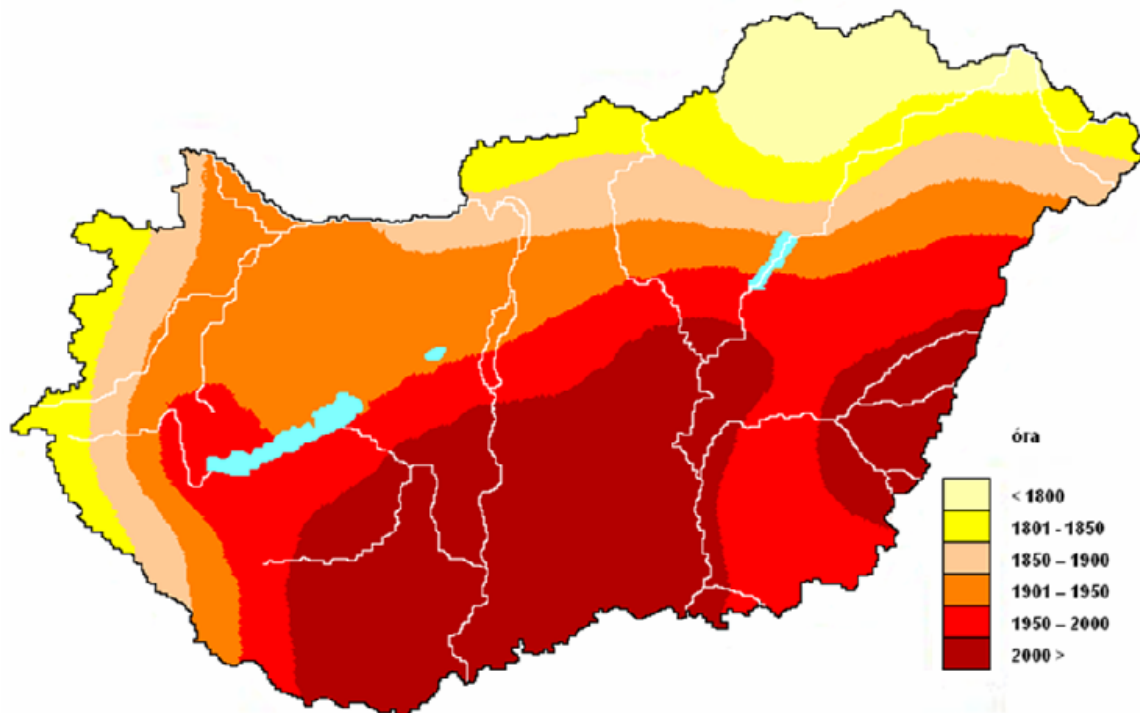
298. ábra: A globális sugárzás átlagos évi összege Magyarországon [5.2]

68. táblázat: A globális sugárzás átlagos havi és évi összegei (MJ/m²) ° [5.2]

Állomás	Jan.	Febr.	Márc.	Ápr.	Máj.	Jún.	Júl.	Aug.	Szept.	Okt.	Nov.	Dec.	Év
Sopron	121	180	290	444	564	587	608	523	382	255	126	96	4176
Keszthely	118	181	350	498	633	684	696	593	410	282	123	85	4653
Pécs	133	190	348	495	624	677	683	598	432	289	125	91	4685
Budapest	109	165	316	450	593	638	646	569	413	278	116	81	4374
Kecskemét	131	190	361	504	641	696	723	615	425	300	139	98	4823
Szeged	114	177	325	456	594	635	655	567	410	273	122	83	4411
Békéscsaba	130	177	330	454	607	638	658	558	404	274	122	87	4439
Debrecen	109	167	333	474	616	655	697	590	427	283	118	77	4546

A másik tényező, amely szintén befolyásolja a besugárzás területi eloszlását, a felhőzet mennyisége. Szoros az összefüggés a besugárzás mennyisége és a borultság mértéke között. Magyarországon a felhőzet nagysága a besugárzásnak még a földrajzi szélességnél is döntőbb tényezője.

A legtöbb besugárzás júliusban jut a felszínre annak ellenére, hogy a nappalok ebben a hónapban már valamivel rövidebbek. A Nap delelési magassága kisebb, viszont a felhőzet mennyisége csekélyebb, mint júniusban. A legkisebb besugárzás decemberben mérhető a nagy borultság és a rövid nappalok miatt. A napsütése órák számát a **299. ábra** mutatja.



299. ábra: Napsütéses órák száma Magyarországon [5.2]

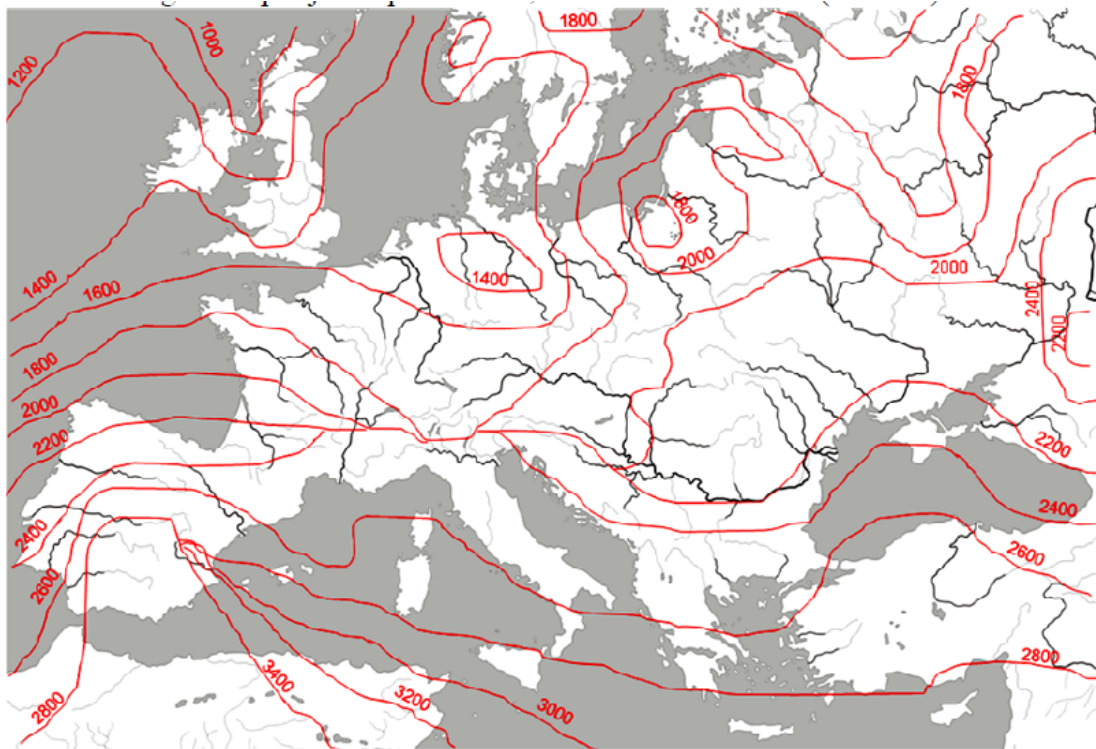
Magyarországra napenergia vonatkozásában a következő számok jellemzőek:

- Évi átlagos besugárzás $1250 \text{ kWh/m}^2 \text{ év}$
- Az ország területére ez 116375 TWh ill. 419 EJ/ év
- Ez több mint 2900- szerese az éves villamosenergia felhasználásnak ill. kb. 350- szerese az ország primer energia felhasználásának

A besugárzás Európa területén a földrajzi szélességhez igazodik, értéke alapvetően északról dél felé növekszik. A sarkvidékeken a kis beesési szögnek köszönhetően $2500 \text{ MJ / m}^2\text{-t}$ ér csak el. Skócián a Skandináv hegység gerincén át az Északi Ural felé tartó vonal mentén $3000 \text{ MJ / m}^2\text{-t}$ ér el. Közép-Európában 4000 MJ / m^2 , míg Dél-Európán az $5000 \text{ MJ / m}^2\text{-es}$ vonal húzódik keresztül és a kontinens legdélebbi területein a sugárzás eléri a $6000 \text{ MJ / m}^2\text{-t}$. Kelet felé szintén kismértékű növekedés mutatkozik, mivel az óceántól távolodva csökken a felhőzettség és a köd időtartama.

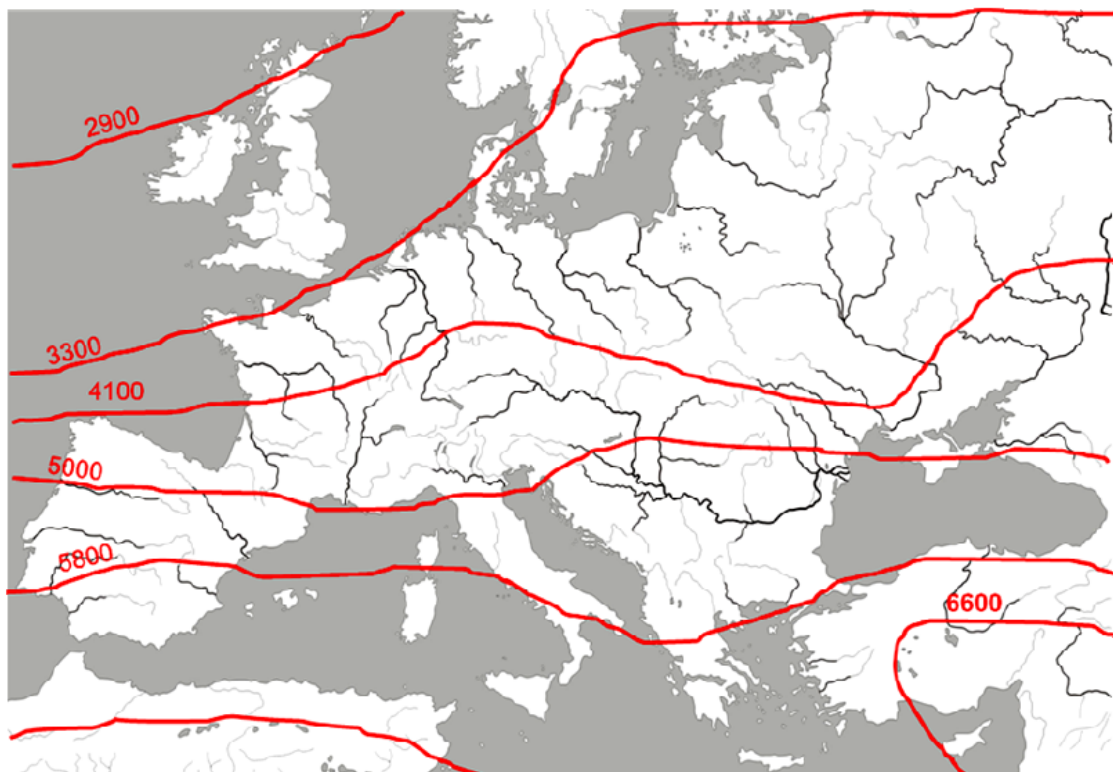
A napsütés időtartama két komponens mentén változik, egyrészt északról dél felé, valamint nyugatról kelet felé is növekszik. A napfénytartam ennek megfelelően Nyugat-Skóciában a legkevesebb, ahol évente alig 900 órát süt a nap, de a Brit szigetek sem kap több napsütést évi 1000-1400 óránál. Kelet felé Berlin-Prága vonalánál éri el az 1600 órát évente.

Skandináviában 1600 órától dél felé 2000-re nő. Skandinávia központi kontinentális részén annyi a napfénytartam, mint a magyar alföldön. Kelet-Európában 2400 órára, Európa déli szegélyén 2800 órára növekszik a napsütéses órák száma. A legmagasabb évi napfénytartam az Ibériai-félsziget déli partjain tapasztalható, ahol eléri a 3400 órát (**300. ábra**).



300. ábra: A napfénytartam évi átlagos összegének (óra) eloszlása Európában [5.2]

A globális sugárzás évi átlaga a Sarkkör vidékén 2900 MJ/m². A Hága, Stockholm, Szentpétervár vonalon 3300, míg Portó, Marseille, Róma, Bukarest, Krím-félsziget vonalán 5000 MJ / m² évente az átlagos globális sugárzás (301. ábra). Európa déli szegélye (a Földközi-tenger partvidékei) viszont már 6280 MJ meleget kap évente m²-ként.



301. ábra: A globális sugárzás évi átlagos eloszlása (MJ m⁻²) Európában [5.2]

25.2. Passzív napenergia hasznosítás

A napsugárzás az épületek homlokzati felületein, a tetőszerkezet felületein, és a nyílászárók felületein keresztül hővezetéssel, vagy hősugárzással kisebb-nagyobb mértékben mindig csökkenti az épületek fűtési hőigényét. A passzív napenergia-hasznosítás során az építészet sajátos eszközeivel tudatosan törekszünk arra, hogy a fűtési hőszükségletet minél nagyobb mértékben napenergiából fedezzük.

A napenergia passzív módon történő hasznosításakor az épület tájolása, az árnyékolási megoldások és a felhasznált építőanyagok a meghatározóak. Cseppet sem újszerű ötletekről van szó. Már a népi építészetben is megfigyelhető, hogy a tornácos házak tetőszerkezete olyan kialakítást kapott, mely a laposan érkező téli napsugárzást beengedi az ablakon, de a meredeken tűző forró nyári nap elől leárnyékolja az ablakot. Alapjában véve passzív napenergia-hasznosító a legtöbb épület. Tudatos tervezéssel, a környezeti adottságok kihasználásával, megfelelő tájolással, anyaghasználattal és építészeti kialakítással a Nap melegítő hatását és a napenergiában rejlő lehetőségeket fokozott módon ki lehet aknázni.

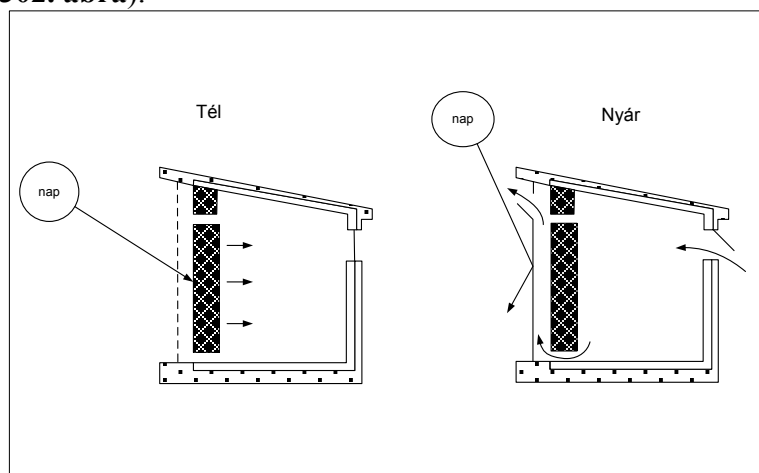
A helyiség temperálására tervezett passzív napenergia-hasznosítás nem, vagy csak kis mértékben érinti az épület fűtőberendezésének teljesítő képességét. A fűtőberendezés teljesítményét a méretezési hőszükségletnek megfelelően kell megtervezni figyelembe véve azt a ténytet, hogy napenergia hasznosítás bizonyos időszakban egyáltalán nincs.

A hasznosítás alapvető kritériumai:

- A benapozás biztosítása, vagyis a napsütés elérje a szerkezetet.
- A szerkezet legyen alkalmas a napsugárzás hasznosítására.
- A hasznosító legyen képes a hőenergia elosztására térben és időben.

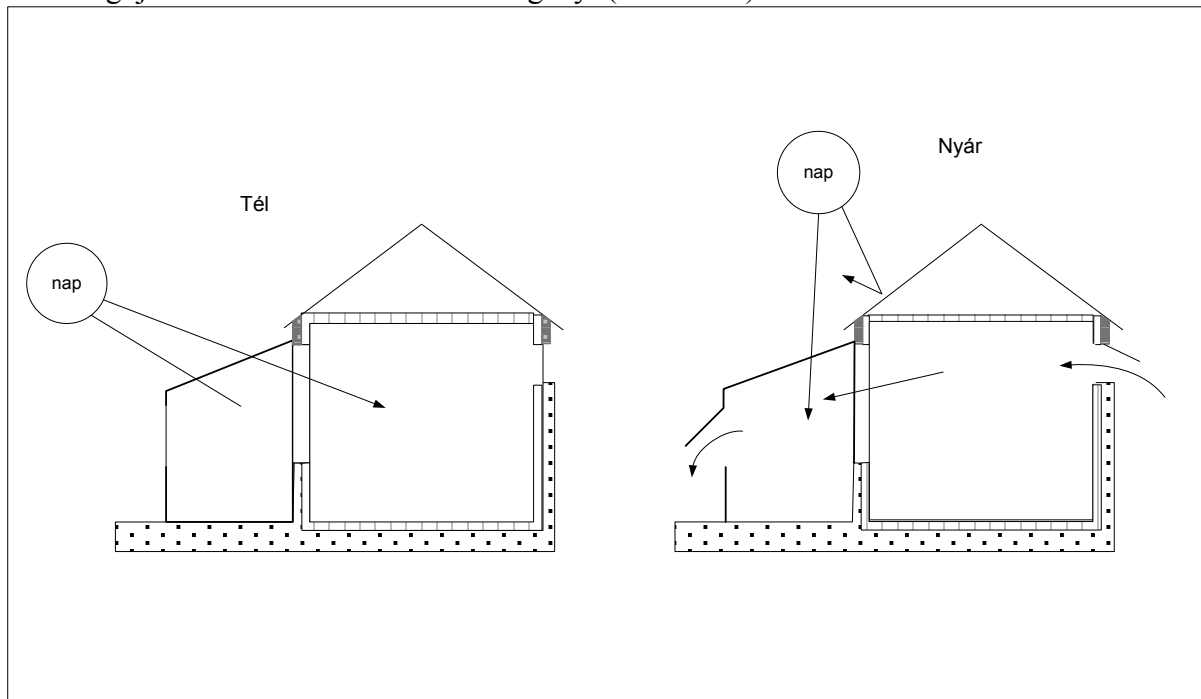
A passzív-napenergia hasznosító épületeket a működési elvük alapján három csoportba sorolhatjuk [5.3]:

1. Az ún. **közvetlen hasznosítású épületek**. A napsugárzási energia közvetlenül a fűtendő térben nyelődik el, és a meleg padlószerkezeten felmelegedett levegő közvetítésével, valamint a padló sugárzásával alakul ki a megfelelő környezeti hőmérséklet.
2. Az ún. **hasznosító tömegfalas épületek**. A tömegfal nagy falvastagságú, és nagy hőtároló képességű szerkezet, amely elválasztja a lakott teret a külső tértől, ami bizonyos védelmet jelent, de a helyiség használata szempontjából előnytelen, nehezíti az épület építészeti kialakítását (**302. ábra**).



302. ábra: Napház tömegfallal [5.4]

3. Az ún. **hasznosító előtét üvegházás épületek**. Az előtét üvegház önálló energetikai egység, amely nagy üvegfelületein keresztül jelentős napenergiát képes elnyelni, amely a kapcsolódó fűtendő térben könnyen hasznosítható. Természetesen napsugárzás nélkül nagy a hővesztesége is, így állandó lakótérként való használata korlátozott. A járulékos tér a fűtendő helyisége hőszigetelését is jelenti, amely összeadódik a lakott tér határolójának hőszigetelő képességével. Az üvegezett tér jelentősen csökkenti a szél hatását, és előfűtött levegője csökkenti a szellőztetési hőigényt (**303. ábra**).



303. ábra: Napház előtét üvegházzal [5.4]

Passzívház: A passzívház olyan épület, melyben kellemes hőmérséklet uralkodik télen külön fűtési rendszer, nyáron pedig légkondicionáló berendezés nélkül, extrém alacsony energiaráfordítás mellett. A fűtési hőszükséglet $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{év})$ -re, a primerenergia-felhasználás, beleértve a használati melegvíz előállítását és a háztartási áramot is, pedig $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{év})$ -re korlátozódik [[5.5]].

Ez annak köszönhető, hogy a passzívház extrém jó hőszigeteléssel rendelkezik, mind a falak, az aljzat és a tető, mind pedig a nyílászárók tekintetében. Ezáltal a passzívház hővesztesége csak töredékét teszi ki egy hagyományos házénak. A hőveszteségek minimalizálása érdekében a kiváló hőszigetelés alkalmazása mellett különös figyelem esik a hőhídmentes és légtömör szerkezet kialakítására, valamint a ház energiaháztartásának figyelembevételére már az építészeti tervezés során.

A szellőztetés egy passzívházban mindig kontrollált módon, hővisszanyerővel ellátott légkomfort szellőztető berendezéssel történik. Így egyrészt folyamatosan biztosított a kiváló levegőminőség a lakáson belül, másfelől a szellőztetési hőveszteség is a töredékére csökkenthető.

A passzívházban fellépő összes hőveszteség olyan minimális, hogy annak pótlásához nincs szükség külön fűtési rendszer kiépítésére, a fűtés jelentős részét a házban jelenlévő passzív energiaforrások biztosítják. Legfőbb passzív energiaforrás az ablakokon keresztül beérkező napfény, valamint a gépek és a bentlakók által leadott hő. Ezek a passzív energiaforrások - kombinálva a házból eltávozó, elhasznált levegőből visszanyert hőenergiával- képesek lefedni egy passzívház szinte teljes fűtési energiaszükségletét. Plusz hőt az egyébként is jelenlévő

szellőztető rendszeren keresztül lehet bevinni.

Egy passzívház fűtési energiaszükséglete 80-90 %-kal kevesebb, mint egy hagyományos házé és 60-75 %-kal kevesebb, mint egy alacsony energiaszintű házé. Egyetlen passzívház évente tonnás nagyságrenddel kevesebb széndioxid-kibocsátást okoz, mint egy hagyományos ház. 2008 végéig mintegy 16.000 passzívház épült világszerte, egyre több régió támogatja aktívan a passzívház szabvány alkalmazását.

A passzívház komponensek és a passzívházak mértékadó kritériumait a Passivhaus Institut, (Dr. Wolfgang Feist) (PHI) határozza meg.

- Komponensek, mint az üvegezés, ablakok, ajtók, légkormányozó berendezések és csomópontok, melyeket a PHI "Passzívházhoz alkalmas komponens" (németül "Passivhaus geeignete Komponente") minősítéssel illet, teljesítik az adott komponensre vonatkozó kívánalmakat. A minősített passzívház komponensek rendelkeznek azon technikai paraméterekkel, melyek az épületek energiamérlegének a kiszámításához szükségesek.
- Épületek, melyek rendelkeznek a PHI vagy az általa erre feljogosított intézmény által kiállított "Minőségvizsgált passzívház" (németül "Qualitätsgeprüftes Passivhaus") minősítéssel, teljesítik a fent említett kritériumokat. Gondos kivitelezést feltételezve várható, hogy a kiszámolt energiaszükségletek rendeltetésszerű lakáshasználat mellett a valóságban is elérésre kerülnek.

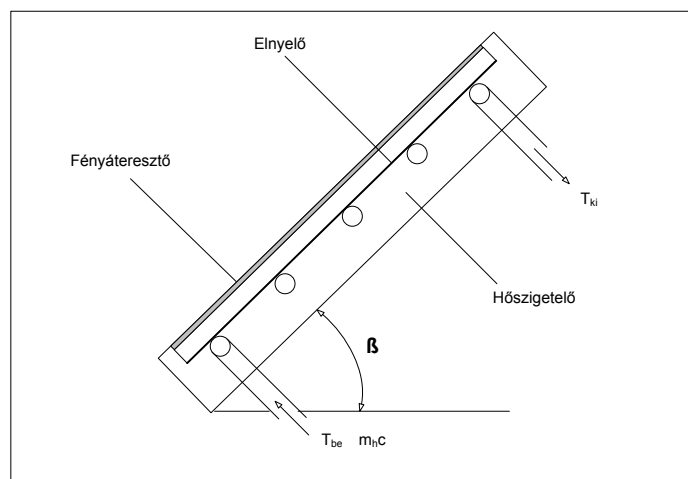
25.3. Aktív napenergia hasznosítás

Az aktív napenergia hasznosítás során aktív hasznosító eszközökkel alakítjuk át a Nap energiáját végenergiává. Az aktív napenergia hasznosításnak két alapvető fajtája terjedt el. Az első esetben a Nap energiáját egy berendezésben (a napkollektorban) közvetítő közeg segítségével hőenergiává alakítjuk át, amelyet épületgépészeti eszközökkel hasznosítunk, ezek az ún. **napkollektoros rendszerek**. A második esetben pedig a Nap energiáját közvetlenül elektromos energiává alakítjuk át a berendezésben (a napelemben), amelyet elektrotechnikai eszközökkel hasznosíthatunk. Ezek az ún. **napelemes rendszerek**.

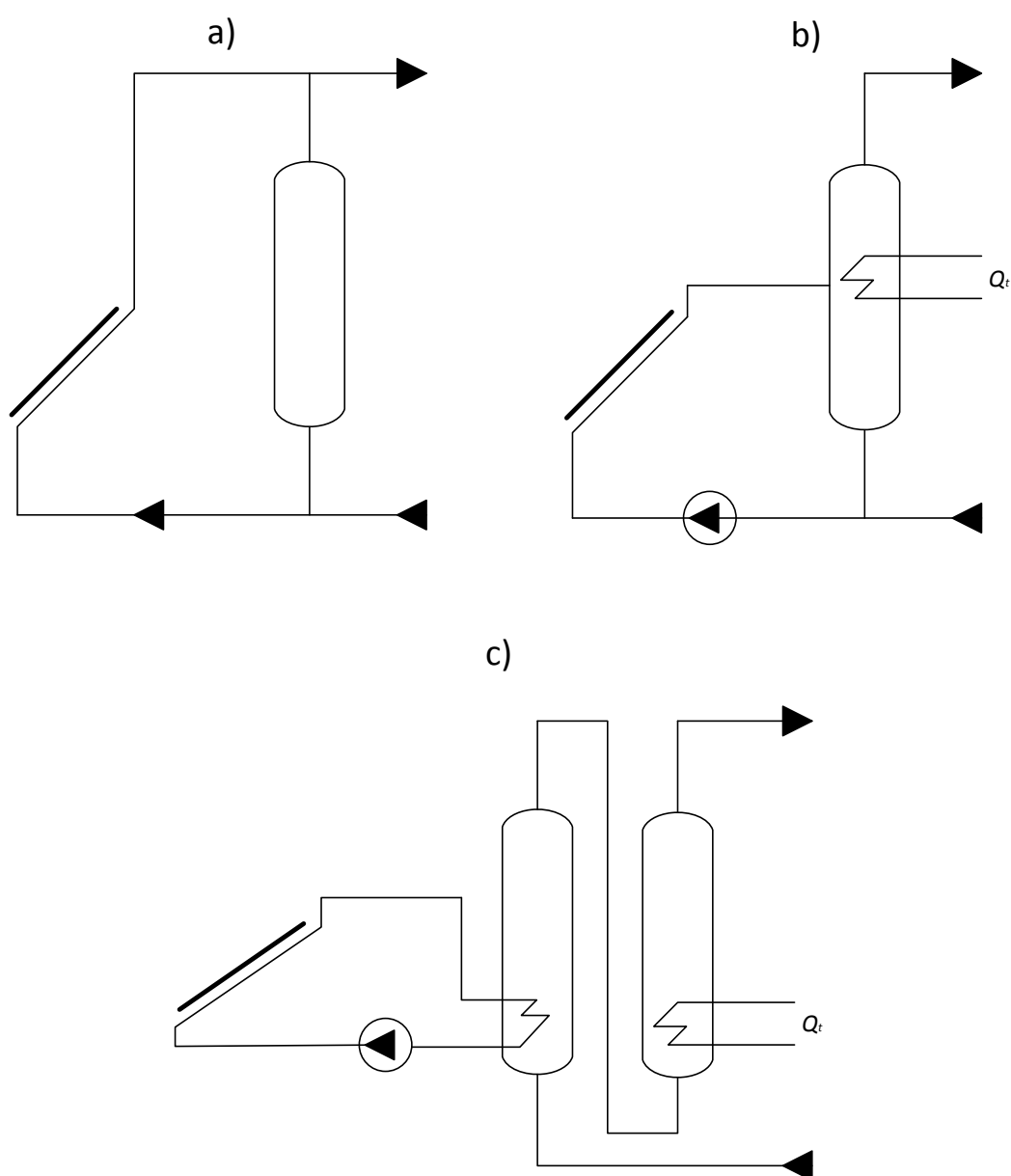
Napkollektoros rendszerek.

A napkollektoros rendszerek alapeleme a napkollektor, amelynek részei az **304. ábra** láthatjuk [5.5].

A **fényáteresztő** lemez feladata a napsugárzás áteresztése a lehető legkisebb veszteséggel, és a hőszigetelés biztosítása az elnyelő (abszorber) és a környezet között. A fedőlemez készülhet üvegből és műanyagból. Az **elnyelő lemez** (abszorber) feladata a napsugárzás elnyelése és hővé alakítása, valamint a hő átadása a hőhordozó közegnek. A **hőszigetelő** korlátozza a kollektor hátoldali veszteségét. A **hőhordozó közeg** lehet levegő, víz, vagy más fagyálló közeg. A légfűtés előnye, hogy nincs fagyveszély, fűtésre közvetlenül felhasználható, hátrány a levegő kis sűrűsége és kis hőátadási tényezője. A víz hőhordozó közeg esetén a felmelegített vizet akár közvetlenül is hasznosíthatjuk használati melegvíz ellátási, vagy fűtési célra (**305. ábra**), esetleg kiegészítő forrás felhasználásával (**305. ábra**), hátránya a fagyveszély. A **305. ábra** fagyálló hőhordozó közegként való alkalmazására mutat példát két hőtároló tartály felhasználásával, amely során az elsőben a napenergia melegíti a napsugárzás intenzitásának megfelelően, a másodikban viszont egy kiegészítő hőforrás fűt a kívánt mértékig.

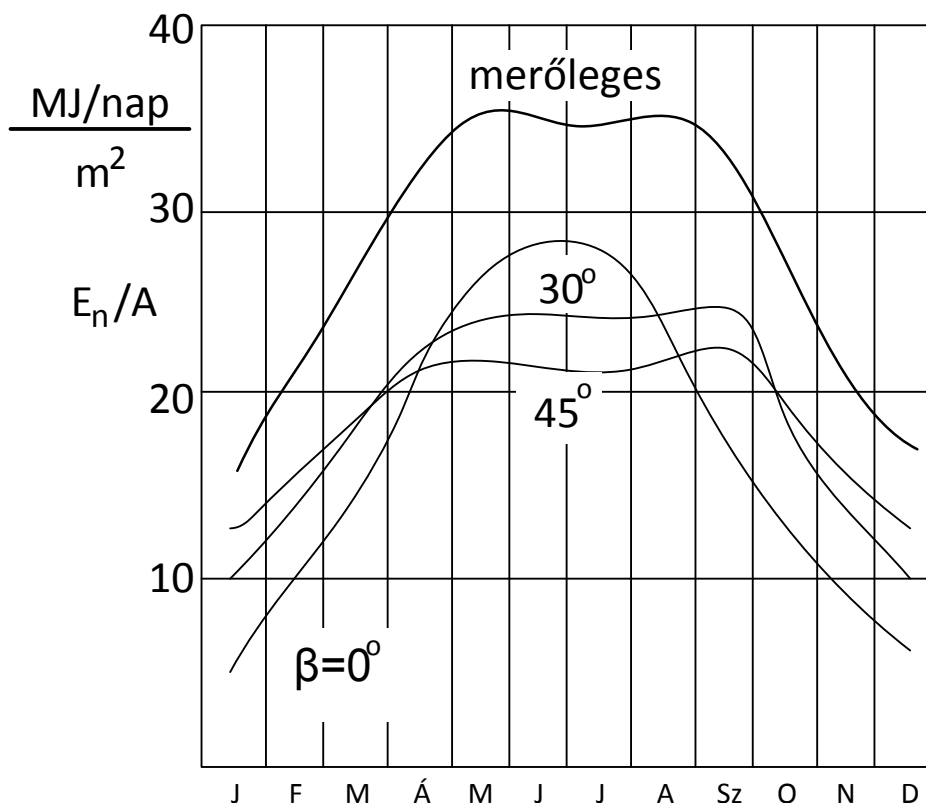


304. ábra: Napkollektor részei [5.5]



305. ábra: Napkollektoros hasznosító rendszerek [5.5]

A napkollektor energia hasznosítását befolyásolja a kollektor szögállása, melynek hatását a **306. ábra** szemlélteti. Optimális megoldás esetén a kollektor felülete merőleges a napsugárzásra. Rögzített kollektor esetén nyáron a vízszintes elrendezés a kedvező, de télen ez a legkedvezőtlenebb. A dőlésszög növelésével a nyári hasznosítás mértéke csökken, de a téli növekszik, így a hasznosítás kiegyenlítődik.



306. ábra: A napkollektorok havi sugárzásnyeresége a dőlésszög függvényében. [5.5]

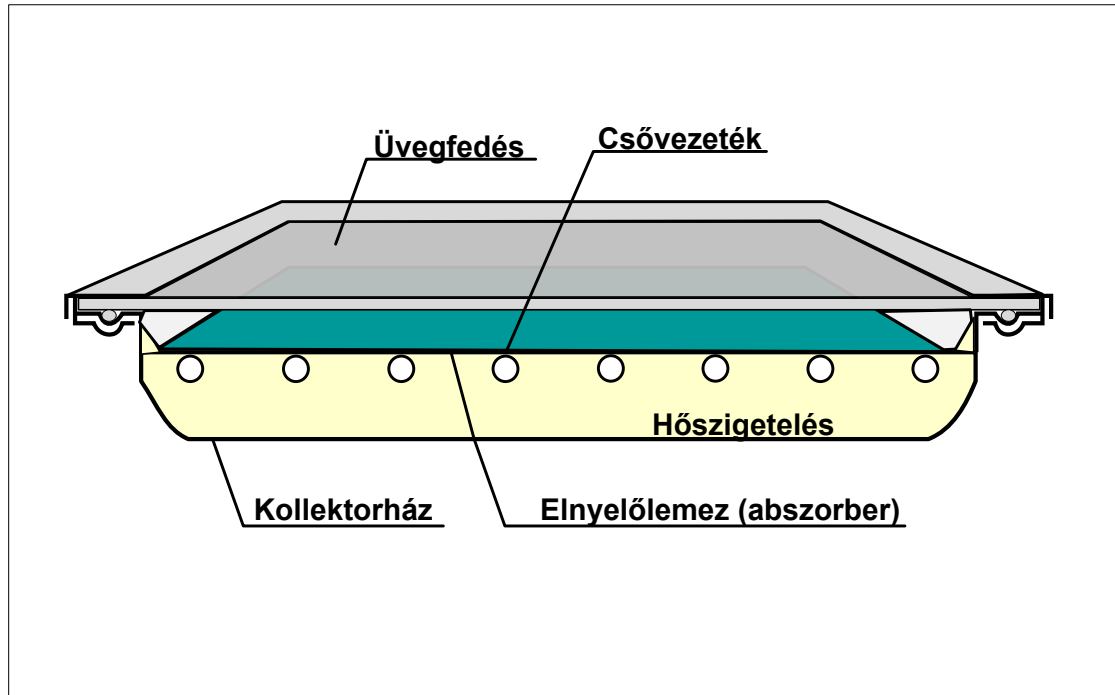
A kollektorok energetikai hatékonyságát az jellemzi, hogy az A felületű napkollektor E_n napsugárzás intenzitás mellett mekkora \dot{Q} hőteljesítményt tud a hőhordozó közegnek átadni. A kollektor hatásfoka [5.5]:

$$(5.1) \quad \eta = \frac{\dot{Q}}{AE_n} = \frac{\dot{m}_h c (T_{ki} - T_{be})}{AE_n},$$

ahol: $\dot{m}_h c$ a hőhordozó közeg hőkapacitásárama, T_{ki} , ill. T_{be} a hőhordozó közeg ki- és belépő hőmérséklete.

Kollektor típusok:

- **Nem szelektív síkkollektorok:**



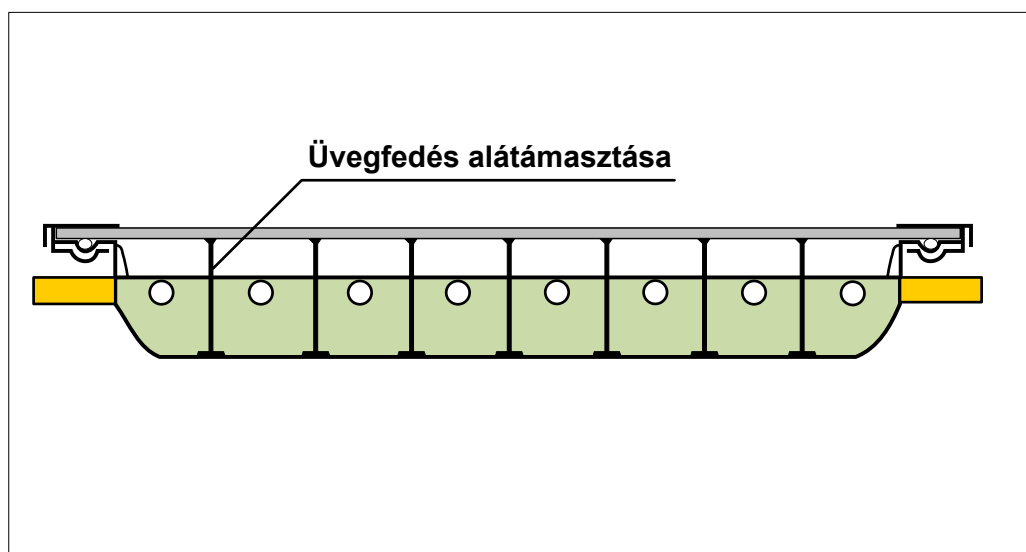
307. ábra: Síkkollektorok felépítése [5.6]

Üveg, vagy polikarbonáttal fedett, nem szelektív abszorberes (307. ábra) kollektor. Könnyen elkészíthető, viszont a szelektív síkkollektorokéhoz képest rosszabb a hatásfoka.

- **Szelektív síkkollektorok:**

Ez a legelterjedtebb kollektor típus, világviszonylatban 90%-ot tesz ki az eladási adatokat figyelembe véve. A kollektor abszorberre szelektív bevonatú (speciális NiO szelektív hőelnyelő bevonat), és általában egyszeres üvegfedéssel készül.

- **Vákuumos síkkollektor:**



308. ábra: Vákuumos síkkollektor [5.6]

A kollektor szerkezeti felépítése (**308. ábra**) annyiban különbözik a hagyományos síkkollektorétól, hogy pontszerű támaszokat alkalmaznak az üvegfedés megtámasztására, a fényáteresztő üveglemezt terhelő vákuum szívó hatásának megakadályozására.

- **Vákuumcsöves kollektorok:**

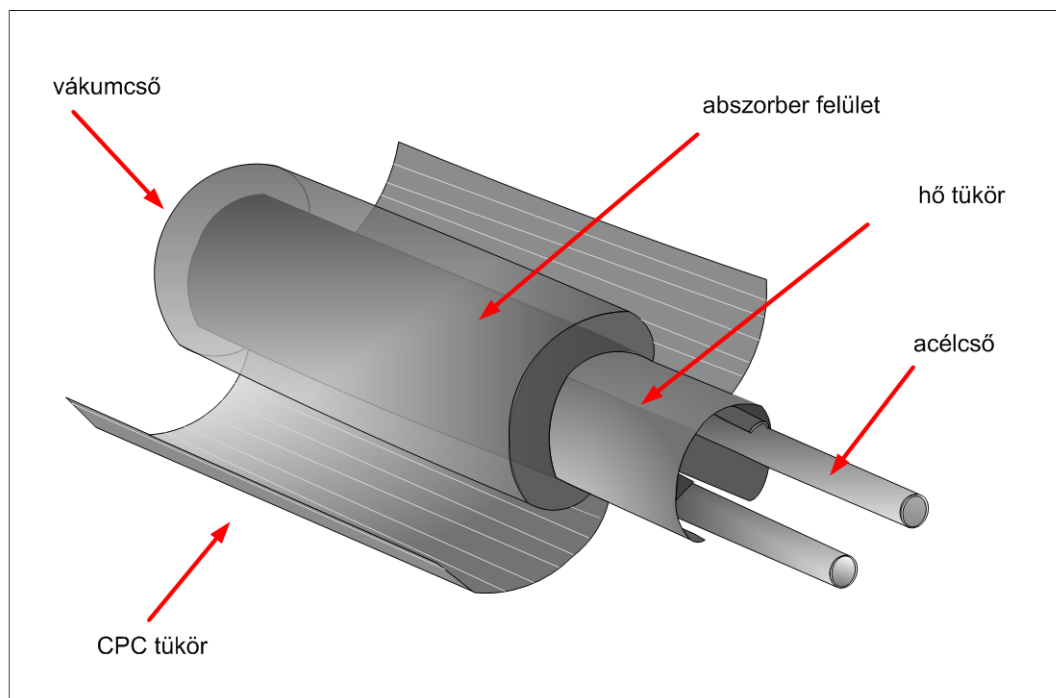
Ennél a típusnál a hőátadó közeg kettős falú – vákuumos – üvegcsőben kering. A vákuumcsövek két-, a végeinél zárt, koncentrikus üvegcsőből állnak, hasonlóan a háztartási termoszhoz. Az üvegcsővek között magas vákuum van, amely a hőszigetelést biztosítja. A belső üvegcső teljes felülete szelektív hőelnyelő anyaggal, alumínium - nitrittel bevont abszorber. A vákuumcső belső falára préselt hőelvezető lemezen lévő U alakú rézcsőben áramlik a hőátadó folyadék. Az U csövek a hőszigetelt gyűjtődobozban csatlakoznak az osztó-gyűjtő csövekhez.

A vákuumcsövek alatti kettős parabola tükör az abszorberre koncentrálja a kedvezőtlen szögű és szórt napsugárzást (**309. ábra**). Az egyes csövek, a parabola tükörök és a gyűjtődobozok összeépítve alkotják a vákuumcsöves kollektorokat (**310. ábra**). A kollektorban felmelegített hőátadó anyag hőcserélőkön keresztül melegíti fel a közvetlenül felhasználódó vizet a különféle napenergia hasznosító rendszerekben. Legfőbb előnye, a különösen magas energiahozam, összehasonlítva a hagyományos síkkollektorokkal.

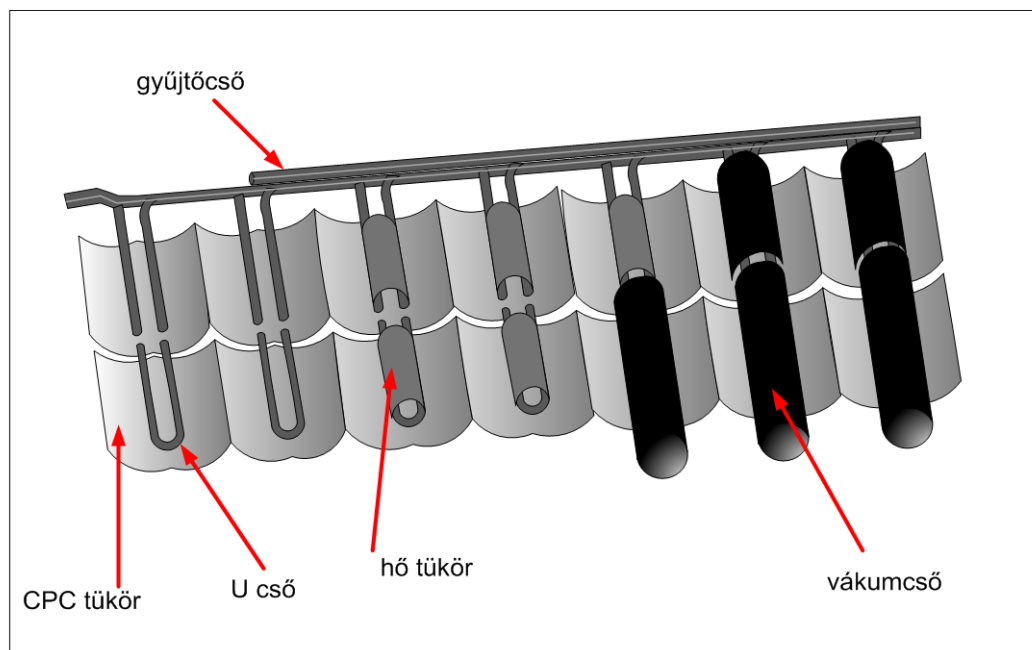
A hengeres abszorber felület és a CPC koncentrátor (Compound Parabolic Concentrator) a mindenkori napálláshoz és sugárzási viszonyokhoz optimális helyzetet biztosít. Kevésbé irányérzékeny, így ferde tetők mellett lapos tetőkre és homlokzatokra is felszerelhető.

A vákuumcsövek hatékonyan csökkentik a napkollektorok hőveszteségét; a vákuum jó hőszigetelése miatt télen is jó hatásfokkal működnek. A hőátadó közeg közvetlenül a vákuumcsövekben melegszik fel, direkt áramlással, hőcserélő nélkül. Nagy üzembiztonság és hosszú élettartam jellemzi az alkalmazott nemes anyagok és a korszerű technológia miatt.

Ideálisan alkalmazható alacsony hőmérsékletű fűtési rendszereknél fűtés rásegítésre.



309. ábra: Vákuumcső szerkezeti elemei [5.7]



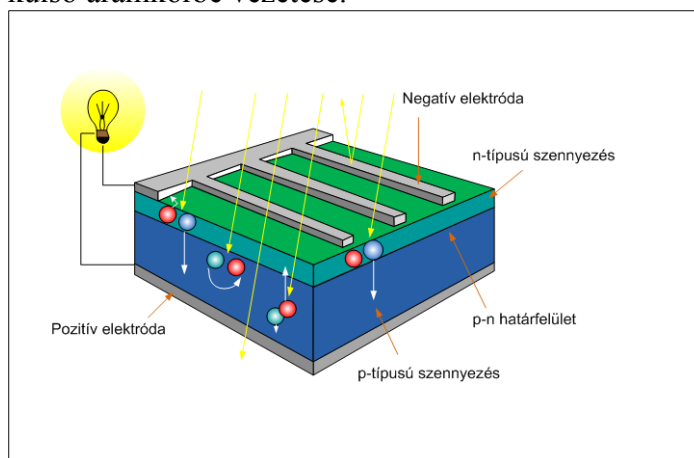
310. ábra: Vákuumcsöves kollektor szerkezete [5.7]

Napelemes rendszerek [5.2].

A napelemek olyan szilárdtest eszközök, amelyek a fénysugárzás energiáját közvetlenül egyenáramú villamos energiává alakítják. Az energiaátalakítás alapja, hogy a fény elnyelődésekor mozgásképes töltött részecskéket generál, amiket az eszközben az elektrokémiai potenciálok, illetve az elektron kilépési munkák különbözőségéből adódó beépített elektromos tér rendezett mozgásra kényszerít.

Egy másik meghatározás szerint a fotovillamos elem vagy napelem olyan eszközt jelöl, amely fénysugárzás hatására villamos generátorként viselkedik. Sokféle fotovillamos elem létezik, de a legelterjedtebb a szilícium félvezetőn alapuló elem, amit 50 éve, 1954-ben találtak fel. A napelem fényt alakít villamos energiává (311. ábra). Általában ez egy három lépésből álló folyamat:

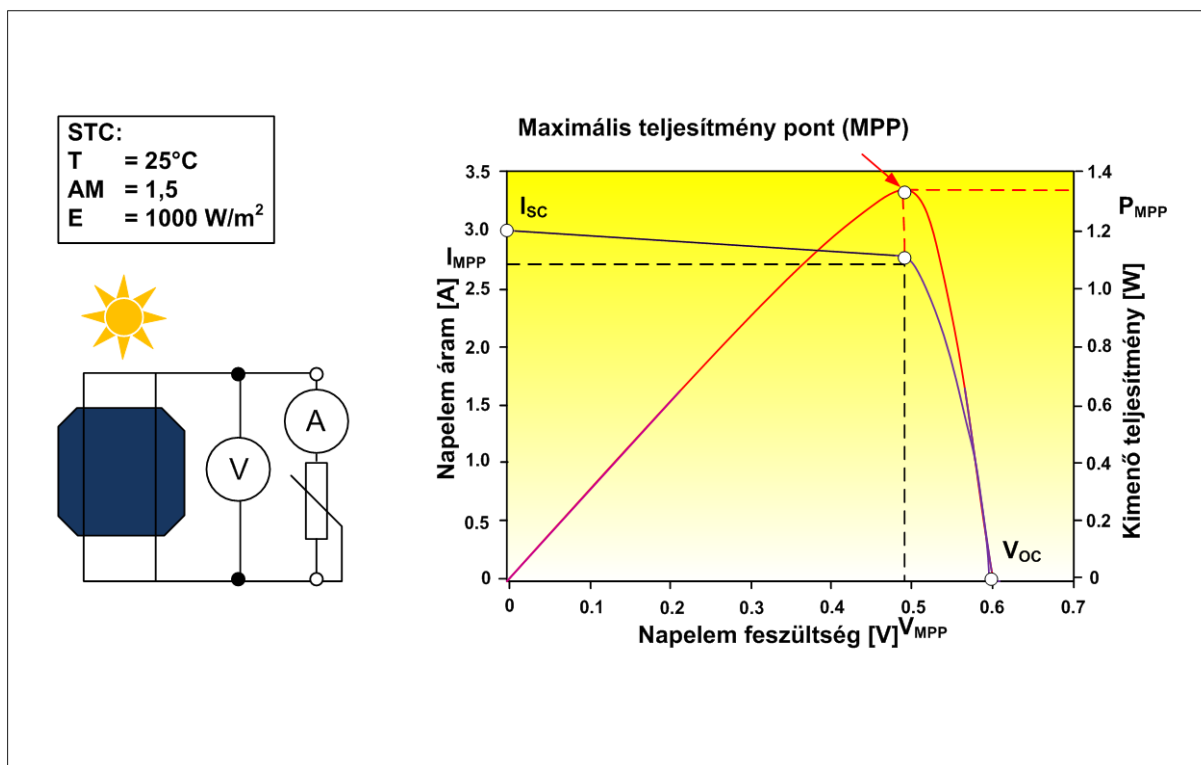
1. fényelnyelés, az elektronok gerjesztett állapotba kerülnek,
2. a pozitív és negatív töltések lokális szétválasztása,
3. a töltések külső áramkörbe vezetése.



311. ábra: Kristályos szilícium napelem keresztmetszete[5.2]

Mivel a napelemet az adott fényviszonyok esetén a lehető legnagyobb villamos teljesítmény termelésére szeretnénk használni, a kinyerhető teljesítmény szempontjából hasznos áttekinteni

az elektromos áram-feszültség (I-V) karakterisztika görbéit. Ha a napelem aktuális állapotát jellemző működési pontot (a külső terhelő ellenállás megváltoztatásával) eltoljuk az I-V mentén, a külső terhelésen felszabaduló teljesítmény kiszámolható a működési ponthoz tartozó feszültség és áram értékek szorzataként. Ez látható a **312. ábra** grafikonján. A teljesítménygörbének egy adott pontban, a maximális teljesítmény pontban (MPP) maximuma van. Erre a pontra jellemző értékek a maximális teljesítmény (P_{MPP}), a maximum pontbeli áram (I_{MPP}) és a maximum pontbeli feszültség (V_{MPP}).



312. ábra: A napelem által generált teljesítmény a működési pont függvényeként [5.2]

A hatásfok (η) a napelem legfontosabb jellemzője azt mutatja meg, hogy a beeső fény teljesítményének hányad részét alakítja át a napelem villamos energiává.

$$\eta = \text{a generált villamos teljesítmény} / \text{beeső fény teljesítménye}$$

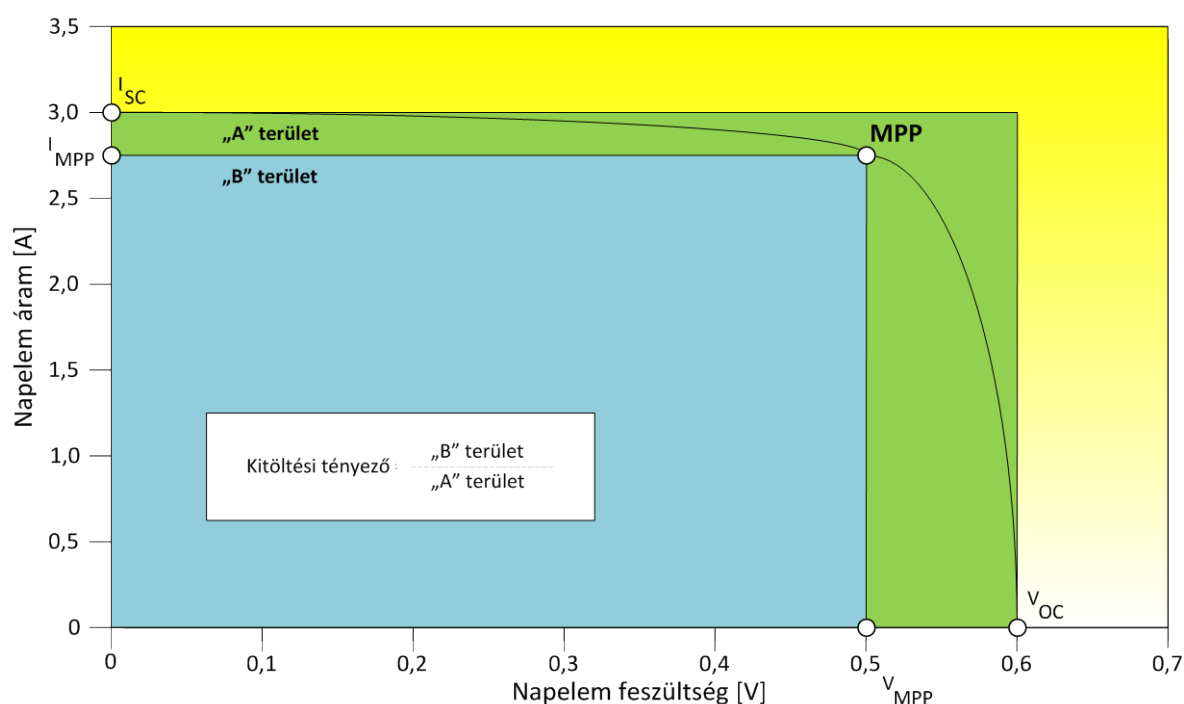
Mivel η értékét sokszor százalékosan fejezik ki, a fenti érték ekkor még százzal szorzandó. A elem maximális teljesítménye a maximális teljesítmény pontban (MPP) mérendő, ezt az értéket használják a hatásfok megadásához. Ahogy azt már említettük, a napelem villamos paraméterei a megvilágítástól és a hőmérséklettől is függenek. Általánosan elmondhatjuk, hogy a hatásfok a hőmérséklet növelésével csökken, de a csökkenés mértéke a napelem anyagától függ.

A napelemek különféle anyagokból készülnek, és ezen anyagok különböző elnyelési spektrumúak. Vannak olyan anyagok, amelyek a kék fény hullámhossz tartományába eső sugarakat nyelik el a legjobban, de vannak olyanok, amelyek a zöld, a piros, sőt az infravörös tartományt hasznosítják jobban a Nap spektrumából. Emiatt a besugárzott fény spektrumának definiálása szintén fontos a napelem mérése szempontjából. Összegezve három olyan paraméter van amit a napelem méréskor ismernünk kell: **a hőmérséklet, a besugárzás (fényintenzitás) és a fény spektruma**. Mivel a napelemek világviszonylatban is

összehasonlíthatóak kell, hogy legyenek, szabványosított vizsgálati körülményeket (STC) definiáltak, amit a hitelesítésben részt vevő intézetek mind elfogadtak és alkalmaznak. Ezek a következők:

- Hőmérséklet: 25 °C
- Besugárzás: 1000 W/m²
- Fényspektrum: 1,5 AM (a függőlegessel 30°-ot bezáró szögben a légkörön átjutó napfény spektruma)

A szabványosított vizsgálati körülmények (STC) között mért maximális teljesítményt csúcsteljesítménynek nevezik, aminek az egysége csúcs-watt (angol: peak-Watt , rövidítve: W_p). A csúcsteljesítmény név félrevezető, mert azt sugallja, hogy ez az elem abszolút maximuma. Ez pedig nem igaz, mert például nagyobb besugárzással, vagy 25 C°-nál alacsonyabb hőmérséklet esetén nagyobb teljesítményszint is elérhető.



313. ábra: A kitöltési tényező definíciója [5.2]

Egy napelem jellemző adatai a **313. ábra** láthatók. A teljesítmény egy idealizált felső határa az A területtel jellemezhető (V_{OC} és I_{SC} szorzatával), míg a tényleges maximális teljesítmény a B területtel, (V_{MPP} és I_{MPP} szorzatával). Az A és B területek hányadosaként egy új jellemzőt, a kitöltési tényezőt (FF) definiálhatjuk:

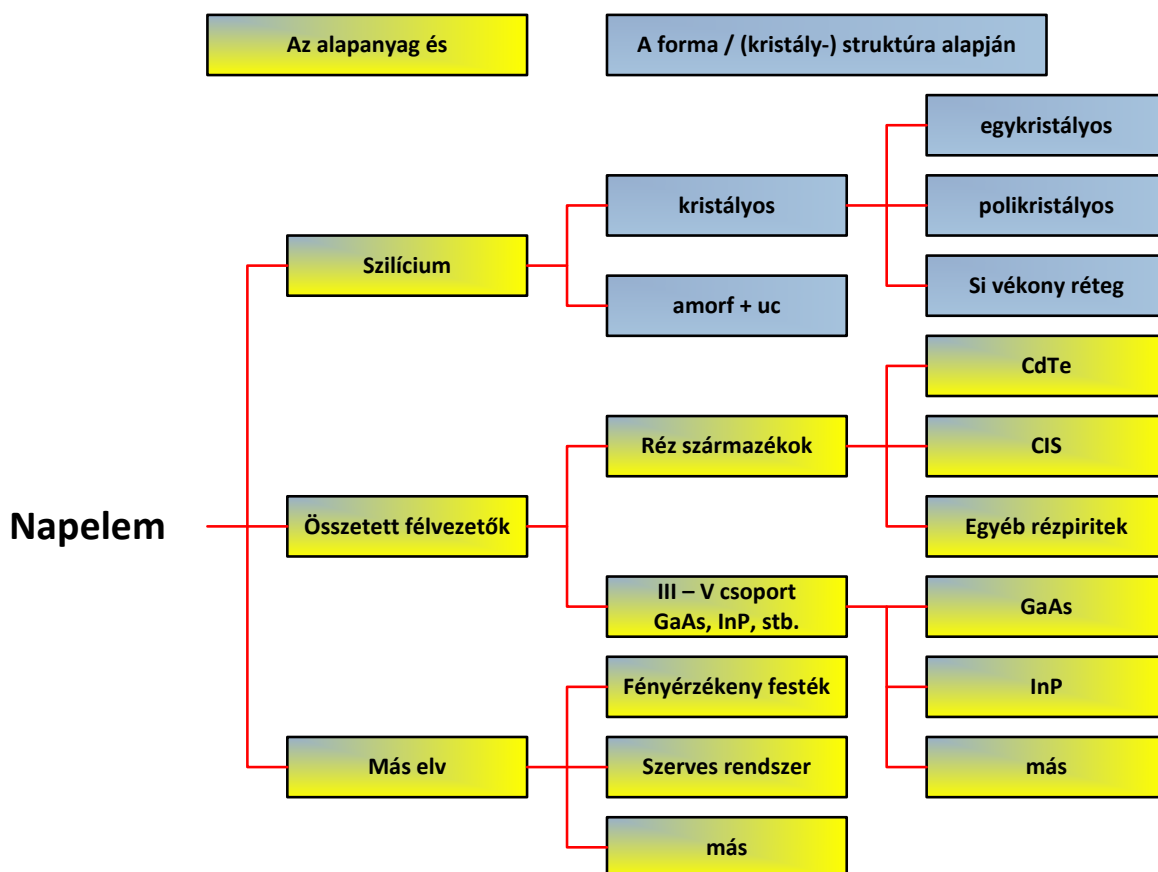
$$(5.2) \quad FF = (V_{MPP} * I_{MPP}) / (V_{OC} * I_{SC}) \text{ vagy } FF = P_{max} / (V_{oc} * I_{sc})$$

A kitöltési tényező a napelem fontos jellemzője. A napelem belső veszteségeit írja le és az alkalmazott anyagok és gyártási eljárások minőségét jellemzi. A jónak számító kitöltési tényező 0,85 körül van egykristályos szilícium esetén, de vékonyréteg napelemek esetén 0,7 vagy ennél kisebb érték is lehet.

Sokféle félvezető használható fel napelem gyártásra, és manapság sokféle anyagot, szerkezetet és gyártástechnológiát fejlesztenek is. A különböző technológiák értékelésére több feltétel teljesülését kell vizsgálnunk, amelyek közül a legfontosabbak:

- nagy hatásfok lehetősége,
- a felhasznált anyagok rendelkezésre állása,
- az anyagok elfogadható ára,
- alacsony termelési költségű technológiai lehetősége,
- termék időbeli stabilitása (évtizedek),
- környezetbarát termék és a termelési technológia.

Manapság a piacon a szilícium alapanyagú napelemek dominánsak, kristályos szilícium a szelet technológiával készült cellákban és amorf szilícium a vékonyréteg technológia esetén. Ennek ellenére több olyan ismert anyag van, amely potenciálisan csökkenti az árát és jó eséllyel kap szerepet a jövőben a vékonyréteg technológiában. A legfontosabb anyagok a **314. ábra** láthatóak.



314. ábra: A napelemek gyártásában használatos anyagok [5.2]

A legtöbb napelemet kristályos szilíciumból készítik, és ezek felépítése nagyon hasonló a szilícium alapú eszközök, például az egyenirányító diódák felépítéséhez. A technológia szilícium lemezeket használ, s emiatt **szelet technológiának** nevezik. Az előnye, hogy önhordó, hátránya, hogy nagy mennyiségű, drága, félvezető minőségű alapanyag kell hozzá.

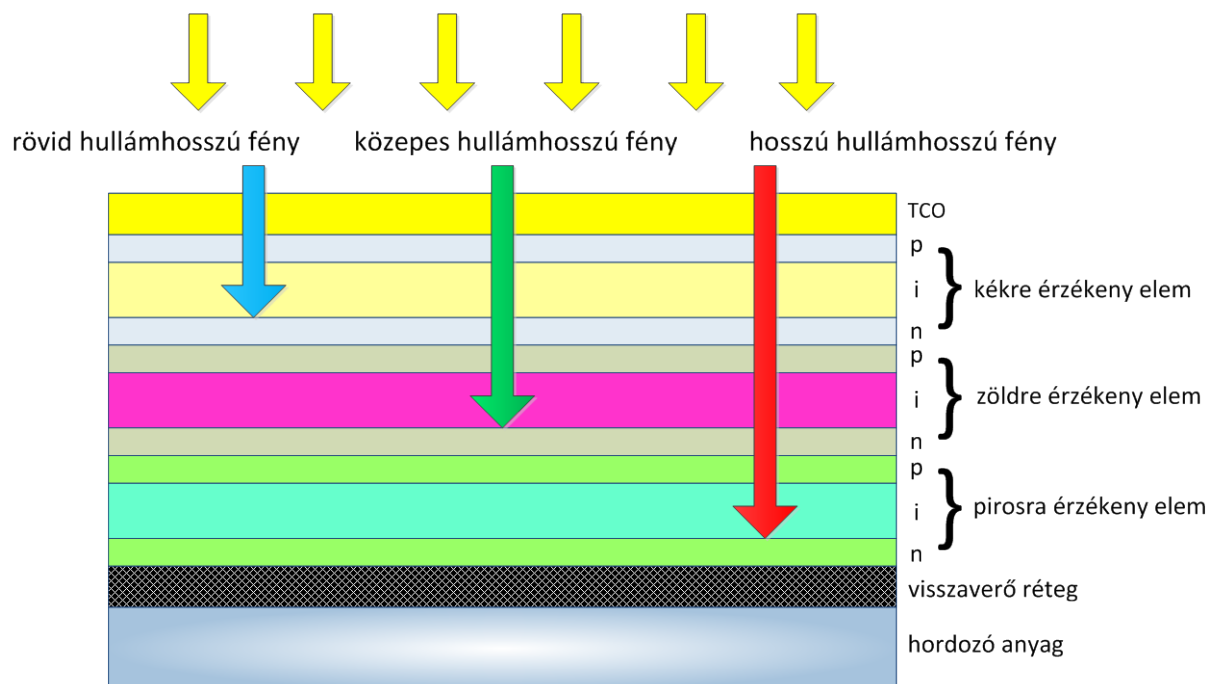
A **vékonyréteg technológiával** készült napelemekhez csak nagyon vékony réteg (néhány μm) félvezető anyag kell, és a hordozóanyag általában nagyon olcsó, pl. (nátron) üveg. A vékonyréteg technológiának számos előnye van: nagy felületű félvezető réteget lehet

kristályosítani egyidejűleg, és a félvezetőnek a szigetelő felületen való kristályosítása lehetővé teszi az úgynevezett *monolitikus integrációt*. Ezen technológia során a napelemet kis egyedi elemekre osztják és egy háromlépéses (elválasztás és kristályosítások egymásutánja) eljárásban a különálló elemeket sorba kötik. Ez a módszer nagy változatosságot tesz lehetővé adott villamos paraméterű modulok gyártására.

Még egy különbség van a szelet és a vékonyréteg technológiával készült napelemek között. A szilícium napelemek pn átmenetét általában egy adalék anyag diffúziójával hozzák létre az alapanyag felületében. A vékonyréteg technológiánál a különböző rétegek egymást követő kristályosításával hozzák létre a határrejteget, sokszor különböző anyagokat használva az átmenetekben (*hetero átmenet*).

A vékonyréteg technológiánál kétféle lehetőség van az átlátszó elektródák kialakítására, az alap- vagy fedőréteg. Ha az alapréteg nem átlátszó (fémréteg vagy hátsó fémkontaktus), az első kontaktusnak kell átlátszónak lennie. A legtöbb esetben ezt állandó oxid réteggel valósítják meg az elem felső lapján, amit átlátszó üveglap véd (*hordozó alaplap technológia*). Ha az alap átlátszó, valamilyen okból kifolyólag (átlátszó oxiddal borított üveglap), az elemet kikristályosítják, és átlátszatlan fémlappal fedik. Ezután az elrendezést megfordítják és az addigi alapon átjön a fény (*hordozó fedőlap technológia*).

A nap spektruma sokkal szélesebb, mint egy félvezető abszorpciós sávja, ez az egyik oka a napelemek behatárolt hatásfokának. A **315. ábra** megoldást mutat erre a problémára: különböző anyagok kombinációjából felépített elem sokkal jobban tudja abszorbeálni a fényt, mint egy egyszerű elem. Az elemek kombinálására különböző technikákat dolgoztak ki a mechanikai összeillesztéstől (egymásra helyezéstől) a különféle elemeknek a rétegenkénti kristályosításáig egyazon hordozóra.



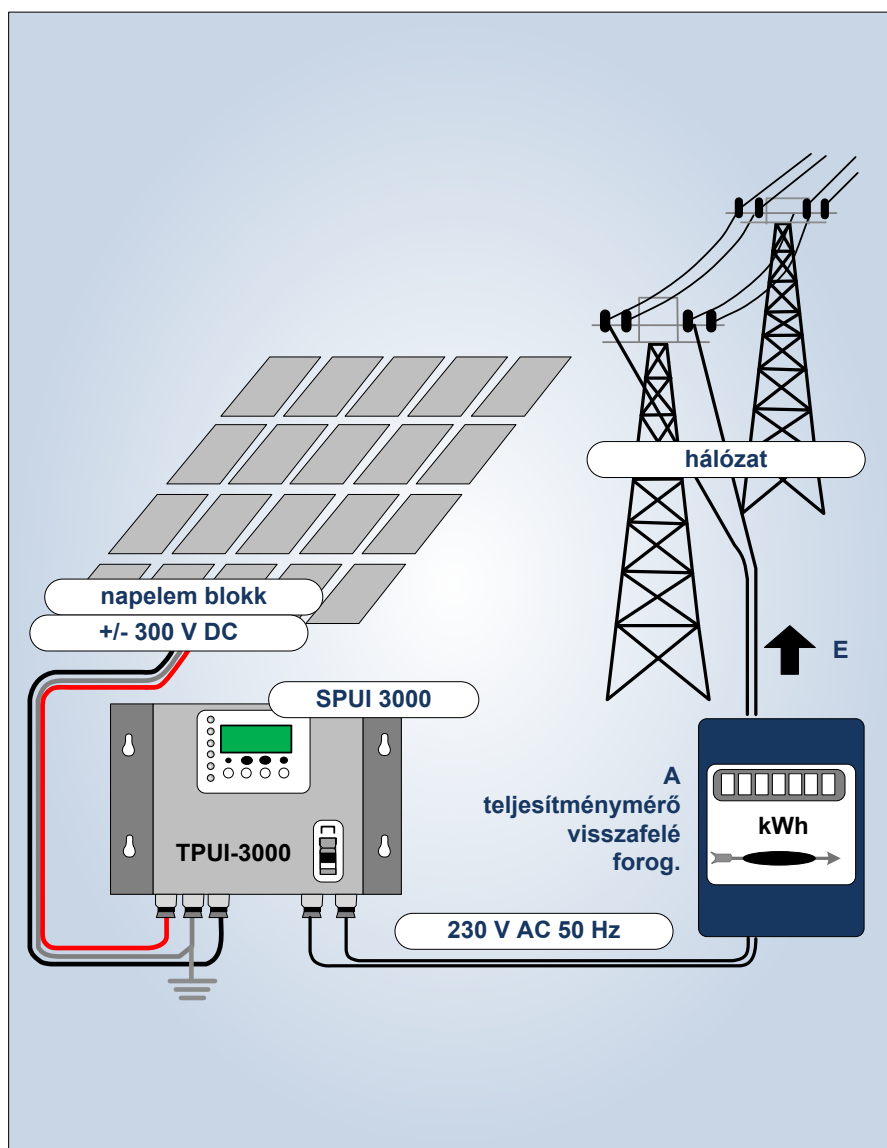
315. ábra: Háromrétegű amorf szilícium napelem [5.2]

Az optimális besugárzásra beforgatott napelem-modul sem fog mindig teljesítményt szolgáltatni, mivel a besugárzás mértéke több okból is változhat, lecsökkenhet (pl. lemegy a Nap vagy eltakarják a felhők stb.).

Mivel a fogyasztóinkat folyamatosan szeretnénk üzemeltetni, viszont a napelem nem tud folyamatosan energiát biztosítani, valamilyen átmeneti energiatároló puffert kell

alkalmazunk a rendszerben, amivel áthidalhatjuk az alacsonyabb napfény-intenzitású időszakokat. A villamos energia hasznosításának egyik útja, amikor **invertert** alkalmazunk. Az inverter a napelem egyenáramát váltakozó árammá alakítja át, és visszatáplálja a hálózatba. A visszatáplálás természetesen a hálózat periódusával szinkronizálva lehetséges. A problémát jelent a begyűjtött villamos energia tárolása. Ennek az az oka, hogy az energiát sokszor éppen akkor szeretnénk felhasználni, amikor az a napsugárzás hiánya miatt nem áll rendelkezésre, vagy fordítva, akkor van energiahozam, amikor nincs igény a felhasználásra. A napelemek által szolgáltatott villamos energiát legegyszerűbben **akkumulátorokban** tárolhatjuk.

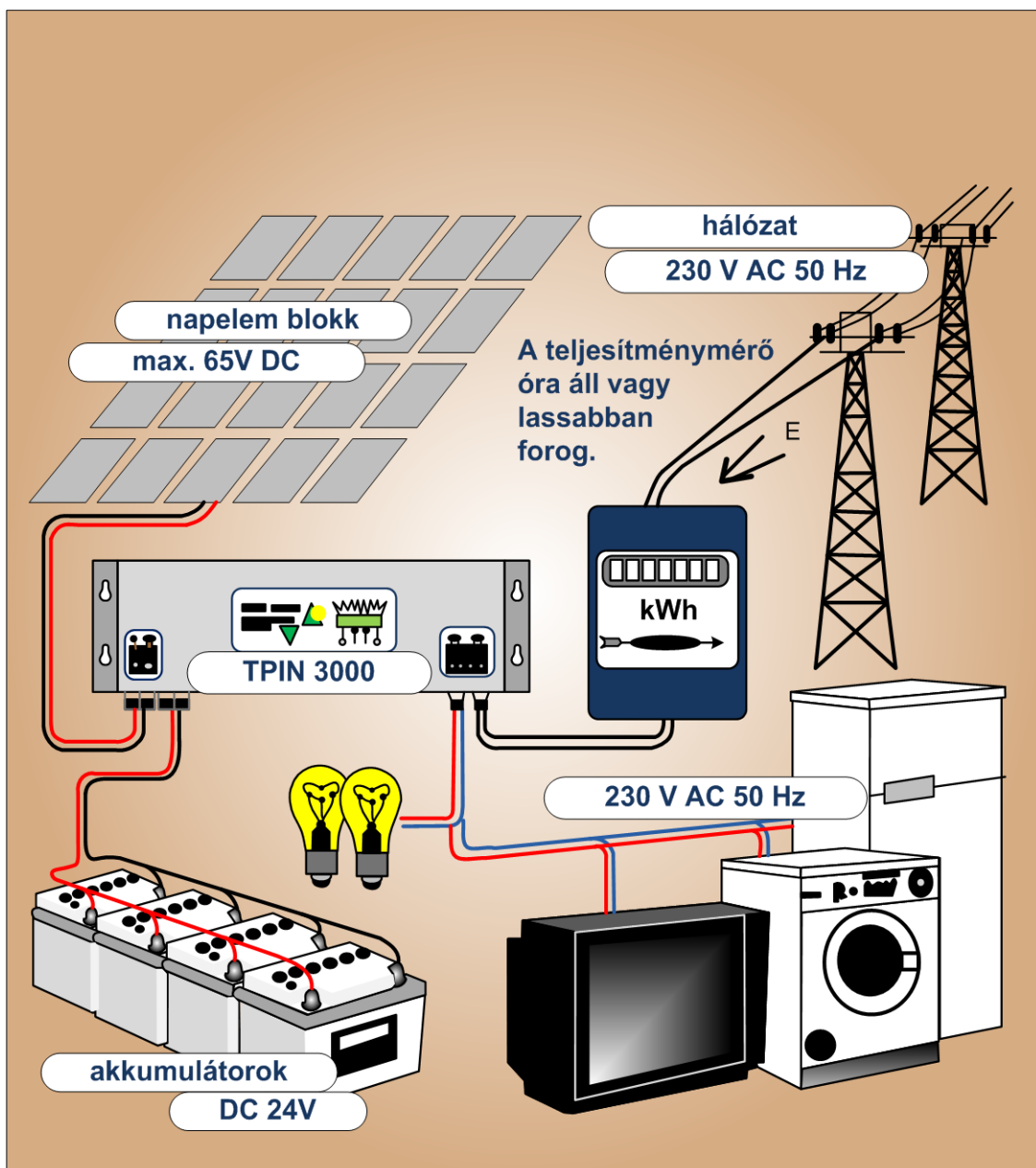
Olyan felhasználó esetén, ahol van villamos hálózat, nem szükséges a napból érkező energiát akkumulátorban tárolni, mert lehetőség van az áram közüzemi hálózatba történő visszatáplálására. Ez a megoldás látható a **316. ábra**. A visszatáplált energia mennyiségét mérik és időszakonként elszámolnak vele. Jelenleg Magyarországon éves periódusú az elszámolás.



316. ábra: Közvetlenül hálózatra van kapcsolt napelem [5.2]

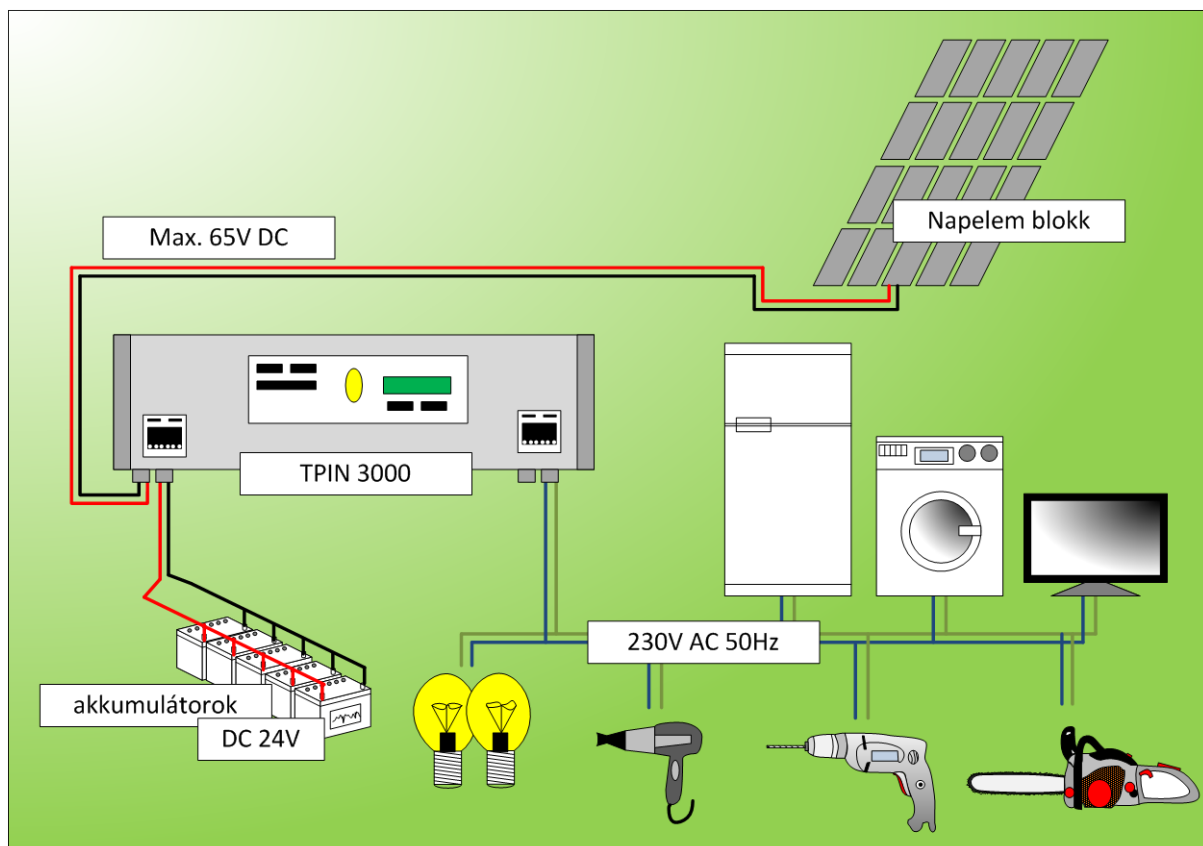
Amennyiben napelem rendszerünk teljesítménye nem haladja meg az 5 kW-ot, úgy az áramszolgáltató ugyanazon az áron veszi tőlünk vissza az elektromos áramot, mint amennyiért ő adja nekünk, ha nem lépjük túl saját fogyasztásunkat, akkor nekünk csak a különbözetet kell megfizetnünk.

Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy napközben, amikor jellemzően nem vagyunk otthon, a napelem rendszer betáplál a hálózatba, este pedig mikor otthon vagyunk és a legtöbb energiát használjuk, de már nem süt a nap, egyszerűen elfogyasztjuk, a napközben napelem rendszerünk által megtermelt áramot, amit addig úgymond a közüzemi hálózatban tároltunk. Elszámoláskor mi csak azt a különbözetet fizetjük, amennyivel többet fogyasztottunk az általunk termelt energiámnál. Ha 5 kW feletti napelem rendszert telepítünk az áramszolgáltató átveszi tőlünk a teljes árammennyiséget, s fizet is érte nagykereskedelmi áron. Ez a megvalósítás látható a **317. ábra**.



317. ábra: Általános alkalmazási mód [5.2]

Sok olyan felhasználói igény van, ahol nincs bevezetve az áramellátás (sziget üzem), így ebben az esetben valamilyen formájú energiatárolás szükséges, hogy naplemente után az „elraktározott” energiát használhassuk. Ez látható a **318. ábra**. A napelemek által szolgáltatott 16-42 V egyenfeszültséggel, egy töltésszabályozási feladatot is ellátó inverteren keresztül akkumulátor-telepet töltünk. Az akkumulátorok használatával jelentős mennyiségű villamos energiát tárolhatunk a későbbi felhasználási időszakokra. Csak speciális akkumulátorok alkalmasak a napelemes rendszerek jellemzően sok ciklusból (feltöltés-kisütés) álló használatra.



318. ábra: Sziget üzemű napelem [5.2]

25.4. Villamos-energia termelés napenergiából

A napenergiát a **napelemek** közvetlenül alakítják át (egyenáramú) villamos energiává. A napenergiának villamos energiává történő átalakítására más lehetőségek is rendelkezésre állnak:

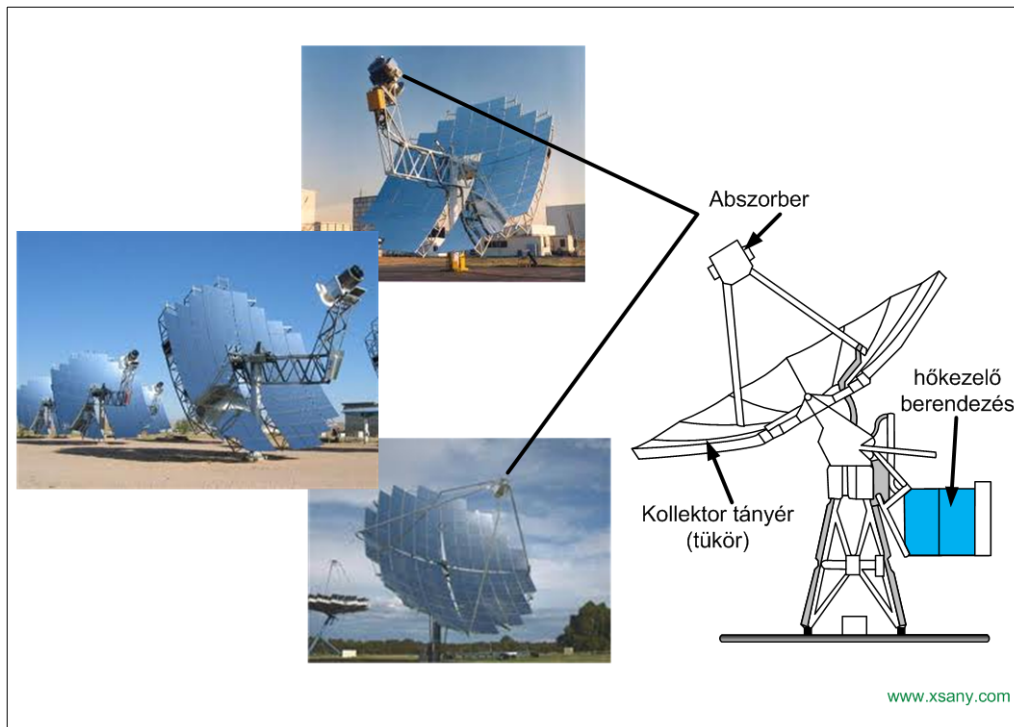
- egyik lehetőség a hagyományos hőerőművek termodinamikai körfolyamatok szerint történő hőenergia-mechanikai energia-villamos energia átalakítás útját követi, ezek az ún. **naphőerőművek**,
- másik lehetőség a **napkémény**, amely a szélerőmű és a naperőmű egyfajta ötvözeté.

Naphőerőművek:

A naphőerőművekben elérhető hőmérsékletekkel gőzturbinával , vagy Stirling motorral meghajtott elektromos energia termelési rendszereket építettek.

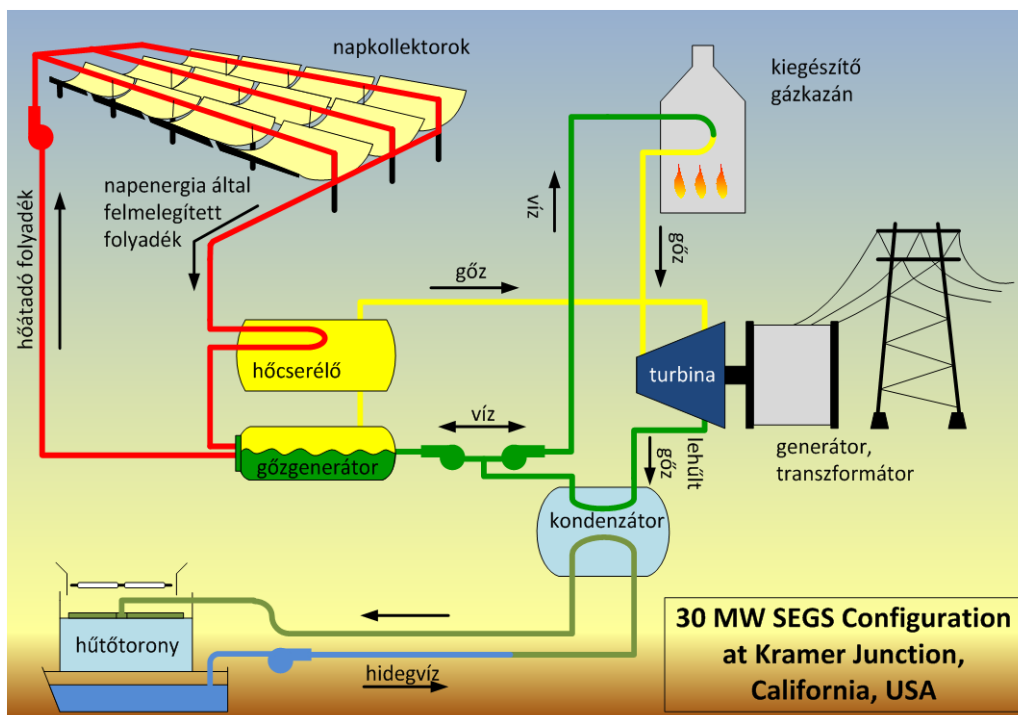
Kis villamos teljesítmény esetén parabola tányér alakú **naptükröt** terveztek, amelynek felülete nagyobb 100 m²-nél (**319. ábra**). A napsugár irányába automatikusan beálló

paraboloid tükör fókuszpontjába elhelyezkedő hőcserélővel működtetett Stirling-motor meghajtásával néhány száz kW elektromos teljesítmény érhető el, a rendszer hatásfoka eléri a 30 %-ot. A hőközlés hőmérséklete 700-1000 °C.



319. ábra: Naphőerőmű naptükörrel [5.6]

Gőzkörfolyamat nagyobb teljesítményű naphőerőmű esetén alkalmazható, amelyhez nagyszámú naptükör szükséges. Az így kialakítható naphőerőmű elvi sémája a 320. ábra látható.



320. ábra: A naphőerőmű elvi sémája. [5.6]

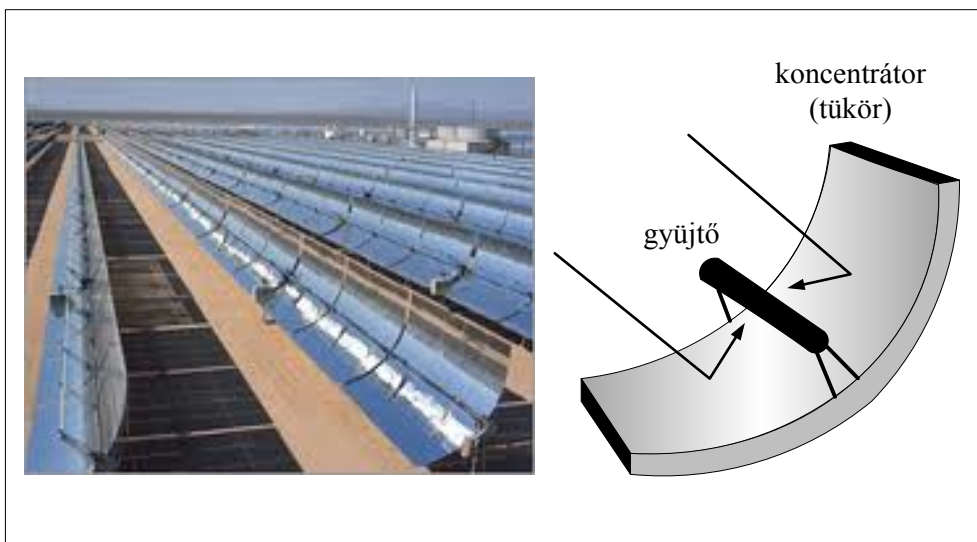
A napenergia vagy a gázkazán által megtermelt hő hőcserélőkön keresztül szárazgőzt termel, ami a turbinát meghajtja. A turbina megforgatja a hálózatra szinkronizált generátort, ami az áramot termeli. A turbináról a kondenzátorba kerül a gőz, ahol egy hőcserélőn keresztül áramló hűtővíz lehűti. A hűtővíz által felvett hő a hűtőtoronyban kerül leadásra, a kondenzvíz pedig ismét a hőcserélőhöz kerül, ahol vagy a napenergia vagy az elégetett gáz hőjét veszi fel. A napkollektorok teknő alakú tükröi mindig a Nap irányába fordulnak, így ha süt a Nap, az erőmű is működik. A tükrök fókuszpontjában található cső a visszavert sugarakat elnyeli, és a keletkezett hőt a benne áramló hőátadó folyadéknak közvetíti. A hőátadás két lépcsőben történik. Először a kondenzvizet elgőzölteti a gőzgenerátorban a már részben lehűlt hőátadó folyadék, majd az így keletkezett gőz hőmérsékletét növeli tovább a hőcserélőben levő magas hőfokú folyadék, ezáltal szárazgőzt állítva elő. A legtöbb naperőmű hasonló elven működik, azaz egy hőátadó folyadékkal a hőt egy klasszikus erőműben alakítják át villamos energiává. A naptükrök kialakítására és elrendezésére két megoldást fejlesztettek ki.

- Az ún. **torony típusú naphőerőművek** esetén a **321. ábra** látható naptorony létrehozásánál napkövető, és nagyfelületű síklap tükröket (heliosztát) koncentrikus körökbe telepítenek. Ezek a tükrök a középpontban álló torony tetejére irányítják a visszavert fényt. A toronyban elhelyezett parabolatükörré irányított napsugárzás hevíti a fókuszba elhelyezett hőcserélőt, ill. a hőcserélőben áramló hőhordozó közeget. A hőhordozó közeg hőmérséklete elérheti az $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot is, a naphőerőmű hatásfoka meghaladja a 20 %-ot, területigény nagy $30\text{-}90\text{ m}^2/\text{kW}$.



321. ábra: Torony típusú naphőerőmű [5.8]

- Az ún. **parabola-teknős naphőerőművek** esetén a talajszinten elhelyezett parabola keresztmetszetű tükröknél (322. ábra) a fókuszvonalban elhelyezett kollektoroknak adják át a napsugárzás energiáját. A kollektorok összefüggő csővezeték-rendszert alkotnak, és a nagy területről összegyűjtött napenergiát hasznosítják gőztermelésre. A napenergia kiegészítésére hagyományos gőzfejlesztést használnak (lásd a 320. ábra). Hatásfoka kisebb, mint a toronytípusú naphőerőműé, gyakorlatilag 20 % alatt marad, területigénye $18\text{ m}^2/\text{kW}$.

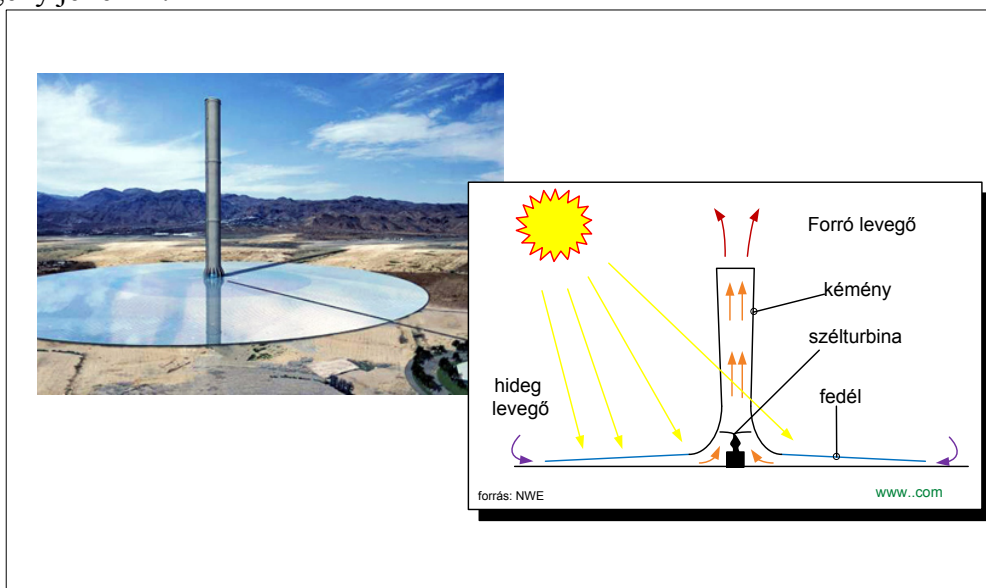


322. ábra: Parabolateknős hőerőmű tükörrendszere [5.6]

A naphőerőművek mérsékelt 20 % környéki hatásfoka, és a napenergia hasznosítás napszak függése indokolja azt, hogy **a napenergiát nem önálló naphőerőműben** hasznosítsuk, hanem **egy korszerű hőerőműben hasznosítsuk** az energiát valamilyen formába, pl. tápvíz előmelegítésre. Ezáltal egyrészt a napenergia felhasználásának hatásfoka nagyobb lesz, másrészt a hőerőmű villamos teljesítménye kevésbé lesz érzékeny a napenergia időszakos változására.

Napkémények:

A napkémény működése jól követhető a **323. ábra**. Amint az jól látható, nagy földterület borítanak kör alakú üveg vagy műanyagszerkezettel, ami a kör közepe irányába magasodik. Középen szélturbinát rejtő magas torony található. A lefedett térben a napsugárzás következtében 15-30 °C hőmérsékletkülönbség alakul ki, a kéményhatás következtében a felmelegedett levegő 12-15 m/s sebességgel áramlik fel a nagy magasságú kéményben. A kéményben elhelyezett szélturbinák termelik az elektromos áramot. A napkémény villamos teljesítménye követi a napsugárzás napszak változását, így alacsony hatásfok, és nagy fajlagos területigény jellemzi.



323. ábra: Napkémény felépítése [5.6]

25.5. Esettanulmányok

- **Budai, háromszintes, családi ház HMV ellátása, és fűtésének korszerűsítése [5.7]**
Beépített berendezések:

- 2 db Paradigma CPC 45 Azurro napkollektor összesen 9,8 m² felülettel, Systa Solar vezérlővel (**324. ábra**)
- 1 db 840 l Espresso puffertároló HMV modullal
- 1 db Paradigma Modula II kondenzációs gázkazán 20 kW teljesítménnyel
- 1 db Systa Comfort vezérlés és vezérléskiegészítés (**325. ábra**)



324. ábra: Napkollektorok havazás és ónos eső után [5.7]



325. ábra: A beépített gépészeti berendezések és vezérlés [5.7]

Üzemeltetési tapasztalatok:

- HMV ellátás évi 80 %-át biztosítja a napenergia
- Az évi fűtés 20-25 %-át biztosítja a napenergia
- Az éves gázmegtakarítás 35-40 %.

- **Németországi élményfürdők hőellátását támogató szolár nagyberendezés (326. ábra és 327. ábra) (Paradigma Solarproject)[5.7]**

Üzembe helyezés	2008 február
Bruttó kollektorfelület	98 m ²
Éves besugárzás (R)	0.97 MWh/m ² a
Éves energiahozam (E)	55 MWh évente
Névleges teljesítmény	0.048 MW
Max. teljesítmény	0.07 MW
Speciális rendszerhozam	0.61 MWh/m ² a
Szolár lefedettségi arány	2 %
Tárolótérfogat	0 m ³
Fűtési hálózat	helyi hőhálózat
Szolárhőmérséklet (előre/vissza)	70...90 / 65...80 °C
Beruházási költségek	570 €/m ²
Energiaár napjainkban	5 Cent/kWh
Éves kihasználtság	90 %

Az üzemeltetés eredményei:

Energiamegtakarítás	1306 MWh
Költségmegtakarítás	0.24 Mio Euro
CO ₂ -megtakarítás	391.8 Tonna
Amortizációs idő	7.2 év
Beruházás kamatozása	11.4 %
Szolárenergia ára	2.10 Cent/kWh
Befektetés megtérülése	7.3 év



326. ábra: Az élményfürdő [5.7]



327. ábra: A tetőn elhelyezett kollektorok [5.7]

- **A Planta Solar 10 vagy PS10 naphőerőmű a spanyol Sevilla város mellett.**
A 11 megawattos naperőműben (328. ábra) 624 nagy mozgatható tükörrel (heliostats) irányítják a napsugarakat a 115 m magasságú torony tetején elhelyezett abszorberre. A toronyban elhelyezett hőcserélőben 40 bar nyomású 250°C hőmérsékletű gőzt állítanak elő, amelyet gőzturbinára vezetnek és a gőzturbinával meghajtott generátor állítja elő az elektromos áramot. Európa első kereskedelmi erőművének megépítésében az Abengoa nevű spanyol multinacionális cég, a Tecnical-Tecnicas Reunidas és a Spanish Engineering Company vett részt. A teljes kiépítést 2013-ban tervezik 300 MW összteljesítménnyel, amellyel el tudják látni Sevilla városának energia igényét.



328. ábra: A PS10 naphőerőmű [5.9]

25.6. Irodalomjegyzék az 25. fejezethez

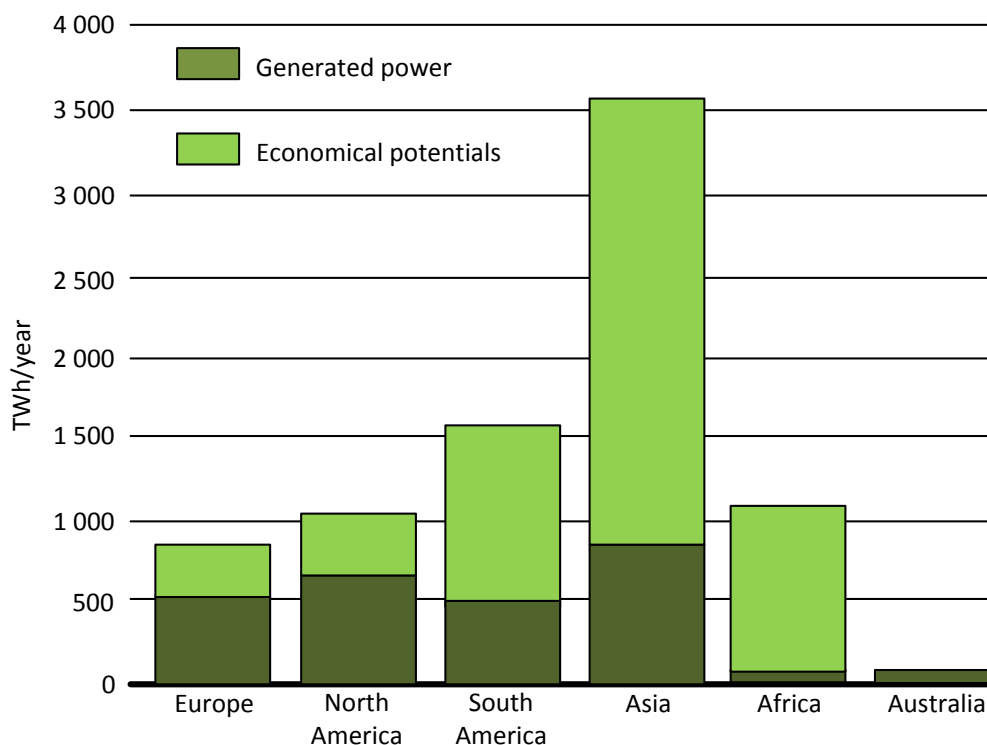
- [5.1] www.energiakozpont.hu/index.php?p=91
- [5.2] A napelemlről A-Z-ig. (tanulmány, főszerkesztő: Tóth János), CN-62/2007 Tét projekt: Épületbe integrált napelemmodulok fejlesztése, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2009.
- [5.3] Energiafelhasználói Kézikönyv (főszerkesztő: Barótfi István), Budapest, 1993.
- [5.4] Büki Gergely: Energetika, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1997.
- [5.5] www.passivhaus-info.eu.
- [5.6] Salló Andrea: Napenergia hasznosíthatóságának áttekintése családi házakban. Szakdolgozat. Eötvös Lóránd Tudomány Egyetem Természettudományi Kar Környezettudományi Iskola, Budapest, 2006.
- [5.7] <http://alternativ-energia.eu>
- [5.8] http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RenewableEnergy/Images/solar_two.jpg
- [5.9] www.solarpaces.org

26. Vízenergia (Dr. Nagy Géza)

Debreceni Egyetem, Debrecen

A Földön található víz a Naptól származó hatalmas energia következményeként örökös körforgásban van. A Föld tengereinek a felszínét érő napsugárzás hatására a víz elpárolog, és a magasba emelkedik. A magasabban uralkodó hidegebb hőmérséklet hatására a vízpára ismét folyékony halmazállapotúvá válik (kondenzálódik), és felhővé egyesülnek. A levegő mozgásának a hatására a felhők nagy távolságot tehetnek meg, míg a nehézségi erő hatására a víz eső formájában ismét a Földre hullik. A szárazföldre jutó eső patakok, folyók formájában a magasabb helyről az alacsonyabban fekvő tengerekbe áramlik, hogy a körforgás újra kezdődhessen. Ez a földfelszínen **áramló víz mozgási és helyzeti energiája** az, amit **vízenergiának** tekintünk és hasznosítunk. Bár a párolgás-lecsapódás körforgási energiaátalakulása az így tekintett vízenergiának sokszorosa, mai ismereteink szerint kihasználhatatlan, de még az elméletileg hasznosítható vízenergiának is csupán néhány százalékát tudjuk hasznosítani.

Hozzávetőleges számítások alapján a Naptól Földre jutó energiamennyiségnek kb. 23 %-a a víz körforgásának fenntartására fordítódik. Ennek az energiának mintegy 99 %-a a párolgás-lecsapódás átalakulására fordítódik, amely számunkra kihasználhatatlan. A megmaradó töredék a földfelszínen mozgó víz helyzeti és mozgási energiája. Az állóvizek csak helyzeti és nyomási energiával rendelkeznek, de az áramló vizeknél ezek mellett a mozgási (kinetikai) energia is megjelenik. Vízenergián ezen energiák összességét értjük. Becslések szerint a világ hasznosítható vízenergia kapacitása kb. 20.000 TWh körül lehet. Az egész világon termelt összes vízenergia termelés kb. 2000 TWh. Ez a műszakilag hasznosítható energia 10 %-át jelenti. A világ megtermelt és hasznosítható vízenergia-potenciálja a **329. ábra** látható.



329. ábra: A világ hasznosítható vízenergia-potenciálja [6.1]

A víz volt az a legrégebbi erőforrás, amit arra használtak, hogy csökkentsék az emberi és állati terhet. Nem lehet tudni biztosan mikor is találták fel a vízikereket, de az biztos, hogy a legrégebbi öntözőrendszerek kb. 5000 évesek. A vízikereket már az ókori Kelet országaiiban: Egyiptomban, Kínában és Indiában is használták, vízimalmok pedig az ókori Görögországban és Rómában is működtek. A legkorábbi vízimalmok talán a függőleges tengelyű kukoricaórló malmok voltak, melyeket norvég ill. görög típusú malom névvel illettek. Ezek valószínűleg Kr. e. az I.- illetve a II. században jelentek meg Közép Keleten, néhány századdal később pedig Skandináviában. Ismereteink szerint Angliában már használtak mind vízszintes tengelyű, mind függőleges tengelyű vízimalmokat az angolszászok. A XI. század végén Anglia 3000 felmért településén 5624 vízimalom működött, Franciaország egyetlen megyéjében (Aube) pedig kétszáz [6.2].

Természetesen a vízimalmok nagy beruházást igényeltek, ezért rendszerint a földesúr vagy a kolostor tulajdonában voltak. A földesurak sokszor kötelezővé tették ezek használatát, megfelelő díj ellenében, és hogy ezt ki ne játszassák a kézi malmokat összetörték. A víz energiáját azonban nemcsak gabonaórlásra használták, hanem különböző célokra: így a textiliparban, a bányászatban, bányavíz-kiemelésre is és később a kohók légfúvóit is vízierő hajtotta. A XVIII. század végére három vízikerektípus volt használatban, amelyek a víz nyomómagasságában tértek el [6.2]:

alulcsapott vízikerek;

Ennél a típusnál a lapátok belemerülnek az áramló folyóba, így szinte minden áramló vízben lehet használni. A hátránya azonban, hogy használhatatlan ha a víz folyásiránya áradás miatt megváltozik.

felülesapott vízikerek;

Itt a zárt lapátokra felülről érkezik a víz, ezért maga a kerék sokkal masszívabb, mivel el kell bírnia a víz súlyát. Az áradások nem befolyásolják a működését, mivel a víz egy csatornán keresztül érkezik a kerékre, amelyen egy zsilipkapuval szabályozható a víz mennyisége.

középen csapott vízikerek;

A víz itt is egy csatornán keresztül érkezik és kb. a keréktengelynél folyik a kerék lapátjaiba. Előnye, hogy nem szükséges olyan nagy esésmagasság mint a felülesapottnál, ahol a beáramló és kiáramló víz magasságkülönbségének legalább akkorának kell lennie, mint a kerék átmérője.

1769-ben James Watt szabadalmaztatta a gőzgépét, és így a vízenergia felhasználása az 1800-as évek végére háttérbe szorult. Mint sok más találmánynál, a vízikereknél is kiszámíthatatlan volt a jövőbeli felhasználási lehetőség. Ezt bizonyítja, hogy amikor Faraday felfedezte az elektromágneses indukciót, újabb távlatok nyíltak a vízenergia hasznosítására, így a róla alkotott kép ismét megváltozott.

A víz energiájának hasznosítása a kezdeti időben azért volt korlátozott, mivel azt csak helyben tudták felhasználni. A fejlődésnek óriási lendületet adott a villamos energia termelésének lehetősége - amely az energia nagyobb távolságra való szállítását is biztosította - ill. amikor egy francia mérnök feltalált egy új és sokkal hatékonyabb vízikereket, amely az első sikeres **víz-turbína** volt. A feltaláló Benoit Fourneyron volt. Fourneyron turbinája magában foglalt több, addig nem alkalmazott újítást is. Az egyik legfontosabb, hogy **a vízbe merülő turbína vezetőlapátokkal** rendelkezett, amely a vizet pontosan a lapátokra irányította. Ez biztosította a víz egyenletes eloszlását, ezáltal megnövelte a hatékonyságot (a víz energiájának 80 %-át alakítja hasznos mechanikai energiává). Az első ilyen turbinát a Badeni Nagyhercegség egyik kisvárosában St. Blasien-ben használták. A fejlődés azonban

nem állt meg. Újabb turbina típusok jelentek meg. Ilyen volt a magyar Bánki Donát által kifejlesztett és róla elnevezett Bánki-turbina. További típusok a Francis-, Pelton-, Kaplan-turbinák. Az eltérő típusú turbinák kifejlesztésével megpróbálták a különböző vízhozamú és esésmagasságú vizek energiáját a lehető legnagyobb hatásfokkal hasznosítani.

A turbina szót Claude Bourdin francia mérnök vezette be a XIX. század elején és az örvénylés vagy örvény jelentésű latin szóból származtatta. A fő különbség az első vízturbinák és a vízkerekek között az „örvény” volt, mely energiát ad át a forgórésznek. Ez a többlet tette lehetővé, hogy a turbinát kisebbre készítsék, mint egy ugyanolyan teljesítményű vízkereket. A turbinák több vizet tudnak nyelni, ha a forgórész gyorsabban forog és lényegesen nagyobb esést tudnak hasznosítani. (Később szabadsugár-turbinákat is készítettek, amelyek nem használnak örvényt.)

A vízturbinák működési elve.

A **vízturbina** olyan folytonosan áramló folyadékkal (vízzel) működő áramlástechnikai gép, amelynek **működési elve** a folyadékmechanikából ismert **impulzusnyomatéki tételre (perdülettétel)** vezethető vissza [6.3]. A vízturbinák közös jellemzője a lapátkoszorúval ellátott forgó kerék (járókerék), melynek lapátjai között áramlik megszakítás nélkül az energiahordozó víz. A turbina járókerékére érkező víz nagy perdülettel érkezik és a járókeréken való átáramlás során a perdületét részben vagy teljesen elveszíti. A járókerék közvetítésével az áramló víz energiája mechanikai energiává alakul (a vízturbina tehát **erőgépnek** tekinthető), és a hozzá kapcsolt **generátor** alakítja át a mechanikai munkát **elektromos energiává**.

A turbinán átáramló folyadék energiájának egy része tehát a turbina tengelyén levehető (hasznosítható) mechanikai munkává alakul, és azt az energiakülönbséget, amelyet a folyadék a turbinán való átáramlása következtében elveszített, a **turbina esésmagasságának**, vagy **esésnek** nevezzük. Jele: H , mértékegysége: m , amely tulajdonképpen $1\ N$ súlyú folyadék energiája J -ban.

Ha a turbina nyomócsonkján belépő folyadék paramétereit 1 index, a szívócsonkon kilépő folyadék paramétereit 2 index jelöli, akkor a turbina esésmagassága (l. **330. ábra**):

$$(6.1) \quad H = e_1 - e_2 = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} + z_1 - z_2,$$

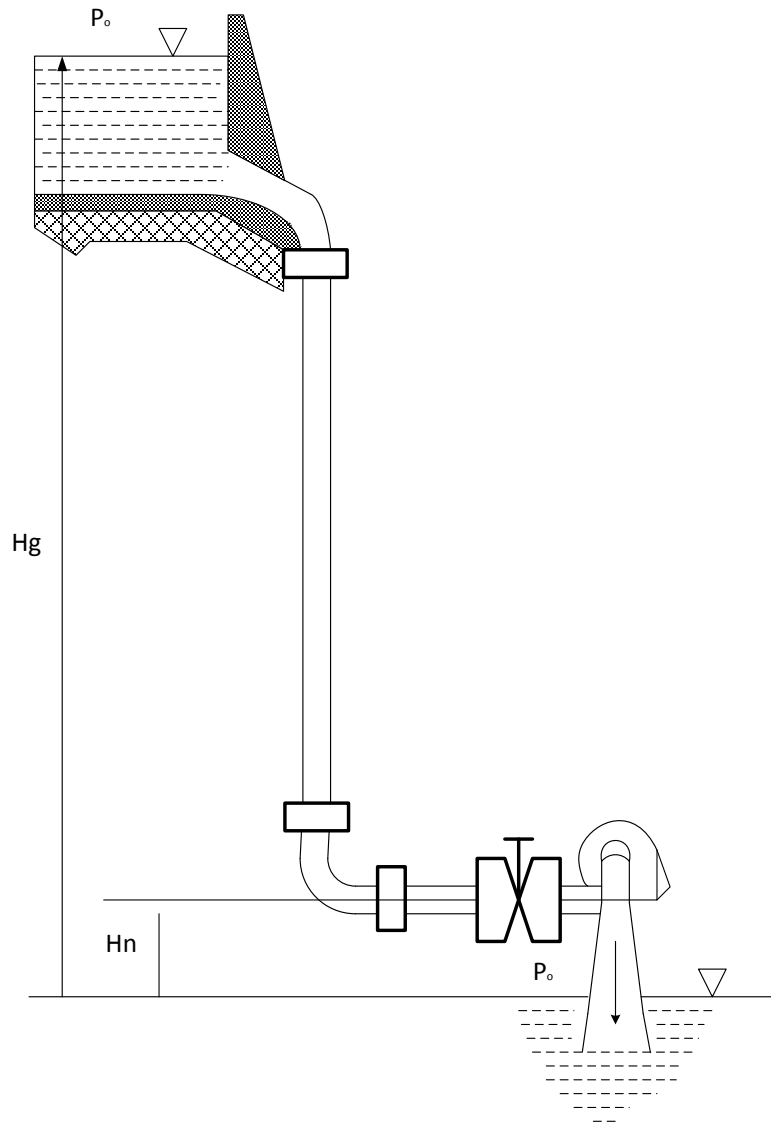
ahol: e_1, e_2 - a folyadék összenergiája (m),

p_1, p_2 - a folyadék nyomása (pa),

z_1, z_2 - a folyadék helyzeti energiája (m) (az „alvíz” szintjétől mért magassága) a belépéskor ill. a kilépéskor.

ρ - a folyadék sűrűsége (kg/m^3), és

g - a nehézségi gyorsulás (m/s^2).



330. ábra: Víz turbina energiaátalakításának elve

A turbina H esése mindig kisebb, mint a felső és az alsó folyadékszint (felvíz, és alvíz) között mérhető H_g geodetikus szintkülönbség. Ez könnyen belátható a megfelelő folyadékszintek és a nyomó- ill. szívócsonkok közé felírható Bernoulli-egyenletek felhasználásával kapható egyenletből:

$$(6.2) \quad H = e_1 - e_2 = H_g - h'_n,$$

ahol: h'_n , -a nyomóvezeték veszteség-magassága (m).

Ha a turbinán másodpercenként átáramló vízmennyiség (víznyelés) \dot{V} (m^3/s), esésmagassága H (m), akkor a gépre érkező folyadék **összteljesítménye**:

$$(6.3) \quad P_o = \rho g H \dot{V} \quad (\text{kW}),$$

és a turbina összhatásfoka:

$$(6.4) \quad \eta = \frac{P_t}{P_o} = \frac{P_t}{\rho g H \dot{V}}.$$

A hatásfok definíciója alapján a turbina tengelyéről levehető hasznos teljesítmény az ún. **tengelyteljesítmény**:

$$(6.5) \quad P_t = \eta \rho g H \dot{V} \quad (\text{kW}).$$

Az összteljesítmény és a tengelyteljesítmény különbsége a **teljesítményvesztés**, amely tartalmazza a nyomó- és szívócsövezetékben fellépő folyadéksúrlódási (hidraulikai) veszteséget, csapsúrlódási (mechanikai) veszteséget, és a tárcsasúrlódási veszteséget is:

$$(6.6) \quad P_v = P_0 - P_t = (1 - \eta) \rho g H \dot{V} \quad (\text{kW}).$$

A turbinák osztályozása különféle szempontok szerint lehetséges.

- A járókeréken átáramló folyadék iránya szerint lehetséges
 - ✓ radiális
 - ✓ félaxiális
 - ✓ axiális átömlésű turbina
- A járókeréken való energiaátalakulás során történik-e nyomásenergia-változás, vagy sem
 - ✓ reakciós turbina (pl. Francis-, Kaplan-turbina)
 - ✓ akciós, vagy szabadsugár turbina (pl. Pelton-, Bánki-turbina).

A **víz turbinákkal szemben támasztott lényeges követelmény**, hogy a leadott teljesítményt a **szükségletnek megfelelően szabályozni** lehessen. A fordulatszám változtatás - mint a szivattyúk esetében - nem jöhet szóba, mert a turbínával meghajtott generátor által előállított váltakozó áram frekvenciája nem változhat. Az esést nem tudjuk változtatni, így marad a turbinán átáramló folyadék mennyiségének a szabályozása. A **szabályozás** a szabadsugár turbinák esetében a sugárcsőbe az áramlás irányába axiálisan elmozdítható ún. **szabályozó túvel**, a reakciós turbinák esetén pedig a járókerék előtt elhelyezett **állítható vezetőlapát-rendszerrel** történik [6.3]. A szabályozó túvel, ill. a vezetőlapát-rendszerrel a folyadék átáramlása a turbinán meg is szüntethető, ha valamilyen oknál fogva a turbina terhelése leesik, így védi is a turbinát.

A különböző típusú járókerekek egységes jellemzésére szolgál az ún. jellemző fordulatszám.

A turbina percenkénti **fordulatszámát** (jele: **n** ford./perc) a váltakozó áramú generátor fordulatszáma határozza:

$$(6.7) \quad n = \frac{60f}{p},$$

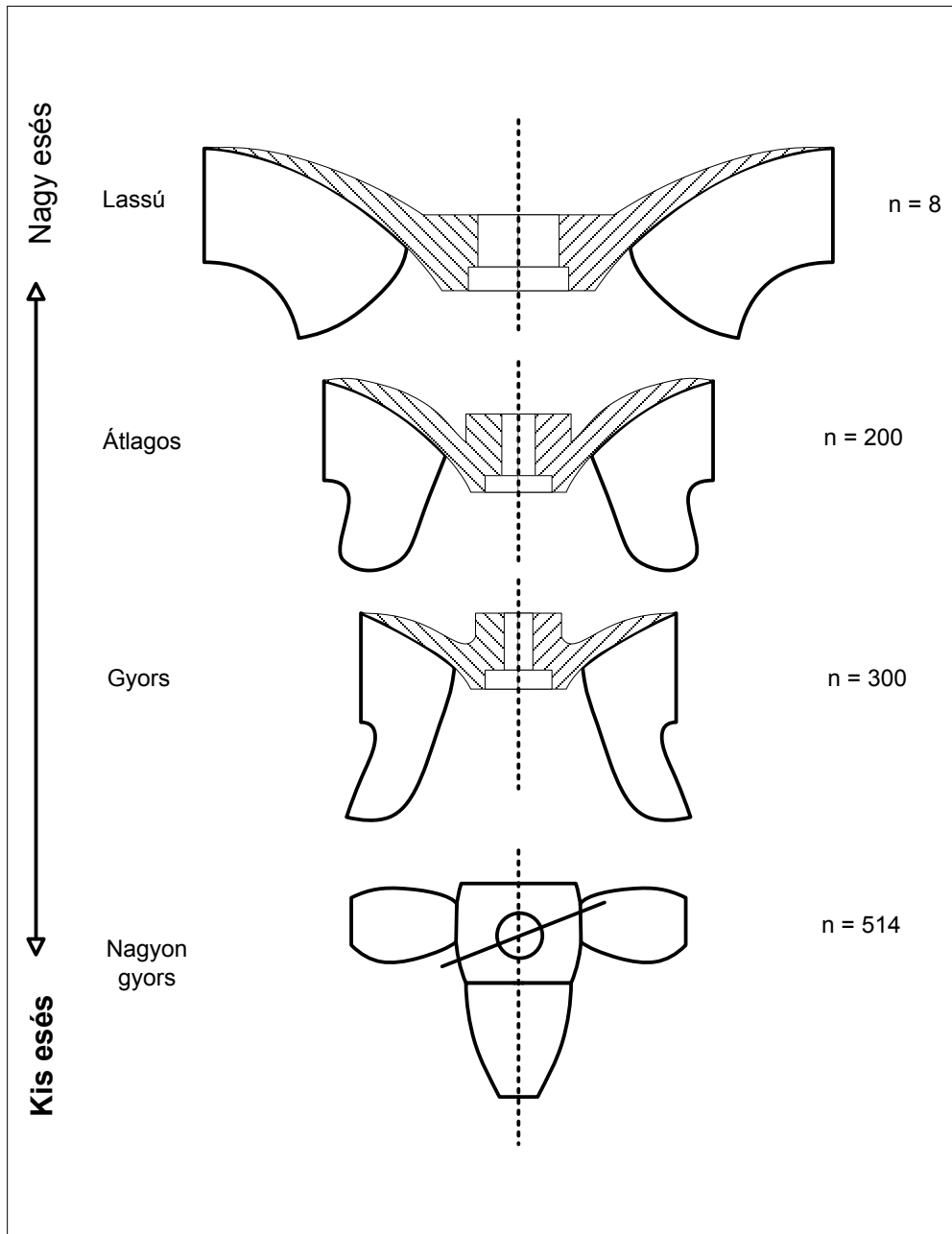
ahol: f - a váltakozó áram frekvenciája (Hz),

p - a generátor póluspárjainak a száma.

Az **n_s jellemző (fajlagos) fordulatszám** annak a geometriailag tökéletesen hasonló járókeréknek a fordulatszáma, amely 1 m esésmagasság esetében 1 kW a hasznos teljesítménye:

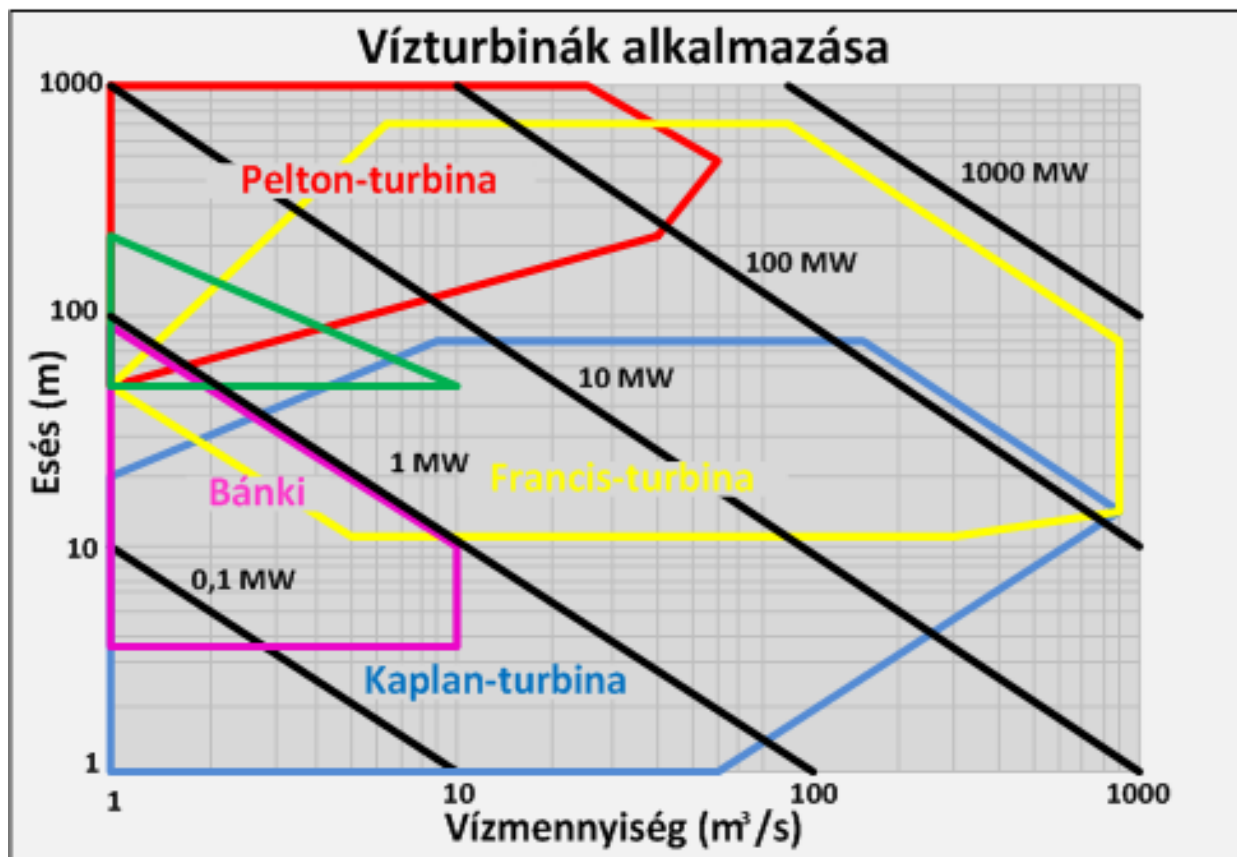
$$(6.8) \quad n_s = n P_t^{1/2} H^{-5/4}.$$

A fajlagos fordulatszám függvényében változik a járókerék geometriai alakja: a kis fajlagos fordulatszámú turbinák járókerekei radiális átömlésűek, a jellemző fordulatszám növekedésével a járókerék alakja a radiálistól a félaxiálison keresztül az axiális átömlésű járókerékig változik (**331. ábra**).



331. ábra: Turbina járókerék típusok [6.4]

A jellemző fordulatszám az egyik legfontosabb paraméterként szolgál arra, hogy kiválasszuk a különböző esésű és vízhozamú vízierőművekben alkalmazható turbina típust (332. ábra).

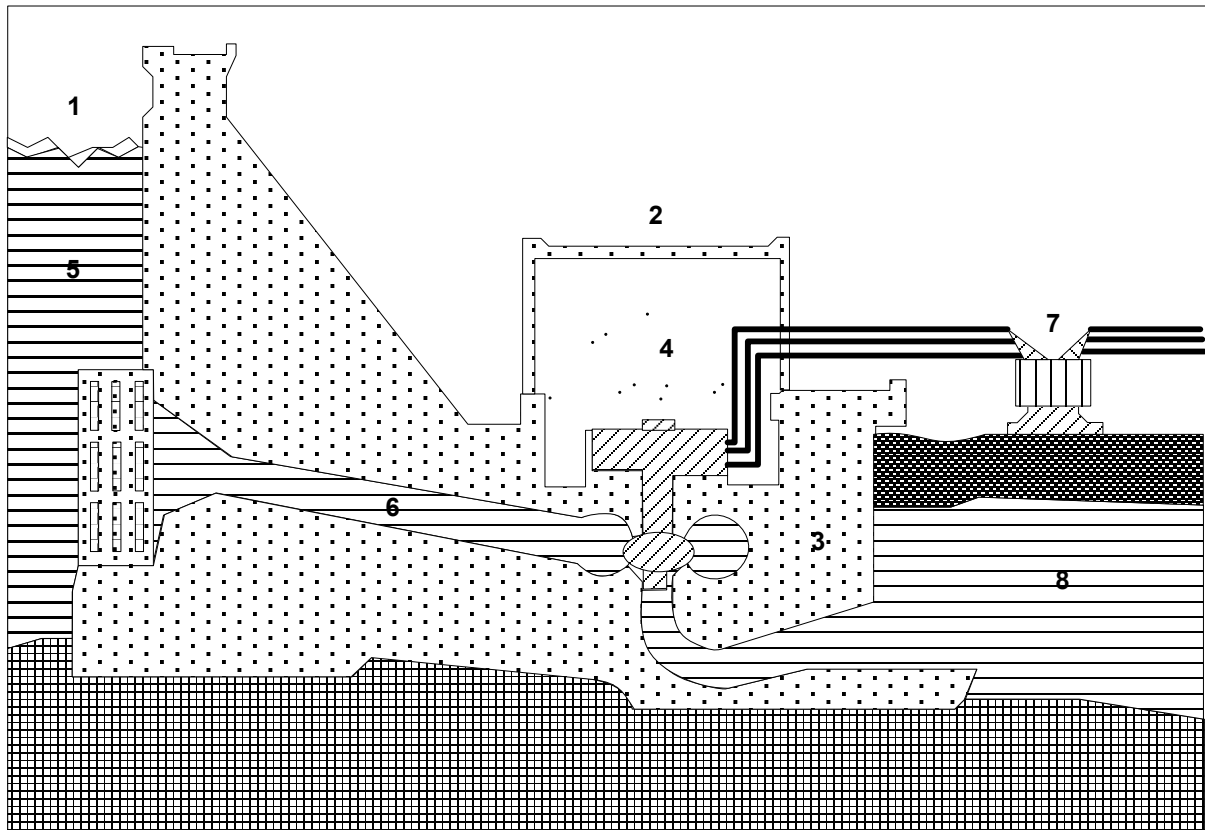


332. ábra: A víz turbinák alkalmazhatósága [6.4]

26.1. Víz erőművek

A folyók, tavak, tengerek vízenergiáját hasznosító, és azt elektromos energia formájában a nagyfeszültségű hálózatba tápláló műszaki létesítményt **víz erőműnek** nevezzük. A 333. ábra jelölésével egy víz erőmű általában a következő berendezéseket tartalmazza.

A hasznosítható energia (esésmagasság) növelése érdekében a kis esésű folyók vizét gyakran duzzasztják, és a duzzasztott vizet az 1 felvízből az 5 vízbevezetésen, és az 6 csatornán keresztül vezetik a 3 víz turbinákra, majd a turbinához kapcsolt 4 generátor elektromos energiát állít elő. Az így nyert elektromos energia az erőmű részét képező 7 transzformátor állomáson keresztül kerül a nagyfeszültségű hálózatra. A turbinákon átjutott víz a 8 folyóba (alvíz) jut.



333. ábra: A vizerőmű vázlatja [6.4]

A vizerőműveket a teljesítmény alapján osztályozhatjuk. Az így előállított energia ára a mérettől is függ [6.5]:

	Méret	előállított energia ára (USA cent/kWh)
• Nagy vizerőművek	>10 MW	3-5
• Kis vizerőművek	1-10 MW	5-12
• Törpe vizerőművek (Rural Hydro Energy):		
✓ Mini vizerőművek	100-1000 kW	5-12
✓ Mikro vizerőművek	1-100 kW	7-30
✓ Piko vizerőművek	0,1-1 kW	20-40

A nagy vizerőművek által előállított villamos energia-termelés gazdaságossága nyilvánvaló, és a többségük környezeti gondokat sem vetett fel, ezeket a létesítményeket sikeresen illesztették be a természet környezetbe.

A vizerőműveket több szempont szerint osztályozhatjuk.

Az esésmagasság szerinti osztályozás:

- **Kis esésű vizerőmű**
 - Esés: <15 m
 - Vízhozam: nagy
 - Felhasználás: alaperőmű (teljesítmény kihasználás >50%)
 - Beépített turbinák: Kaplan-turbina, keresztáramú turbina, mint például a Bánki-turbina
- **Közepes esésű vizerőmű**

Esés:	15-50 m
Vízhozam:	közepes-nagy
Felhasználás:	alaperőmű, közepes kihasználás (30-50%)
Beépített turbinák:	Francis-turbina, Kaplan-turbina, keresztáramú turbina

- **Nagy esésű vízerőmű**

Esés:	50-2000 m
Vízhozam:	kicsi
Felhasználás:	csúcserőmű (kihasználás <30%)
Beépített turbinák:	Francis-turbina, Pelton-turbina

A felépítés szerinti osztályozás:

- **Átfolyós rendszerű vízerőművek:** A nagy vízhozamú, kis vízesésű folyami vízerőművekben általában az érkező víz folyamatosan hasznosul a turbinákon majdnem állandó vízesés mellett.
- **Tározós rendszerű vízerőművek:** A legkülönbézetesebb módon kialakított víztározóba a vizet kis vízhozamú folyók duzzasztásával, vagy alacsony szinten levő folyók vizének szivattyúzásával gyűjtik, majd a tárolt vizet általában csúcsidőben (**csúcserőmű**) hasznosítják.
- **Árapály erőművek:** A Föld és a Hold közötti vonzás a Föld forgása miatt a nagy vizek felszínén jelentős vízszint különbséget hoz létre, amely esés több ezer MW-os erőmű megépítésére nyújt lehetőséget.
- **Hullámerőművek:** A tengereken kialakuló hullámok energiáját hasznosító erőmű.
- **Tengeráramlat erőmű:** a tengeráramlatok (pl. Golf-áramlat) mozgási energiáját hasznosító erőmű.

2009-ben épült fel a világ legnagyobb vízerőműve Kínában a Jangce-folyó vízének hasznosítására (Három-szoros erőmű) 22500 MW-os teljesítménnyel.

26.2. A vízenergia hazai adottságai

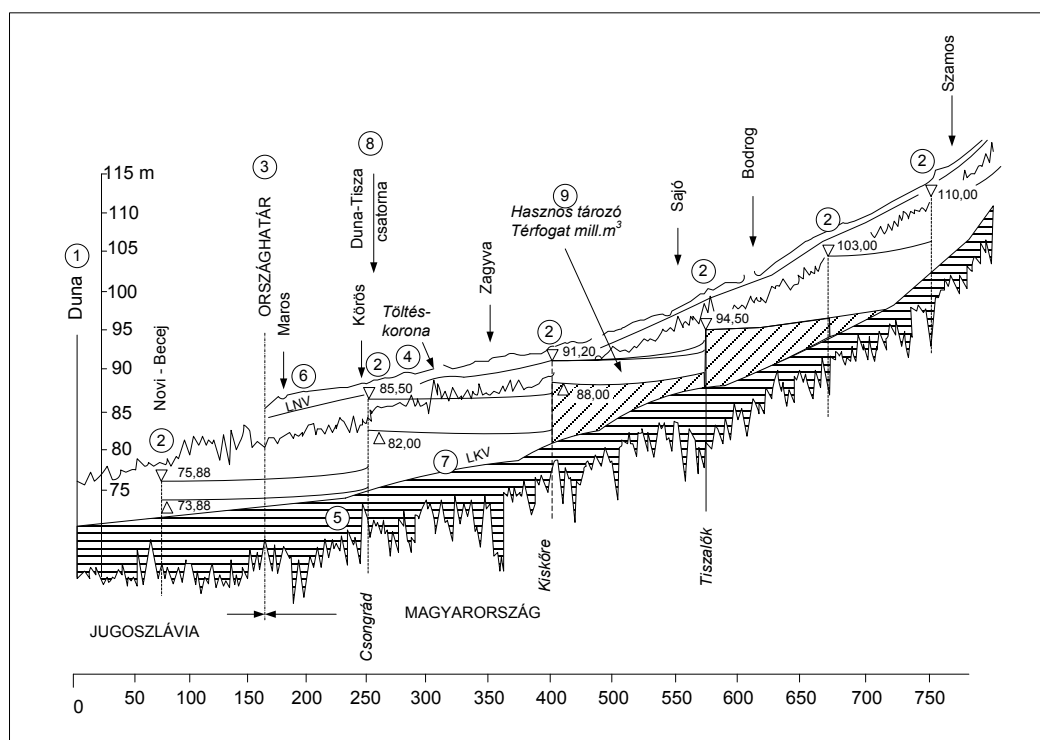
Magyarországon évek óta 50 MW vízerőmű-kapacitás üzemel, amely mintegy 0,2 TWh villamos energiát termel évente, a hazai fogyasztás 0,25%-át. A hazai vízerő potenciál 1400 MW, 7480 GWh/a (5%-a a Kárpát medence vízerő potenciáljának) ebből mintegy 1060 MW lenne műszakilag hasznosítható; 4500 GWh éves termeléssel. A potenciál 66%-a a Dunára, 10%-a a Tiszára jut. A fent említett 50 MW-ot 38 hidroenergetikai létesítmény 53 generátorral képviseli. A vízerő potenciál teljes kihasználása indokolatlanul magas költségekkel és természet átalakítással járna.

- a Dunán nincs villamos energia termelésre szolgáló létesítmény
- a Tiszán a Tiszalöki Vízerőmű és a Kiskörei Vízerőmű található 11,5 MW és 28 MW teljesítménnyel
- a Dráván jelenleg nincs erőmű
- a Rábán és a Hernádon, ill. mellékfolyóikon üzemel a hazai törpe vízművek többsége
- egyéb vizeken nincs működő energiatermelő rendszer

Környezetvédelmi szempontból, ahol viszonylag nagyobb esése van a folyóknak, könnyebb olyan tájba illő erőműrendszert beépíteni, ami nem okoz ökológiai károkat. Erre számos példát találunk, főleg Ausztriában, de a többi folyón pedig, amelyek nagy esésűek, ezeket az ökológiai károkat lényegesen könnyebben ki tudják küszöbölni. Nagy divatja van jelenleg a kisteljesítményű erőműveknek. Ezt nagy esésű patakoknál vagy kisebb folyóknál nagyobb környezeti beavatkozás nélkül lehet kialakítani. Ezek a turbinaházak néhány méteresek, de a legújabb megoldások olyan jellegűek, hogy szinte észrevétlenül, magában az áramló vízbe helyezett igen érzékeny turbina fejleszti az áramot és lát el esetleg kisebb településcsoportot, kisebb elektromos szolgáltatást igénylő üzemet.

26.3. Esettanulmányok

Magyarországon a múlt század második felében épült meg a Tiszán a Tiszalöki, és a Kiskörei Vízerőmű. A Tisza magyarországi szakaszán kis eséssel rendelkezik (334. ábra), a tervek szerint Vásárosnaménynál, Csongrádon, és Szegednél épült volna még duzzasztással vízerőmű.

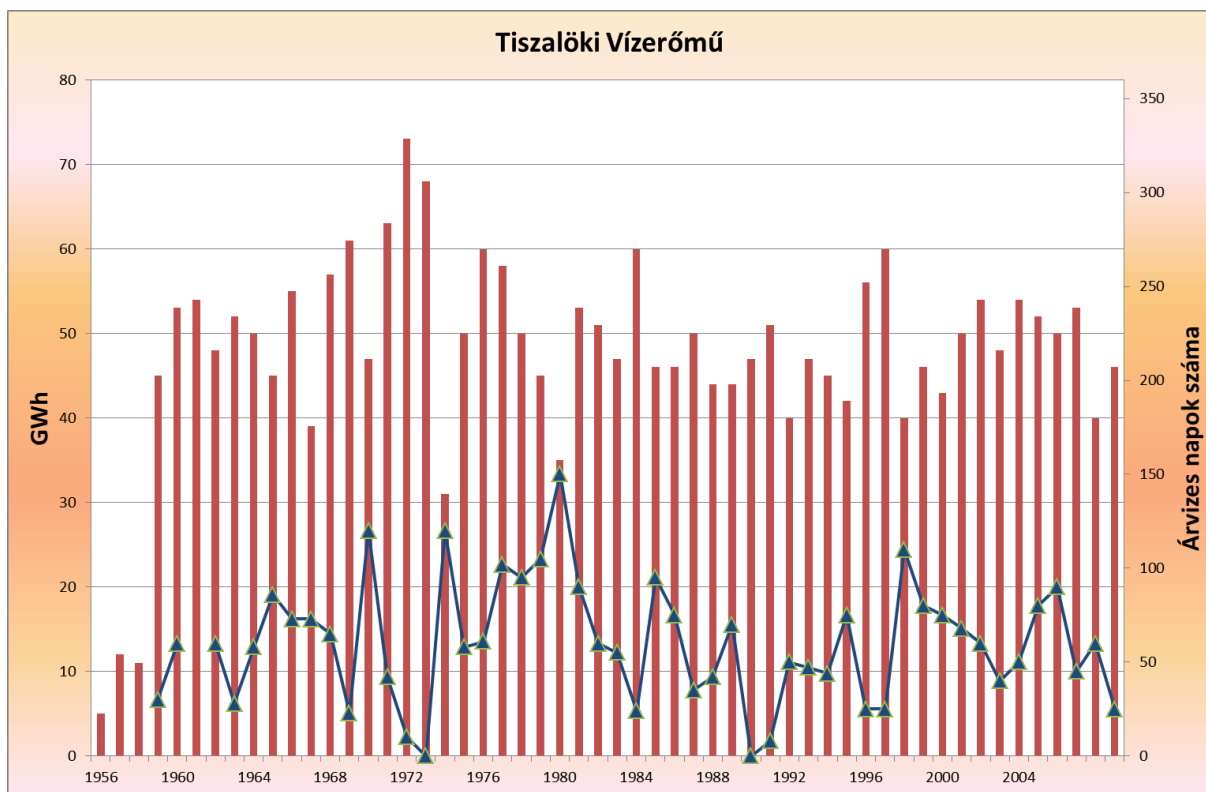


334. ábra: A Tisza esése Magyarországon [6.6]

- **Tiszalöki vízerőmű [6.7]**

névleges duzzasztási szint:	94,50 mAf +/-0,1 m
energiatermeléshez hasznosítható vízlépcső:	1,5 – 7,5 m
kiépítési víznyelés:	300 m3/sec
beépített teljesítmény:	11,4 MW
blokkok száma:	3
turbinák	
elrendezése:	függőleges
típusa:	Kaplan
turbina adatok:	

névleges esés:	5,0 m
névleges víznyelés:	100 m ³ /sec
névleges fordulatszám:	75 ford/perc
névleges teljesítmény:	3,8 MW
vezetőlapátok száma:	24 db
turbinalapátok száma:	4 db
generátor adatok:	
névleges feszültség:	5,25 kV
névleges teljesítmény:	4,8 MVA
teljesítménytényező:	0,98
frekvencia:	50 Hz
névleges gerjesztő feszültség:	340 V
névleges gerjesztő áram:	600 A



335. ábra: A Tiszalöki Vízerőmű termelése [6.7]

• **Kiskörei vízerőmű [6.6]**

Névleges duzzasztási szintek:

nyáron:

89,25-88,10 mAf

télen:

87,20- 86,20 mAf

Energiatermeléshez hasznosítható vízlépcső:

2-10,7 m

Blokkok száma:

4

Turbinák:

elrendezése:

vízszintes

típusa:

Bulbe csőturbina

Turbina adatok:

névleges esés:

6,27 m

névleges víznyelés:

140 m³/sec

névleges fordulatszám:

107 ford/perc

névleges teljesítmény:

7 MW

vezetőlapátok száma:

24 db

turbinalapátok száma:

4 db

Generátor adatok:

névleges feszültség:

2,5 kV

névleges teljesítmény:

7 MVA

teljesítménytényező:

0,98

frekvencia:

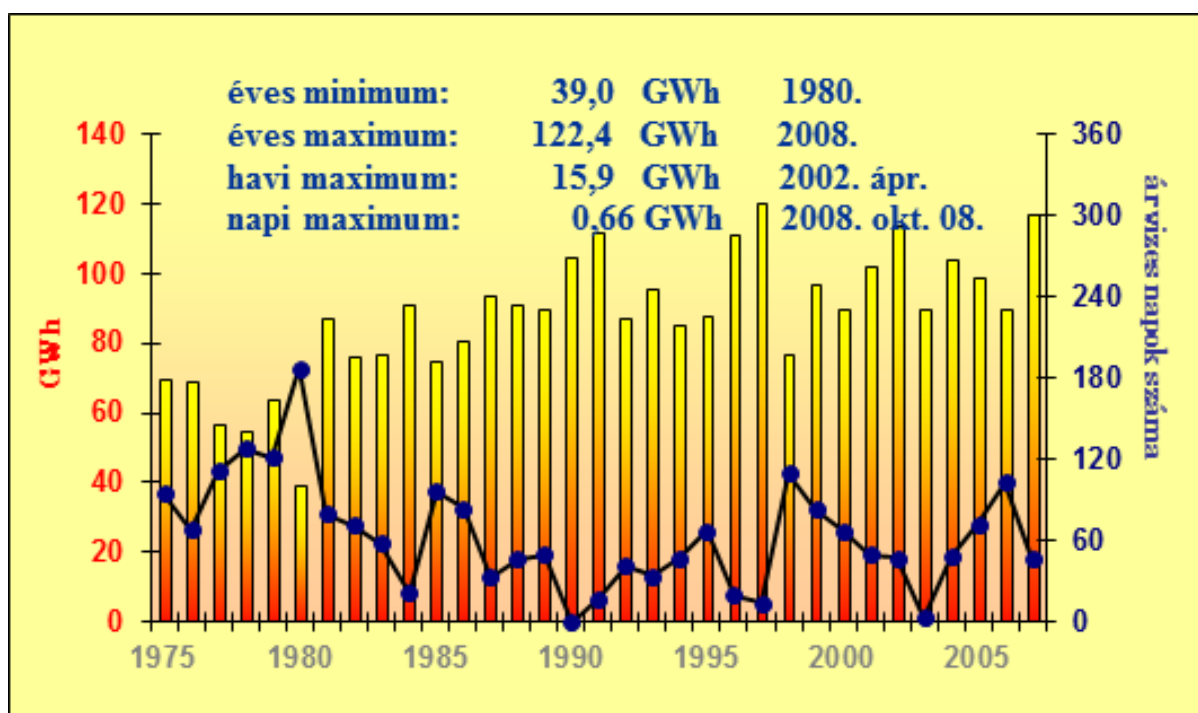
50 Hz

névleges gerjesztő feszültség:

115 V

névleges gerjesztő áram:

1200 A



336. ábra: A Kiskörei Vízerőmű termelése [6.6]

• **Bósi vízerőmű** [6.8]

1977. 09.16-án kelt államközi szerződés Csehszlovákia és Magyarország között a Bős-Nagymarosi vízlépcsőrendszer megépítéséről és üzemeléséről.

Főbb céljai voltak:

- Árvízkatasztrófák megelőzése Pozsony és Budapest között (1000 éves vízhozam 14 000 m³ /s)
- Nemzetközi hajózási paraméterek biztosítása (180 m széles, 3,5 m mély)
- A Duna vízenergia potenciáljának kihasználása tiszta elektromos energia termelésére
- A Duna belső deltájának és ivóvíz készletének megmentése, talajvízszint problémák megoldása
- A térség gazdasági fellendítése, sportolási és üdülési lehetőségek kielégítése, turizmus fellendítése

A **69. táblázat** a ténylegesen megvalósult (szlovák oldalon) beépített teljesítményeket, az átlagos éves villamos-energia termelést mutatja. A **337. ábra** a megvalósulás óta mutatja az éves villamos-energia termelést, a **338. ábra** pedig a Bósi Vízerőmű fényképfelvétele látható.

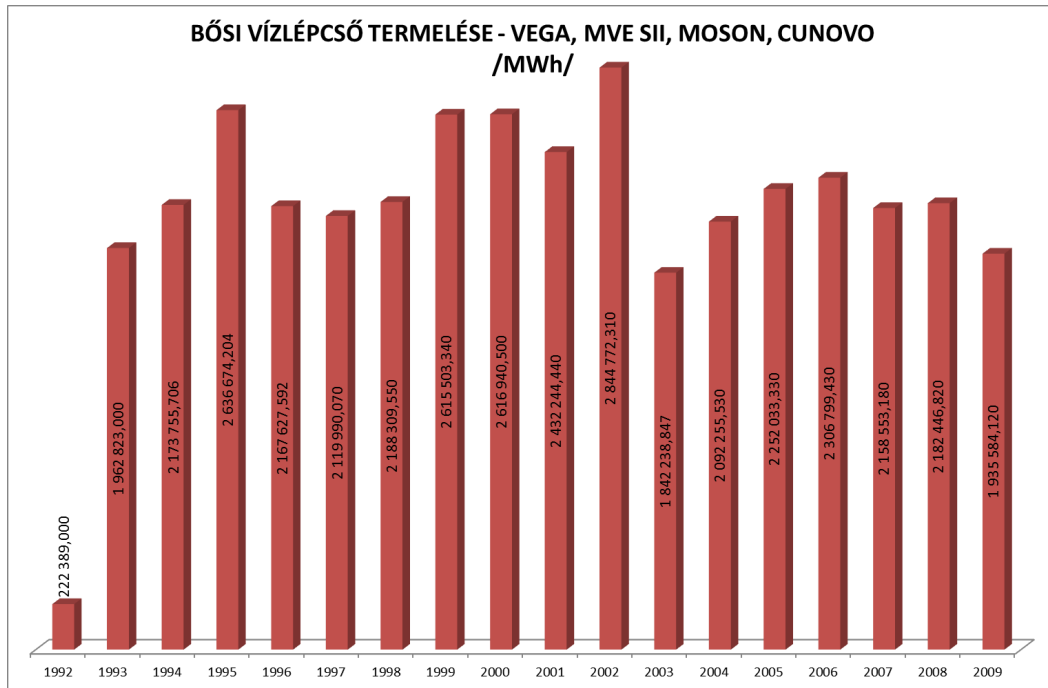
69. táblázat: Bős-Nagymarosi vízlépcsőrendszer megvalósulása [6.8]

	Vízerőmű	Átfolyás (m ³ /s)	Turbinák száma	Beépített teljesítmény (MW)	Elektromos termelés (GWh/év)
Eredeti megoldás	Gabcikovo	5100	8	720	2727
	Nagymaros	2800	6	156	1025
	Dobrohost	30	2	2,2	10,4
	MVE S7 Ga	7	2	1	4
	Összesen		18	881,2	3766,4
Ideiglenes megoldás	Gabcikovo	5100	8	720	2727
	Nagymaros	2800	0	0	0
	Dobrohost	30	2	2,2	10,4
	MVE S7 Ga	7	2	1,0	4
	Cunovo	400	4	24,4	175
	MVE Moson	20	2	1,2	5
	összesen		18	748,8	2921,4

Beépített teljesítmény: 720 MW
 Turbinák száma TG : 8 db
 Típus TG Kaplan
 Átlag éves termelés: 2329 GWh
 Max átfolyás: 5100 m³/s
 Turbina: Kaplan 4-K-15G
 Lapát szám: 4 ks
 Járókerék átmérő: 9300 mm
 Esés tartomány: 12,5 – 24,2 m
 Átfolyás: 413 – 650 m³/s
 Fordulatszám: 68,2 1/ min
 Hatásfok: 93,59 %
 Gyártó: ČKD Blansko

Generátor:

Teljesítmény:	90 MW, 100MVA
Feszültség:	15,75 kV
Cos φ :	0,9
Pólus szám:	88 ks
Forgórész átmérő:	13 000 mm
Gyártó:	ŠKODA Plzeň



337. ábra: A Bósi Vízermő termelése [6.8]



338. ábra: A Bósi Vízermő látképe [6.8]

26.4. Irodalomjegyzék a 26 . fejezethez

- [6.1] The sixth edition of the ‘renewables – Made in Germany’ catalogue . German Energy Agency, Berlin, 2009.
- [6.2] Gööz Lajos- Kovács Tamás: Vízenergia
- [6.3] Czibere Tibor: Áramlástechnikai gépek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1971.
- [6.4] hu.wikipedia.org/wiki/Vízerőmű
- [6.5] REN21. 2010. Renewables 2010 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- [6.6] Berényi József: Energiatermelés a Kiskörei Vízerőműben. MHT Borsodi Területi Szervezete Szakmai Nap, Kisköre, 2009. 06. 17.
- [6.7] www.tiszavizvizeromu.hu/index_elemei/kiskoreenergia.htm
- [6.8] Ilka Alfréd: A Bösi Vízerőmű története. MHT Borsodi Területi Szervezete Szakmai Nap, Kisköre, 2009. 06. 17.

27. A jövő energiaforrásai, nem hagyományos energiaátalakítások, energia tárolás (Dr. Tóth Péter - Dr. Bulla Miklós)

Széchenyi István Egyetem, Győr

27.1. Hidrogén a jövő energiagazdálkodásában

A jövő egyik legígéretesebb másodlagos (szekunder) energiahordozója a villamos energia mellett várhatóan a hidrogén lesz.

A hidrogén a Földön vegyületeiben hatalmas mennyiségben fordul elő. Elő lehet állítani fosszilis tüzelőanyagokból – például földgázból – reformálás segítségével, vízbontással megújuló és egyéb nem fosszilis alapú energiahordozókkal előállított villamos energiával. Kutatják a még korszerűbb radiokémiai és plazmakémiai eljárásokat, a bakteriológiai módszereket, a mesterséges fotoszintézis felhasználás lehetőségét. A hidrogénnek mint energiahordozónak elsősorban a környezetvédelmi előnyei a meghatározóak, mert karbonmentes energia ellátást ígér.

A fajlagos szén –dioxid kibocsátásban a hidrogén előnyei vitathatatlanok, de a teljes ellátási hatásláncot vizsgálva elterjedésének gazdasági feltételei várhatóan csak 2030-2040 körül lesznek teljesíthetők.

A hidrogén-technológia felhasználásához fejleszteni kell illetve meg kell oldani a tárolás és szállítás kérdéseit. Ma még a nagy nyomáson történő gáztárolás vagy a cseppfolyósított hidrogén tárolás és szállítás a legelterjedtebb, de fejlesztik a fémhidrátokkal való tárolási és szállítási technológiákat is.

A hidrogén nagyon sok területen használható. A hidrogén mint üzemanyag felhasználásával tüzelőanyag elemekkel villamos energia állítható elő, melyet elsősorban járművek üzemeltetésére lehet felhasználni. Ma elsősorban a hidrogén-infrastruktúra kiépítése és a tüzelőanyag elemek fejlesztése van napirenden. A hidrogén technológia piac érettségének előrehaladásával, feltehetően 2020 után a hidrogén jelentős szerepet kaphat a közlekedési energiafelhasználásban .

Az egyes országok, ország-csoportok energiapolitikájában ma már a hidrogén említése természetes. A kutatás és fejlesztés a karbon mentes energiaellátás megteremtése érdekében világszerte napirenden van.

A csökkenő olajkészlet, a növekvő energiaár és az ÜHG kibocsátás szükséges mérséklése erősíti az új energiahordozók és energiaátalakítási eljárások bevezetése iránti igényt. Közép és hosszú távon egyre inkább kialakul a mesterséges cseppfolyós energiahordozókra, a villamos energiára és a – főleg a megújuló energiák bázisára alapozott – hidrogénre támaszkodó energia ellátó-rendszer.

70. táblázat: A tüzelési, égési jellemzők összehasonlítása [1]

	Hidrogén	Földgáz	Benzin
Alsó fűtőérték, MJ/kg	120	50	42
Felső fűtőérték (égéshő), MJ/kg	142	57	45
Öngyulladás hőmérséklet, °C	585	540	228-501
Lághőmérséklet, °C	2045	1875	2200
Éghetőségi összetétel a levegőben, térf. %	4-75	5,3-15	1,0-7,6
Minimális gyújtási energia, μJ	20	290	240
Gáz és levegő keverékében a robbanási összetétel határa, térfogat %	13-65	6,3-13,5	1,1-3,3
Diffúziós együttható levegőben, cm^2/s	0,61	0,16	0,05

A hidrogén legfőbb előnyének az látszik, hogy a legkedvezőbb módon válthatja ki a kőolaj-finomítási termékeket a közlekedésben (tüzelőanyag-elemekben és belsőégésű motorokban egyaránt). További előnye az, hogy alkalmasnak látszik tiszta és sokoldalúan felhasználható energiátároló közegnek. Ezen a két területen fejlesztik elsősorban a hidrogénnel kapcsolatos technológiákat. A hidrogénnel a közlekedés károsanyag-kibocsátása minimálisra csökkenthető, a tárolás pedig lehetővé teszi az időjárástól függő megújuló források ésszerűhasznosítását.

A Világon 2001 és 2004 között mintegy 40 millió tonna (445 Mrd m^3) hidrogént állítottak elő, de ez is csak 1 %-át tette ki – fűtőértékben számítva – a Világ teljes energiaigényének. Ma a hidrogén több mint 90 %-át az ammónia gyártásához, az olajfinomításhoz, a metanol előállításához használják, továbbá a kohászatban, sőt az űrhajózásban is felhasználják [11].

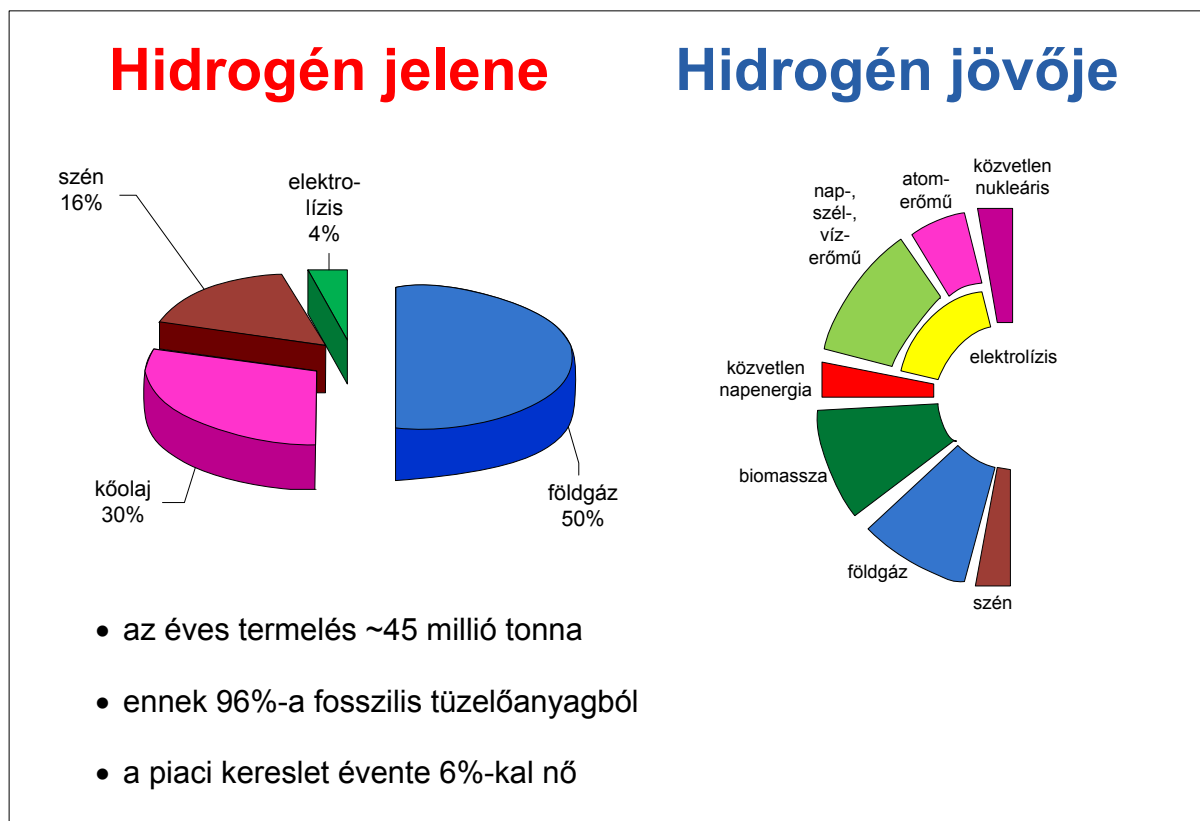
A hidrogén előállítása

A hidrogén előállításának nagyon sokféle lehetősége van, amelyek közül gyakorlati jelentőségűek manapság a következők:

- reformáló eljárások különféle fosszilis tüzelőanyagok (szén, olaj, földgáz) kombinációjával;
- vízbontás elektrolízissel villamos energia segítségével (megújuló vagy nem megújuló forrásokból származó villannyal);
- víz nagy hőmérsékletű krakkolása nagy hőmérsékletű nukleáris energiával;
- biomassa és hulladék elgázosítása.

A jelenlegi fő cél az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklése, ezért hosszú távon csak megújuló vagy karbon-mentes energiaforrásokat lehet felhasználni [3].

Mostanában évente mintegy 45 millió tonna hidrogént állítanak elő, és ennek a 96 %-át fosszilis tüzelőanyagból, főleg – az egésznek mintegy a felét – földgázból. A szén és a szénhidrogének jelentik ma a fő energiaforrást. A hidrogénnek mintegy 40 %-a manapság a kőolaj-feldolgozás és a földgáz szintézis melléktermékeként keletkezik.



340. ábra: A hidrogén előállításának jelene és jövője [1]

A hidrogén előállítható:

- földgázból ún. katalitikus gőzreformálással
- metanolból és etanolból (pl.: szén-dioxidból előállított metanol, Oláh György Nobel díjas)
- vízből radiokémiai és plazmakémiai úton
- szerves anyagokból különféle biotechnikai eljárásokkal, baktériumok felhasználásával
- mesterséges fotoszintézissel
- tengervíz elektrolízisével
- cseppfolyósított propánból
- biomasszából:
 - közvetett hidrogéntermelés, erjesztés
 - közvetlen hidrogéntermelés, elgázosítás
 - biogázból, megfelelő gáztisztítás után nikkal katalizátorral 600-700 °C-on gőzös gázreformálással

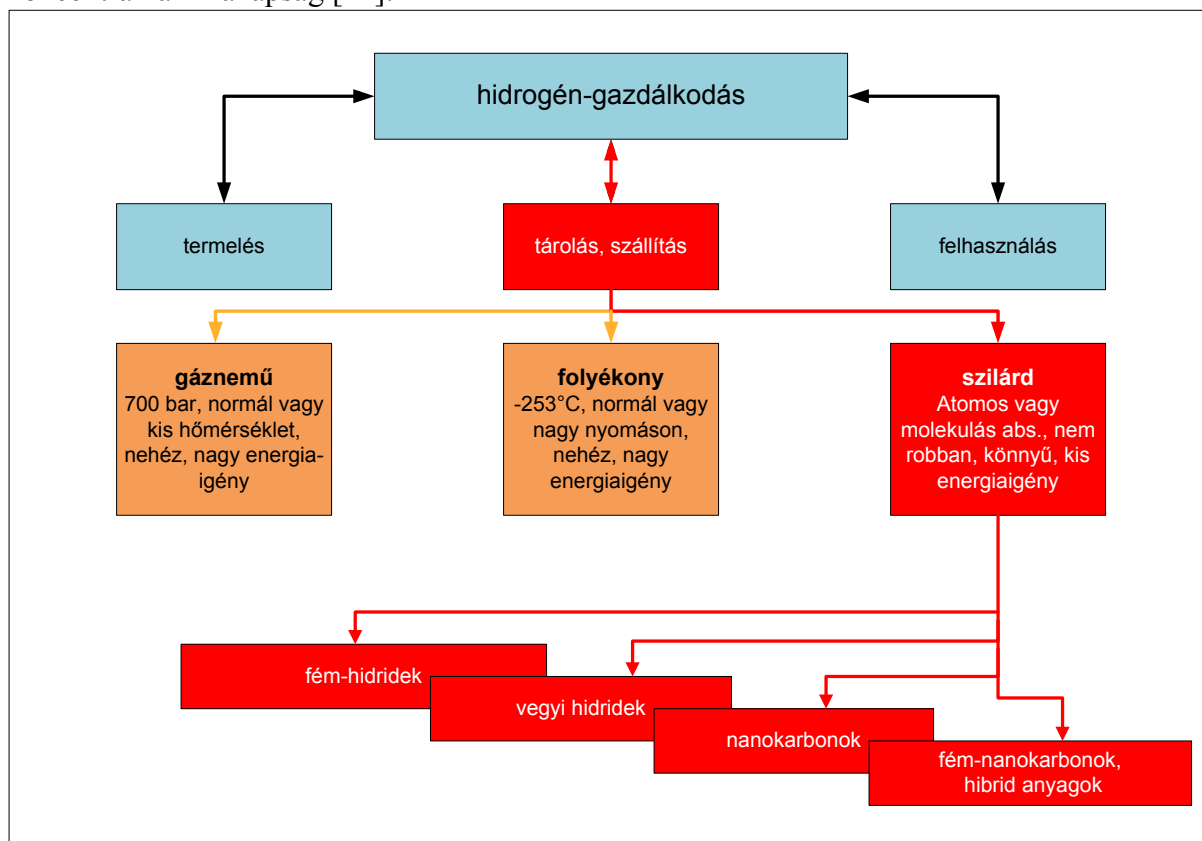
A hidrogén tárolása és szállítása

A hidrogén technológiájának egyik legfontosabb része a tárolás és ez ehhez közvetlenül csatlakozó szállítás. Sokféle módon lehet az energiát tárolni és szállítani, de mindegyiknél – főleg a villamos energiánál – különféle gondok léphetnek fel, és a tárolás és a szállítás nem mindig kellően olcsó.

A jövőbeli, hidrogénre alapozott energiagazdaság három pilléren nyugszik: az előállításon, a tároláson és a felhasználáson. Amíg a fizika és műszaki kérdések az előállításnál és a felhasználásnál alapjaiban véve tisztázottak, addig a hidrogén hatékony, nagy energiasűrűségű tárolásának gondjait még nem oldották meg. A tárolásnak is három formája van:

- nyomás alatti tárolás (kb. 700 bar) – normál vagy alacsony hőmérsékleten, amely viszonylag nehézkes, nagy energiaigénnyel jár;
- cseppfolyósított tárolás (-253 °C) – normál vagy nagy nyomáson, amely szintén viszonylag nehézkes, nagy energiaigényű folyamat;
- szilárd állapotú tárolás, amely a jövő egyik reményét keltő fejlesztés.

A nagynyomású és a folyékony tárolásnál lényegében műszaki fejlesztési kérdés a költségek és az energiaigény csökkentése. A fejlesztésben leginkább a szilárd fázisú tárolásra koncentrálnak manapság [1].



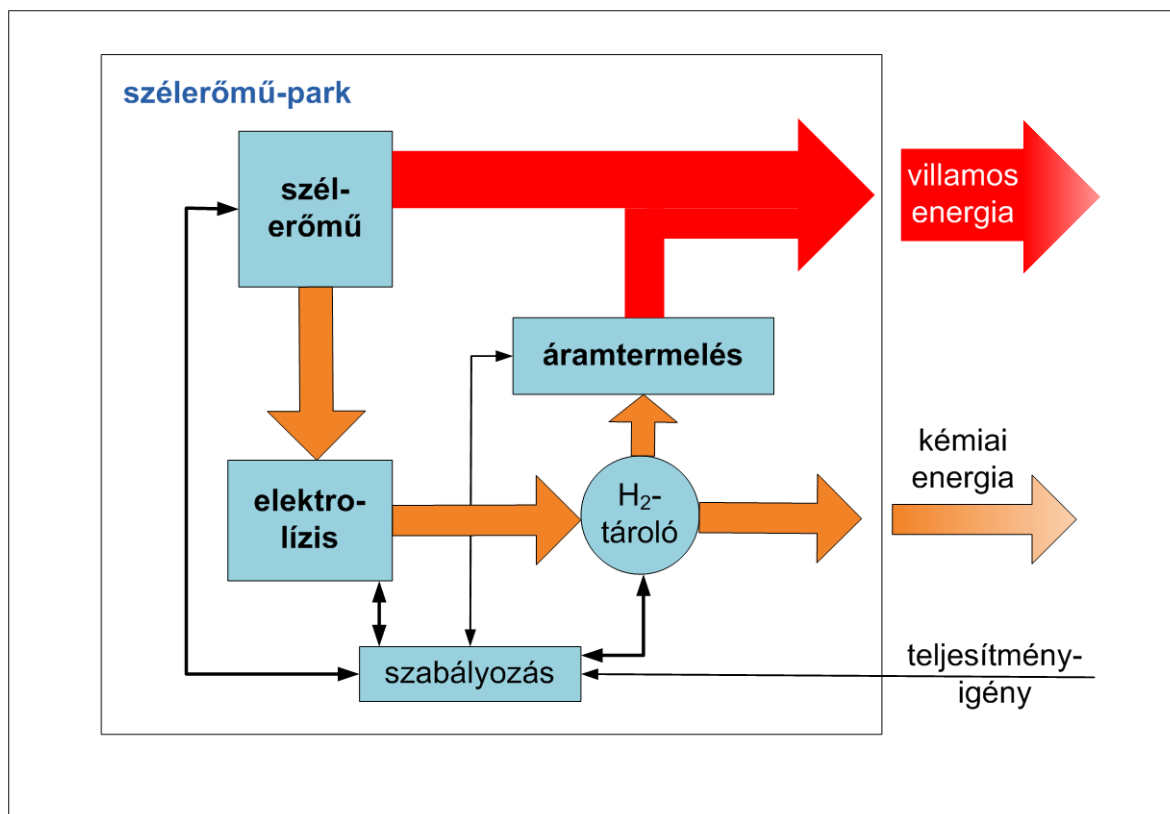
341. ábra: A jövőbeni hidrogén energetika [1]

A hidrogén mint közbenső energiátároló a szélerőmű és a villamos hálózat között [5]

A szélerőművek növekvő részaránya miatt a villamos energia ellátó rendszer rendszerirányításában egyre nagyobb mértékben figyelembe kell venni a szélerőműves villamos energia termelés időjárásfüggése. A hidrogén környezetvédelmi szempontból ideális tárolási lehetőséget jelenthet, nevezetesen:

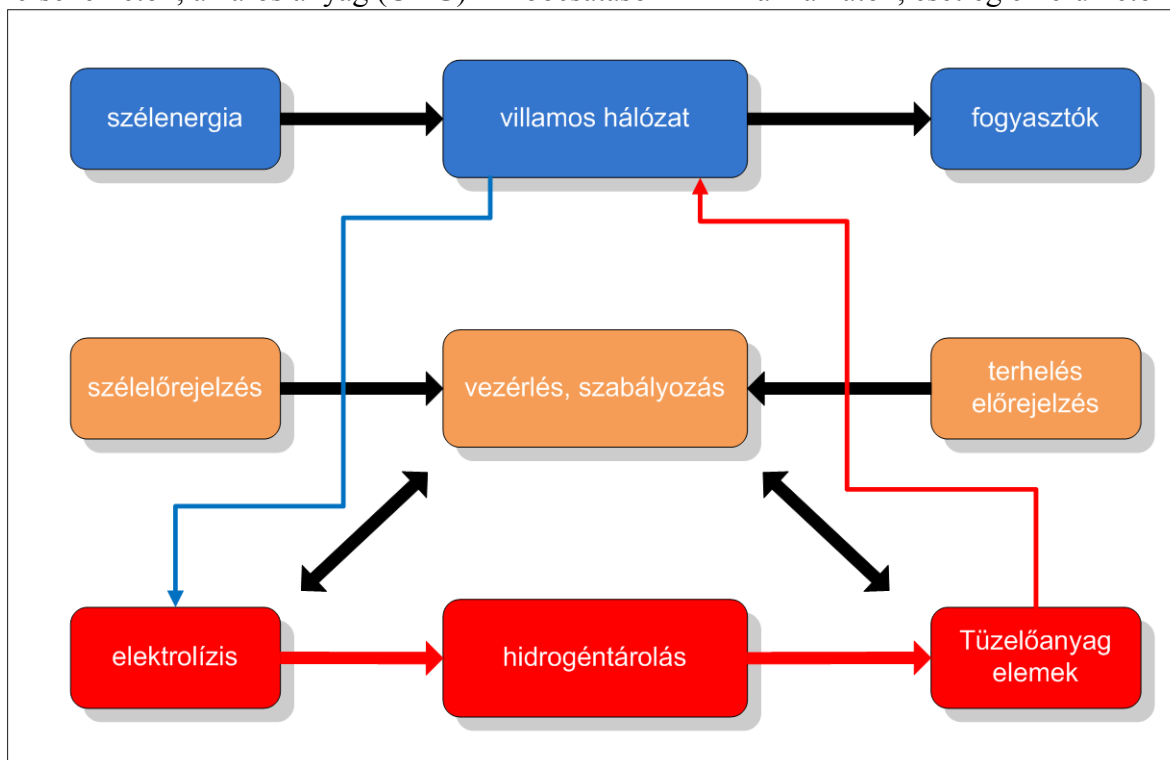
- optimális szélsősebességi értékeknél – 14-16 m/s jelentkező maximális villamos energia termelés esetén – ha azt az országos villamos energia ellátó rendszer nem tudja fogadni – a villamos energiával víz elektrolízissel hidrogén állítható elő, mely tárolható
- kis szélsősebességek esetén a tárolt hidrogénből a villamos energia ellátórendszer terhelési menetrend igénye szerint lehet ismét villamos energiává alakítani.

A hidrogén előállító, felhasználó rendszer mint közbenső szélerőműves villamos energia tároló közvetlenül a szélerőmű parkhoz csatlakoztatható.

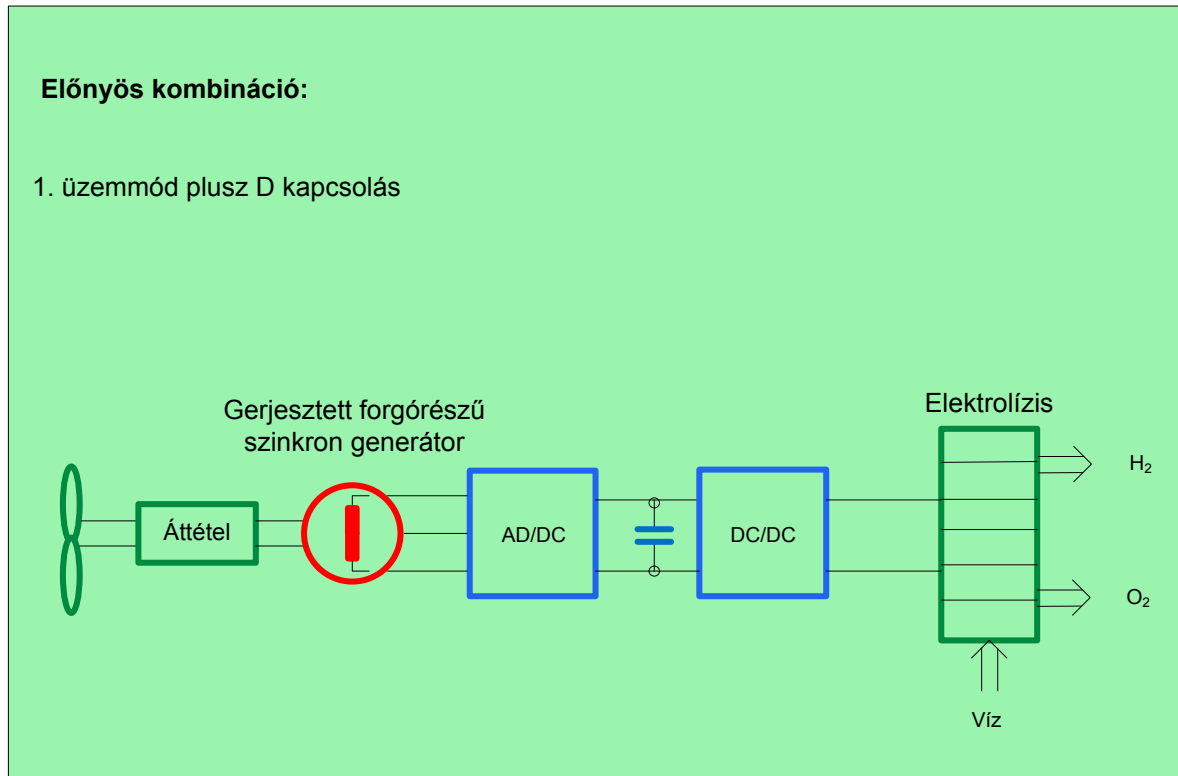


342. ábra: Szél-erőmű park és hidrogén tároló rendszer elvi vázlata [1]

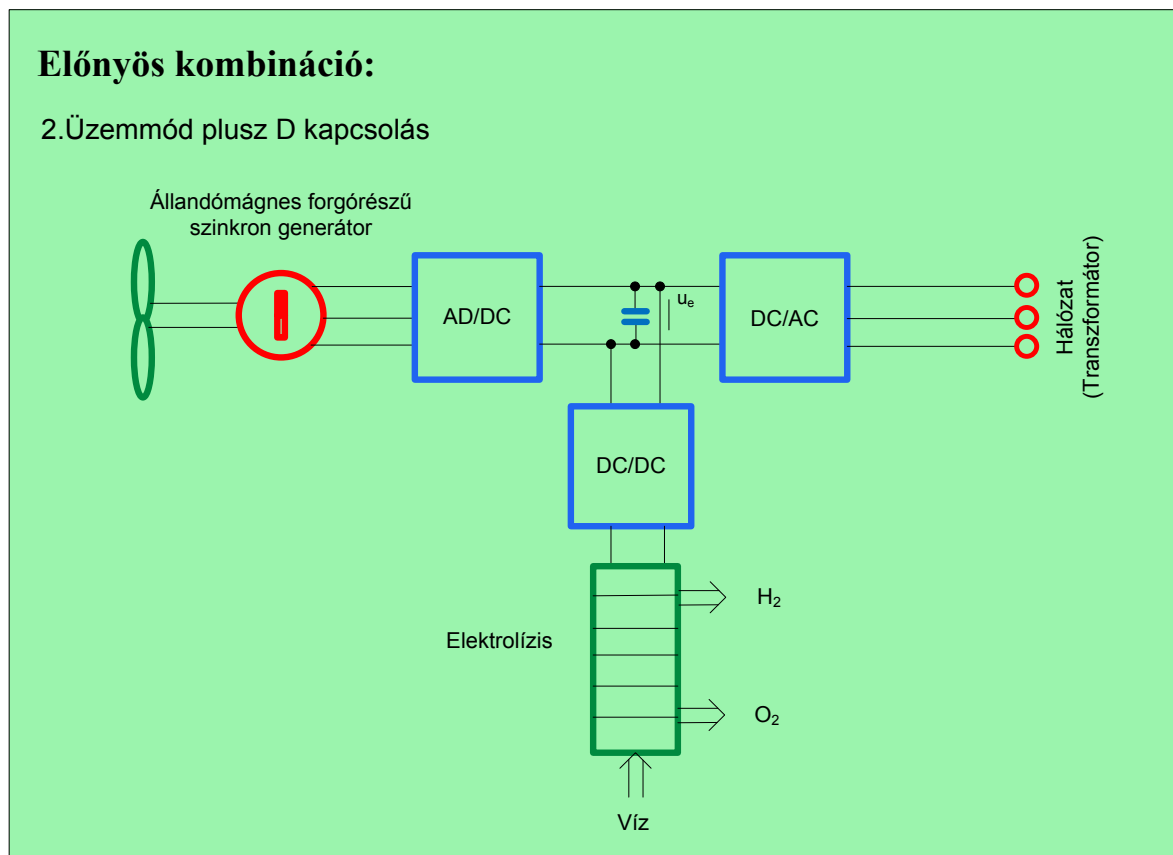
A tárolással két szekunder energiahordozó a villamos energia és a hidrogén két külön piachoz illeszthető, maximális áron kínálható értékesítésre. A szállítási és átalakítási veszteségek mérsékelhetők, a káros anyag (ÜHG) – kibocsátások minimalizálhatók, esetleg elkerülhetők.



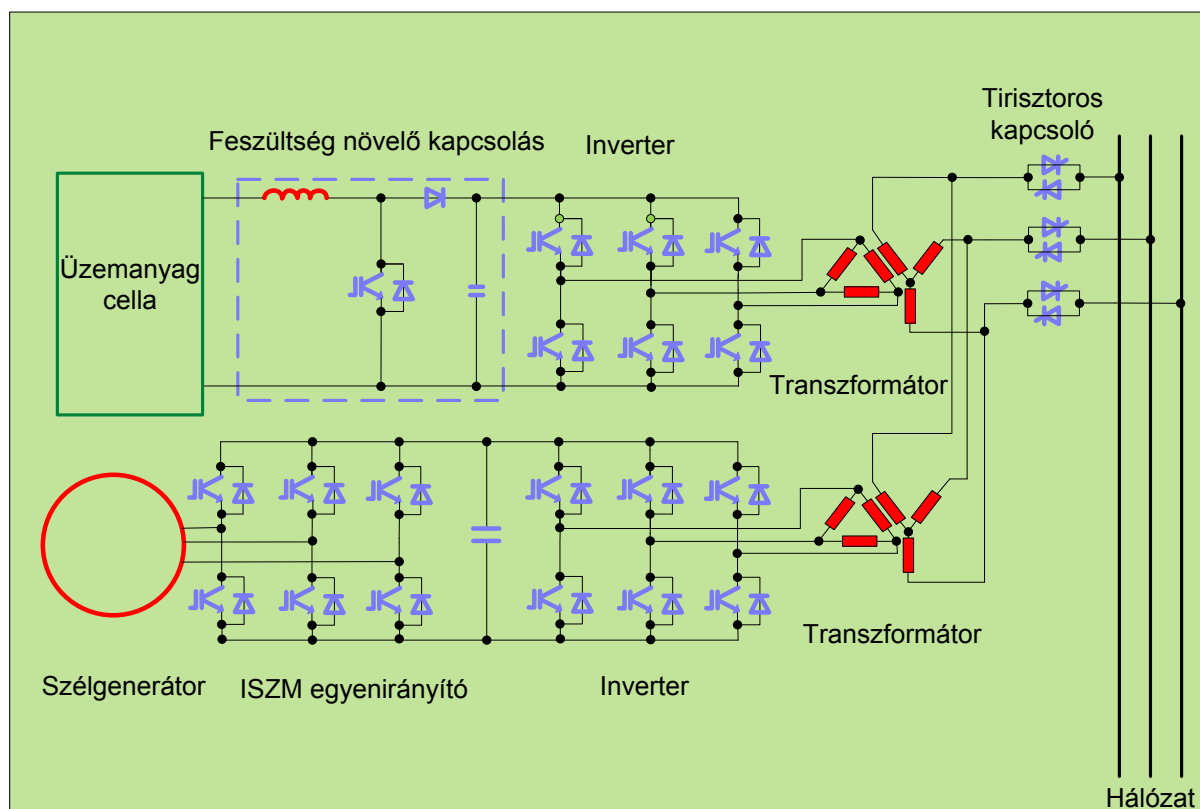
343. ábra: Hidrogén előállítással, tárolással, tüzelőanyag-elemekkel kiegészített szél-erőműves villamos energiatermelés irányítása [1]



344. ábra: Szélérőműves villamos energia termelés, vízelektrolízis kapcsolása [8]



345. ábra: Szélérőműves villamos energia termelés, vízelektrolízis kapcsolása [8]



346. ábra: Szélérőműves és tüzelőanyag cellás villamos energia termelés kapcsolása[8]

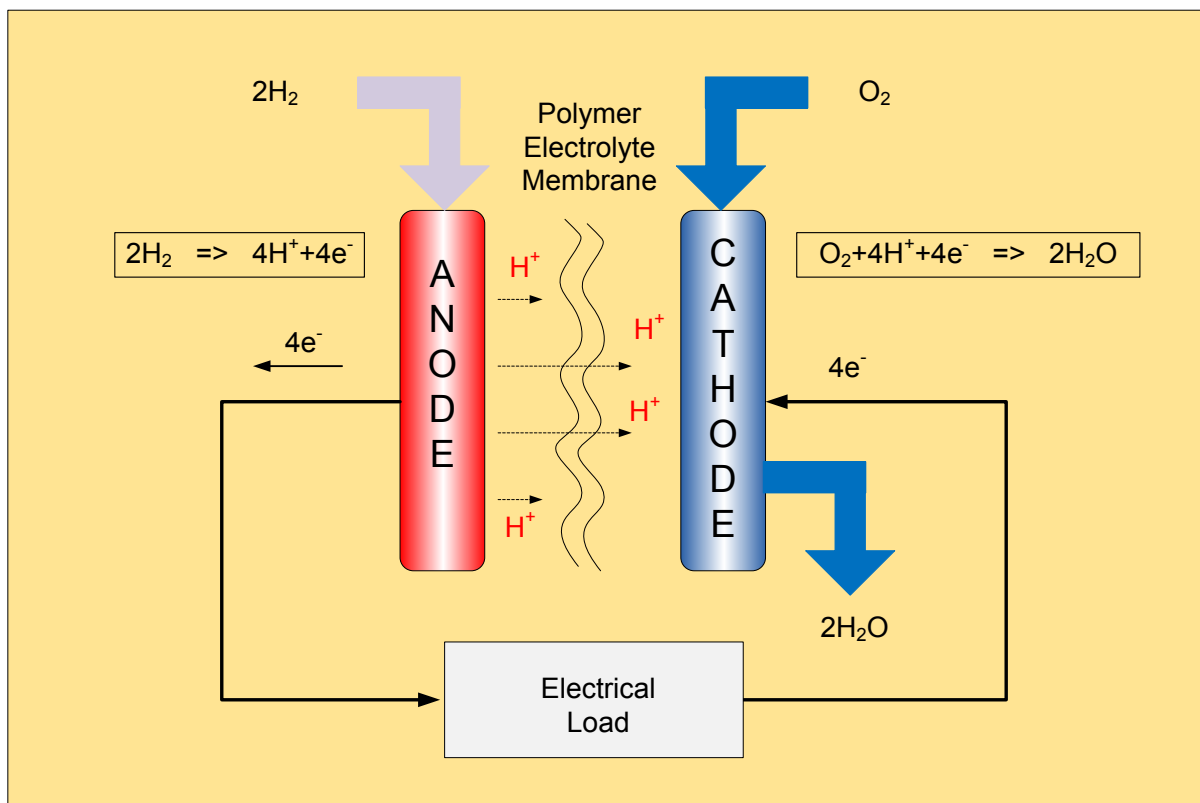
A hidrogén felhasználása

Villamos energia termelés tüzelőanyag elemekkel [10]

Az egyik hidrogénnel foglalkozó információs rendszer (www.hyweb.de) szerint a tüzelőanyag-elemekkel foglalkozó iparág 2005-ben 335 M USD-t forgalmazott és közel 800 M USD-t költött kutatásra és fejlesztésre. Abban az évben a foglalkoztatottak létszáma 12 %-kal növekedve elérte a 7074-et. A tüzelőanyag-elemekkel a hidrogénből egyenáramú villamos energiát lehet közvetlenül előállítani. Ezek az elemek egyrészt a decentralizált villamosenergia-ellátásban játszhatnak szerepet, másrészt mobil alkalmazásra, járművek hajtásához használhatók. Gyakorlatilag három fő tüzelőanyag elemet fejlesztenek: a membrános típust, a foszforsavasat és a nagyhőmérsékletű megoldásokat [30].

A tüzelőanyag cellák működése

Az utóbbi időkben némi zavar keletkezett a "fuel cell" magyarítását illetően. Sokan "üzemanyag cella" kifejezést használják. Ez a név a közlekedési eszközökben alkalmazott áramforrásokra utal, és legfeljebb ezt a kategóriát indokolt ezzel a megnevezéssel illetni. A hivatalos magyar kémiai elnevezés: tüzelőanyag-elem, ami kifejezi az egyéb, például erőműi alkalmazásokat is. Régebben a "tüzelőszer-elem" volt használatban, ami érdekes asszociációkra ad lehetőséget, főleg egybeírva, "tüzelőszerelem". A tüzelőanyag-cellák, akár csak az alkáli elemek vegyi reakciók során közvetlenül elektromos energiát állítanak elő. A legnagyobb különbség az, hogy az elemek lemerülésük után használhatatlanok, addig a tüzelőanyag-cellák addig üzemelnek, amíg az üzemanyag rendelkezésre áll. A tüzelőanyag-cellák általában két elektródából (anódból és katódból) és a köztük lévő elektrolitból állnak.



347. ábra: Tüzelőanyag - elem működési elve [10]

A folyamat során a katalizátor (általában platina) segítségével a hidrogén molekulák protonokra és elektronokra szakadnak szét. A protonok az elektroliton haladnak keresztül, az elektronok pedig elektromos áram formájában hasznosíthatók. A katódra érkező elektronok a katalizátor segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénnel és így víz jön létre.

A tüzelőanyag-cellák egyik előnye a belsőégésű motorokhoz képest az, hogy míg a tüzelőanyag-cellák hatásfokát elméleti termodinamikai határok nem korlátozzák, addig a belsőégésű motorok hatásfokát a Carnot - ciklus által meghatározott termodinamikai határok szabják meg.

A tüzelőanyag cella elektrokémiai működését a Nernst-egyenlet, termodinamikai tulajdonságait a Gibbs összefüggés írja le. A cellában lezajló jelenségek esetén a Carnot-féle körfolyamat nem érvényes.

A definícióból az alábbiak következnek:

- az említett folyamat mozgó alkatrészt nem tartalmaz, mivel alapvetően elektrokémiai jelenségről van szó
- az említett folyamatban tüzel berendezés vagy egyéb lánggal történ égés nincs, tehát igen alacsony emissziós értékek várhatók.

A reakció egyenletekből az alábbiak következnek:

- Az anód folyamat a hidrogén és szénmonoxid molekula keletkezésére nézve érzéketlen
- Az anód folyamat szempontjából nem csak a hidrogén, hanem a szénmonoxid molekula is értékes tüzelő anyagként szolgál
- A katód folyamat reakció egyenletéből következik, hogy mindkét belső tüzelő anyaggal reakcióba lép

27.2. Tüzelőanyag elemek típusai, alkalmazási lehetőségeik

A tüzelőanyag-elemek fajtái

Sokféle tüzelőanyag-cellát fejlesztettek ki, de alapjában véve megkülönböztethetünk közönséges hőmérsékleten és nagy hőmérsékleten működőket. Az előbbiek könnyen elviselnek sok be- és kikapcsolást, ez előnyös például gépjárműveknél, míg az utóbbiak inkább folyamatos üzemben, például erőművekben hasznosíthatók. A tüzelőanyag fajtáját, az elektrolit és más komponensek minőségét, valamint a felépítésüket tekintve jelenleg számos, különböző típusú tüzelőanyag-cella van forgalomban. A tüzelőanyag-cellákat leginkább a három fő jellegzetességük alapján szokásos csoportosítani: működési hőmérséklet, üzemanyag típusa, elektrolit fajtája.

71. táblázat: Tüzelőanyag cellák típusai [1] [5]

Rövidítés	Típus	Elektrolit típusa	Működési hőmérséklet	Elektromos Hatásfok
AFC	Alkáli Elektrolitos Cella	pl. 30%-os vizes kálium-hidroxid oldat	80 °C alatt	60%-70%
PEMFC	Protoncsere Membrános Cella	protonáteresztő membrán	70-220 °C*	50%-70%
DMFC	Direkt Metanol Membrános Cella	protonáteresztő membrán	90-120 °C	20%-30%
PAFC	Foszforsavas Cella	tömény folyékony foszforsav	150-220 °C	50%-60%
MCFC	Olvadt Karbonátos Cella	olvadt lítium-, nátrium- és kálium-karbonát	600°C felett	50%-60%
SOFC	Szilárd Oxidos Cella	pl. Szilárd cirkónium-oxid	600-1100 °C	60%-65%

* A membrán anyaga nagymértékben befolyásolja

Regeneratív tüzelőanyag- elemek

A regeneratív tüzelőanyag-cella (Regenerative Fuel Cell - RFC) egy olyan tüzelőanyag-cella rendszer, amely folyamatosan tud működni zárt, visszacsatoló mechanizmusok révén. Sokan azt remélik az ilyen rendszerektől, hogy megteremthetik a megújuló energiaforrásokon alapuló hidrogéngazdaság alapjait. Az olyan tüzelőanyag-cellák, amelyek energiát, hőt és vizet képesek előállítani oxigénből és hidrogénből rendkívül széles körben felhasználhatóak.

A hidrogén és oxigén előállításának egyik legkézenfekvőbb módja a vízbontás a megújuló energiaforrások (szél-, nap- és geotermikus energia) segítségével. Egy ilyen rendszer nem igényel speciális tüzelőanyag-cellákat, azonban működéséhez egy olyan infrastruktúrára lenne szükség, amely a hidrogént a felhasználás helyéhez juttatta.

Tüzelőanyag elemek alkalmazási lehetőségei

A tüzelőanyag- elemeket széles körben alkalmazzák elektromos áram előállítására hordozható készülékektől az erőművekig.



348. ábra: Tüzelőanyag elem felhasználása erőműben[11]

Nagyon hasznosak lehetnek különböző elszigetelt elektromos berendezések, úrajmúvek, meteorológiai állomások vagy bizonyos katonai létesítmények, eszközök működtetéséhez. Legnagyobb előnyük, hogy könnyűek és nem tartalmaznak mozgó alkatrészt. Mivel nincs bennük mozgó alkatrész, és működésük során nem történik klasszikus értelemben vett égés, ezért a pl. Szilárd cirkónium oxid megbízhatóságuk nagyon magas. Egyes becslések szerint ez 99,9999%-os rendelkezésre állást jelent, ami egy tüzelőanyag-cella 6 éves működési periódusában mindössze 1 perc hibás működést jelent.

Az egyik legújabb hasznosítási módjukat az ún. kogenerációs erőművek jelentik, melyek a hő- és a villamosenergia-termelést ugyanabban a berendezésben, ugyanabból az energiaforrásból végzik. Ezek képesek ellátni családi házak, irodaházak, gyárak energia, fűtés illetve meleg víz szükségletét is.

A legnépszerűbb felhasználási terület természetesen a közlekedés. Az első működő tüzelőanyag-cellás hajó a HYDRA.



349. ábra: Tüzelőanyag elem felhasználása a hajózásban[11]

Ez az egyik bizonyíték arra, hogy a tüzelőanyag-cellák nem csak a szárazföldön, hanem a vízben is megállják a helyüket energiaforrásként. A HYDRA-t egy csapat fiatal mérnök készítette Németországban. A hajó elkészítéséhez több város neve is kötődik. Bár a tüzelőanyag-cellát Lipcsében, a karosszériát pedig Hamburgban készítették el a keresztlőre 2000 júniusában Bonnban került sor. Működése során több, mint 2000 utast szállított bármilyen technikai probléma felmerülése nélkül. A hajóba alkáli elektrolitos cella (AFC) került, mivel ez nem érzékeny a sós környezetre és fagypont alatt is képes elindulni.

A vízfelszín mellett már a víz alatt is használnak tüzelőanyag-cellákat. A tengeralattjáró fejlesztések egy része a minél nagyobb teljesítményű akkumulátorok megalkotását tűzte kicélul, azonban sokkal valószínűbb, hogy a jövőt a levegő független erőforrások (AIP) jelentik. Ezek lényege, hogy a tengeralattjáróknak a víz alatt - a korábbi megoldásokhoz hasonlóan - ugyanúgy akkumulátorok és elektromotor biztosítja a meghajtást, azonban az akkumulátorok feltöltésére a víz alatt is van lehetőség. Az egyik legelterjedtebb megoldás a tüzelőanyag cellák használata. Erre az egyik legkiválóbb példa a német Type 212-es tengeralattjáró, melynek működését biztosító protoncsere membrános cellát a szintén német Siemens cég gyártotta.



350. ábra: Tüzelőanyag felhasználása a tengeralattjárókban[11]

Természetesen a közlekedésben használt tüzelőanyag-cellák a levegőben is képesek megállni a helyüket. A légi közlekedés szempontjából a legnagyobb előnyeik, hogy nincs vagy csak nagyon alacsony a káros anyag kibocsátásuk illetve nagyon halk a működésük. Többek között ez utóbbi miatt is mutat nagyfokú érdeklődést irántuk a hadipar. További előnyeik hadászati szempontból, hogy relatív alacsony a működési hőmérsékletük és viszonylag nagy repülési magasságokat képesek elérni.

Az egyik alternatív hajtási módokra specializálódott amerikai cég a Manhattan Scientifics és a leginkább motorjairól ismert Aprilia közös fejlesztésű tüzelőanyag-cellás robogója volt az egyik legelső a kétkerekű tüzelőanyag-cellás alkalmazások között. A tüzelőanyag-cellás robogók legnagyobb felvevőpiacai lehetnek azok az ázsiai országok, ahol egyébként is népszerűek ezek a kétkerekű közlekedési eszközök. Természetesen legnagyobb előnyük, hogy nem szennyeznek tovább a városok már egyébként is szennyezett levegőjét.

A legfontosabb tüzelőanyag elem típusok [10]

Gyakorlatilag az alábbi fő tüzelőanyag elemeket fejlesztik:

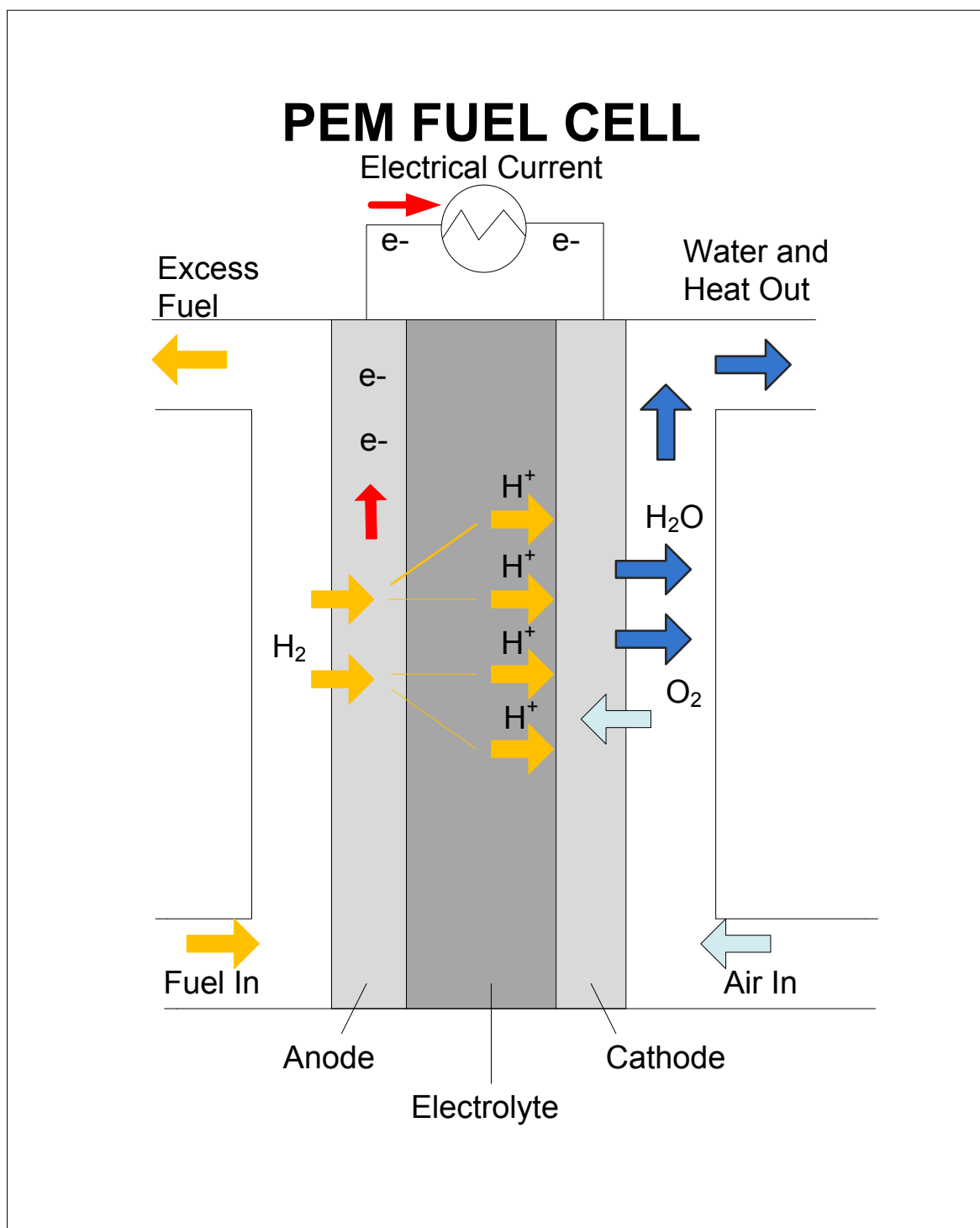
- a membrános típust,
- a foszforsavasat
- a nagyhőmérsékletű megoldásokat

Ezek közül a négy legelterjedtebb típust mutatjuk be, nevezetesen:

A) PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)

A Protoncsere Membrános Cella lehet a jövőben a legalkalmasabb arra a feladatra, hogy átvegye a mostani dízel és benzinmotorok szerepét a közlekedésben. Először a NASA használt ilyen típusú cellákat a GEMINI programban az 1960-as években. Az elektród anyaga ezekben a cellákban szilárd polimer membrán (vékony műanyag filmréteg). E polimer jellegzetessége, hogy nedves állapotban a protonokat átereszt, azonban az elektronokat nem. Az anódon a beáramló hidrogén szétesik protonokra és elektronokra. A protonok a

membránon keresztül haladnak a katód felé az elektronok pedig egy külső áramkörön keresztül érik el azt, miközben elektromos energia keletkezik. A katódra érkező elektron az ott beáramló oxigénnel és a membránból érkező hidrogén ionokkal egyesül és víz keletkezik. A többi típusú tüzelőanyag-cellával összehasonlítva sokkal jobb energiasűrűségi paraméterekkel rendelkezik. Egyik jellegzetessége, hogy a működési hőmérséklete a membrán anyagától nagy mértékben függ. Az egyik leggyakrabban használt anyag a Nafion® esetében alacsonyabb a működési hőmérséklet, míg PolyBenzImidazole membrán esetén magasabb, akár a 200 °C -t is meghaladhatja.



351. ábra: PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)

Paraméterek:

- Elektrolit típusa: protonáteresztő membrán
- Működési hőmérséklet: 70 °C – 220 °C
- Elektromos hatásfok: 40% - 50%

Reakciók:

- Anódon: $2\text{H}_2 \Rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
- Katódon: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- A teljes reakció: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Előnyei:

- Hatékony
- Olcsó az előállítás a szilárd elektrolit miatt
- A szilárd elektrolit miatt nem érzékeny a gravitációra
- Gyors indulás
- Hosszú élettartam

Hátrányai:

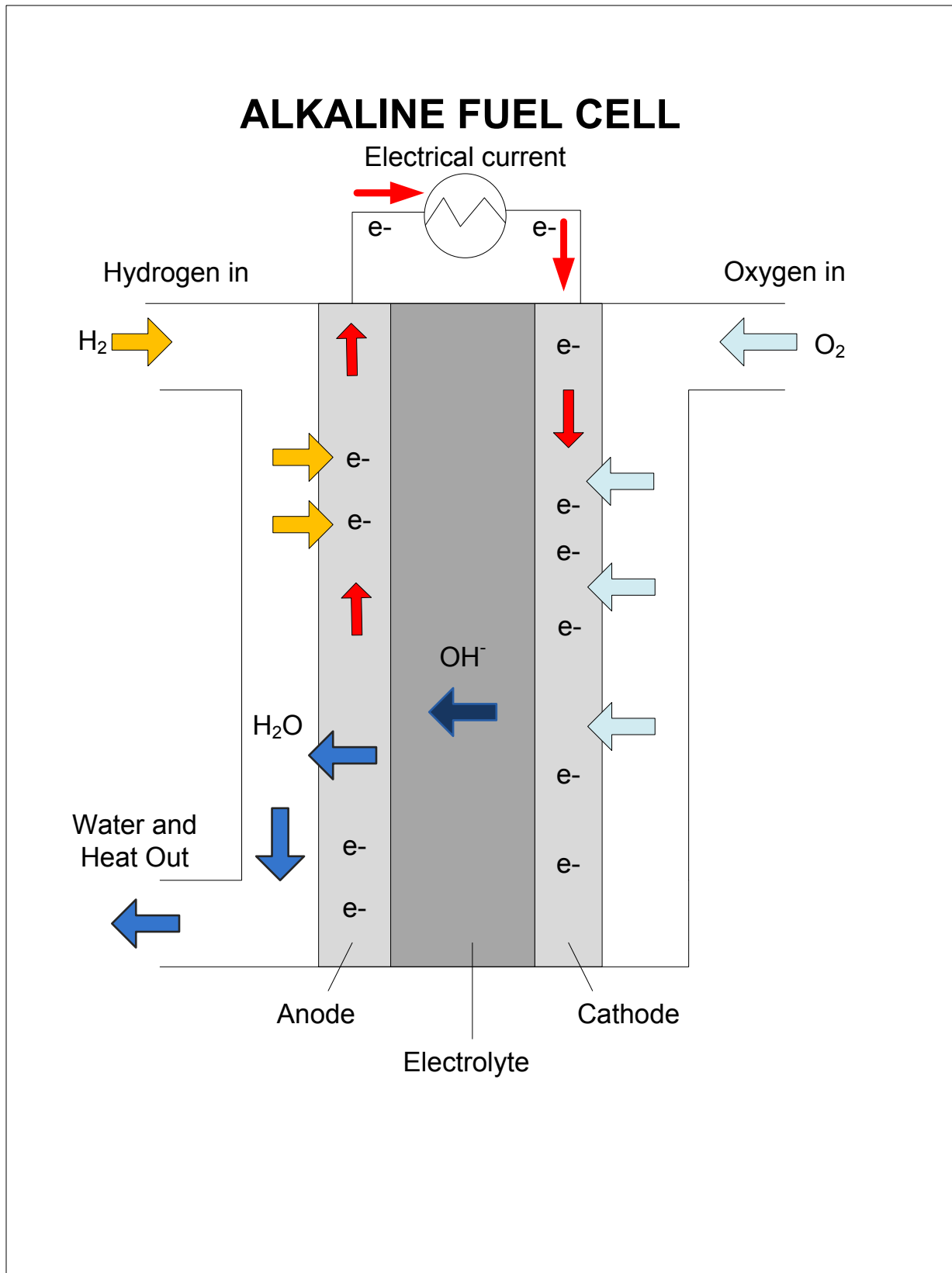
- Körülményes szabályozás (az elektrolitot nedvesíteni kell)
- Az alacsony működési hőmérséklet miatt kicsi a hőhasznosítás hatásfoka

Felhasználási területek:

- Járműipar
- Hadiipar
- Hordozható áramforrások
- Erőművek

B) AFC (Alkaline Fuel Cell)

Az Alkáli Elektrolitos Cellák képviselik az egyik leginkább kidolgozott technológiát az tüzelőanyag-cellák között. Már 1960 óta használják őket, többek között a NASA Apollo és Space Shuttle programjaiban is. Az űrjárművek fedélzetén ilyen típusú cellák biztosították a fedélzeti eszközök működéséhez szükséges áramot valamint az ivóvizet is. Az ilyen típusú tüzelőanyag-cellákat feltalálójuk után Bacon Celláknak is szokták hívni. Az alkáli elektrolitos cellák esetében a töltéshordozó részecske a hidroxil ion (OH^-) ami a katódtól az anód felé halad ahol reakcióba lép a hidrogénnel amiből víz és elektron keletkezik. A Foszforsavas cellák kerültek elsőként kereskedelmi forgalomba a tüzelőanyag-cellák közül. Az 1960-as évek közepén fejlesztették ki ezt a típust és már a rákövetkező évtizedben sor kerülhetett az első eladásokra. Más tüzelőanyag-cella típusokhoz képest akkor jóval stabilabb viselkedést mutatott, nagyobb teljesítményre volt képes és mindezek mellett az ára is elég alacsony volt. E cellákban az elektrolit teljes egészében foszforsavból áll (H_3PO_4). Mivel a foszforsav ionos vezetése rossz alacsony hőmérsékletek mellett ezért a működési hőmérsékletük elég magas, gyakran a 200°C-t is meghaladhatja. A működése nagyjából azonos a Protoncsere Membrános Celláéval. Ennek megfelelően az anódon és katódon lejátszódó reakciók is azonosak.



352. ábra: AFC (Alkaline Fuel Cell)

Paraméterek:

- Elektrolit típusa: tömény folyékony foszforsav
- Működési hőmérséklet: 150°C-220°C
- Elektromos hatásfok: 50%-60%

Reakciók:

- Anódon: $2\text{H}_2 \Rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
- Katódon: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- A teljes reakció: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Előnyei:

- A magas működési hőmérséklet hatékony hőhasznosításra ad lehetőséget
- Érzéketlen a szén-dioxidra és a szén-monoxidra
- Hosszú élettartam (A foszforsav illékonysága nagyon alacsony)
- Stabilitás
- Egyszerű felépítés

Hátrányai:

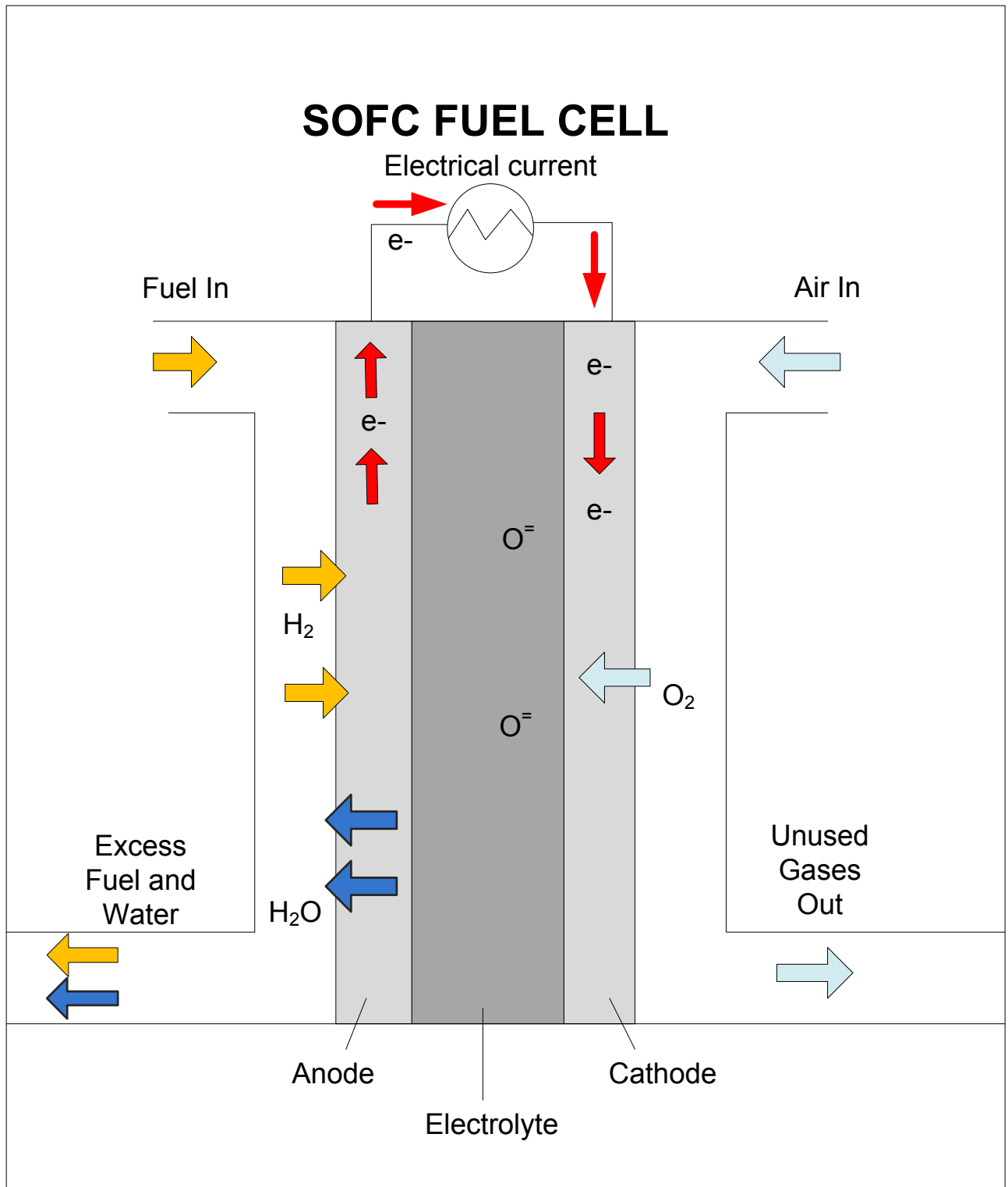
- Nagy méret
- Platina katalizátor szükséges
- Nehezen indítható (A foszforsav 40°C alatt szilárd)

Felhasználási területek:

- Épületek energiaellátása
- Erőművek
- Hadiipar

C) SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)

A Szilárd Oxidos Cellák jelenleg a legmagasabb üzemi hőmérsékletű cellák. Az elektrolit olyan vékony kerámia (szilárd oxid) réteg, mely képes arra, hogy magas hőmérsékleten vezesse az oxigénionokat. Az 1950-es évek második felében fejlesztették ki a két alapvető szilárd oxidos cellafajtát a csöves és a paneles szerkezetűt. A töltéshordozó oxigén ionok a katódon keletkeznek oxigén molekulákból, elektronok felhasználásával. Az anódon pedig hidrogénnel egyesülve szabadulnak fel ismét az elektronok, melyek egy külső áramkörön keresztül áramot és hőenergiát termelve jutnak el ismét a katódhoz.



353. ábra: SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)

Paraméterek:

- Elektrolit típusa: pl. Szilárd cirkónium-oxid
- Működési hőmérséklet: 600°C-1100°C
- Elektromos hatásfok: 60%-65%

Reakciók:

- Anódon: $2\text{H}_2 + 2 \text{O}_2^- \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$
- Katódon: $\text{O}_2 + 4\text{e}^- \Rightarrow 2\text{O}_2^-$
- A teljes reakció: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Előnyei:

- Magas elektromos hatásfok
- Gőzturbinával akár 70% fölé is növelhető a hatásfok
- A magas hőmérsékletnek köszönhetően nem érzékeny az üzemanyag minőségére

Hátrányai:

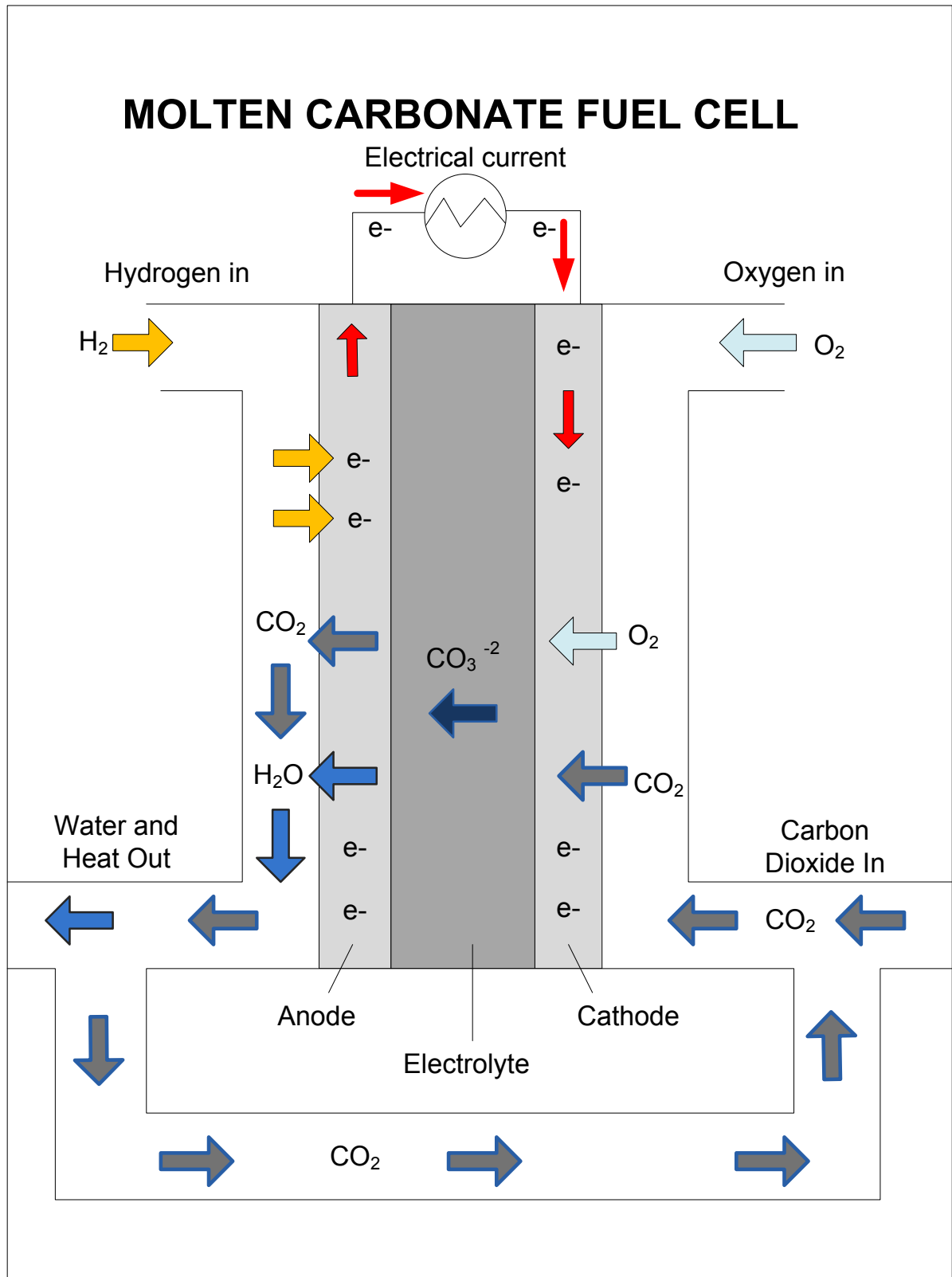
- Lassú indulás
- Lassú reagálás az áramigények megváltozására
- Az extrém hőmérsékletek miatt drága alapanyagok

Felhasználási területek:

- Erőművek
- Ipari felhasználás

D) MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) [7]

Az Olvadt Karbonátos Cella a magas üzemi hőmérsékletű cellák családjába tartozik. A magas üzemi hőmérséklet lehetővé teszi, hogy közvetlenül földgázzal is működtethessük a tüzelőanyag-cellát. Az 1960-as évek közepén fejlesztették ki és azóta a legnagyobb eredményeket a teljesítmény és az élettartam növelésének tekintetében érték el. Az ilyen típusú cellák a többi cellától eltérő módon működnek. Elektrolitként olvadt karbonát sókat tartalmaz, általában két karbonát keverékből. A két leggyakoribb kombináció: lítium-karbonát és kálium-karbonátkeveréke, lítium-karbonát és nátrium-karbonát keveréke. A magas üzemi hőmérséklet ahhoz szükséges, hogy az elektrolit megolvadjon és a megfelelő ionáteresztő képességet érjen el. Az elektrolit, olvadása után képes lesz arra, hogy vezesse a karbonát ionokat (CO_3^{2-}). Ezek az ionok a katódtól az anód felé haladnak, ahol hidrogénnel egyesülve víz, szén-dioxid és elektron keletkezik. Az elektron pedig egy külső áramkörön keresztül áramot és hőt termelve érkezik vissza a katódra.



354. ábra: MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)

Paraméterek:

- Elektrolit típusa: olvadt lítium-, nátrium- és kálium-karbonát
- Működési hőmérséklet: 600°C felett
- Elektromos hatásfok: 50%-60%

Reakciók:

- Anódon: $H_2 + CO_3^{2-} \Rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$
- Katódon: $CO_2 + 1/2O_2 + 2e^- \Rightarrow CO_3^{2-}$
- A teljes reakció: $H_2 + O_2 + CO_2 \text{ (katód)} \Rightarrow H_2O + CO_2 \text{ (anód)}$

Előnyei:

- A magas működési hőmérséklet miatt nincs szükség üzemanyag reformerre
- A magas működési hőmérséklet hatékony hő hasznosításra ad lehetőséget
- Olcsó alapanyagok

Hátrányai:

- Érzékeny a korrózióra
- Lassú indulás
- Körülményes a szén-dioxid áramlásának szabályozása

Felhasználási területek:

- Erőművek
- Ipari felhasználás

Az MCFC technológia előnyei [7]

- a 650°C működési hőmérsékletből adódóan a reformer folyamathoz szükséges hőt és hőmérsékletet a tüzelőanyag-cella saját maga megtermeli, tehát a hő hasznosítás részben a berendezésen belül megvalósul
- a működési hőmérséklet nagyságából adódóan a berendezés hagyományos anyagokra épül, tehát mesterségesen előállítható kerámiák alkalmazása nem szükséges
- a kilépő füstgáz hőmérséklete 400°C, ami rugalmas, könnyen kezelhető hő hasznosítási lehetőséget eredményez
- a belső tüzelőanyag előállítása a berendezésen belül elhelyezkedő reformer egységen keresztül történik, amelynek kivételét az alkalmazásra kerülő primer tüzelőanyag fajtája határozza meg
- decentralizált rendszerek kiépítésének ideális eszköze
- jelentős, 40-100%-ig terjedő teljesítmény-szabályozás átfogási tartománya, miközben a villamosenergia-termelés hatásfoka nem csökken, a hő leadás mértéke pedig arányosan változik
- adott alkalmazási körülményekhez illeszkedő primer energiaellátást tesz lehetővé
- a szennyvíz- és egyéb hulladékkezelési technológiák során felszabaduló depónia- és biogáz gazdaságos és egyben környezetkímélő hasznosításának innovatív technológiai eljárása
- biogáz alkalmazása esetén - a CO₂ jelenléte miatt - a villamosenergia-termelés hatásfoka nő a földgázzal történő üzemvitelhez képest.
- alacsony zajszint mellett üzemel, a költséges zajcsillapító burkolat kiépítése nem szükséges
- üzemeltetési költsége alacsony, gyakorlatilag a tüzelőanyag és az indítási és leállítási folyamathoz szükséges segédgázok ára
- az eddigi üzemeltetési tapasztalatok szerint karbantartást nem igényel

Az MCFC technológia összefoglalása[7]:

- a szakirodalomban ismertetett előzetes becslések szerint a villamos egységteljesítmény várhatóan 250-20000 kW között lesz
- jelenleg magas a fajlagos beruházási költsége
- az elektrokémiai folyamatot megtestesít cella köteg, azaz a „stack” várható élettartama 40000 üzemóra, amelynek cseréje gyári körülmények között valósítható csak meg
- megerősített szakértői vélemények szerint a sorozatgyártás kezdete 2010 évre várható, ami a jelentős árcsökkenés következtében gyorsuló piaci elterjedést eredményez

Az alkalmazások és a referenciák összefoglalása[7]:

Az alkalmazási lehetőségek tárháza gyakorlatilag végtelen, hiszen a jövőben a kogenerációval és egyben decentralizáltan előállított villamos- és hőenergia a normál életvitel részét képezi majd.

Az MCFC technológia területi megoszlása az alábbi [7]:

Beépített teljesítmény:

Japán és Korea 8,25 MW, Kalifornia 7.00 MW, USA egyéb területei 4.50 MW.
Európa 4,25 MW.

A tipikus alkalmazások az alábbiak[7]:

- szennyvíz-iszap fermentációs technológiájából származó biogáz hasznosítása, a hasznosítható hőt a fermentációs technológia fenntartására fordítják
- kórházak és szállodák esetében a trigenerációs megoldások a jellemzők
- kormányhivatalok és irodaépületek esetében szintén a trigenerációs megoldások a dominánsak
- ipari létesítmények esetében a hő hasznosítás általában gőztermelést, vagy távhőszolgáltatást takar

Az elmúlt 5-6 év üzemviteli tapasztalatai bebizonyították az MCFC technológiára épülő rendszerek piacérettségét. A jelenlegi primerenergia választék földgáz, biogáz és metanol. A fejlesztés egyértelműen a nagyobb egységteljesítmény berendezések létrehozásának, valamint a hibrid rendszerek fejlesztésének irányába mutat.

27.3. Az energia tárolása[5]

A hagyományos energia tárolási megoldásokat a 72. táblázat és a 73. táblázat foglaltuk össze.

72. táblázat: Energia tárolási módszerek 1.

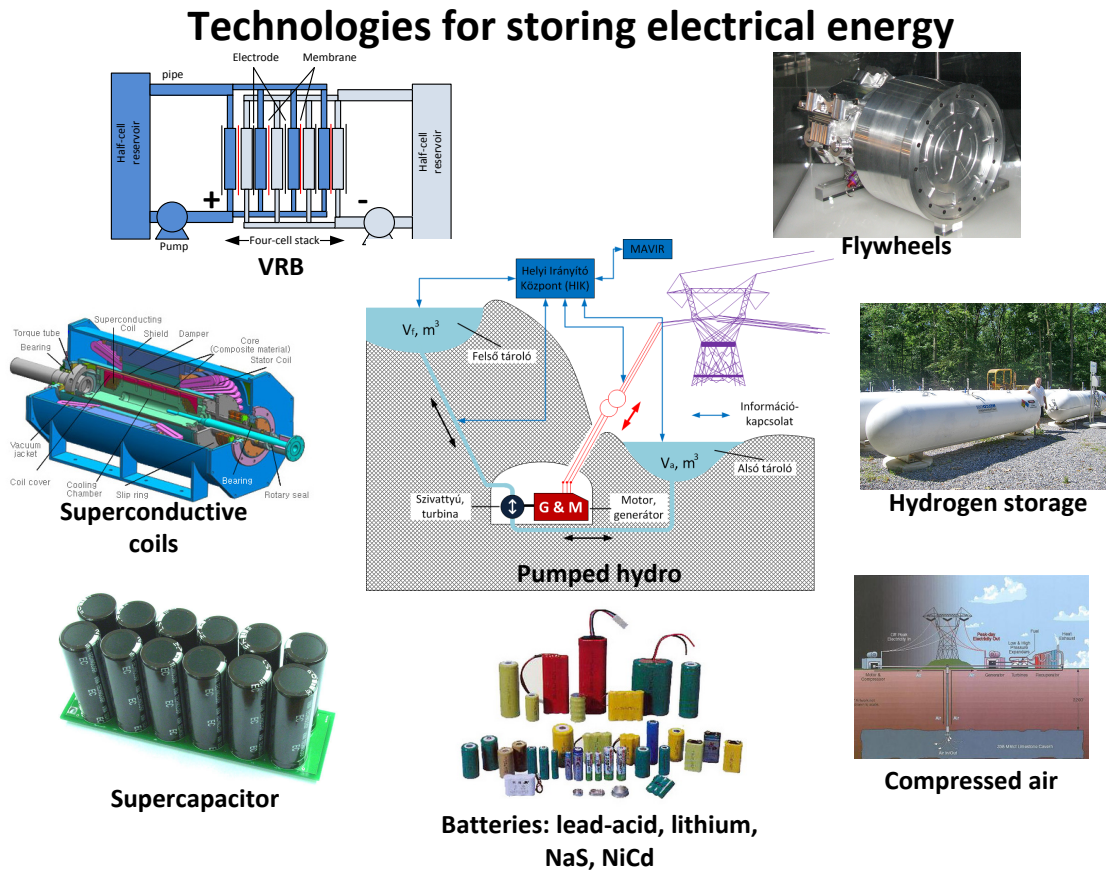
Energiafajta	A tárolásmódja		A tároláshoz szükséges berendezés, szerkezet		Tárolási veszteségek forrása	A tárolás hatásfoka	Megjegyzés
Vegyiergia	Szilárd	Tüzelőanyagok tárolása	Tárolótér, Szállítóberendezések Emelő berendezések		Porlás, Oxidálás Begyulladás, Fűtőérték Csökkenés	0,9-0,98	Gyakorlatilag korlátlan mennyiség tárolható hosszú ideig
	Folyékony		Tárolótartály medence Lefejtő berendezések Szállítóberendezések		Párolgás Tömörtelenség	0,99-1,00	Kis mennyiségek tárolására, hosszú idő-tartamra
	Gáznemű		Gáztartály	Száraz Nedves Nagynyomású	Nyomásveszteség Tömörtelenség	0,96-0,98	Kis mennyiségek tárolására, kevésbé hosszú időtartamra
			Földalatti gáztároló				
Hőenergia	Hőhordozó közeg (gőz) tárolása			Nyomásesés	Lehülés Nyomásveszteség Fojtási veszteség	0,75-0,90	Ruths-tároló
				Allandó nyomású		0,90-0,95	Kazán víztere. Kiselbach-tároló, Marguerre tároló
			Forróvítároló	Középnomású Kisnyomású			
	Hőálló anyag melegítése és lehűtése		Regeneratív rendszerű hőátadó berendezések	Fém	Lehülés Nyomásveszteség	0,70-0,85	Szakaszos üzemű hőátadók, nagy-olvasztók léghevítők, stb.
Hőtárolás falazatban, szerkezetben, anyagban			Kerámia	Tömörtelenség			

73. táblázat: Energia tárolási módszerek 2.

Energiafajta		A tárolásmódja			A tároláshoz szükséges berendezés, szerkezet		Tárolási veszteségek forrása	A tárolás hatásfoka	Megjegyzés
Mechanikai energia	Helyi energia	Áramlás	folyóvíz	duzzasztása	Tározós vízerőmű	Tározó medencék telepítése	Párolgás Vízszivárgás Nyomásveszteség	0,95-0,98	
			tengervíz		Ár-apály erőmű				
		Vízemelés szivattyúzással			Szivattyús tározós erőmű, víztorony	Szivattyú, csőhálózat	Párolgás, Vízszivárgás, Nyomásveszteség, Szivattyúzási veszteség	0,70-0,82	
		Levegő sűrítése kompresszorral és a sűrített levegő tárolása			Légtartály Hidrofor Földalatti levegőtárolás		Tömítetlenség Nyomásveszteség	0,95-0,98	
	Egyéb mechanikai tároló szerkezetek			Rugós szerkezet Kilincsmű Feszítőmű, stb.		Súrlódás	0,98-1,00	Általában kis energia és teljesítmény tárolására	
	Mozgási energia	Tehetetlenségi erők hatásának felhasználása			Lendkerék Pörgettyű Inga, stb.		Súrlódás	0,98-1,00	Általában kis energia és teljesítmény tárolására
Villamosenergia		Egyenáram vegyi hatásának felhasználása			Akkumulátor	Helyhez kötött Mozgó		0,75-0,95	Kis teljesítményre egyenáram tárolására

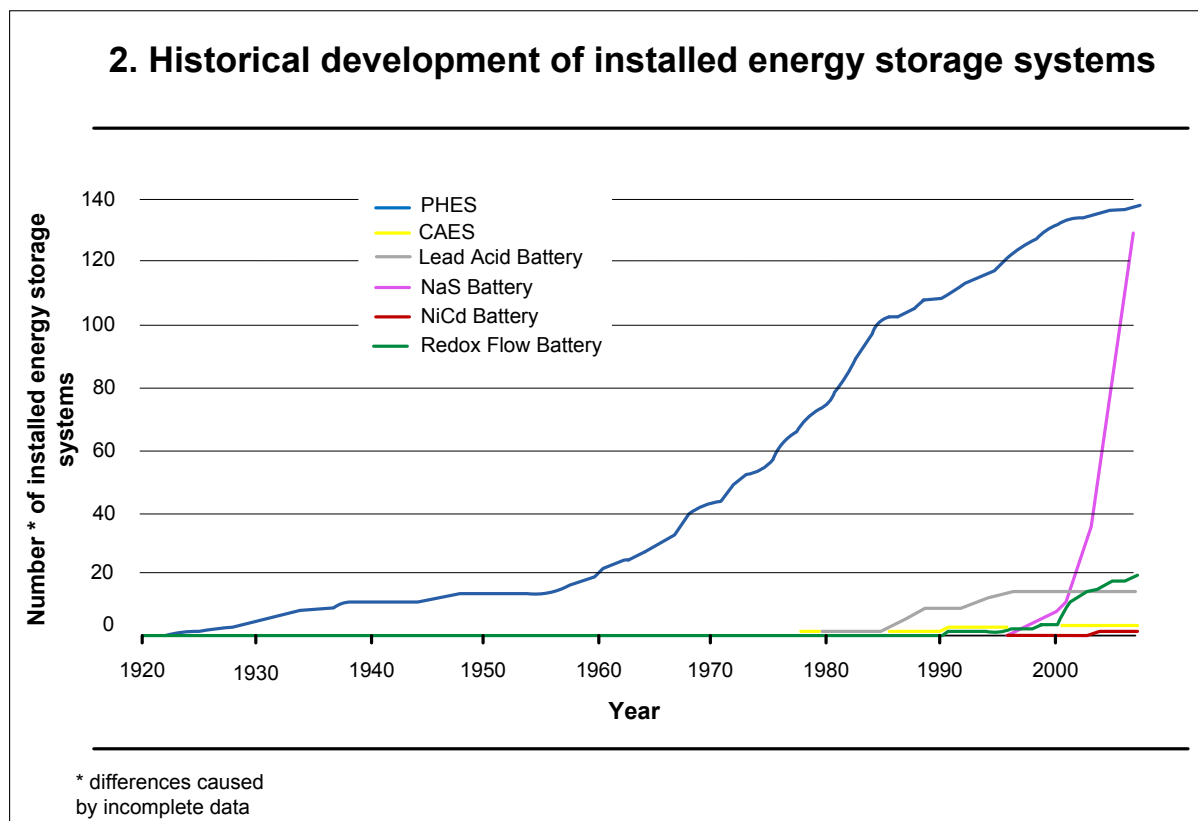
A terjedelmi korlátok miatt csak a villamos energia tárolás kérdéseivel foglalkozunk.

A villamos energia tárolására kifejlesztett részben már piacérett technológiákat a **355. ábra** mutatja



355. ábra: Villamos energia tárolására kifejlesztett technológiák [5]

A beruházott energia tároló rendszerek fejlődését mutatja a **356. ábra**



356. ábra: A beruházott energia tároló rendszerek fejlődése [5]

A világban beépített villamos energia tárolók teljesítményét a **74. táblázat** foglaltuk össze.

74. táblázat: A világban beépített villamos energia tárolók teljesítménye [5]

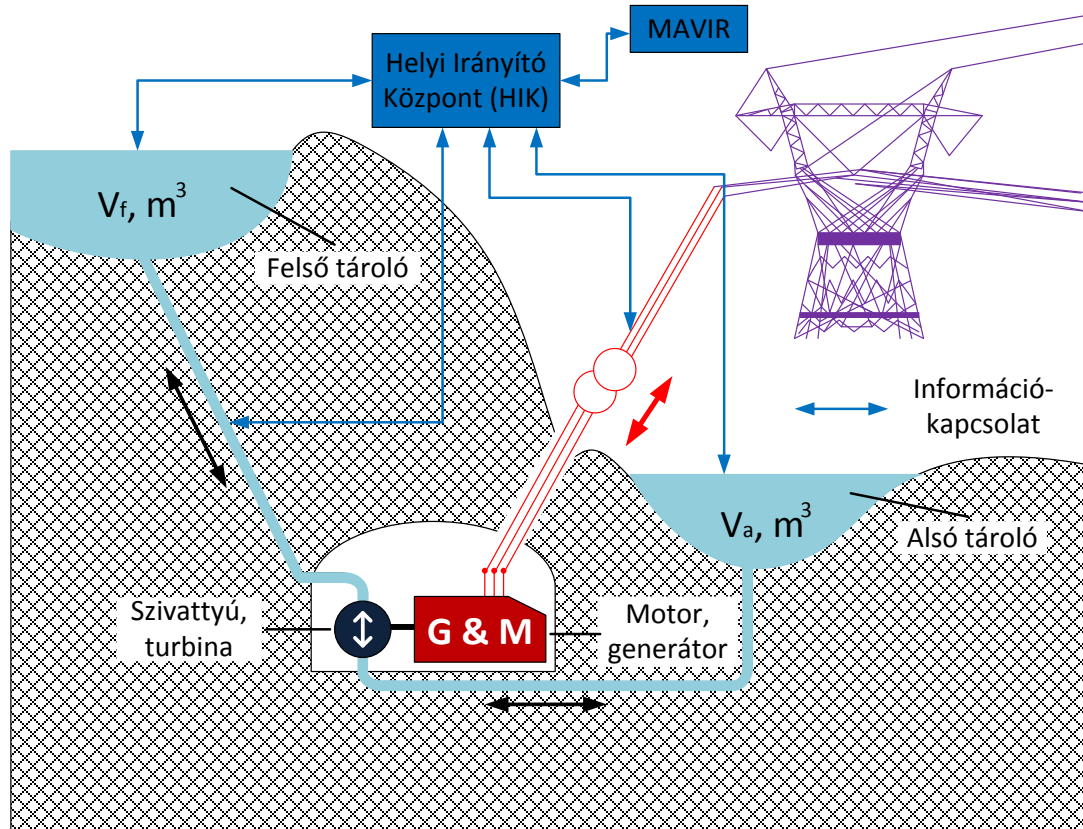
Típus Megnevezés	Beépített villamos teljesítmény MW_{el}
Szivattyús tározós erőművek (PHEs)	110 000 (több mint 140 erőmű 2000-ig)
Sűrített levegős energia tárolás Compressed Air Energy Storage (CAES)	477
Nátrium-kén akkumulátor Sodium-Sulphur Battery (Nas)	150
Savas ólomakkumulátor Lead-Acid Battery (LA)	125
Redox folyadék akkumulátor Redox-Flow Battery (Redox)	38
Nikkel-kadmium akkumulátor Nickel-Cadmium Battery (Nicc)	28

A fontosabb – nagyobb teljesítményű energiatároló rendszerek [5]

Szivattyús, tárolós vízerőmű

Ezek az energia-tárolók centralizált erőműveknek tekinthetők. A legritkább esetben található elosztott termelési rendszerekben. Feladata a villamos energia helyzeti energiává történő átalakítása („mélyvölgy időszak”), a helyzeti energia villamos energiává történő visszaalakítása („csúcs időszak”). A szivattyús tárolás vízerőmű működési elve a **357. ábra** látható.

Szivattyús, tárolós vízerőmű



357. ábra: Szivattyús tárolós vízerőmű működési elve [5]



358. ábra: 120 MW teljesítményű szivattyús tározó vízerőmű Carinthiában [5]

Magyarországon Zemplén-Hidegvölgyben tervezett SZET főbb adatai [5]:

- A felső tározó tervezett üzemi térfogata 11,5 millió m³. Ez az első ütemben megvalósul.
- Az alsó tározó tervezett üzemi térfogata 11,5 millió m³. Ez az első ütemben megvalósul.
- A tervezett tározótavak kapacitása nagy biztonsággal elegendő 1200 MW beépíthető teljesítményhez, de első ütemben csak 600 MW teljesítmény valósulna meg.
- A tervezett gépnagyság 4x150 MW vagy 2x300 MW. A kisebb gépek szabályozási szempontból előnyösebbek, viszont drágábbak. A bővítéshez további gépek beépítése szükséges.
- A nyomóvezetékek felszíni acélsövek, melyek átmérője 4x4400 mm vagy 2x5600 mm. A bővítéshez további nyomócsövek beépítése szükséges.
- A hálózati csatlakozás helye a Felsőzsolcai 400 kV-os állomás.

A tározós vízerőmű környezetvédelmi engedélyezése kapcsán fellépett társadalmi elfogadtatási és környezetvédelmi problémák miatt az erőmű engedélyeztetése nem halad előre. A Paksi Atomerőmű bővítése miatt a Magyar Villamos Energia Rendszerben (VER) szükség lesz a szivattyús tározós erőműre mint energia tárolóra.

VRB folyadék akkumulátor technológia [5]

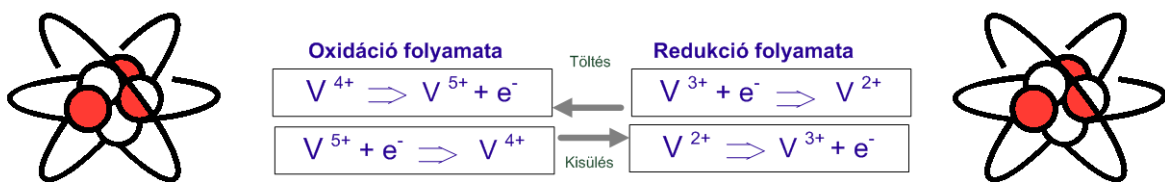
A VRB folyadék akkumulátor elvi működése a 359. ábra látható

6/C.3. Hogyan működik a VRB-ESS?

A vanádium különböző ionizált formáinak redukcióján és oxidációján alapul. Kénsavban oldva a vanádium mind e⁻ leadóként, mind e⁻ felvevőként működik.

Töltés közben az egyenáram e⁻-okat továbbítja az akkunak. Ezen e⁻-okat a vanádium elektronfelhője fogadja be és tárolja. A többlet-e⁻-ok által a protonok (a sav és víz hidrogénatomjai) átáramlanak a membránon az alacsonyabb feszültség felé.

Kisüléskor a protonok visszaáramlanak a membránon. A protonok mozgása csekély töltésváltozást okoz, mely a vanádium többletelektronjainak mozgása egyenlítő. Az elektronok ezen áramlása az akku egyenáram-leadása.



359. ábra: VRB folyadék akkumulátor elvi működése [5]

A VRB folyadék akkumulátor működése [5]:

- Egy elektrokémiai energia-tároló rendszer, mely környezeti hőmérsékleten működik.
- Elve a vanádium különböző ionizált formáinak redukációján és oxidációján alapul.
- Egy folyadék-akkumulátor, mely egyetlen eleme a vanádium – így keresztzennyeződés nem léphet fel.
- Az elektrolit sosem használódik el – magas maradványérték.
- Az energiát (elektromosságot) folyékony formában végtelenül lehet tárolni – nagyon alacsony az önkisülése.
- Reverzibilis tüzelőanyag cella – egyazon anyag (vanádium) oxidációja és redukciója.
- Mélyciklusok (20 to 80 %) száma >15,000
- Azonnali energiavisszanyerés (<1 ms)
- Az akku olyan gyorsan tölthető, mint ahogy kisül (1:1)
- A teljesítmény és tárolt energia mennyisége külön meghatározható.
- Nagyon alacsony karbantartási igény.

A VRB folyadék akkumulátor technológia technológiai és környezetvédelmi előnyei [5]:

Technológiai előnyök:

- 70 % feletti hatásfok – nagyobb berendezéseknél.
- Alacsony önkisülése miatt töltött állapotban marad, gyakorlatilag végtelenül.
- Tárolt energia-mennyiség könnyen növelhető elektrolit hozzáadásával.
- Ha keverednek is az elektrolitok, ez nem vezet keresztzennyezéshez.
- Működéséhez nem kell operátor, karbantartási költségei nagyon alacsonyak (\$0.0003/kWh).
- Környezeti/alacsony működési hőmérséklet.
- >13,000 mélyciklus, mielőtt a membránt cserélni kellene.
- Integrált, kifinomult, multi-kvadráns, gyorsreagálású PCS (vezérlőrendszer) folyamatosan gondoskodik meddő energiáról (VAR).

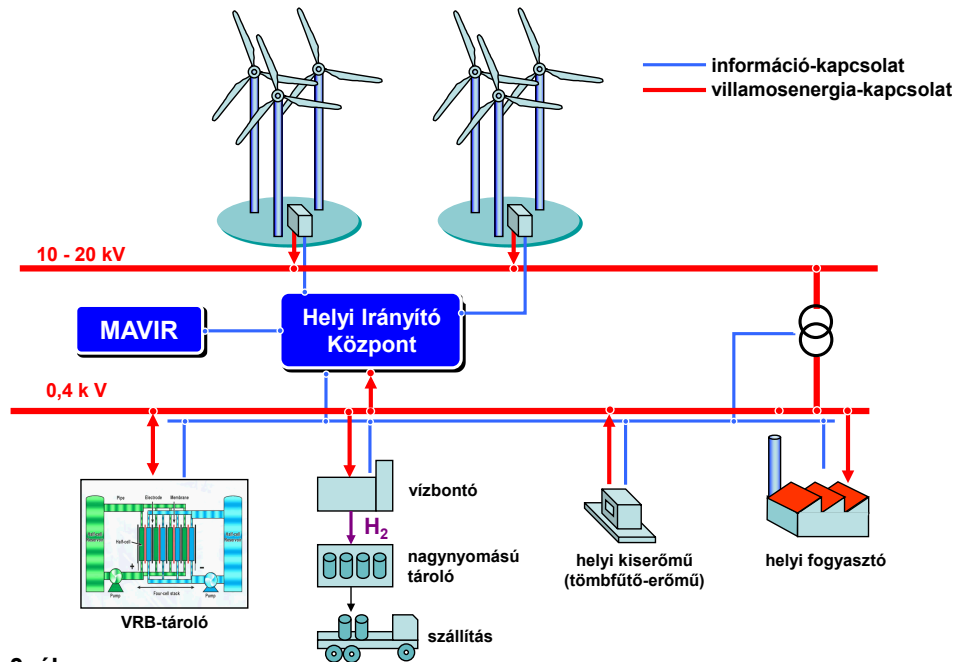
Környezetvédelmi előnyök:

- Nincsenek nehézfémek (mint pl.: ólom, nikkkel, cink, kadmium).
- Nincsenek halogének (Kyotoi Egyezmény).
- Az ólom-savas akkumulátorokhoz viszonyítva, a főbb környeztkárosító komponensek (CO₂, SO₂, CO, CH₄, NO_x) kibocsátása 7-15 %-a azoknak a termék élettartama alatt.
- Ezt a rendszert nagyon gyorsan fel lehet tölteni, az ólom-savas akkumulátorok feltöltési idejének töredéke alatt. Az 1:1-es feltöltés/mélykisütési arány ideális a szélerőműves alkalmazásokhoz.
- A VRB-ESS^{TW}-ben alkalmazott elektrolitek élettartama végtelen – nincsenek hulladékkezelési problémák – teljes mértékben újrahasználható.

Hidrogén, tárolós elosztott villamos energia ellátórendszer [5]

A hidrogénre épülő VRB tárolós elosztott villamos energia ellátó rendszer elvi kapcsolási sémája a **360. ábra** látható.

Hidrogénes, tárolós elosztott ellátórendszer



X. 3. ábra

360. ábra: Hidrogénes, VRB tárolós elosztott villamos energia ellátó rendszer [5]

Írországban megvalósított VRB tárolós szélerőmű parkot mutat a 361. ábra

Bizonyított technológia – Some Hill, Írország – 32MW szélerőműpark

-26-



VRB Power Systems
INCORPORATED
Energy Storage & Power Quality Solutions

361. ábra: VRB tároló Írországban szélerőmű park kiszabályozására [5]

A vizsgált három legfontosabb villamos energia tároló rendszer összehasonlítását a 75. táblázat foglaltuk össze.

75. táblázat: A három legfontosabb villamos energia tároló rendszer összehasonlítása [5]

Szemponjt-jellemző	Szivattyús tározó	Hidrogénes tározó	Vanádium-Redox tározó
Teljesítmény kW-MW	Általában 100 MW felett, vannak kisebbek is.	Pár kW → több száz MW	5 kW → több 10 MW-ig
Tározási kap. kWh-MW/h	100 MWh → több ezer MWh	Pár kWh → több száz MW/h	10 kW → több száz MW-ig
Hatásfok vez.-től-vez.-ig	70,80 %	30-35 %	65-75 %
Reagálási idő és felterhelési sebesség	50-60 nap	Gázturbinával több perc, tüzelőanyag elemnél másodpercek	<1 m sec reagálási idő, másodpercek alatt feltölthető
Terület igény	A geológiai adottságoktól erősen függ több tíz négyzetkilométer is lehet.	A paksi H ₂ tározó 300 MW kapacitás esetén. 300x500=150 000 m ² + 100x100=10 000 m ² , biztonsági távolság	Egy 10 MW és 100 MWh kapacitású telep 2000 m ² alapterületet igényel és két szintes épületet.
Megvalósítási időtartam	6-7 év engedélyeztetéssel együtt	3-4 év	1,5-2 év
Környezeti káros hatások az építés alatt	Területrombolással, erdőirtással jár és nagy a gépkocsiforgalom.	Mivel erőmű közelében kell megépíteni, viszonylag kis káros hatása van.	A jóval kisebb területigény miatt elhanyagolható.
Környezeti káros hatások az üzemeltetés alatt	Nincs káros hatása.	A vízelőkészítésnél használt vegyszerek tárolására és hulladékára kell odafigyelni. A gázturbinás változatnál van CO ₂ és NO _x kibocsátás.	Nincs semmiféle káros hatása.
Üzemeltetési rizikó tényezők	Csapadékszegény időben vízhiány léphet fel. Földrengésre érzékeny	Robbanásveszély állhat elő, ami a szigorú biztonsági előírások betartásával elkerülhető, erőművekben már régen használják generátorok hűtésénél.	Nincs rizikótényező, csupán az elektrolit tartályok és az összekötő csővezetékek alatti területet saválló burkolattal kell ellátni adott magasságig.
Beruházási költségek Euro/kW (6 órás kisülést tételeztünk fel mindegyiknél).	Hidegvölgy esetén 518 Euro/kW, ez gyakorlatilag jól egyezik a már idézett Fraunhofer Intézet 600 Euro/kW adatával.	672 Euro/kW a paksi tanulmány szerint, ez viszont jelentősen alacsonyabb a Fraunhofer adatánál.	600 Euro/kW, ez is jól egyezik a Fraunhofer adattal.

Üzemeltetési és karbantartási költségek (a töltésre felhasznált kW óra ára azonos, ezért ezzel nem számolunk.)	Ausztriai adat ... Euro/Wh/év+vízdíj, szlovákiai adat ... Euro/Wh/év+vízdíj, ezen adatokra ígéretet kaptunk, de késik a válasz, pótoljuk. Swisshydro adat: 3-3,6 millió Euro/év	Euro/kWh/év+vegyszerköltség + + 35 ezer Nm ³ földgáz + 45 millió forint/év környezetterhelési díj. Kiadások együtt összesen :2168 millió Ft/év.	0,0024 Euro/kWh/év
Várható élettartam A nemzetközi irodalom ciklusszámban adja meg.	27 ezer, ami napi 3 ciklust számolva 25 évet jelent, de a tapasztalatok szerint ennek duplája is lehet.	15 ezer, az elektrolizáló cellák cseréje után növelhető. Tapasztalat nincs, ezért vegyük ezt is 25 évre.	15 ezer ciklus után kell a tüzelőanyag cellaköteget cserélni. Ezt is 25 évre lehet venni, de meg kell jegyezni, hogy az elektrolit élettartama végtelen.
Maradványérték az élettartam végén.	Nem határozható meg, főleg ha 50 éves élettartamot veszünk számításba.	Tapasztalat hiányában szintén nem határozható meg.	Ténylegesen csak az elektrolitnak van maradványértéke, ami az eredeti elektrolit költségének kb. 70 %-a lehet.
Feladatfüggő alkalmazhatóság	Elsősorban az alaperőművek mélyvölgyi visszaterhelésének megakadályozására és az országos hálózat szabályozására alkalmas.	A rossz hatásfok miatt a termelt hidrogént alapvetően közlekedési célokra kell felhasználni; szél-parkoknál az át nem vett energiával célszerű kisebb egységekkel hidrogént termelni.	A jó hatásfok, a kis területigénye és a gyors reagálási ideje miatt az 5 kW és 10 MW teljesítmény tartományban (még szükségáramforrásként is) ajánlott.
Az országos rendszabályozásba történő beilleszthetőség.	Igen jó.	Megújulókból termelt hidrogén esetén helyi irányító központokkal jó.	Igen jó.

A három energia tároló összefoglaló értékelése [5]

Teljesítmény

Szivattyús energia tározó (SZET): eddig és valószínűleg a jövőben is csak több 10 és 100 MW-os nagyságrendben építettek és fognak építeni ilyen létesítményeket. Ezek alapvető feladata értelemszerűen a nagy alaperőművek gazdaságos mélyvölgyi termelésének felhasználása és csúcsidőszakban történő visszaadása. A teljesítménymagyság miatt az országos nagyfeszültségű (400-220 kV) hálózatra csatlakozhatnak.

Hidrogén tározó: terveznek ugyan nagyteljesítményű tárolókat, de a viszonylag kis határfok miatt újbóli villamos energia termelésre ez nem gazdaságos megoldás.

Szélerőmű parkoknál és napelemes energiatermelésnél viszont az elektrolízises hidrogéntermelés hozzájárulhat a termelésingadozás kisimitásához és a megtermelt hidrogén más területeken történő felhasználásához.

VRB technológia: viszonylag új, de nagyon ígéretes megoldás és már több MW-os telepek is üzemelnek. 5 kW-tól több tíz MW nagyságrendben ajánlható, különösen az ingadozó teljesítményt nyújtó megújuló energiaforrások hasznosításánál.

Tározási kapacitás

A **SZET**-nél alapvetően területi adottság határozza meg a kapacitást, különösen a felső tározó víz befogadó képessége. Lehet száz, sőt több ezer MWh is.

A **Hidrogén** esetében nálunk gyakorlatilag a nagynyomású palackos és tartályos megoldás jöhet szóba, ami kWh-s nagyságrendet jelenthet, de természetesen a palackok vagy a tartályok darabszámának növelésével ez megsokszorozható.

A **VRB** rendszer is tud több száz MWh-t tárolni.

Határfok

A gazdaságosság miatt rendkívül fontos tényező. Lényeges, hogy azonos alapon kell összehasonlítani a határfokokat. Ez lehet a vezetéktől vezetékig elv, de az sem mindegy, hogy milyen feszültségszinten történik az energia elvétele és visszaadása a transzformálási és vezetékvesztés miatt. A táblázatban szereplő adatok átlagos értékek. Egy-egy adott eset megvalósíthatósági tanulmányában kell a fenti szempontokat figyelembe véve dönteni a megoldás módjáról.

Reagálási idő

A három rendszer közül egyértelműen a VRB rendszer a leggyorsabb, de nem minden esetben van erre a gyorsaságra szükség. A VER szempontból a több rendszer kombinációja adhatja a legjobb rendszabályozási megoldást.

Területigény

Azonos teljesítmény és tárolási kapacitás esetén a legkisebb területet a VRB rendszer igényli.

Megvalósítási időtartam

Azonos kapacitást feltételezve, leggyorsabban a VRB rendszer helyezhető üzembe.

Környezeti hatások

A VRB rendszer alkalmazása jelenti a legkisebb környezetterhelést.

Kockázati tényezők

A kis területen és egy zárt épületben történő elhelyezhetősége, valamint környezeti hőfokon történő üzemeltethetősége miatt a VRB rendszer a legkevésbé kockázatos.

Beruházási költségek

A beruházási költségek az elmúlt években készült tanulmányokban és a nemzetközi konferenciákon elhangzott előadásokban szereplő adatokat alapján kerültek figyelembe vételre. A VRB árakat a gyártó cég írásban is igazolta.

Üzemeltetési és karbantartási költség

Az előbbi pontban leírtak erre is érvényesek.

Várható élettartam

Felújításokkal mindhárom rendszernél 15-50 év vehető figyelembe.

Maradványérték az élettartam végén

Mint ahogy azt a táblázatban is leírtuk, az egyedüli konkrét adat a VRB rendszerrel található, ez pedig az, hogy az elektrolit nem használandó el, így az élettartam végén az értékes vanádium újból felhasználható.

Feladatfüggő alkalmazhatóság

Nagy alaperőművek mélyvölgyi visszaterhelésének megakadályozására a SZET a legalkalmasabb, ha van hozzá terület és megvalósítható.

Elosztott energiatermelésnél főként a szél és napelemes létesítményeknél, a hidrogénfejlesztés és annak más célokra (pl. közlekedés) történő felhasználása ajánlott.

A VRB rendszer bármilyen forrásból termelt villamos energia tárolására és szükség szerinti gyors visszaadására alkalmas. Célszerűen a fogyasztóhoz közel telepítendő.

A országos villamos energia rendszer (VER) rendszerszabályozásba mindhárom rendszer beilleszthető. [5]

Megjegyzés a 27. fejezethez

Ebben a fejezetekben általános kitekintést adtunk a villamos energia tárolás területén ma ismert, legfontosabbnak ítélt rendszerek helyzetéről, a folyamatban lévő fejlesztésekről, és az elért eredményekről.

Sajnos terjedelmi korlátok miatt további- elsősorban kutatási fázisban levő- energia tárolási megoldások ismertetésére nem volt lehetőség.

27.4. Irodalom a 27. fejezethez

- [1] Dr. Strobl A.(2007Í9: Hidrogén az energiagazdálkodásban. Környezetvédelmi füzetek, 2007/5. ELGOSCAR-2000 Környezettechnológiai és Vízgazdálkodási Kft Budapest 2007.
- [2] Hake, J.-F.; Linssen, J.; M. Walbeck: Prospects for hydrogen in German energy system. (A hidrogén kilátásai Németország energiarendszerben.) = Energy Policy, 34. k. 11. sz. 2006. júl. p.1271-1283.
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit: Strategiepapier zum Forschungsbedarf in der Wasserstoff-Energetechnologie. (Stratégiai leírás a hidrogénalapú energiatechnológia kutatási igényéhez.) = www.bmwa.de, München, 2005.
- [4] Pataki, I.: A hidrogén-technológia és a stratégia; az energetika jövője. = Első Nemzetközi Hidrogén Energetikai Fórum, Budapest, 2006. október 9-10. A 16. előadás
- [5] Balogh Ernő – Dr. Tombor A.(2008): Fontosabb energiatárolási rendszerek gazdaságosságának és környezetvédelmi hatásainak, valamint központi szabályozhatóságának vizsgálata. Tanulmány, 2008.május,(00542-01 MAVIR Zrt)
- [6] Veziroğlu, N. Z.: 21st Century's Energy: Hydrogen Energy System. (A 21. század energiája: a hidrogénenergia-rendszer.) = Magyar Energetika, XIV. évf. 6. sz. 2006. dec. p. 28-30.
- [7] Bogányi, Gy.: MCFC technológia megújuló primer energiaforrás alkalmazásával. = Magyar Energetika, XIV. évfolyam. 6. sz. 2006. p. 23-26.
- [8] Dr.Hunyár M – Dr. Tóth – Dr. Veszprémi K.- Dr. Kircsi A.: Szélergia hasznosítás Magyarországon hidrogén fejlesztéssel összekötve. Első Nemzetközi Hidrogén Energetikai Fórum, Budapest, 2006. október 9-10.
- [9] Verhage, A.; Middelma, E.; Peck, J.: PEM energia vegyiműből nyert hidrogénnel. = Magyar Energetika, XIV. évf. 6. sz. 2006. p. 30-33.
- [10] Wendt, H. stb.: Brennstoffzellen. (Tüzelőanyag-elemek). = Brennstoff, Wärme, Kraft, 59. k. 4. sz. 2007. p. 124-131.
- [11] Svéhlik Csaba: A hidrogén perspektívái a közlekedésben = II. Ökoenergetika és X. Biomassza Konferencia, Sopron, 2007.február 28. – március 2.
- [12] Lehmann, J., stb.: Mittler zwischen Wind und Netzen, (Tárolóként a szél és a hálózatok között.) = Brennstoff, Wärme, Kraft, 58. k. 1/2. sz. 2006. p. S15.
- [13] Reijerkerk, J.: Wasserstofflogistik. (Hidrogén-logisztika.) = Brennstoff, Wärme, Kraft, 58. k. 1/2. sz. 2006. p. S4-S5.
- [14] Sheffield, J. W.: Az USA hidrogénprogramja. = Magyar Energetika, XIV. évf. 6. sz. 2006. p. 39-40.
- [15] Mészáros Géza szerk.:Hidrogén és Tüzelőanyag – cella Nemzeti Technológiai Platform, Stratégiai Kutatási Terv, 2.0 verzió, készült a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával. Projekt azonosító: JÁP – B3 – 2006 – 0016, 2010. április

28. Az energiafelhasználás környezeti hatásai (Dr. Nagy Géza)

Debreceni Egyetem, Debrecen

Az ipari forradalom kezdete óta eltelt csaknem két és fél évszázad alatt az emberiség megterhelte a természeti környezetet. Ez nemcsak a népesség igen jelentős és még ma is gyorsuló növekedésének a következménye, hanem a szakadatlan technikai és civilizációs fejlesztések is módosították és módosítják ma is a természetes környezet állapotát. A környezet megterhelésében meghatározó az energiaellátás. Az **energiaellátás környezetre gyakorolt hatásának egyik legfontosabb eleme** az, hogy **az energetika a természeti környezetből veszi erőforrásait**, mindenekelőtt a kimerülő fosszilis és nukleáris energiaforrásokat, valamint a megújuló energiákat is. **Másik lényeges elem** az, hogy az energiaellátás során keletkező szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú **szennyezőanyagok a természeti környezetbe** (talajba, levegőbe, tengerekbe, stb.) **kerülnek** vissza, megterhelve azokat.

Az energia és a környezet közötti kapcsolatot különösen ez utóbbi folyamat alakította mind a környezetvédők, mind az energetikusok körében. Nem szabad azonban megfeledkezni arról, hogy minden környezeti terhelés egylényegű, azaz egyszerre valósítja meg a környezet terhelését a **természeti erőforrások elvételével és átalakításával**, a **környezeti tér felhasználásával** és a **különböző szennyezőanyagok kibocsátásával**. Ezért minden környezeti terhelés csillapítása csak a három feltétel egyszerre történő kielégítése esetén valósítható meg [7.1].

A meglévő hő- és atomenergetikai létesítmények, valamint a megújuló energiaforrásokat hasznosító létesítmények is meglehetősen nagy telephely igényűek, és ugyancsak nagy területet foglalnak el a primer energiaforrások kitermelő, feldolgozó, és a hulladék elhelyezésére szolgáló létesítmények is.

A lakosság elsősorban a globális felmelegedést előidéző **üvegházhatású gázok kibocsátását** tekinti a legfontosabb környezeti kérdésnek, és fél a globális éghajlatváltozástól. A légkör globális felmelegedésében így az energetika az egyik előidéző tényező.

Azonban az éghajlatváltozás esetében is a három terhelés párhuzamos könnyítéséről van szó. Ennek értelmében csak egyik feladat az üvegházhatású gáz kibocsátás csökkentés, amely nem valósulhat meg a természeti erőforrás-felhasználás, és a térfelhasználás mérséklése, átalakítása nélkül.

Magyarázatként szolgáljon, hogy az **üvegházhatású gázkibocsátás** azért módosítja a légkör összetételét, mert azok nyelői bioszféra léptékben beteltek. A megváltozott bioszféra szolgáltatás oka, hogy az ember meg gondolatlan anyag és energia-áramlások létrehozásával felborította az anyag és energiaáramlások tér-idő dinamikáját. Ezzel megbolygatta a biogeokémiai ciklusok kialakult önszabályozó rendszerét. A felszín struktúrájának, ezzel funkciójának megváltoztatása okán (tér szerkezeti változások) megváltoztatta a felszín éghajlat-alakító hatásait. Megváltozott a felszín vegetációs borítása, a borítás milyensége, s időbeli lefutása, megváltozott a felszín sugárzási-elnyelési tulajdonsága, a vízháztartásban, a mikro- és mezoklíma alakításában betöltött szerepe. A bioszférában az ember által kialakított strukturális változások szükségszerűen hozzák magukkal a funkcionális változásokat (új strukturához új működés tartozik), az ember pedig arról álmodozik, hogy a strukturális változások ellenére képes megőrizni a számára megszokott funkciót.

A föld felszínében (tér szerkezetében) okozott változásokat tehát legalább egyenrangú terhelésként kell kezelni az üvegházhatású gáz kibocsátással, amennyiben választ szeretnénk adni az éghajlatváltozásra. Az állandóan fogyásban lévő természetes vegetáció az üvegházhatású gáz kibocsátással vetélkedő terhelés, amelyek ráadásul egymás hatását

erősítik. Az üvegházhatású gázkibocsátásra módosuló éghajlat rontja a biomassza produkció esélyeit, ezzel csökkenti annak szénmegkötő szerepét. Az emberi beavatkozások hatására a kiterjedésében csökkenő természetes vegetáció nem képes lépést tartani a növekvő szénmobilizációval.

A terhelések szempontjából fontos kérdés, hogy ne csak a közvetlen terhelőket (értsd: üvegházhatású gázok) tekintsük annak, hanem azokat is, amelyek kerülő úton vezetnek a helyzet romlásához. A kibocsátások bármilyen természetes és természetidegen anyag lehet. A környezetet nemcsak **toxikus anyagokkal**, de egyébként **nem toxikus anyagok túlzott kibocsátásával** is terhelhetjük. Pontosan erre mutat rá a szén-dioxid története. Az éghajlatváltozás esetén csábító, hogy csak az üvegházhatású gázokkal foglalkozzunk, s más kibocsátásokkal nem. Ugyanakkor más kibocsátások toxikus voltak miatt csökkentik a környezeti szolgáltatásokat. Jó példa a kéndioxid, amely a savas ülepedés miatt rendez át egy sor környezeti folyamatot, amelynek hatására csökken a produkció, vagy éppen letális hatások jönnek létre (pl. erdőpusztulás). Ez közvetetten hat az éghajlatváltozásra, az ökoszisztéma-szolgáltatások módosításán keresztül.

A **természeti erőforrások elvétele** olyan terhelés, amely a biogeokémiai ciklusok tér-idő eloszlását, s a kialakult egyensúly-közeli állapotokat zavarja meg. Az ember belenyúl a kialakult eloszlásokba, s új eloszlásokat hoz létre. Pl. koncentrálna bizonyos anyagokat, másokat éppen szétszór a térben, átalakít anyagokat, s más formába hoz. Olyan anyagokat is kibocsát, amelyekkel nem tudnak a kialakult folyamatok mit kezdeni.

A **terület-felhasználásból származó terhelések** a természetes térszerkezetre nehezedő tevékenységek. Ezek sokfélék lehetnek:

1. Építési tevékenységek, amelyek legtöbbször a terület irreverzibilis elvételét jelentik. Ilyen tevékenységek: „betonozás”, infrastruktúrákkal, településekkel, ipartelepekkel történő terület lefedés.
2. Reverzibilis területhasználat, amely kisebb-nagyobb mértékben átalakítja az eredeti ökológiai feltételeket, de megtartja a lehetőségét annak, hogy az eredeti folyamatok regenerálódjanak. Mezőgazdasági, erdőgazdasági, zöldfelületi tevékenységek tartoznak ide. Az eredeti vegetációhoz képest általában csökken az ökoszisztéma nem anyagi szolgáltatása, pl. egyensúly-közeli folyamatok fenntartásában játszott szerep, míg ennek kárára nő az elvehető produkció.
3. Fölösleges igénybevétel, a területen megvalósuló olyan tevékenység, amelynek nincs társadalmi haszna. Ilyen a parlagterületek égetése, technikai sportok üzése.
4. Hatásterületként történő használat. Az ökoszisztéma-szolgáltatás akkor is csökkenthető, ha közvetlenül nem folyik közvetlen tevékenység, de a szomszédságában folyó tevékenység kihatása átalakítja a területen megvalósuló folyamatokat.

Az üvegházhatású gáz kibocsátások 75%-a az energia szektorhoz köthető. Ebbe beleértik a villamos-energia-, hő- és ipari termelés számára termelt energiát, valamint a közlekedési és egyéb ágazatok energiafelhasználását.

A statisztikai adatok azt mutatják, hogy a rendszerváltást követő radikális visszaesés óta folyamatosan növekszik az energiafelhasználás. Az ország közvetlen, anyagi jellegű és nem energetikai felhasználás nélküli energia-felhasználása például 1995 óta átlagban évi kb. 2%-kal nőtt, és 2005-re meghaladta az 1990-es szintet. A villamosenergia-ipar is átlagban évi 2% bruttó villamos energia fogyasztás-növekedéssel és hasonló mértékű csúcsigény-növekedéssel számol, de legfrissebb publikációkban már ennél nagyobb mértékű és gyorsuló ütemű növekedést alátámasztó trendekről számol be (összehasonlításképpen az elmúlt egy évtizedben a villamos energia felhasználás növekedése évi 1,5% alatt volt).

Magyarországon a 2004-es statisztikák alapján 3,75 millió háztartás működik, ezek energiafelhasználása a teljes primerenergia-fogyasztás 38%-át teszi ki. Az ebből származó üvegházhatású gáz kibocsátás a hazai kibocsátás kb. egyharmadát jelenti. Ezért minden, a

háztartási szektorban megtakarított kibocsátás nagyjából harmada országos kibocsátás-csökkentésként is megjelenik. A lakossági és kommunális szektor nemcsak azért érdemel különös figyelmet, mert a végfelhasználói kibocsátások legnagyobb szegmenséért felelős, hanem azért is, mert e kibocsátások folyamatosan nőttek az elmúlt években (1998-hoz képest - a közlekedésből származó kibocsátás nélkül - mintegy 20%-kal). Ugyanakkor az eddigi és jelenlegi kibocsátás-csökkentést célzó intézkedések, szakpolitikák a lakossági szektort kis részben, sőt alig érintették.

A lakossági és közsféra primerenergia fogyasztása 38%, s ez a üvegházhatású gáz kibocsátás 33%-áért felelős, növekvő a kibocsátási trend, 1998-hoz képest 20%.

Az ipar energiafelhasználása 1990 és 1997 között jelentős mértékben (40%) csökkent, azóta állandónak tekinthető, az utóbbi években kis mértékű növekedés figyelhető meg. 2005-ben e szektor közvetlen energiafelhasználása 275 PJ volt, ami a teljes közvetlen felhasználás több mint 30%-a. Az energiafelhasználás tüzelőanyag-szerkezete ebben a szektorban a legváltozatosabb, azaz kevésbé érvényesül a földgázfogyasztás más szektorokban megfigyelhető dominanciája. Ezért az ipar energiafelhasználásának arányát némileg meghaladó mértékben, mintegy 34%-ban felelős az összes üvegházgáz kibocsátásért.

A közlekedési ágazat részesedése Magyarországon a közvetlen energiafogyasztás alapján 21%-os; ha a járulékos, támogató rendszerek energiafelhasználását tekintjük, akkor 36%-os részarányt képvisel a teljes energiafelhasználásban, így az egyik legjelentősebb összetevője a magyar energiafelhasználásnak. Emellett a világtrendekhez hasonlóan nálunk is rendkívül dinamikus nő a közlekedési ágazat energiaigénye.

Az üvegházhatású gáz kibocsátások a statisztikában szereplő valamennyi ágazatban külön-külön is csökkentek, kivéve a közlekedési ágazatot, ahol 27,5 %-os növekedés volt tapasztalható. Ezzel a közlekedési kibocsátások aránya az összes kibocsátáson belül 1980 és 2004 között 9,4 %-ról 19,2-re növekedett.

A **közlekedési kibocsátásokat** tekintve fontos tendencia a **közlekedésben végbemenő struktúraváltozás**: a **tömegközlekedéstől az egyéni közlekedés felé**, valamint a vasúti áruszállítástól a közúti szállítás felé – vagyis a jóval energia- és kibocsátás igényesebb módok irányába. (Itt lehet tetten érni, hogy mennyire nincsenek összehangolva a különböző stratégiák és a fejlesztéspolitika).

A közlekedés technikai fejlődésének köszönhetően jelentősen csökkent a fajlagos szennyezőanyag- kibocsátás, azonban az állomány és a futásteljesítmény növekedése ezt az eredményt sajnálatosan felemészti.

Az éghajlatváltozás az egyik legsúlyosabb probléma, amelyre az emberiségnek megoldást kell találnia. Az Európai Unió azon munkálkodik, hogy globális megállapodás jöjjön létre az üvegházhatású gáz kibocsátás csökkentésének kérdésében. Az EU rengeteget tesz azért, hogy jó példával járjon elől. Mérföldkönek számít e küzdelemben az az átfogó **kibocsátáscsökkentési intézkedéscsomag**, melyet 2008 decemberében fogadtak el az Unió vezetői. A csomag azt hivatott elérni, hogy 2020-ra az EU tagországai legalább 20%-kal kevesebb üvegházhatású gázt bocsássanak ki (az 1990-es szinthez képest), a teljes energiaszükséglet 20%-át megújuló energiából fedezzék, energiafogyasztásukat pedig 20%-kal csökkentsék (ahhoz a szinthez képest, amellyel a jelenlegi fogyasztási trendek folytatódása esetén számolni kellene). A megújuló energiaforrások térnyerésének elősegítése érdekében az uniós tagállamok azt is célul tűzték ki maguk elé, hogy 2020-ra a közlekedési és szállítási ágazat üzemanyag-szükségletét 10%-ban bioüzemanyagból, villamos energiából vagy hidrogénből fedezzék.

Az éghajlatváltozás megfékezését célzó uniós stratégia sarokkövét a **kibocsátáskereskedelmi rendszer** jelenti, mely jutalmazza a szén-dioxid-kibocsátásukat csökkentő vállalatokat, és bírságot ró ki azokra, melyek túllépik a megengedett határértékeket.

A 2005-ben bevezetett rendszer alkalmazási köre mintegy 12 000 gyárra és üzemre terjed ki, melyek együttesen az EU szén-dioxid-kibocsátásának hozzávetőleg a feléért felelősek. A szén-dioxid az a gáz, mely a leginkább felelőssé tehető a globális felmelegedésért.

A rendszer keretében az uniós tagállamok kormányai határértékeket állapítanak meg az energiaigényes iparágak szén-dioxid-kibocsátása tekintetében. Példaként említhető a villamosenergia-termelés, az acél-, illetve a cementgyártás. Ha az említett ágazatokban működő vállalatok a számukra meghatározott kvótát túl kívánják lépni, az energiahatékonyabb cégektől fel nem használt kibocsátási egységeket kell vásárolniuk.

A jövőben az EU a rendszert más ágazatokra – köztük a légiközlekedési szektorra és a petrokémiai iparra – is kiterjeszti. Az uniós tagállamok a kibocsátás ellensúlyozása érdekében kibocsátási egységeket vásárolhatnak olyan Európai Unión kívül indított projektekből, melyek a szén-dioxid-kibocsátás csökkentését célozzák.

28.1. Levegőtisztaság-védelmi hatások

Az energiaellátás ökológiai hatásai rendkívül sokrétűek. Az energetikai környezetszennyezők hatnak a légtérre, az élővizekre, a talajra, és az élőszervezetekre is. Ebben a fejezetrészen csak az energiaellátás rendszerében jelentős környezeti hatással járó légtér szennyeződések vizsgáljuk meg. Ezek a légtér szennyezőanyagok az energiatermelés és –átalakítás során az egyes tüzelőanyagok égése során keletkeznek, de ide tartozik az energiafogyasztás rendszerébe tartozó közlekedés eredetű légtér szennyezőanyagok kibocsátása is.

Az energetika által kibocsátott légszennyezőanyagok kiterjedésüket és hatásukat tekintve a **helyi és regionális hatást kifejtő lokális légszennyező** anyagokra, illetve a **globális légszennyező** anyagokra oszthatjuk.

A lokális légszennyezés egyik meghatározó eleme a kibocsátott légszennyezőanyagok mennyisége (**emissziója**). A kibocsátás következtében a kibocsátás környezetében megnő a szennyező anyagok légköri koncentrációja (**immissziója**). A helyi immissziót nemcsak a szennyezőforrás emissziója, hanem a **szennyezők légköri terjedési viszonyai** (a forrás magassága, a szélirány, a szél terjedési sebessége, stb.) is befolyásolják.

A lokális szennyezőanyagok kibocsátott mennyisége megfelelő technikai eszközökkel és technológiai eljárásokkal csökkenthető, valamint a különböző berendezésekből kibocsátható szennyezőanyagok fajlagos értékeire környezetvédelmi előírások, határértékek tehetőek. Az előírások, határértékek betartásának be nem tartása az érintett tevékenység megszüntetését is jelentheti szélső esetben.

A nagytávolságú hatások miatt nemzetközi kötelezettség is a légszennyezés folyamatos csökkentése. A nagy távolságra jutó, határokon átterjedő légszennyezés csökkentésére 1979-ben Genfben Nemzetközi Egyezmény született, amelynek Magyarország is részes fele. A keretegyezményben foglalt célok elérését számos későbbi jegyzőkönyv szolgálja. A jegyzőkönyvek előírásai és az Európai Unió vonatkozó irányelvei alapján dolgozták ki a magyar jogszabályban (7/2003.(V.16.) KvVM-GKM együttes rendelet) megjelenő, 2010-re vonatkozó országos összkibocsátási határértékeket.

Az előírás szerint Magyarországon 2010-ig a kén-dioxid kibocsátást 50%-kal, a nitrogén-oxid kibocsátást 17 %-kal, az illékony szerves anyag (VOC) kibocsátást 33 %-kal, az ammónia kibocsátást pedig 27 %-kal kell csökkenteni az 1990. évi szinthez képest. A **76. táblázat** a legfontosabb légszennyező anyagok összes évi kibocsátását mutatja 2002-2008 között [7.2].

76. táblázat: Magyarországi légszennyező kibocsátások 2002-2008 között. [7.2]

Szennyezőanyag (kg)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1 - Kén-oxidok (SO ₂ és SO ₃) mint SO ₂	215 983 748	210 021 884	125 919 730	18 540 542	14 881 990	17 313 696	17 313 040
100 - METÁN	954 766	3 237 304	137 266	183 563	78 320	81 676	7 035 538
13 - Kén-dioxid (SPECIFIKUS)	709 018	27 467	334 295	856	356 251	324 408	346 237
2 - Szén-monoxid	73 195 632	85 681 446	59 889 086	47 369 209	51 361 227	51 125 808	47 170 927
211 - DIKLÓR-DIFLUOR-METÁN	<0,5	27	190	138	125	111	97
242 - TRIKLÓR-FLUOR-METÁN	<0,5	3	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
3 - Nitrogén oxidok (NO és NO ₂) mint NO ₂	63 709 549	57 352 089	50 547 811	51 397 546	33 293 619	36 041 416	43 795 260
581 - Dinitrogén-oxid	2 307	4 012	5 812 089	5 453 763	4 501 686	2 854 385	20 082
7 - Szilárd anyag	15 619 777	12 054 492	10 739 595	5 816 164	5 571 032	4 606 199	4 206 449
98 - PM10 (Szálló por szemcse-átmérő 10 mikron alatt)	218	207	226	63	2 239	96	596
999 - SZÉN-DIOXID	28 570 504 744	41 296 598 591	47 734 609 415	41 373 761 414	47 994 582 558	40 659 021 280	52 069 773 100

Valamennyi jelentős légszennyezést okozó tevékenységnek 2007. október végéig meg kellett felelni a **legjobb elérhető technika** követelményeinek, nem léphetik túl a jogszabályban előírt kibocsátási határértéket.

Mivel a **légszennyezés átterjed a határokon**, a magyarországi környezet állapotára pozitív hatással bírhat, hogy a szomszédos államok közül több szintén a közösségi előírásokat érvényesíti. Ezek között szerepel a határokon átnyúló problémák megoldására a kapcsolat felvételi és közös intézkedési kötelezettség is.

A legfontosabb lokális szennyezőanyagok a szálló por, a kéndioxid, és a nitrogénoxidok.

- **A szálló por** a levegőben szuszpendált szilárd és /vagy folyékony részecskék elegye [7.3]. A szálló port két nagy csoportra lehet bontani szemcseméret alapján: a 10 mikrométer átmérőjű szemcséket durva részecskéknek (PM10) nevezik, ezek a szemcsék lejutnak az alsó légutakba. A 2,5 mikrométernél kisebb átmérőjű, „finom” porszemcsék (PM2,5) alkotják a belélegezhető frakciót, ezek lejutnak a tüdő léghólyagocskába. A PM2,5 porfrakció másodlagosan keletkezett aeroszoloiból, égési termékekből, és kondenzálódott szerves vagy fém részecskékből áll, és a szálló por mutagén hatásáért, valamint savasságáért felelős.

A PM10 frakció a talaj eróziójából, valamint az utak kopásából és ipari tevékenységből származó részecskéket tartalmaz. A PM10/PM2,5 arány függ az egyes területeken az ipari tevékenység típusától, a fűtőanyagtól, a földrajzi és időjárási viszonyoktól. Európában a szulfát és a szervesanyag a két fő szálló por komponens, ami végül is meghatározza az évi átlagos PM10 és PM2,5 tömegkoncentrációját. Az egészségkárosító hatásokkal kapcsolatos emisszió források a kipufogó gáz és a széntüzelés. A szél fújta inert por - nagyobb szemcsemérete miatt – kevésbé károsítja az egészséget.

A szálló por koncentráció rövid távú emelkedése izgatja a nyálkahártyákat, köhögést és nehézlégzést válthat ki. A tüdőben felszívódva gyulladáshoz vezet, ami indíthat el, aminek következtében növekszik a vér alvadékonysága, vérrögösödés léphet fel. Növekszik az asztma és a krónikus légcsőhurut fellángolások miatti orvoshoz fordulás, illetve a szív-

érrendszeri megbetegedések száma. A levegőhigiénés index legmagasabb, „veszélyes” kategóriájában az összes halálok miatti halálozás is növekedhet.

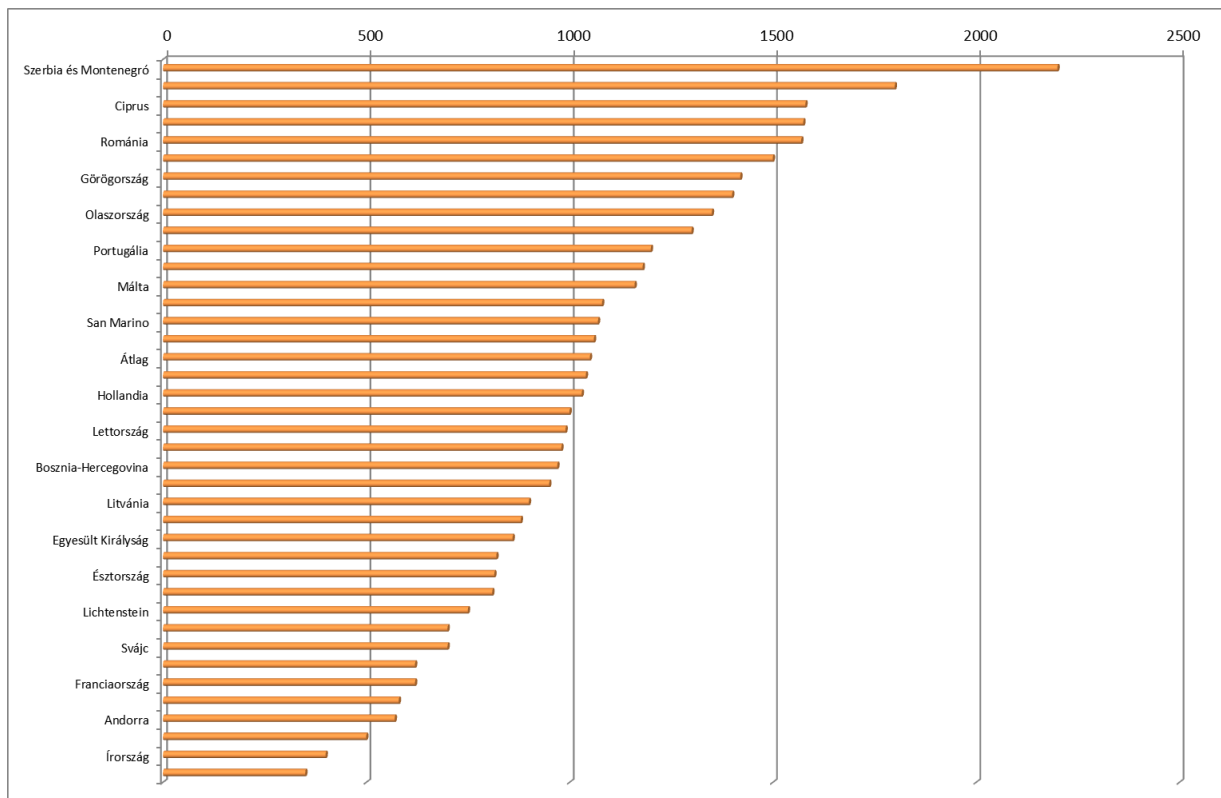
A kültéri levegő szálló por tartalmának hosszú távú hatásai a következők: a várható élettartam jelentős csökkenése a szív- és érrendszerei, a légzőszervi betegségek, valamint a tüdőrák miatti halálozás növekedése következtében. Irodalmi adatok támasztják alá, hogy a közlekedés eredetű levegőszennyezés (magában foglalva a szálló por szennyeződést is) a forgalmas utak mentén élő lakosság körében nagyobb mértékben fejti ki a káros hatásokat. Meg kell jegyezni, a szálló por még a legalacsonyabb koncentrációban is káros.

Egy tanulmány szerint a szálló por (PM₁₀) koncentrációja egészségügyi szempontból az összes légszennyező anyag közül jelenleg a legnagyobb problémát jelenti[7.4]. A tanulmány számításai szerint Magyarországon évente körülbelül 15 865 ember hal meg a PM₁₀-légszennyezés miatt, ami kiemelkedően magas Európában (ld. a **362. ábra!**). E tekintetben a vizsgált 38 országban csak Szerbia és Montenegró, valamint Bulgária és Ciprus „előz meg” minket. Ezek az emberek nálunk átlagosan csaknem 10 évvel tovább élhetnének, ha nem sújtaná őket a részecske-szennyezés. Ez azt jelenti, hogy minden évben 153 000 életévet veszítünk. A felmérés szerint a PM₁₀- szennyezettség miatti életvesztés tekintetében – a lakosság számához viszonyítva – Magyarországon a legrosszabb a helyzet, ráadásul nem csak az EU-ban, de a 38 vizsgált európai ország között is.

Magyarországon a 14/2001. (V.9.) KöM-EüM-FVM együttes rendelet a „légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről” szabályozza az egyes technológiákra vonatkozó eljárás specifikus technológiai kibocsátási határértékeket és egyéb előírásokat. E technológiákból kikerülő, a mellékletben nem szereplő légszennyező anyagokra az általános technológiai kibocsátási határértékeket kell alkalmazni. Az egyedi kibocsátási határértékeket - jogszabályban meghatározott esetekben - a környezetvédelmi hatóság határozatban állapítja meg.

A hatályos uniós (és magyar) jogszabályok szerint a PM₁₀-szennyezés egy évben legfeljebb 35 napon haladhatja meg az egészségügyi határértéket (50 mikrogramm/köbméter). Számos országban előfordul határérték-túllépés, de ennek mértéke Magyarországon a legmagasabbak közé tartozik.

Bár az erőművi kibocsátott por mennyisége az elmúlt időszakban jelentősen csökkent elsősorban a széntüzelés csökkenése és a szénhidrogén tüzelések növekedése, valamint a széntüzelési erőművekbe beépített korszerű porleválasztók beépítése révén, még mindig jelentős az energetika ipar por kibocsátása. A kisméretű szálló por (PM₁₀) országos kibocsátása a 90-es évek elejétől közel felére mérséklődött, eleinte erős, később csökkenő ütemben. Országos szinten még mindig az ipar, az energiatermelés és a lakosság a fő porszennyező, de a közlekedési szektor részesedése folyamatosan nő, és a települési levegőminőségben - a kibocsátás helyi jellege miatt - meghatározóvá vált. Meg kell jegyezni, hogy napjainkban egyre nagyobb figyelmet kap ez a szennyezőanyag. Kutatási eredmények igazolták, hogy egészségügyi hatása sokkal komolyabb, mint korábban gondolták. Hazai szabályozás még nem készült a 2,5 mikron alatti szálló por koncentrációra, pedig az egészségügyi hatása még veszélyesebb a 10 mikron méretű szálló pornál.



362. ábra: A PM10 szennyezés miatti elhalálozások száma 2005-ben (1 millió lakosra vetítve) [7.3]

- A gázalakú légszennyezők egyike a **kén-dioxid kibocsátás**.

A kén-dioxid (SO₂) elsősorban a ként tartalmazó fosszilis tüzelőanyagok elégetésekor keletkezik.

A kén-dioxid környezet-egészségügyi hatásai már régóta ismertek [7.3]. A magas koncentrációjú kén-dioxid belégzése esetén a légutak görcsös állapota alakul ki. Az asztmában szenvedők hevesebben reagálnak, mint az egészséges emberek. A kén-dioxid növeli izgatja a légzőrendszert, hörgő összehúzódást és csökkent tüdőfunkciót okoz.

Fő kibocsátó az energia ipar, széntüzelés és a közúti közlekedés. Az elmúlt közel 20 évben az ipar által kibocsátott kéndioxid mennyisége számottevően csökkent, mivel ez a szennyezőanyag főként az energiatermeléshez, fűtéshez köthető. A gazdasági szerkezet átalakulása, az energiaigényes ipari tevékenység visszaesése eredményezett látványos emisszió csökkenést a 80-as évek vége és a 90-es évek közepe között. Ezt követően az eredmények már a tudatos beavatkozás következményei. Az Európai Unió által támasztott szigorú környezetvédelmi követelmények rákényszerítették a légszennyezéssel járó tevékenységek üzemeltetőit a kibocsátások hatékony csökkentésére. Az energiaipari létesítményekben jelentős fejlesztéseket hajtottak végre az 1998-2006. közötti időszakban, amelynek eredményeként az évenkénti kén-dioxid kibocsátás közel 500 kt-val, az 1998-as szint 20 %-ra csökkent.

Igen nagy hatással volt a szennyezőanyag kibocsátásra az üzemanyagok és tüzelőanyagok minőségében bekövetkezett pozitív változás is. A kőolajiparban végrehajtott nagy volumenű fejlesztések lehetővé tették, hogy Magyarországon 1999. április 1. után megszűnt az ólmozott benzin forgalmazása, így a korábban komoly problémát jelentő közlekedés eredetű ólom kibocsátás nem terheli környezetünket. Az üzemanyagok kéntartalmára vonatkozó előírások is folyamatosan szigorodnak. 2005-től a megengedett maximális mennyiség a benzinekben és a gázolajokban egyaránt 50 ppm. 2009-től valamennyi EU tagországban kizárólag max. 10 ppm kéntartalmú üzemanyagot lehet forgalmazni. A nem közlekedésben használt tüzelőanyagok kéntartalmát is jogszabályban előírt határérték

korlátozza. Ez szintén hozzájárult az energiatermelésből, fűtésből származó kén-dioxid kibocsátás csökkenéséhez.

- Egy másik fontos légszennyező a **nitrogén-oxid kibocsátás**.

A nitrogén-oxidok (NO_x) elsősorban a járművek üzemanyagának égéstermékéből származnak, valamint az energia-termelésből és a fűtésből [7.3]. A külső légtérben a nitrogén-monoxid (NO) gyorsan átalakul NO_2 -vé a légkörben jelenlévő oxidáló anyagok hatására. Az NO_2 koncentráció a közlekedés eredetű légszennyezés indikátor paramétere. Az Európai Unióban az NO_x kibocsátás több mint fele közlekedés eredetű, ez az arány még magasabb lehet a nagyvárosokban, Magyarországon 2000-ben 59 %.

A nitrogén-dioxid irritáló hatású gáz. A nitrogén-dioxid és a többi légszennyező (szálló por és ózon) közötti összefüggés összetett, emiatt nagyon nehéz értékelni az NO_2 elkülönített hatását az epidemiológiai vizsgálatokban. Emiatt az NO_2 egészségi hatásait elsősorban állatkísérletek eredményei alapján határozták meg. A nitrogén-dioxid és reakciótermékei csökkent tüdőfunkciót és különféle légzőszervi tünetek kockázatának növekedését okozzák. Rendkívül magas koncentrációi esetén a légutak összeszűkülnek mind az asztmás, mind a nem asztmás egyéneknél.

Az asztmásak ugyanakkor érzékenyebbek a nitrogén-dioxidra, mint az egészségesek. Kimutatták, hogy a forgalmas utak mentén élők között többen válnak asztmásokká. A nitrogén-oxidok magas koncentrációja valószínűleg hozzájárul a szív és tüdő betegségeihez, továbbá csökkenti a szervezet ellenálló képességét a légúti fertőzésekkel szemben.

A nitrogén-oxidok (NO_x) kibocsátása nem változott olyan jelentős mértékben, mint a kén-dioxid emisszió. Ennek oka pedig az, hogy míg az ipari NO_x kibocsátások csökkentek, a közlekedési emisszióknál egy enyhe, de folyamatos emelkedés tapasztalható. 2006-ban az országos NO_x szennyezés több, mint 60 %-a már a közlekedésből származott.

- **A talajközeli ózon** másodlagos szennyező, mely elsődleges szennyezőanyagokból fotokémiai úton képződik [7.3]. A kiindulási szennyezőanyagok közé tartoznak a nitrogén-oxidok és illó szerves vegyületek, valamint az oldószerek. A nitrogén-oxidokból napsugárzás hatására ózon képződik, ami a fotokémiai szmog egyik indikátor paramétere.

Az ózon kellemetlen szagú, izgatja a szemet és a légzőszervek nyálkahártyáját, súlyosítja a krónikus betegségeket, elsősorban a hörghurutot és az asztmát. Egészséges embereknél is a hosszabb ideig tartó fizikai munka jelentősen csökkenti a tüdőfunkciót, amit émelygés, hányinger, köhögés, mellkasi fájdalmak kísérhetnek. Az ózon a légzőszervek gyulladását is kiválthatja. Pollen allergiás betegek tüneteit jelentősen súlyosbíthatja a magas ózon koncentráció.

Európában az elmúlt tíz évben leginkább az ózon (O_3) és – kisebb mértékben – a nitrogén-dioxid (NO_2) koncentrációja emelkedett, azaz az oxidánsok mennyisége nőtt a levegőben. Ezeknek az anyagoknak a jelenléte rákkeltő, irritáló anyagok képződését eredményezi a városi levegőben. Az egészségügyi határértéket túllépő szennyezést jellemzően a dél-európai országokban mértek, de sajnos Magyarországon is jelentős mértékű volt az ózonszennyezettség. Az ózon miatti életvesztés szempontjából hazánk az ötödik legrosszabb helyen áll Európában – Görögország, Andorra, Ciprus és Horvátország után. Tehát az EU-ban a harmadik legrosszabbak vagyunk, még Olaszországban és Spanyolországban is kisebb az egy millió főre jutó életvesztés. Az ózon forrása 45 százalékban a közlekedés, 19,8 százalékban az energiatermelés, 13,6 százalékban az ipari kibocsátások és 6,4 százalékban a mezőgazdaság. Uniós kutatások szerint határérték feletti ózon-kitettség esetén 30 százalékkal nagyobb esélyünk van tüdőbetegségben meghalni. Érdekes módon viszont 2008-ban 10 év után a legkisebb ózonkoncentrációt mérték

Európában. A **77. táblázat** az indirekt üveghatású gázok kibocsátásának a trendjét mutatja Magyarországon, amely a legfrissebb jelentés adatait tartalmazza [7.4].

77. táblázat: Az indirekt üvegházhatású gázok kibocsátási trendje [7.4]

Indirekt gázok (Gg)	1985	1986	1987	2000	2005	2006	2007	2008
Nox	262,5	264,2	264,9	185,08	203,15	202,44	185,43	170,58
CO	931,1	-	-	592,66	588,2	594,31	576,7	570,34
NMVOC	232,0	263,0	228,0	166,01	176,23	186,71	167,68	169,65
SO ₂	1403,6	1361,8	1285,3	488,96	146,65	123,11	98,59	106,73

Az NO_x, CO és NMVOC gázokat azért nevezzük indirekt gázoknak, mert közvetve, másodlagos hatások révén befolyásolják (csökkentik vagy növelik) a légkör melegedését. A nitrogén-oxidok, a szén-monoxid és a (nem metán) illékony szerves vegyületek kémiai folyamatok révén elősegítik az ózonképződést, az ózon pedig üvegházhatású gáz. A kén-dioxidból olyan kis lebegő részecskék (aeroszolok) alakulnak ki, amelyek befolyásolják a légköri sugárzási viszonyokat.

A **szén-monoxid** (CO) színtelen és szagtalan, redukáló hatású gáz [7.3]. A szénvegyületek tökéletlen égése során, elsősorban belsőégésű motorokban keletkezik. A közlekedés okozta légszennyezés indikátor paramétere.

A szén-monoxid gyengíti a vér oxigénszállító képességét, oxigénhiányos állapot kialakulását okozhatja. A szén-monoxid mérgezés tünetei a fejfájás, hányás, súlyos esetekben eszméletvesztés és halál - bár a rövid ideig tartó expozíció hatása visszafordítható. Az idült hatások tünetei: fejfájás, szédülés, álmatlanság, szívtáji fájdalmak, idegrendszeri tünetek, a szívinfarktus gyakoriságának növekedése.

28.2. A klímavédelem és a megújuló energia felhasználás összefüggései

Az éghajlatváltozás elleni nemzetközi fellépés első jelentős mérföldköve az ENSZ 1992-es Éghajlatváltozási Keretegyezménye volt, amelyben fejlett ipari országok kötelezték el magukat az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése mellett. Ennek felemás eredményét felismerve került sor 1997-ben a Kiotói Egyezmény aláírására, amelyben a 38 aláíró ország vállalta, hogy 2012-re kibocsátásaikat átlagosan 5,2%-kal csökkentik az 1990-es bázisévhez képest.

A Kiotói Jegyzőkönyvben az EU akkori 15 tagállama 8%-os kibocsátás-csökkentés vállalt, amely átlagos csökkentést a tagországok között kvótaszerűen osztottak fel. Magyarország 2002-ben csatlakozott a Kiotói Jegyzőkönyvhöz, és az 1985-87-es bázisévhez képest végrehajtandó 6%-os üvegházhatású gázkibocsátás mérséklésre tett vállalást.

Az Európai Unió Kiotói Jegyzőkönyvben tett vállalása alapozta meg az EU közös éghajlatpolitikáját, amelynek elsősorban célkitűzése az üvegházhatású gázok kibocsátásainak csökkentése. A célkitűzések elérésének stratégiai programja a 2000-ben indított Európai Éghajlatváltozás Program, amely kiterjed ipari, közlekedési, mezőgazdasági, energiafelhasználási, és energiaellátási kérdésekre.

Ennek eredményeként került sor 2005-ben az emisszió-kereskedelmi rendszer bevezetésére. 2005 márciusában újabb ambiciózus célkitűzést fogalmazott meg az Európai Tanács: 2020-ra 15-30%-os üvegházhatású gáz kibocsátás csökkentést irányozott elő a fejlett ipari országok

számára. A Környezetvédelmi Tanács pedig az üvegházhatású gázok globális kibocsátás csökkentésének célkitűzését 2050-re az 1990. évi szint 60-80%-ában állapította meg.

Az Európai Tanács 2007 tavaszi ülészakán tárgyalta az Európai Bizottság által előterjesztett éghajlat-változási és energiapolitikai integrált javaslatcsomagot. A csomag alapvető célkitűzése az éghajlatváltozás megfékezése, az uniós energiabiztonság növelése és a versenyképesség fokozása. Ennek megfelelően a Tanács márciusi ülésén határozott arról, hogy az Unió 2020-ra legalább 20%-kal csökkentse az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását az 1990-es szinthez képest.

A Tanács támogatta továbbá, hogy a 2012-2030 közötti időszak alatt más fejlett országokkal együtt az Unió lépjen fel az 1990-es szinthez képest 30%-os üvegházhatású gáz kibocsátás csökkentés elérése érdekében. Az Európai Tanács energiacsomagjának megújulókra és bioüzemanyagokra vonatkozó célok kitűzése mellett megerősítette továbbá, hogy 2020-ig 20%-kal kívánja csökkenteni a teljes primer energiafogyasztást.

Az EU 2008. január 24-én ismertté vált „Éghajlatváltozási energiacsomagja” – illetve a január 30-án közzétett, a megújuló forrásokból előállított energia támogatásáról szóló irányelv javaslat – országonként differenciált megújuló energiahordozó felhasználás növekedési elvárásokat tartalmaz. Az EU jelenlegi átlaga 8,5% és a 20%-os részarányig fennmaradó 11,5 százalékpont felének a teljesítését Brüsszel minden tagországtól elvárja, a másik felét viszont az egy főre jutó GDP arányában osztja szét a tagállamok között. Hazánknak az EU elvárások szerint háromszorosára – 4,3%-ról 13%-ra – kell emelnie a megújuló részarányt a referencia évhez, 2005- hoz képest.

A **78. táblázat** az Európai Unió országai által kibocsátott széndioxid mennyiségét mutatja az 1996-2006 közötti években. A táblázatból az derül ki, hogy az eltelt időszakban nem csökkent lényegesen a kibocsátott széndioxid mennyisége az Európai Unió tagállamainak az összességét tekintve.

Magyarország 2008. évi üvegházhatású gáz kibocsátása 73,7 millió tonna szén-dioxid egyenérték volt, ami a leltár teljes időszakát tekintve (1985-2008) messze a legalacsonyabb érték (**79. táblázat**).

78. táblázat: Széndioxid kibocsátás országonként (millió tonna), 2007 (forrás: Eurostat)

Ország	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
EU (27)	4241,74	4154,03	4142,28	4075,99	4099,84	4179,13	4154,94	4263,19	4283,25	4257,54	4257,62
EU (15)	3354,64	3300,50	3346,65	3321,16	3348,82	3418,23	3409,02	3488,12	3507,82	3485,73	3466,31
Belgium	127,95	122,21	128,34	122,62	123,78	124,03	123,17	127,13	126,78	123,50	119,11
Bulgária	65,01	63,07	55,20	50,97	50,48	52,11	49,27	53,86	53,27	54,03	55,07
Cseh Közt.	138,36	131,53	123,99	120,45	126,76	128,33	124,58	125,88	126,60	125,94	127,92
Dánia	73,97	64,46	60,40	57,53	53,07	54,67	54,25	59,45	53,95	50,31	57,55
Németország	943,32	912,90	905,81	879,58	883,39	901,42	886,55	900,81	899,82	876,81	880,25
Észtország	18,71	18,18	16,67	15,57	15,28	15,45	15,15	16,94	17,10	16,49	15,97
Írország	37,11	38,58	40,65	42,31	44,85	47,30	45,87	45,13	45,99	47,72	47,32
Görögország	89,27	94,11	98,78	98,22	103,66	106,01	105,66	109,89	110,20	110,50	109,67
Spanyolország	243,00	262,66	270,77	296,36	307,74	311,63	330,64	334,66	351,95	368,26	359,63
Franciaország	402,36	396,45	416,28	405,98	402,56	408,79	401,35	407,54	411,93	415,73	404,25
Olaszország	439,33	443,57	454,88	459,91	464,28	470,18	472,39	487,84	491,05	491,83	488,04
Ciprus	5,87	5,93	6,39	6,47	6,84	6,74	7,13	7,45	7,74	7,94	8,15
Lettország	9,18	8,64	8,25	7,67	7,03	7,45	7,46	7,64	7,64	7,78	8,26
Litvánia	15,85	15,22	16,06	13,39	12,08	12,86	12,94	12,98	13,60	14,31	14,52
Luxemburg	9,38	8,72	7,97	8,56	9,04	9,35	10,16	10,53	12,17	12,06	12,11
Magyarország	63,39	61,65	61,09	60,99	59,20	6061,00	58,82	62,12	60,40	61,66	60,39
Málta	2,34	2,35	2,36	2,45	2,32	2,44	2,46	2,64	2,59	2,67	2,63
Hollandia	177,72	171,16	173,28	167,80	169,65	175,22	175,76	179,69	181,09	175,93	172,22
Ausztria	67,41	67,20	66,77	65,54	65,93	70,20	72,12	78,27	77,53	79,52	77,28
Lengyelország	374,86	368,57	340,61	328,88	320,37	316,82	305,58	316,69	316,87	317,67	330,53
Portugália	50,29	53,53	58,22	64,79	63,61	64,88	69,06	64,38	66,41	68,66	64,45
Románia	135,44	121,02	107,30	91,64	95,26	100,27	106,31	111,38	112,14	105,85	111,01
Szlovénia	15,73	16,05	15,78	15,14	15,22	16,19	16,26	16,06	16,43	16,76	16,88
Szlovákia	42,37	41,33	41,92	41,23	40,20	41,64	39,97	41,36	41,07	40,70	39,98
Finnország	64,01	62,60	59,38	58,92	56,97	62,22	64,66	72,33	68,46	56,70	68,10
Svédország	61,55	56,98	57,50	54,64	53,42	54,16	55,30	56,30	55,19	52,55	51,51
Egyesült Kir.	567,98	545,35	547,63	538,40	546,89	558,16	542,10	554,18	555,30	555,64	554,83
Horvátország	17,67	18,75	19,66	20,41	20,10	21,02	21,99	23,58	23,18	23,60	23,70
Törökország	190,67	203,72	202,71	201,71	223,81	207,38	216,43	230,99	241,88	256,33	284,36
Izland	2,40	2,49	2,50	2,71	2,76	2,76	2,85	2,84	2,91	2,85	3,04
Lichtenstein	0,21	0,22	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24
Norvégia	40,88	40,99	41,11	41,97	41,58	42,94	42,00	43,32	43,85	42,86	43,26
Svájc	44,03	43,36	44,59	44,82	43,92	44,70	43,78	44,91	45,36	46,07	45,56

79. táblázat: Magyarország üvegházhatású gáz kibocsátása 1985-2008 között [7.4]

ÜHG kibocsátás (CO ₂ eé. Gg)	1985-87	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
CO ₂	85024,99	72559,68	61436,27	58543,15	60970,82	59655,71	57882,5	56224,66
CH ₄	11892,23	11172,4	9237,88	9373,77	8801,48	8715,31	8554,27	8376,84
N ₂ O	19260,59	14925,44	8643,54	9455,46	9765,57	9546,71	9070,52	8127,98
HFC-k	0	0	0,78	211,34	537,77	592,05	621,18	703,38
PFC-k	268,49	270,83	166,82	211,26	209,39	1,53	2,38	2,41
SF ₆	81,02	39,87	70,15	140,11	201,02	244,45	171,65	237,85
ÖSSZESEN (nyelők nélkül)	116527,32	98968,22	79555,43	77935,09	80486,06	78755,76	76302,49	73673,12

Ha figyelembe vesszük az erdeink által elnyelt szén-dioxidot is, a (nettó) kibocsátásunk 69,1 millió tonna szén-dioxid egyenértékre csökken. A 7-8 tonna közötti egy főre jutó kibocsátás Európában viszonylag alacsonynak számít (EU átlag: 10 tonna / fő). A Kiotói Jegyzőkönyv aláírásával hazánk 6%-os csökkentést vállalt a bázisévhez képest. A jelenlegi kibocsátásunk ugyanakkor 36,8%-kal alacsonyabb az 1985-87-es évek átlagos kibocsátási szintjéhez viszonyítva. A markáns csökkenés jelentős részben a rendszerváltozás következménye: már 1992-re mintegy 30%-kal csökkent az emisszió az energetikai, ipari és mezőgazdasági termelés visszaesésének következtében. Ezt követően 14 évig (1992-2005) viszonylag stabilan alakult az ország üvegházhatású gáz kibocsátása, majd 2005 és 2008 között újra jelentősen, 8,5%-kal csökkent az emisszió.

2007 és 2008 között 3,4%-kal, 2,6 millió tonna szén-dioxid egyenértékkel csökkent a kibocsátásunk. Szinte az összes ágazat kibocsátása alacsonyabb lett, de a legnagyobb relatív visszaesés (-20,6%) az iparban következett be: mindenekelőtt a vegyipari termelés csökkenés és modernizáció eredményeképp (-62,6%). Az összesen 2,6 millió tonnás kibocsátás csökkenéséből 1,2 millió tonna köszönhető a vegyiparnak. Az energiaiparban felhasznált tüzelőanyagok kedvezőbb szerkezete (pl. több biomassza), illetve az atomerőmű nagyobb részesedése a hő- és villamosenergia-termelésben további 0,9 millió tonna kibocsátás csökkenéshez vezetett.

A legfontosabb üvegházhatású gáz a szén-dioxid, amely az összes kibocsátás 76,3%-áért felel. **Szén-dioxid** döntő részben az energiaszektorban keletkezik a fosszilis tüzelőanyagok elégetése révén. CO₂ kibocsátásunk 33,9%-kal csökkent a 80-as évek közepe óta. A **metán** 11,4%-os súlyt képvisel a teljes üvegházhatású gáz kibocsátásban. Elsősorban az állattenyésztés és a hulladékgazdálkodás során keletkezik, de pl. a földgáz szállításakor is elszivárog belőle egy bizonyos mennyiség. 1985-87-hez képest a metánkibocsátás 29,6%-kal csökkent. A 11,0%-nyi dinitrogén-oxid elsősorban a termőföldekről és legelőkről, illetve vegyipari termelés következtében kerül a levegőbe. A mennyisége kevesebb mint a felére (-57,8%) esett vissza a bázisévhez képest. Az F-gázok összesen 1,3%-ot képviselnek, de tendenciájuk növekvő, főleg a hűtő- és klímaberendezések miatt.

A teljes kibocsátás kerekén háromnegyede az energiaszektor számlájára írható. A mezőgazdaság 12,6%-kal, az ipari folyamatok további 7,3%-kal járulnak hozzá az üvegházhatású gázok kibocsátásához, míg a hulladék szektor 5,1%-ot képvisel a leltárban. A bázisévhez képest jelentősen csökkent a kibocsátás az energiaszektorban (-33,0%), a mezőgazdaságban (-52,0%) és az iparban (-56,1%), a hulladékszektor kibocsátása viszont növekedett (+25,3%). Az erdők, a földhasználat változásai nyelőként viselkednek, vagyis összességében általában kivonják a szén-dioxidot a levegőből (**80. táblázat**).

80. táblázat: Az üvegházhatású gáz kibocsátások és elnyelések ágazatonkénti változása

ÜHG kibocsátás (CO ₂ eé. Gg)	1985-87	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
Energiaszektor	82455,28	70184,85	60529,01	57510,11	59507,9	58433,51	56353,09	55225,09
Ipari folyamatok	11401,55	9219,95	5716,44	6569,34	7338,36	6714,69	6296,93	5001,77
Oldószeresek	284,54	226m27	205,16	213,71	366,33	334,66	366,16	406,3
Mezőgazdaság	19413,91	16046,38	9593,43	9934,07	9418,26	9438,76	9502,16	9314,6
Földhasználat (erdészet)	-2186,72	-2886,45	-6776,27	-1276,25	-4628,38	-2641,61	-2938,78	-4574,76
Hulladék	2972,03	3290,77	3511,39	3707,85	3855,22	3834,14	3784,16	3725,37
ÖSSZESEN (nyelőkkal)	114340,6	96018,76	72779,17	76658,84	75857,68	76114,15	73363,71	69098,36

2008-ban az **energiaszektor** a teljes kibocsátás 75,0%-áért volt felelős. A fosszilis tüzelőanyagokból keletkező szén-dioxid a legnagyobb tétel az üvegházhatású gázkibocsátások között, hiszen a szektor kibocsátásában 94,3%-ot képvisel. A tüzelőanyagok közül az elégetett gáz okozza a legnagyobb kibocsátást (45,7%), majd a folyékony és a szilárd tüzelőanyagok következnek, ez utóbbiaknak már csak 23,4% a részesedése. A 90-es években lezajlott tüzelőanyag-szerkezetváltásnak köszönhetően a 80-as években még elsődlegesnek számító forrást, a szilárd tüzelőanyagot mindinkább kiszorítja a fajlagosan kisebb kibocsátású földgáz, ezáltal is csökken a teljes kibocsátás. Érdeemes megemlíteni, hogy a megújuló biomassza részesedése a tüzelőanyagok között immár eléri a 6,2%-ot.

Az energiaszektoron belül legjelentősebb kibocsátó az energiaipar 35,6%-kal, ezt követi a közületek, háztartások és mezőgazdaság fogyasztása (25,0%), valamint a közlekedésből származó kibocsátás (23,3%). Ez utóbbi növekszik a legdinamikusabban: a közlekedésből származó kibocsátás 2005-höz képest 5,4%-kal, a 80-as évek közepéhez viszonyítva pedig 65,7%-kal volt magasabb 2008-ban.

2007 és 2008 között 2,0%-kal csökkent az energiaszektor kibocsátása. Bár hazai erőművek villamosenergia-termelése kis mértékben nőtt, a fosszilis tüzelőanyagok alacsonyabb részaránya, a nukleáris és a megújuló energia növekvő részesedése 4,3%-os kibocsátás csökkenést eredményezett. A közlekedésből származó kibocsátások 0,4%-os növekedése mérsékeltnak volt mondható, különösen a 1995 és 2007 közötti több mint 80%-os növekedés fényében. A közlekedés tartósan növekvő energiaigényét ugyanakkor a bioüzemanyagok csaknem hatszoros növekedése kompenzálta. Az intézmények, ill. a szolgáltatóipar mintegy 8%-kal kevesebb energiát használt fel, és a lakosság energiafogyasztása is elmaradt a várakozásoktól. Figyelembe véve a növekvő energiaárakat (pl. a vezetékes gáz árának 70%-os növekedését az elmúlt 2 évben), az energiatakarékosság is hozzájárulhatott a kibocsátások alakulásához.

2008-ban a **mezőgazdaság** volt a második legjelentősebb szektor Magyarország üvegházhatású gáz leltárában, 12,6%-kal járult hozzá a teljes kibocsátáshoz. Az ágazat részesedése folyamatosan csökken, hiszen 1985-87-ben még 16,7%-os súlyt képviselt. A mezőgazdasági tevékenységek CH₄ és N₂O kibocsátással járnak, a N₂O kibocsátásunk legnagyobb része (83%) ebből a szektorból származik. Az ágazati üvegházhatású gáz emisszió legfontosabb forrásai a termőföldek N₂O kibocsátása, a trágyakezelés (N₂O és CH₄) emissziója és a haszonállataink emésztése (CH₄). A kibocsátás jelentősen csökkent 1985 és 1995 között, amikor a mezőgazdasági termelés mintegy 35%-kal esett vissza, és az

állatállomány is drasztikusan csökkent. 1996 és 2008 között a mezőgazdasági kibocsátások enyhén csökkenő tendenciát mutattak +/-6%-os ingadozásokkal. A háttérben ellentétes hatású folyamatok rajzolódtak ki: az állatállomány további csökkenése alacsonyabb kibocsátáshoz vezetett volna, ám a műtrágya felhasználás jelentős, 2007-ig közel 60%-os növekedése a talajok növekvő N₂O kibocsátását vonta maga után.

2007 és 2008 között 2,0%-kal csökkentek a mezőgazdasági kibocsátások. Ez a változás főképp a sertésállomány 9,3%-os csökkenésének volt köszönhető, ami viszont a viszonylag magas takarmányárakkal magyarázható. A magas árak miatt a műtrágya felhasználás is visszaesett 8%-kal, ami – dacára a kiemelkedő terméseredmények miatt képződött több tarlómaradványnak – összességében csökkentette a talajok N₂O kibocsátását.

Az **ipari folyamatok** szektor a harmadik legnagyobb kibocsátó hazánkban, a teljes kibocsátás 6,8%-áért felelős. (Az oldószerek és egyéb termékek használata szektor a teljes kibocsátás szinte jelentéktelen részét, 0,6%-át teszi ki.) A legjelentősebb üvegházhatású gáz az ipari tevékenységek során is a CO₂, amely 80,7%-ban járul hozzá a szektor kibocsátásához, ezt követik az F-gázok 18,9%-kal. A legnagyobb kibocsátás az ásványi termékek (pl. cement, tégl) gyártása során keletkezik (45,4%), ezt követi az F-gázok felhasználása (18,9%) és a vegyipar (13,2%). A szektor kibocsátása 56,1%-kal csökkent a bázisévhez képest, 2005 óta pedig 31,8%-os volt a visszaesés. Mindamelllett az F-gázok kibocsátása jelentősen nőtt. Noha csak 1,3%-os súlyt képviselnek a teljes üvegházhatású kibocsátásban, ám például az ózonrétegre ártalmatlan HFC-k egyre elterjedtebb alkalmazása a hűtő- és klímaberendezésekben megtízszerezte az emissziót.

A 2007 és 2008 közötti 20,6%-os kibocsátás-csökkenés fő kiváltója a vegyipar volt. Az ammónia és a salétromsav termelése 26%-kal csökkent, ami az ágazat csökkenő energiafogyasztásában is megmutatkozott. Ennél is fontosabb, hogy - egy együttes végrehajtási projekt keretében megvalósult salétromsav üzemi nagyberuházás eredményeképpen – a salétromsavgyártás N₂O kibocsátása szinte megszűnt, ami nagyságrendileg 1 millió tonna szén-dioxid egyenértékű kibocsátásnak felel meg. Ezen túlmenően a téglagyártás volumene is csökkent, a cementipar pedig adalékanyagok használatával tudta csökkenteni a kibocsátását.

A **hulladékszektor** 5,1%-kal járul hozzá a teljes kibocsátáshoz. Szemben az előzőekben felsorolt ágazatokkal, a hulladékkezelésből származó emisszió 25,3%-kal magasabb a bázisévinél. Mindazonáltal a növekedés az utóbbi időben megtorpant, sőt, 2005 - 2008 között 3,4%-os csökkenés volt tapasztalható. A szilárd hulladék lerakásából keletkezik a kibocsátás zöme (78,7%), míg a szennyvízkezelés 19,5%-os, a nem energetikai célú hulladékégetés pedig 1,8%-os részarányt képvisel. A hulladéklerakókból szivárgó metán a lassan lebomló hulladékok miatt a 2000-es évek közepéig növekvő tendenciát mutatott. A szennyvízkezelésből származó kibocsátások csökkenő trendjét a közcatornára kötött lakások egyre nagyobb száma magyarázza.

A **földhasználat, földhasználati változások és erdőzet** szektorban a jelenleg rendelkezésre álló adataink alapján az erdők biomasszájának CO₂ megkötését, az erdőtüzek és a vágástéri hulladékok helyszíni égetése során a levegőbe kerülő ún. nem-CO₂ emissziókat számoljuk el. Becsüljük még a szántók és a gyepek talajának művelési mód, illetve a művelési ág megváltoztatása miatti CO₂ nyeléseket és emissziókat, valamint a szőlők és gyümölcsösök biomasszájában végbemenő változásokat.

A **szektor összességében nyelőnek tekinthető**, az erdők tekintélyes CO₂ megkötése miatt, amely az elmúlt évtizedekben zajlott jelentős mennyiségű erdőtelepítésnek és a tartamos erdőgazdálkodásnak köszönhető. (A leltári időszak alatt 350 ezer ha-ral nőtt az összes erdőterület, és az éves folyónövedék minden évben meghaladta a kitermelt mennyiséget.) A szektor összes nyelésének mértékében azonban az itt elszámolt folyamatok bonyolult

dinamikája miatt trend nem mutatható ki, az eredmények 1985 és 2008 között jelentősen ingadoznak. (Átlag: 3,5 millió tonna, az átlagtól való eltérés $\pm 96\%$.)

2008-ban összesen nettó 4,6 millió tonna szén-dioxid elnyelését számolhattuk el. Az erdők megkötése 4,9 millió tonna volt, a szőlők és gyümölcsösök biomasszája azonban összességében forrásnak tekinthető (2008-ban, 0,17 millió tonna) tekintettel a szőlőterületek folyamatos csökkenésére. A mezőgazdasági talajaink - az elmúlt évekhez hasonlóan – kismértékű forrásnak tekinthetők (2008-ban 0,09 millió tonna), bár vannak olyan kedvező folyamatok, mint a szántóterületek művelésének felhagyása, vagy a redukált talajművelés lassú terjedése, amely kedvezően hat talajaink szén-mérlegére.

28.3. Egyéb energetikai környezetszennyezés

Az energiaellátás a levegőbe kerülő szennyezéseken felül más területen is terheli a természeti környezetet. Az energiatermelés, az energiaátalakítás és az energiafogyasztás szilárd és folyékony hulladékai szennyezik a talajt, a felszíni és felszín alatti vizeinket is, de veszélyeztetik a természeti és kulturális értékeinket is. Az energiaellátás berendezései a lakott területeken élőket jelentős **környezeti zaj- és rezgés kibocsátással** terheli, de **elektromágneses és radioaktív sugárzással** valamint **hőszennyezéssel** is veszélyeztetik az élővilágot. A továbbiakban a fentiek közül a zaj- és rezgésterheléssel, a radioaktív sugárzással, valamint a hőszennyezéssel foglalkozunk.

• Az energetika környezeti zaj- és rezgésterhelése

A gazdasági fejlődés, az életszínvonal emelkedése és ezzel szoros összefüggésben az energiafelhasználás, az urbanizáció és a motorizáció növekedése, a megváltozott szokások, életkörülmények emelkedő zajterhelést okoznak, mégpedig társadalmi szinten. Az autóhasználat általánossá és így tömegessé vált, a nagyvárosok agglomerációiban tízezres nagyságrendben lépik át személygépkocsival a városhatárt a reggeli és esti csúcsban, az urbanizáció következtében soha nem látott – és irreális – szállítási igényeket elégítenek ki, jobbára közúton. A megnövekedett forgalmat új utak építésével igyekeznek kezelni, ami a forgalom további növekedését, valamint újabb konfliktussal terhelt területeket hoz létre. **Az ipari üzemek megépítésénél** nem fordítanak megfelelő figyelmet – sem a környezethasználók, sem pedig az engedélyező hatóságok – a zaj elleni védelemre, jóllehet ez a jogszabály értelmében külön is vizsgálendő kérdés pl. a zajvédelmi dokumentáció révén. Az erőltetett ingatlanfejlesztéseket lehetővé tevő felelőtlen önkormányzati és beruházói döntésekkel **jelentős zajforrások közvetlen közelében építenek lakóparkokat**, így a leendő lakók már eleve határérték közeli, esetenként azt meghaladó területre költöznek. Még aggályosabb, ha nem is lakóházakat, hanem pl. közoktatási intézményt helyeznek el nagyforgalmú út mellett.

A megengedett zajszinteket a hazai előírások mindenkor **egyenértékű A-hangnyomásszintként** rögzíti, amely egy olyan folyamatos, állandó A-hangnyomásszintet jelöl, amelynek négyzetes középértéke azonos az időben változó zaj ugyanazon időtartam alatti négyzetes középértékével. Az A súlyozással történő hangnyomásszint mérése egy olyan súlyozó szűrő használatának előírását jelenti, amely az emberi fül frekvenciafüggő torzításait utánozza, és amelynek pontos frekvenciasáv szerint módosító értékeit nemzetközi szabványok rögzítik.

Az üzemi létesítményekben folytatott tevékenységből, az építési munkálatokból és a közlekedésből származó zajra vonatkozó zajterhelési határértékeket a 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet határozza meg [7.5]. Ugyanezen rendelet határozza meg az épületekben tartózkodó emberekre ható rezgésekre vonatkozó megengedhető terhelési határértékeket is. A **81. táblázat** az üzemi létesítményektől származó zaj terhelési

határértékeit tartalmazza, a **82. táblázat** pedig a közlekedéstől származó zaj terhelési határértékeit tartalmazza a zajtól védendő területeken. A **81. táblázat** határértékei megítélési szintben kifejezett értékek, ahol a megítélési idő

- a) nappal (6:00-22:00): a legnagyobb zajterhelést adó folyamatos 8 óra,
- b) éjjel (22:00-6:00): a legnagyobb zajterhelést adó fél óra.

A 7.7 táblázat határértékei is megítélési szintben kifejezett értékek, ahol a megítélési idő

- a) nappal (6:00-22:00): 16 óra,
- b) éjjel (22:00-6:00): 8 óra.

Az L_{AM} ún. **megítélési szint** az alapzajjal korrigált egyenértékű A- hangnyomásszint mellett a zaj tisztahang (tonális hang), valamint impulzusos összetevőit is figyelembe veszi egy-egy korrekciós tagban [7.6]. A hatályos jogszabályok tartalmazzák a környezeti zaj és rezgés mérésére és értékelésére vonatkozó előírásokat. Ha az L_{AM} megítélési szint kisebb, vagy egyenlő az L_{TH} terhelési határértéknél, akkor a vizsgált zaj megfelel, egyébként nem.

Az emberre ható környezeti rezgéstől védendő épületeket, azok helyiségeit, a vizsgálati küszöbértéket, valamint a helyiségekben megengedhető terhelési határértékeket a **83. táblázat** tartalmazza.

- ✓ Ha a rezgésforrás ritkán előforduló, rövid idejű rezgésjelenséget idéz elő, a rezgésterhelés legnagyobb értékére a **83. táblázat** az A_{max} -ra meghatározott határérték helyett a nappali időszakra - a rezgésre különösen érzékeny helyiségek kivételével - az A_{max} másfélszerese a vonatkozó határérték.
- ✓ A rendszeresen működő üzemi vagy szabadidős rezgésforrások esetén a rezgésterhelés legnagyobb értéke éjszaka a **83. táblázat** 2. sorszámú helyiségeiben nem haladhatja meg a 30 mm/s^2 értéket.

A **83. táblázat** meghatározott, megítélési időre vonatkozó rezgésterhelésben kifejezett határértékeknél a megítélési idő

- a) nappal (6:00-22:00): a legnagyobb rezgésterhelést adó folyamatos 8 óra,
- b) éjjel (22:00-6:00): a legnagyobb rezgésterhelést adó folyamatos fél óra.

A **83. táblázat** meghatározott határértékek csak az épületekben tartózkodó emberekre ható rezgésekre vonatkoznak, nem érintik a más jogszabályok, előírások alapján meghatározott határértékeket, követelményeket. Nem vonatkoztathatók határértékként az épület szerkezeti károsodását vagy a telepített berendezések működési zavarait okozó rezgésekre. A meghatározott határértékek csak abban az esetben vonatkoznak az éjszakai időszakra, ha a helyiséget rendeltetésének megfelelően éjszaka is használják.

A rezgésterhelés megítéléséhez [7.6] három, egymásra merőleges (x, y, és z) irányra meghatározott gyors időállandóval mért egész testre vonatkozó súlyozott rezgés gyorsulás értékek félperces maximumainak sorozatából kiválasztott legnagyobb értéket kell megállapítani, amelyet a rezgésterhelés legnagyobb értékének tekintünk ($a_{w,max}$).

Az A_0 **rezgésvizsgálati küszöbérték** a környezeti forrástól származó rezgésjellemző legnagyobb értékének megengedhető értéke, amelyet meghaladva a vizsgálatot folytatni kell, az A_{max} **rezgésterhelési határérték** pedig a környezeti forrástól származó rezgésjellemző legnagyobb értékének legnagyobb megengedhető értéke. A vizsgálat során három eset lehetséges:

- ✓ Ha az $a_{w,max} \leq A_0$, akkor a vizsgált rezgés **megfelel**, a követelményeknek.
- ✓ Ha az $a_{w,max} > A_{max}$, akkor a vizsgált rezgés **nem felel meg** a követelményeknek.
- ✓ Ha az $A_0 < a_{w,max} \leq A_{max}$, akkor ki kell számolni az $a_{w,M}$ rezgésterhelést, és ha ez kisebb vagy egyenlő az A_M **rezgésterhelési határértéknél** akkor a vizsgált rezgés megfelel, egyébként nem felel meg.

81. táblázat: Üzemi és szabadidős létesítményektől származó zaj terhelési határértékei a zajtől védendő területeken (1.sz. melléklet a 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelethez)

Sor- szám	Zajtól védendő terület	Határérték (L_{TH}) az L_{AM} megítélési szintre* (dB)	
		nappal 06-22 óra	éjjel 22-06 óra
1.	Üdülőterület, különleges területek közül az egészségügyi területek	45	35
2.	Lakóterület (kisvárosias, kertvárosias, falusias, telepszerű beépítésű), különleges területek közül az oktatási létesítmények területe, a temetők, a zöldterület	50	40
3.	Lakóterület (nagyvárosias beépítésű), a vegyes terület	55	45
4.	Gazdasági terület	60	50

Megjegyzés: * Értelmezése az MSZ 18150-1 szabvány és az MSZ 15037 szabvány szerint.

82. táblázat: A közlekedéstől származó zaj terhelési határértékei a zajtől védendő területeken (3. sz. melléklet a 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelethez)

Sor- szám	Zajtól védendő terület	Határérték (L_{TH}) az $L_{AM}^{kö}$ megítélési szintre*					
		kiszolgáló úttól, lakóúttól származó zajra		az országos közúthálózatba tartozó mellékutaktól, települési önkormányzat tulajdonában lévő gyűjtőutaktól és külterületi közutaktól, a vasúti mellékvonaltól és pályaudvarától, repülőtértől, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelyektől** származó zajra		az országos közúthálózatba tartozó gyorsforgalmi utaktól és főutaktól, a települési önkormányzat tulajdonában lévő belterületi gyorsforgalmi utaktól, belterületi elsőrendű főutaktól és belterületi másodrendű főutaktól, az autóbusz-pályaudvartól, a vasúti fővonaltól és pályaudvarától, a repülőtértől, illetve a nem nyilvános fel- és leszállóhelytől*** származó zajra	
		nappal 06-22 óra	éjjel 22-06 óra	nappal 06-22 óra	éjjel 22-06 óra	nappal 06-22 óra	éjjel 22-06 óra
1.	Üdülőterület, különleges területek közül az egészségügyi terület	50	40	55	45	60	50
2.	Lakóterület (kisvárosias, kertvárosias, falusias, telepszerű beépítésű), különleges területek közül az oktatási	55	45	60	50	65	55

	létesítmények területei, és a temetők, a zöldterület						
3.	Lakóterület (nagyvárosias beépítésű), vegyes terület	60	50	65	55	65	55
4.	Gazdasági terület	65	55	65	55	65	55

Megjegyzés:

* Értelmezése a stratégiai zajtérképek és intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól szóló 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet 3. számú melléklet 1.1. pontja és 5. számú melléklet 1.1. pontja szerint.

** Olyan repülőterek, vagy nem nyilvános fel- és leszállóhelyek, ahol 5,7 tonna maximális felszálló tömegnél kisebb, légszavaras repülőgépek, illetve 2,73 tonna maximális felszálló tömegnél kisebb helikopterek közlekednek.

*** Olyan repülőterek, vagy nem nyilvános fel- és leszállóhelyek, ahol 5,7 tonna maximális felszálló tömegű vagy annál nagyobb, légszavaras repülőgépek, 2,73 tonna maximális felszálló tömegű vagy annál nagyobb helikopterek, valamint sugárhajtású légi járművek közlekednek.

83. táblázat: Az emberre ható rezgés vizsgálati küszöbértékei és terhelési határértékei az épületekben (5. melléklet a 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelethez).

Sor-szám	Épület, helyiség	Rezgésvizsgálati küszöbérték* (mm/s ²)	Rezgésterhelési határértékek* (mm/s ²)		
		A ₀	A _M	A _{max}	
1.	Rezgésre különösen érzékeny helyiség (pl. műtő)	3,6	3	100	
2.	Lakóépület, üdülőépület, szociális otthon, szálláshelyszolgáltató épület, kórház, szanatórium lakó- és pihenőhelyiségei	nappal 06-22 óra éjjel 22-06 óra	12 6	10 5	200 100
3.	Kulturális, vallási létesítmények nagyobb figyelmet igénylő helyiségei (pl. hangversenyterem, templom), a bölcsőde, óvoda foglalkoztató helyiségei, az orvosi rendelő	12	10	200	
4.	Művelődési, oktatási, igazgatási és irodaépület nagyobb figyelmet igénylő helyiségei (pl. tanterem, számítógépterem, könyvtári olvasóterem, tervezőiroda, diszpécserközpont), a színházak, mozik nézőterei, a magasabb komfortfokozatú szállodák közös terei	24	20	300	
5.	Kereskedelmi, vendéglátó épület eladó-, illetve vendéglátó terei, sportlétesítmények nézőtere, a középületek folyosói, előcsarnokai	36	30	600	

Megjegyzés: * Értelmezése az MSZ 18163-2 szerint

Környezetünkben számos zajforrás működik, ami zavarja mindennapi tevékenységünket, nyugodt pihenésünket. Ezek egy része csak átmenetileg és néhány embernek okoz kellemetlenséget, másrésztük azonban tartósan és nagy területen terheli a környezetet. Az utóbbi csoportba elsősorban a közlekedési létesítmények és a jelentősebb ipari üzemek tartoznak bele. Útjaink, vasútjaink, repülőtereink zajcsökkentése azonban nem könnyű feladat, mivel bonyolult forgalmi rendszer és kialakult településstruktúra mellett kell megoldásokat keresni. A nagyobb városok vagy agglomerációk zajcsökkentése éppen ezért, a település egészére kiterjedő gondos tervezést, **intézkedési terv**-készítést igényel. Országos program szükséges a nagy forgalmú közlekedési létesítmények zajának csökkentése érdekében is.

Megalapozott intézkedési tervek csak a zajterhelés és a zajterheléssel érintett lakosság mértékének ismeretében készíthetők. Ehhez nyújtanak segítséget a **stratégiai zajtérképek**[7.7], [7.8].

Az EU 2002-ben fogadta el azt az irányelvét, ami stratégiai zajtérképek és ezeken alapuló zajvédelmi intézkedési tervek készítését írja elő:

- a nagyvárosi agglomerációkra (100000 fő lélekszám fölött),
- a nagy forgalmú vasutakra (30 000 jármű/év forgalom fölött),
- a nagy forgalmú közutakra (3 000 000 jármű/év forgalom fölött) és
- a nagy forgalmú repülőterekre (50 000 repülési művelet/év forgalom fölött).

Az irányelvet Magyarország 2004-ben vette át az alábbi két rendelet megalkotásával:

- 280/2004.(X.20.) Kormány rendelet a környezeti zaj kezeléséről és értékeléséről,
- 25/2004.(XII.20) KvVM rendelet a stratégiai zajtérképek valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól

A zajtérképek a zajforrások és a zajterjedés modellezésén alapulnak. **Mérést egyedül az ipari létesítmények esetén végeznek**, azonban a lakott területeket érő zajterhelés mértékét ebben az esetben is számítással állapítják meg. A stratégiai zajtérképek alapvető célja olyan állapotfelmérés készítése, amely alapot adhat a legjelentősebb zajforrás-csoportok kezelésére vonatkozó intézkedési tervek készítésére, stratégiai jellegű döntések megalapozására, ezért mind a terjedést befolyásoló tényezők, mind pedig a forgalmi adatok az adott területre jellemző éves átlagos értékek.

A zajtérképek alapjaként olyan digitális térképek szolgálnak, amelyek ábrázolják a zajforrásokat (közutak, vasutak, repülőterek, ipari létesítmények), a hangterjedés útjában álló akadályokat (pl.: zajvédő falak, töltések, magasabb építmények) és a zajtól védendő épületeket (pl.: lakóépületek, egészségügyi intézetek, oktatási intézetek). A zajforrásokhoz azok jellegétől függően hozzá kell rendelni a forgalmi adatokat vagy a zajmérési eredményeket, továbbá egyéb a terjedést és zajkeltést befolyásoló jellemzőket, a zajtól védendő épületekhez pedig hozzá kell társítani az érintettek számát. Mindezeknek az adatoknak a felhasználásával az erre a célra készített számítógépes programok elkészítik az adott terület stratégiai zajtérképét.

A stratégiai zajtérképeken a zajhelyzetet kétféle zajmutatóval kell ábrázolni. A zajhelyzet értékelésére felhasznált mutatók: L_{den} és $L_{éjjel}$

Az L_{den} egy olyan „átlagos” zajszint, ami egy nap teljes 24 órájának jellemzésére szolgál. Az átlagképzéskor az esti és éjszakai időszakban fellépő zajok (5 ill. 10 dB-lel) nagyobb súlyt kapnak.

Az $L_{éjjel}$ az éjszakai (22:00 és 6:00 óra közötti) időszak átlagos zajszintje.

A zajtérképek egy része, az ún. „zajterhelési térképek” az egyes térképi pontokban észlelhető zaj mértékét ábrázolják.

Azokra a területekre, amelyre elkészült a **zajterhelési térkép, konfliktustérképet** is kell készíteni. Ez a térkép azt mutatja, hogy a zajterhelés az egyes pontokban mennyivel magasabb, mint a stratégiai küszöbérték. Az előbb említett küszöbérték alatt nem határértéket, csupán elérendő célértékeket kell érteni. A konfliktus térkép világít rá arra, hogy mely területeken lehet kritikus a zajhelyzet, hol kell az intézkedési tervben foglalkozni a meglévő kedvezőtlen zajhelyzet részletesebb vizsgálatával. Az **érintettség** azt fejezi ki, hogy egy adott zajszint hány embert érint.

Forrástípusonként (ipari létesítmények, közutak, vasutak és repülőterek) külön készül zajterhelési zajtérkép az éjszakai és az egész napra jellemző állapotra és ugyancsak forrástípusonként külön készül konfliktus térkép az éjszakai és a teljes nappali időszak jellemzésére. A nagyvárosi agglomerációkra tehát (ha a területükön mind a négy forrástípus fellelhető) összesen 16 db, a nagy forgalmú közlekedési zajtérképekre pedig 4 db különböző zajtérkép készül.

A zajtérképek alapján olyan információkat nyerhetünk környezetünkről, amelyek segítségével az egyes területek zajvédelmi helyzete reálisan összehasonlítható. A zajtérkép egy adott pontjának értékelésekor azonban figyelembe kell venni, hogy a számítás éves átlagos adatokból indul ki és bizonyos egyszerűsítéseket tartalmaz. A zajtérképek eredményei méréssel nem ellenőrizhetők vissza.

A környezetvédelmi jogszabályok között találunk olyat, amelyik az ipari és a közlekedési létesítményektől származó zajra „zajterhelési határértéket” állapít meg. A stratégiai zajtérképek eredményei az eltérő zajmutatók (L_{den} és $L_{éjjel}$ helyett, L_{AM} megítélési szint) és értékelési módszerek miatt nem vethetők össze a zajterhelési határértékekkel. A határértékeknek való megfelelést a jellemző, azaz a leggyakrabban előforduló állapot figyelembevételével, műszeres vizsgálattal kell ellenőrizni.

A konfliktus térképen ábrázolt helyzetek nem járnak együtt bírság kiszabásával és a környezetvédelmi hatóság intézkedésével. A konfliktusos helyzetek kezelésére a települési önkormányzatok, vagy a közlekedéséért felelős miniszter által kijelölt szerv által készített – korábban már említett - intézkedési tervek megvalósítása szolgál

- **Nukleáris energia és a környezet [7.9]**

A társadalmi követelmények sokrétűek, a területfejlesztéstől a munkaerő-foglalkoztatásig. Ezek között a technológia elfogadásának és az ellátás biztonságának megkülönböztetett jelentősége van. Minden energiaellátási módnak vannak ellenzői, de a legnagyobb ellenérzés az atomenergetikával szemben jelentkezik. Az atomenergia borzalmaival az emberiség Hiroshima és Nagaszaki gombafelhőivel ismerte meg, amit a hidegháború két évtizedes rettegése követett, nem pusztítják-e el a civilizációt a felhalmozott nukleáris fegyverek. A békés alkalmazás időszakának optimizmusát törte derékba a Three Mile Islanden (USA, 1979) és a Csernobilban (Szovjetunió, 1986) történt balesetek, megkérdőjelezve a technológia hitelét. Nem meglepő, hogy ilyen mély gyökerekből érzelmek és indulatok fakadnak, melyek a tényeket félresöpörve irracionális döntésekre kényszerítik a politikát. Ilyen légkörben határozta el számos ország, hogy nem támaszkodik az atomenergiára, nem építenek új atomerőműveket, egyesek a jól működők leszerelését is elhatározták, sőt az atomenergiát a fenntartható fejlődés

lehetőségei közül is kirekesztenék. Jó néhány, önálló energiaellátásra képtelen ország azonban kitartott az atomprogram mellett, ellátásbiztonságának stabilizálása érdekében.

Az atomerőművek széles körű társadalmi elfogadtatásának a feltétele a tények nagyon tárgyilagos, őszinte, nyílt bemutatásával folytatott szívós felvilágosító munka. Ezt különösen **négy kérdésre** célszerű összpontosítani.

Az első, hogy **a csernobili katasztrófa nem ismétlődhet meg**. Ezt még az RBMK típusú erőműveknél is sikerült kiküszöbölni a világszerte bevezetett biztonságnövelő intézkedésekkel, amik nem utolsósorban a csernobili tapasztalatokra is épültek. Természetesen sokkal kisebb kibocsátással járó baleseteket az atomerőművek jelenlegi generációjánál nem lehet tökéletesen kiküszöbölni, de ennek valószínűségét olyan kicsire szorították, hogy ma már az atomerőművek (kivéve a régi RBMK és VVR 230-as típusokat) nem veszélyesebbek más villamosenergia-termelési módoknál. Ezt támasztja alá egy, az Európai Unió több országának számos intézetében végzett vizsgálat (ExternE program) végeredménye, amely a különböző vertikumok egészségi ártalmainak kockázatát hasonlítja össze. A vizsgálat szerint az atomenergia hasznosítás egészségmegőrző beavatkozásainak a legalacsonyabb az energia egységre vonatkoztatott költsége.

A jelenleg ajánlott atomerőmű-típusoknál a környezetet érintő balesetek valószínűségét a nagyon ritka természeti katasztrófák valószínűsége alá szorították, a következő generáció érdekében pedig követelmény, hogy ne veszélyeztessék a környezetet. Erre vannak elvi javaslatok, pl. az erőmű nukleáris részének föld alá telepítésével, gyorsítóval vezérelt láncreakcióval, de megjelentek inherens biztonságot ígérő konstrukciók is (Westinghouse: AP 600, Siemens: SWR 1000), és ezt ígéri a dél-afrikai ESKOM cég is, az épülő, magas hőmérsékletű erőművében. A veszélyességgel kapcsolatban tanulságos a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség egy vizsgálata különböző régiók lakóinak 70 éves életidejükre összegzett sugárterheléséről.

A második kérdés **a radioaktív hulladékok biztonságos elszigetelhetősége** a környezettől. Nem tudatos, hogy erre csak addig van szükség, amíg a spontán bomlás következtében a sugárzás nem csökken jelentéktelen mértékre, ami nagy előny a nem radioaktív veszélyes hulladékok örök ideig tartó veszélyességével szemben. A hulladékok legnagyobb részénél e lebomlás néhány évtized, legfeljebb 1-2 évszázad alatt lezajlik, és ilyen hulladékok tárolására kereken 100 létesítmény problémamentesen működik a világon (Magyarországon Püspökszilágyiban).

Megvalósítható, reális megoldás a hosszú felezési idejű nagy aktivitású hulladékok elhelyezése stabil földtani formációban, néhány száz méterrel a felszín alatt. Ezt maga a természet igazolta. Egy Gabonban (Oklo térségében) feltárt lelet tanúsítja, hogy ott 1 milliárd évvel ezelőtt hosszú ideig spontán láncreakció zajlott, és a hasadás termékei együtt maradtak, azokat migráció vagy más transzportfolyamat nem szórta szét.

A hosszú tárolási idő elfogadhatóságával kapcsolatban azonban a társadalom szkeptikus. Ezt csak részben enyhíti, hogy általánosan elfogadottá válik a visszanyerhetőség követelménye, ami szükség esetén módot ad utólagos korrekcióra. Ezért az átmeneti tárolás gyakorlata terjedt el, ami 50–100 évre biztosítja a kiegészítő fűtőelemeknek elszigetelését. Laboratóriumi körülmények között már sikerült hosszú felezési idejű izotópokat neutron-besugárással rövid felezési idejű, vagy stabil izotópokká átalakítani. Reméljük, hogy ez a transzmutáció továbbfejleszthető ipari technológiává, ami kiutat jelentene a

csapdahelyzetből. Addig is a kiégett fűtőelemek átmeneti tárolásának évtizedeit nemcsak a sugárzást és hőfejlődést csökkentő periódusnak kellene tekinteni, hanem a tévhiteket oszlató időszaknak is.

A harmadik feladat annak bemutatása, hogy **az atomerőművek nem a nukleáris fegyverfejlesztés melegágyai**. Az atomsorompó-szerződés és a hasadóanyagok nemzetközi felügyelete eddig jól vizsgázott, nem vált az atomfegyvergyártás alapanyagává a polgári atomerőművek kiégett fűtőelemeiben található plutónium. De ennek műszakilag is elejét lehet venni, pl. a fűtőelem-ciklusban a keletkező plutónium-izotópok olyan arányának kialakításával, hogy az alkalmatlan legyen fegyvergyártásra, a tórium-bázisú hasadásnál pedig nem is keletkezik plutónium.

Nem kerülhető meg a negyedik kérdés sem, az **atomenergetikai eszközök terrorizmus elleni védelme**. Az USA-ban történt 2001. szeptember 11-ei terroristámadás óta joggal vetődik fel a kérdés a lakosság körében, vajon biztonságpolitikai szempontból is megfelelő az atomlétesítmények védelme. Nem véletlen, hogy azóta felerősödtek a civil szervezetek akciói az atomenergetikai létesítmények környékén, valamint megszorodtak a televíziókban és mozikban azok az akciófilmek, amelyeknek a témái az atomenergiai eszközök, és/vagy -fegyverek birtoklásával és a terrorizmussal kapcsolatosak.

Az energiaellátás biztonsága minden országban alapvető követelmény. Ezzel kapcsolatban emlékeztetni kell arra, hogy az elmúlt fél évszázadban a világpolitika és a világgazdaság váratlan fejleményei gyakran vezettek az energiapolitika radikális változtatásához. Nem lesz ez másképp a jövőben sem, ami ellen csak több lábra támaszkodó, rugalmas energiapolitikával lehet védekezni. Különösen fontos ez Magyarország sérülékeny energiahelyzetében, hiszen energiaszükségletünk több mint kétharmadát fedezzük importból, és ez az arány a jövőben tovább nő. Egy ország energiaellátásának biztonságát növelik a belső energiaforrások, köztük a megújuló energiák, és növelik az atomerőművek, mivel hosszú időre stabilizálják a viszonyokat, miután a fűtőelemeket 3-4 év alatt égetik ki a reaktorokban, és könnyen tárolható üzemanyag további évekre is (a magyar jogszabályok kétéves tartalékot írnak elő). Sérülékeny helyzetünkben nekünk minden reális energiaellátási lehetőséget előítéletektől, érdekektől és érzelmektől mentesen kell megítélni, legyen szó lignitről, vízerőműről, vagy atomerőműről.

A továbbiakban számba vesszük azokat az előnyöket és hátrányokat, amelyek alapján megítélheti a társadalom az atomenergia hasznosítás reális környezeti hatását és az energiaszükséglet kielégítésében betölthető szerepét [7.10].

Az atomenergia-hasznosítás előnyei (normális üzemviszonyok esetén):

- ✓ az energia felszabadításának aránya lényegesen nagyobb más tüzelőanyagéhoz képest (szén elégetése esetén 10-20 milliószor több tüzelőanyagot kell elégetni egységnyi energia termeléséhez),
- ✓ a fosszilis tüzelőanyagok esetén fellépő helyi, regionális és globális légszennyezések elmaradnak,
- ✓ az atomerőművek radioaktív sugárzása és emissziója alacsony szintű és ellenőrzött. A biztonságos védelemmel ellátott atomerőmű radioaktív sugárzása a háttérsugárzással azonos nagyságrendű, vagy annál alacsonyabb.

Az atomenergia-hasznosítás hátrányai:

- ✓ havária esetén óriási helyi, regionális, és globális szennyező forrássá válhat (Csernobil típusú esetek, terrorista támadás, stb.),
- ✓ az atomerőmű üzemeltetése során viszonylag jelentős mennyiségű szilárd és folyékony, kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék keletkezik, aminek tárolásáról hosszú ideig gondoskodni kell,
- ✓ a kiégett, nagy aktivitású üzemanyagok átmeneti és tartós tárolása, esetleg újrafeldolgozása jelentős feladatot jelent,
- ✓ az atomerőmű élettartama utáni leszerelése, és a leszerelt radioaktív elemek végleges környezeti elhelyezése még nem megoldott.

• Az energetika hőszennyezése.

A termodinamikai főtételek következtében a tüzelőanyaggal bevezetett hőenergia soha nem alakítható át teljesen mechanikai munkává (így villamosenergiává sem), az át nem alakított hőenergia veszteség formájában a környezetbe távozik. A környezetbe bocsátott hő részben a levegőbe (többnyire a füstgázok révén), részben a hűtési rendszer kialakításától függően az élővizekbe kerül. Szűkebb értelemben az élővizekbe került kondenzációs hő tekintetjüket **hőszennyezésnek**.

A különböző típusú energiaátalakítások hőszennyezésének megítélésére használhatjuk a hulladék-hő mutatót (WH), amely az egységnyi hasznosított hőre jutó hulladék-hő mennyiségét adja meg (kJ/kJ):

$$(7.1.) \quad WH = \frac{Q_{hull}}{Q_{haszn}} = \frac{1-\eta}{\eta},$$

ahol η – az energia-átalakítás hatásfoka.

A hulladék-hő mutató az energiaátalakítási típusonként nagyon eltérő lehet.

Például egy hőenergiát előállító földgáz - üzemű kazán esetében az érték: 0,111,
egy földgáz üzemű gázmotoros hőszivattyús fűtésnél: 0,040.

Tehát a kazános berendezés hőemissziója 2,8- szerese a gázmotoros hőszivattyús fűtéshez viszonyítva [7.11].

Hasonló megállapítást tehetünk egy átlagos atomerőmű, valamint egy gáz/gőzerőmű esetén is.

Atomerőművek esetén a hulladék-hő-mutató ($\eta \sim 0,3$): 2,33

gáz/gőzerőmű esetén ($\eta \sim 0,5$): 1,00.

A víz **hőszennyezését** az erőművek és a különféle ipari üzemek (pl. vaskohászat, vasfeldolgozó ipar) hűtővizei okozzák. Napjainkban az energiatermeléssel összefüggésben rohamosan nő a hűtővíz iránti igény. A 600-1500 MW-os atomerőmű pl. napi 5-12 millió m³ hűtővizet igényel, ha azt akarjuk, hogy a vízhőmérséklet csak 2,5 °C-kal növekedjék. (Ez egy kétmillió város kb. 10-20 napi vízfogyasztása.) A hőmérséklet-terhelés a hőfok növekedését jelenti a bevezetőhely közelében. Mivel a hőmérséklet fontos környezeti tényező, a vízi ökoszisztémára való hatása számottevő:

- a hőmérséklet-emelkedés a vizek oxigéntartalmát kedvezőtlenül befolyásolja, mivel a hőmérséklet emelkedésével csökken a víz gázoldó képessége,
- a melegebb vízben felgyorsul a szervezetek anyagcsereje, nő az algatermelés, majd az algák pusztulásakor a nagy sebességű bomlás mind az oldott oxigén mennyiségét csökkentik,
- a bakteriális egyensúly a hőkedvelő (termofil) baktériumtörzsek felé tolódik el,
- a melegvízben nagyobb a növényi tápanyagok oldhatósága,
- a fölmelegedés csökkenti a vizek terhelhetőségét.

Mindezek hatására fokozódik az anaerob, rothadási folyamatok valószínűsége, csökken a vizek öntisztuló képessége. A hőfok emelkedésével nő a vizek korrozivitása is.

Az öntisztulás egyensúlya és a halak életfeltételeinek veszélyeztetése nélkül nem lehet túllépni a max. 28 °C-os középhőmérsékletet, és a fölmelegedés normális esetben a 3 °C-ot, szélsőséges esetben az 5 °C-ot nem haladhatja meg.

A következőkben a Paksi Atomerőmű Dunára gyakorolt hőszennyezésének hatását jellemezzük az üzemidő meghosszabbítás érdekében végzett vizsgálata alapján [7.12].

A Paksi Atomerőmű 4 blokkját frissvízhűtéses rendszerrel alakították ki. Felszíni vízből, azaz a Dunából a vízkivétel meghatározó eleme a hűtővízrendszerek táplálása. Az erőmű hűtővízigényét három alapvető technológiai rendszerhez kell biztosítani:

- a kondenzátorok hűtővízellátása,
- a reaktor üzemhez kapcsolódó biztonsági hűtővízellátás,
- az erőmű egyéb rendszereihez csatlakozó technológiai vízellátás.

A három rendszer közül a kondenzátorok hűtővízellátás vízigénye a meghatározó, mivel a biztonsági és az egyéb technológia hűtővízellátás nem éri el a kondenzátor hűtővízigény 5 %-át sem. A Paksi Atomerőmű a turbinakondenzátorok hűtésére 100-110 m³/s vizet emel ki a Dunából. A beépített szivattyúk 144 m³/s vízkitermelésre képesek. A 100-110 m³/s vízkivétel a legkisebb vízhozam kb. 1/8-a, s az átlagos vízhozamnak közel 5 %-a. A hűtővíz rendszerek vízfogyasztására lekötött érték 3,1 milliárd m³/év (hatósági korlát). Az elmúlt évek tényleges vízfelhasználása azonban ez alatt maradt [7.12].

Az Európai Gazdasági Közösség Energia Bizottságának 1981-ben kiadott jelentésében huszonegy ország hőmérsékleti határértékeire vonatkozó előírásai találhatók. Ezek összesen háromféle határértéket, a T_{max} , a ΔT és a ΔT_{max} értékeit rögzítik. A T_{max} az esetek nagy részében 30 °C. A ΔT értékét csak Romániában (6-8 °C) és Németországban (10 °C) írják elő. Minden ország javaslatot tesz azonban a ΔT_{max} értékére a teljes elkeveredés után, ami 3-5 °C. Ez utóbbi paraméter hívja fel leginkább a figyelmet a Duna speciális jellegére, hiszen a Paks alatti folyószakaszon a hőcsóva teljes elkeveredése csak nagyon hosszú távolság után következik be.

A VITUKI laboratóriumi kísérletei és a nemzetközi előírások figyelembe vételével a hatósági előírás szerint: **a visszavezethető hűtővíz és a befogadó Duna közötti hőmérsékletkülönbség 11 °C-nál, illetve 4 °C-os dunavíz hőmérséklet alatt 14 °C-nál nem lehet nagyobb.** Kisvízi vízállás esetére külön intézkedési terv készült. **A bevezetés alatt 500 m-re levő szelvény bármely pontján a Duna-víz hőmérséklete nem haladhatja meg a 30 °C-ot.**

A frissvíz-hűtéses hűtőrendszerek esetében a párákód megjelenési gyakorisága a folyó hővel terhelt szakaszának környezetében emelkedhet. A telephely jellemzési program keretében végzett hőkamerás légifelvételek cáfolták a korábbi becsléseket, mely szerint szélsőséges esetben 10-80 km után csökken a Duna ún. "túlhőmérséklete" 1 °C alá. Eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy a 4 blokk együttes működése esetén is a Sió torkolatáig ez a csökkenés lejátszódik. E miatt rosszabb látási viszonyok ebben a mintegy 30 km-es körzetben az átlagosnál gyakrabban fordulhatnak elő a Duna közvetlen körzetében. A hőszennyezés feláramlást is eredményez. Figyelembe véve a nedvességviszonyokat, ez oka lehet cumulus (gomoly v. "szép idő") felhőképződésnek, esetleg zivatarok kialakulásának. A felhő- és ködképződés lehetséges növekedésével párhuzamosan természetesen csökkenhet a napsütéses órák száma a térségben. A frissvíz-hűtéses rendszer esetében kicsi a konvektív-aktivitás, mivel a hőszennyezés nagy felületen oszlik meg, és ekkor inkább csak a köd-gyakoriság növekedése várható. A fentiek mellett a magas párákicsapódás miatt a téli félévben a környéken növekedhet a talajszintű jegesedés is.

Az 1999-2002. között végzett helyszíni víz hőmérséklet mérések eredményei azt mutatják, hogy - ha a Duna vizének természetes hőmérséklete meghaladja a 23 °C-ot - az atomerőmű

felmelegedett hűtővizének hatására a melegvízcsatornában a víz hőmérséklete meghaladhatja a hidrobiológiai szempontok alapján kritikusnak ítélt 30 °C hőmérsékletet. Mivel azonban mennyisége nem számottevő a Duna vízhozamához képest, így a torkolata alatt 500 m-re levő nagy sarkantyúnál az elkeveredés miatt a melegvíz csóva hőmérséklete általában már 3-6 °C-al csökken. Amennyiben a hőmérséklet korlátok betartása érdekében intézkedések szükségesek, azt az erőmű műszaki beavatkozásokkal (többlet hűtővíz visszakeverés, blokk leterhelés, leállítás) minden körülmények között biztosítani tudja.

A mérések alapján kijelenthető, hogy magas dunavíz hőmérsékletnél az erőmű melegvízcsatornájának beömlési pontjától mért 500 m-re lévő mérési pontig a vízcsóvában mérhető hőmérséklet 6-6,5 °C-ot csökken. Alacsonyabb dunavíz hőmérsékletek esetén ezek az értékek 3,4-5,1 °C között változtak. A helyszíni mérések eredményei is igazolták, hogy az előírt hatósági korlátok betarthatók. (A teljesítménynövelés vízjogi engedélyezéséhez készült vizsgálatok alapján megállapítható, hogy ebben a teljesítménynövelés sem fog számottevő változást okozni).

A Paksi Atomerőmű melegvizének hatása a Duna élővilágára helyszíni vizsgálatok eredményei alapján:

- ✓ Az eredmények összegzéseként az állapítható meg, hogy a hőterhelés esetleges kedvezőtlen hatásait a bakteriológiai vizsgálatok nem jelzik.
- ✓ A dunai fitoplankton közösségek állománysűrűsége és összetétele nem különbözik lényegesen a hideg, illetve a melegvízi környezetben, ezért a hőterhelés nem gyakorol kimutatható hatást a fitoplankton fajösszetételére.
- ✓ Az eredmények összegzése alapján elmondható, hogy az atomerőmű felmelegedett hűtővize alapvetően nem károsítja a dunai zooplankton állományok faji összetételét és biomasszáját.
- ✓ Az eredmények összefoglaló értékeléseként megállapítható, hogy az atomerőmű kibocsátott hűtővize csak korlátozott szakaszon változtatja meg a vízi makroszkópikus gerinctelen társulások összetételét, a csóvaszerűen levonuló felmelegedett hűtővíz csupán lokális hatást fejt ki a helytűlő vízi élőlény-együttes tagjaira. A változás az élőlény-együttes faj-és egyedszám növekedésében nyilvánul meg
- ✓ A torkolati műtárgytól lefelé néhány folyam km-rel lejjebb az élőlény-együttes összetétele már nem különbözik jelentős mértékben az atomerőmű feletti szelvény együttesétől és az alvízi irányban kimutatható együttesétől sem.
- ✓ Az eredmények szerint a halállomány jelentős része felkeresi a melegvíz beömlések környékét, azaz a hőmérséklet-emelkedés nem okoz fajszám-csökkenést. Bár a halak a számukra kedvezőtlen területekről aktív úszással el tudnának menekülni, a felnőtt példányok mégis a torkolati műtárgy környezetében gyülekeztek különösen a téli és kora tavaszi időszakokban. A vizsgálatok nem bizonyították a melegvíz bevezetés káros hatását az ichtiofaunára nézve. Feltétlenül el kell kerülni azonban a tartós hődugó létrejöttét, amely a folyót a vándorló halak szempontjából két különálló szakaszra osztaná. Ez azonban tekintettel a vízkivétel és a vízhozam arányaira, valamint az elkeveredési viszonyokra nem jelent reális veszélyt a Paksi Atomerőmű jelenlegi működésénél.

28.4. Irodalomjegyzék az 28. fejezethez

- [7.1] A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia Környezeti Vizsgálata. Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány, Budapest, 2007.
- [7.2] <http://okir.kvvm.hu/lair/>
- [7.3] www.euro.who.int/Document/E87950.pdf
- [7.4] Kevin Barrett, Frank de Leeuw et al: Health Impacts and Air pollution; ETC/ACC Technical Paper 2008/13 .
- [7.4] klima.kvvm.hu/documents/32/VEZETOI_OSSZEFOGLALO.pdf
- [7.5] 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról.
- [7.6] Walz Géza: Zaj- és rezgésvédelem. Complex Jogi és Üzleti Kiadó, Budapest, 2008.
- [7.7] 280/2004.(X.20.) Kormány rendelet a környezeti zaj kezeléséről és értékeléséről
- [7.8] 25/2004.(XII.20) KvVM rendelet a stratégiai zajtérképek valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól.
- [7.9] Vajda György: Energetika és fenntartható fejlődés, A természet Világa, 132. évfolyam, 8. szám, 2001.
- [7.10] Büki Gergely: Energetika, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1997.
- [7.11] Szemerédi György: AISIN-Toyota gázmotoros hőszivattyú, az igazi környezetvédő. Magyar Épületgépészet, LVI. évfolyam, 2007/6. szám
- [7.12] Paksi Atomerőmű tervezett üzemidő hosszabbításának környezetvédelmi engedélyeztetési eljárása, Előzetes Környezeti Tanulmány 5.fejezet, Paks, 2004.

29. Kérdéstár

1. Mekkora az entrópia változása 1 kg 0 °C-os jégnek, miközben vízzé olvad. ($L_{\text{viz}} = 332,5 \text{ kJ/kg}$)
2. Egy adott makroállapothoz tartozó mikroállapotok számát _____ -
nak/nek nevezzük.
3. Az _____ a valóságban előforduló rendszerek energia szempontú leírására
törekszik.
4. A munka
 - a. energiáttranszport-mennyiség
 - b. magától végbemegy
 - c. az energia egyik formája
 - d. impulzus átadást is jelent
 - e. megmarad
 - f. a hőmérséklet-különbség okozza
5. A hő
 - a. energiáttranszport-mennyiség
 - b. magától végbemegy
 - c. az energia egyik formája
 - d. impulzus átadást is jelent
 - e. megmarad
 - f. a hőmérséklet inhomogenitása okozza
6. Az energia
 - a. nem megmaradó vektormennyiség
 - b. megmaradó vektormennyiség
 - c. nem megmaradó skalármennyiség
 - d. megmaradó skalármennyiség
 - e. hőmennyiség
7. A Helmholtz-féle szabad energia
 - a. a belső energia, a hőmérséklet és a nyomás függvénye
 - b. a belső energia, a térfogat és a nyomás függvénye
 - c. a belső energia, a hőmérséklet és az entrópia függvénye
 - d. a belső energia, a hőmérséklet és a térfogat függvénye
 - e. a belső energia, az entrópia és a nyomás függvénye
8. Az entalpia
 - a. a belső energia, a hőmérséklet és a nyomás függvénye
 - b. a belső energia, a térfogat és a nyomás függvénye
 - c. a belső energia, a hőmérséklet és az entrópia függvénye
 - d. a belső energia, a hőmérséklet és a térfogat függvénye
 - e. a belső energia, az entrópia és a nyomás függvénye
9. A második főtétel
 - a. a folyamatok energiamérlegét írja le
 - b. a folyamatok hőmérsékletét adja meg
 - c. a folyamatok irányát adja meg
 - d. a folyamatok munkáját adja meg
 - e. a folyamatok idejét adja meg
10. Az első főtétel
 - a. a folyamatok energiamérlegét írja le
 - b. a folyamatok hőmérsékletét adja meg
 - c. a folyamatok irányát adja meg
 - d. a folyamatok munkáját adja meg
 - e. a folyamatok idejét adja meg
11. Az _____ az egész rendszerre vonatkozó fizikai mennyiségek.
12. A részfolyamatok
 - a. anyagáramlások

- b. energiaáramlások
 - c. anyag- és energiaáramlások
 - d. önmagukban játszódhatnak
 - e. önmagukban nem játszódhatnak le
 - f. részekből állnak
13. Extenzív mennyiség
- a. inhomogén
 - b. összeadódik
 - c. kiegyenlítődik
 - d. dinamikus
 - e. statikus
14. Intenzív mennyiség
- a. inhomogén
 - b. összeadódik
 - c. kiegyenlítődik
 - d. dinamikus
 - e. statikus
15. Konjugált állapotjelzők
- a. szorzata mindig állandó
 - b. szorzata mindig munka jellegű
 - c. szorzata mindig hő jellegű
 - d. szorzata mindig energia dimenziójú
 - e. szorzata mindig változik
16. Kerékpárpumpa végét befogjuk, majd a benne lévő levegőt hirtelen az eredeti térfogat $\frac{1}{4}$ -ére összenyomjuk. Mennyi lesz az eredetileg $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os levegő hőmérséklete?
17. Mennyi hőt kell közölni 1 kg hélium gázzal (^4He), hogy a hőmérséklete $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal emelkedjen?
18. Fojtásos állapotváltozás során a/az _____ állandó marad.
19. Az ekvipartíció tétele leírja a kapcsolatot _____ és a hőmérséklet között.
20. Az entalpia-entrópia diagram másik neve _____-diagram.
21. Izotermikus állapotváltozás során
- a. a nyomás változik
 - b. a térfogat változik
 - c. a hőmérséklet változik
 - d. az entrópia állandó
 - e. a belső energia állandó
 - f. a hőmérséklet állandó
22. Adiabatus állapotváltozás során
- a. a nyomás változik
 - b. a térfogat változik
 - c. a hőmérséklet változik
 - d. az entrópia állandó
 - e. a belső energia állandó
 - f. a hőmérséklet állandó
23. Izobár állapotváltozás során
- a. a nyomás változik
 - b. a térfogat változik
 - c. a hőmérséklet változik
 - d. az entrópia állandó
 - e. a belső energia állandó
 - f. a hőmérséklet állandó
24. Gay-Lussac első törvénye
- a. az izobár állapotváltozást írja le
 - b. az izochor állapotváltozást írja le
 - c. az izotermikus állapotváltozást írja le
 - d. az adiabatus állapotváltozást írja le

- e. a politropikus állapotváltozást írja le
- 25. Gay-Lussac második törvénye
 - a. az izobár állapotváltozást írja le
 - b. az izochor állapotváltozást írja le
 - c. az izotermikus állapotváltozást írja le
 - d. az adiabatikus állapotváltozást írja le
 - e. a politropikus állapotváltozást írja le
- 26. Boyle-Mariotte törvénye
 - a. az izobár állapotváltozást írja le
 - b. az izochor állapotváltozást írja le
 - c. az izotermikus állapotváltozást írja le
 - d. az adiabatikus állapotváltozást írja le
 - e. a politropikus állapotváltozást írja le
- 27. A Poisson-féle összefüggés
 - a. az izobár állapotváltozást írja le
 - b. az izochor állapotváltozást írja le
 - c. az izotermikus állapotváltozást írja le
 - d. az adiabatikus állapotváltozást írja le
 - e. a politropikus állapotváltozást írja le
- 28. Az adiabata
 - a. nagyobb meredekségű, mint az izoterma
 - b. kisebb meredekségű, mint az izoterma
 - c. egyenlő meredekségű az izotermával
 - d. kisebb meredekségű, mint a politropa
 - e. egyenlő meredekségű a politropával
- 29. Az izoterma
 - a. az izotermikus állapotváltozás képe a p-V diagramon
 - b. az izotermikus állapotváltozás képe a T-S diagramon
 - c. az izotermikus állapotváltozás képe a H-S diagramon
 - d. egyenes
 - e. exponenciális görbe
- 30. A van der Waals-féle állapotegyenlet
 - a. nem veszi figyelembe a molekulák méretét
 - b. figyelembe veszi a molekulák közötti vonzóerőt
 - c. nem veszi figyelembe a hőmérsékletet
 - d. figyelembe veszi a belső energiát
 - e. figyelembe veszi az entrópiát
- 31. Mennyi a jóság tényezője annak a Carnot-féle körfolyamatot alkalmazó fagyasztógépnek, mely a 15 °C-os kamrában áll, és a belsejében –18 °C van?
- 32. Mennyi lehet elméletileg a hatásfoka annak a benzinmotornak, melynek a kompresszióviszonya 1:10,5 (Opel Calibra C20XE 2,0i 16V)?
- 33. A direkt körfolyamatokat megvalósító gépek a/az _____.
- 34. A _____ munkavégzés árán a külső környezetből hőt visz a fűtendő belső térbe.
- 35. A gázturbinás erőművekben a/az _____ körfolyamatot valósítják meg.
- 36. A valódi benzinmotorok hatásfoka
 - a. nagyobb lehet, mint 10%
 - b. kisebb lehet, mint 20%
 - c. nagyobb lehet, mint 30%
 - d. kisebb lehet, mint 40%
 - e. nagyobb lehet, mint 50%
 - f. kisebb lehet, mint 60%
- 37. A valódi dízelmotorok hatásfoka
 - a. kisebb lehet, mint 10%
 - b. nagyobb lehet, mint 20%
 - c. kisebb lehet, mint 30%

- d. nagyobb lehet, mint 40%
 - e. kisebb lehet, mint 50%
 - f. nagyobb lehet, mint 60%
38. Az ideális Carnot-féle körfolyamat hatásfoka
- a. az elméletileg elérhető legnagyobb
 - b. függ az anyagi minőségtől
 - c. függ az entrópiától
 - d. függ a hőtartályok hőmérsékletétől
 - e. nem függ a hideg hőtartály hőmérsékletétől
 - f. nem függ a meleg hőtartály hőmérsékletétől
39. Az elméleti Brayton-Joule körfolyamat
- a. hatásfoka függ az égés hőmérsékletétől
 - b. hatásfoka függ a nyomásviszonytól
 - c. állandó térfogaton játszódik le
 - d. állandó hőmérsékleten játszódik le
 - e. hatásfoka állandó
40. Az elméletileg elérhető legmagasabb hatásfokot a legjobban
- a. az Otto-féle körfolyamat közelíti meg
 - b. a Diesel-féle körfolyamat közelíti meg
 - c. a Brayton-Joule körfolyamat közelíti meg
 - d. a Sabathe/Seiliger-féle körfolyamat közelíti meg
 - e. a Rankine-Clausius körfolyamat közelíti meg
41. Direkt körfolyamatnál
- a. a közeg folyamatosan melegszik
 - b. a közeg folyamatosan hűl
 - c. a közeg hőmérséklete nem változik
 - d. a közeg munkát végez
 - e. a közegen munkát végeznek
42. Indirekt körfolyamatnál
- a. a közeg folyamatosan melegszik
 - b. a közeg folyamatosan hűl
 - c. a közeg hőmérséklete nem változik
 - d. a közeg munkát végez
 - e. a közegen munkát végeznek
43. Carnot-féle körfolyamat során
- a. nem lehet izotermikus szakasz
 - b. lehet izotermikus szakasz
 - c. lehet izochor szakasz
 - d. lehet izobár szakasz
 - e. nem lehet adiabatikus szakasz
44. Rankine-Clausius körfolyamat során
- a. nem lehet izotermikus szakasz
 - b. lehet izotermikus szakasz
 - c. nem lehet izochor szakasz
 - d. nem lehet izobár szakasz
 - e. nem lehet adiabatikus szakasz
45. A Sabathe/Seiliger-féle körfolyamat
- a. gőzkörfolyamat
 - b. a benzinmotorok elméleti körfolyamata
 - c. a dízelmotorok elméleti körfolyamata
 - d. a valódi motorok közelítő körfolyamata
 - e. gázmotorok közelítő körfolyamata
46. Számítsa ki mennyivel fizet többet egy évben a szükségesnél az a fogyasztó, aki az LCD TV-t egész évben csak a távirányítóval kapcsolja ki, átlagosan napi 5 óra TV-nézés mellett. (A készülék

teljesítményigénye készenléti állapotban 0,7 W; a villamos energia díja 2011.01.01-i árlista alapján 1 kWh \approx 45 Ft .)

47. Amikor egyedi, személyre szabott ajánlatokkal keresi meg a szolgáltató a fogyasztót, azt _____ árazásnak nevezik.
48. Háztartási nagyfogyasztó
- a plazma TV
 - a mosógép
 - a vasaló
 - az elektromos vízmelegítő
 - a hordozható MP3-lejátszó
 - az asztali számítógép
49. Egy háztartás energiaigényének megbecsüléséhez
- hőtechnikai számításokat kell végezni
 - meg kell mérni a gázzal működő eszközök fogyasztását
 - meg kell mérni a villamos energiával működő eszközök fogyasztását
 - meg kell mérni a napenergiával működő eszközök fogyasztását
 - mérőberendezéseket kell felszerelni
50. A kompakt fénycső
- környezetbarát
 - már rövid idejű működés esetén is takarékos
 - csak hosszú idejű működés esetén takarékos
 - előállítása egyszerű
 - azonnal teljes fényvel világít
51. Melyek a hazai szénhidrogén termelés fontos helyszínei?
- Verőce
 - Sajókaza
 - Üllés
 - Kisköre
 - Hajdúszoboszló
52. Értelmezze az alternatív fakitermelési célt:
- Minél több jó minőségű rönk előállítása
 - Minél több tüzelőanyag előállítása
 - Minél több 25 cm-nél nagyobb átmérőjű rönk termelése
 - Minél több 18 cm-nél nagyobb átmérőjű rönk (>15%) termelése
 - Készletmegőrzés (parkerdő, védősáv)
53. A fabrikett kis lánggal ég (izzik), mert
- kicsi a hamutartalma
 - nagy a sűrűsége
 - nagy a hamutartalma
 - nagy a fűtőértéke
 - kicsi a fűtőértéke
54. Az egyévre eső fejenkénti végső energiafelhasználási arányaz egyes országok világátlagáhozviszonyított érték, MO esetén: \sim 1,5
55. Melyek az égés feltételei:
- Éghető anyag
 - Égési hőmérséklet
 - Gyulladás hő
 - Oxigén
 - A tüzelőanyag kis nedvességtartalma
56. Mely részfolyamatok nem játszódnak le az égés során
- A primér levegőt a berendezés szerkezeti anyagai előmelegítik
 - A primér levegőt a tüzelőanyag maradványok előmelegítik
 - A füstgáz és a sugárzó hő felmelegíti a berendezés falazatát
 - A szoba levegője a kályha tetejének résein beáramlik a kályha térbe.
 - Az áramló füstgázban lévő szénmonoxid korommá alakulhat

57. Melyik állítás az igaz
- A kemencében nagylángú tüzelőanyagot kell használni
 - A kemencében kislángú tüzelőanyagot kell használni
 - A kályhában nagylángú tüzelőanyagot kell használni
 - A kemencét nem lehet főzésre használni
 - A kandalló csak konvekcióval adja le a hőt a környezetében
 - A kályhában az égéshez szükséges levegőt csak egy helyen vezetik be
58. Az égéstérben a tüzelőanyag ...kémiaiilag...kötött energiáját szabadítjuk fel. Lényegileg egy ...láncreakció... játszódik le, melynek elindításához a ...gyulladás vagy aktiválási...hőt kell közölni.
59. A földkéreg átlagos hőmérsékleti gradiens értéke hazánkban
- 5 °C/100 m
 - 3 °C/100 m
 - 0,65 °C/100 m
 - 1 °C/100 m
60. Milyen berendezéssel nem lehet villamos energiát előállítani
- Villamos generátorral
 - Termikus generátorral
 - Fotovoltaikus elemmel
 - MHD generátorral
 - Turbinával
61. Melyek a villamos hőfejlesztés módjai
- Ellenállásfűtés
 - Tüzelés
 - Mikrohullám alkalmazás
 - Infravörös sugárzás alkalmazás
 - Hőcserélő alkalmazás
62. A talajban, vízben, vagy levegőben tárolt hőt a segítségével magasabb emeljük energia bevezetésével.
63. Rajzolja fel a gázturbinás hőerőmű energiaátalakítás folyamatát! Elemezze!
64. Válassza ki a hibás állítást!
- A Tiszai hőerőmű biogázzal üzemel.
 - Pécsi hőerőmű biomasszát is felhasznál fűtőanyagként.
 - A Mátraaljai erőműben lignitet tüzelnek el.
 - A Paksi erőmű urán-oxid fűtőanyagot használ.
 - A lignitet porszénként tüzelik el.
65. Jelölje a helyes választ!
- A kénleválasztás során keletkezett gipszet a mezőgazdaságban hasznosítják.
 - A Heller-Forgó hűtőtornyot ott használják, ahol a hűtővíz nagy mennyiségben rendelkezésre áll.
 - A kéntelenítés során nem marad vissza füstgáz.
 - A kéntelenítő egységet csak azért helyezték el a hűtőtoronyban, hogy helyet ne foglaljon.
 - A kénleválasztás során keletkezett gipszet a gipszkarton gyárban hasznosítják.
66. Válassza ki a helyes állításokat!
- A gázturbinás erőműben a füstgázt komprimálják.
 - A gázturbinás erőműben a friss levegőt komprimálják.
 - Az égéstérből a füstgáz a HMV hőcserélőbe jut.
 - Az égéstérből a füstgáz a gázturbinába jut.
 - A kompresszort a generátor hajtja.
 - Általában egyenáramú hőcserélőket használnak.
67. A gázmotoros erőművekre vonatkozó állítások közül válassza ki a helyeseket!
- Csak az utóbbi évtizedben használják.
 - Kis teljesítményeknél kapcsolt üzemmódban jó a hatásfoka.
 - Kis teljesítményeknél kapcsolt üzemmódban rossz a hatásfoka.

- d. A gázmotor meglévő fűtőművekhez nem kapcsolható.
e. A gázmotor vízdoldali hűtőköréből kikerülő víz tovább melegíthető a füstgáz hőjével.
f. A gázmotor vízdoldali hűtőköréből kikerülő víz nem melegíthető tovább a füstgáz hőjével.
68. Válassza ki az alábbi felsorolásból azokat az egységeket, amelyek tüzelőanyag cellához tartoznak!
- generátor
 - kompresszor
 - kondenzátor
 - inverter
 - katód
 - szivattyú
69. Mely állítások igazak a Napkéményre?
- parabola teknőben gyűjtik a hőt
 - forgó egysége a turbina
 - a felmelegedett levegő felfelé áramlik a kéményen és mozgásba hozza a turbinát
 - a kémény tetején egy kazán található, ezt melegíti fel a feláramló levegő
 - a levegő csak azért áramlik, mert a kémény magas
 - a kéményhez kis hőgyűjtő területre van szükség
70. Egészítse ki az alábbi mondatokat:
71. Az átfolyós vízerőműveket vízhozam ésesés esetén építik.
72. A vízerőműveknél magas gátrendszert alkalmaznak.
73. Jelölje meg az egyszerű gépeket!
- íjhajtású eszterga
 - lejtő
 - kézi malom
 - eke
 - álló és mozgó csiga
 - görgő
74. Jelölje meg az energiahatékonyság mértékegységét!
- $\frac{KJ}{KJ}$
 - $\frac{USD}{GJ}$
 - $\frac{EUR}{GJ}$
 - $\frac{GJ}{USD}$
75. Miért használta és használja az ember a nem megújuló energiákat? Helyes választ/válaszokat jelölje!
- Mindenhol rendelkezésre áll.
 - Könnyen kiaknázzható.
 - Az emberiség energiaigénye csak megújuló energiákból nem fedezhető.
 - Az energiaigény nagy növekedése miatt minden forrásra szükség van.
76. Mi jellemzi a technikai rendszert? Helyes választ/válaszokat jelölje!
- Transzfer elemei: anyag, energia és információ.
 - A természet hozta létre.
 - Az ember hozta létre.
 - A rendszert a környezettől a perem választja el, ez lehet tökéletes szigetelő.
 - A rendszert a környezettől a perem választja el, ez nem lehet tökéletes szigetelő.
 - A rendszeren belül folyamatok és részfolyamatok értelmezhetők.
77. Rajzolja fel a 11.1. képek alapján az izzók villamos teljesítményére (W) vonatkozó megvilágítási (Lux) értékpárjait! A hiányzó adatok: 63 W/4000 Lux; 10 W/ 3500 Lux; 10 W/3200 Lux.
- Mitől függ a mért megvilágítási érték?
 - Milyen hátrányai vannak az új izzóknak?

78. A világ primér energiaszerkezetében mely energiahordozó volumene a legnagyobb?
- Szén
 - Nukleáris energia
 - Földgáz
 - Kőolaj
 - Egyéb
79. A 51. táblázat alapján középértékeket (árakat) figyelembe véve érdemes-e szója / repce / biomassa eredetű biodízzel kiváltani a dízelolajat?
- igen
 - nem
80. Válassza ki az alábbi állítások közül az igazakat!
- Az Edison elv szerint kisméretű, helyi adottságokhoz igazodó villamosenergia ellátást jelent.
 - Az emberiség a jövőt nem megújuló energiák alkalmazásával képzei el.
 - A megújuló energiaforrások alkalmazása olcsó és hamar megtérül.
81. A CHP erőmű és energia összekapcsolását jelenti.
82. Melyek egy helyi erőmű létesítésének fontos kritériumai?
- Egy települést vagy régiót szolgáljon ki villamos-energiával.
 - Hiány esetén vételezhessen villamos-energiát az országos hálózatról.
 - A közösség támogatása nem szükséges, elegendő a szakemberek véleményét figyelembe venni.
 - Az erőmű felépítése előtt hatástanulmányt kell készíteni.
 - A primér energiahordozót tetszőleges távolságról szállítják az erőműbe.
83. Jelölje be az alábbi felsorolásból a hatásviselőt!
- porképződés
 - növény károsodás
 - szmogképződés
 - levegő
 - idegi hatások
84. Milyen hatásokat nem vált ki az utak általi területfoglalás?
- költségnövekedést
 - zöld felület csökkenését
 - talaj vízháztartását megváltoztatja
 - erdők irtását
 - mezőgazdasági termelés növekszik
85. Egészítsd ki az alábbi mondatot! Az épületek üzemeltetésére fordított fűtési energiaés akülönbsége.
86. Elemezze a fényképeket az alábbi szempontokból!
- tájékozás
 - építőanyag
 - bonyolultság
 - kivitel minősége
 - újszerűsége
87. Milyen információkhoz jutunk a termográfia segítségével?
- Leolvashatjuk a távozó hőt.
 - Leolvashatjuk a termelődő hőt.
 - Megállapíthatjuk a hőveszteség helyeit.
 - Megállapíthatjuk a hőveszteség okait.
 - Megállapíthatjuk bármely térbeli pont hőmérsékletét.
88. Egészítse ki az alábbi mondatot! *A kevésbé motorizált országokban a járműállomány jelentős lehet számítani, de ez a a rossz műszaki paraméterű, máshol már „selejtezett” járműállomány újbólijelenti.*
89. Milyen műszaki okai vannak annak, hogy a gépjármű üzemanyag fogyasztása magas városi körülmények között? Jelölje bekarikázással az alábbiak közül a helyes állítást!
- Az üzemanyag egy része nem ég el, mert a motor stacioner üzemmódban dolgozik.

- b. A motor fordulatszáma alacsony, ezért a hatásfoka rossz.
 - c. A motor felmelegszik, ezért az üzemanyag-levegő keverék jól feltölti a motort, teljesítménye nő.
 - d. A motor konstrukciója olyan, hogy a gépjármű fogyasztási görbe minimuma a mindenkori városi forgalom átlagsebességére vonatkozik.
 - e. Kis sebességnél nagyon sok a kipufogógáz mennyisége.
90. Egy személygépkocsi a városi forgalomban 20 km/óra átlagsebességgel képes haladni. Fogyasztása 10 l/100 km. Számolja ki, hogy mennyi a vizsgált jármű hány g üzemanyagot fogyaszt 1 km-en és ebből mennyi az elégtelen üzemanyag? Ez hány %-a fogyasztott üzemanyagnak!
91. Hogyan lehet csökkenteni a gépjármű fogyasztását városi körülmények között?
92. Mi az aktív biztonsági rendszer célja?
- a. A balesetek elkerülése.
 - b. A balesetek következményeinek mérséklése.
 - c. Az emberi testet érő erőhatások mérséklése.
 - d. Ütközések elkerülés.
 - e. A károk mérséklése.
93. Mi jellemzi a fékasszisztens működését?
- a. Intenzív fékezés esetén a blokkolás elkerülhető.
 - b. Gyors irányváltás esetén is stabil marad a jármű.
 - c. A gázpedál hirtelen visszaengedésekor a vezető nélkül is elkezdődik a fékezés folyamata.
 - d. Szabályozza a követési távolságot.
 - e. Növeli a fékutat.
94. Mely állítások igazak az utasvisszatartó rendszerekre?
- a. 30 km/h feletti ütközésnél felfúvódik a légzsák.
 - b. 10 km/h sebességű ütközésnél felfúvódik a légzsák.
 - c. A felfúvódás után a légzsák 1 perc múlva leenged.
 - d. A felfúvódás után a légzsák nem ereszt le, csak ha beavatkoznak.
 - e. Az ütközés és a légzsák felfúvódás között 100 ms idő telik el.
95. Mi az utascella feladata?
- a. Védelmet nyújt az utasnak.
 - b. Deformálódik és felveszi az erőket.
 - c. Meggátolja az utas kiesését.
 - d. Eltéríti az oldalról ütköző járművet.
 - e. Elcsúsztatja a párhuzamosan ütköző járművet.
96. Melyik állítások igazak az Ottó motorra?
- a. Levegőt szív és sűrít.
 - b. Üzemanyag-levegő keveréket szív és sűrít.
 - c. Kompresszió gyújtása van.
 - d. Gyújtógyertya szikrája gyújtja meg az üzemanyag-levegő keverék egy részét és ez égés terjed tovább.
 - e. Izzítógyertya gyújtja meg a keveréket.
 - f. Az üzemanyag-levegő keveréket csak karburátorral lehet előállítani.
97. Melyik állítások igazak az Diesel motorra?
- a. Levegőt szív és sűrít.
 - b. Az összenyomott levegőbe befecskendezik a gázolajat.
 - c. Üzemanyag-levegő keveréket szív és sűrít.
 - d. Izzítógyertya gyújtja meg a keveréket.
 - e. Gyújtógyertya szikrája gyújtja meg az üzemanyag-levegő keverék egy részét és ez égés terjed tovább.
 - f. A befecskendezési nyomás < 10 bar.
98. Számolja ki, mennyi kőolajat fordít a világ 1990/2000/2010/2020-ban közlekedésre (15.2. táblázat)! Keresse adatokat ezen évek gépjármű állományára. Becsüljön fogyasztást (kőolajban, benzinben, gázolajban)!
99. Melyik állítások igazak katalizátor nélküli esetre (Ottó motor)?
- a. Az NO_x a dús keverék tartományban növekszik a $\lambda=1$ állapotig, majd csökken.

- b. A C_xH_y a levegő növekedésével tovább oxidálódik, így csökken.
- c. A CO a levegő növekedésével tovább oxidálódik, így mennyisége nő.
- d. Az NO_x a $\lambda=1$ állapotban a legkisebb.
- e. A CO $\lambda=1$ állapotban a legkisebb.
- f. A C_xH_y $\lambda=1$ állapotban a legkisebb.
100. A megújuló energia felhasználásának előnyös tulajdonságai?
- a. csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását
- b. növekedik a savasodás
- c. romlik az épített környezet állapota
- d. csökken a levegőszennyezés
- e. rosszabb mezőgazdasági termelés
- f. drágább az energiatermelés
101. Mennyi volt a világ energiafogyasztása 2006-ban?
- a. 500 GJ
- b. 500 MJ
- c. 500 EJ
- d. 500 PJ
- e. 500 kJ
102. A világ energiafogyasztásának hány százalékát fedezik a fosszilis energiahordozók?
- a. 20 %
- b. 25 %
- c. 45 %
- d. 65 %
- e. 85%
103. Hány százalékra kívánja emelni az EU a megújuló energia részarányt az energiafogyasztásban?
- a. 10%
- b. 20%
- c. 30%
- d. 40%
- e. 50%
104. Magyarországon melyik megújuló energiaforrás felhasználása a domináns?
- a. szélenergia
- b. vízenergia
- c. geotermikus energia
- d. biomassza energia
- e. napenergia
105. Milyen energiaforrást használ fel hazánk döntően a hőellátás fedezésére?
- a. biomassza
- b. szén
- c. tüzelőolaj
- d. földgáz
- e. PB gáz
106. Milyen módon teljesítette Magyarország a 2010-re kitűzött megújuló energiahordozó bázisú villamosenergia termelésre vonatkozó EU-s elvárást?
- a. szélerőművekkel
- b. naperőművekkel
- c. meglévő szenes erőművek biomasszával kevert vegyes tüzelésre való áttéréssel
- d. geotermikus villamos erőművekkel
- e. meglévő szenes erőművek tisztán biomasszára való átállításával

- f. biomassa alapú erőművekkel
107. Mennyi általában a megtérülési ideje egy megújuló energiaforrás beruházásának hazánkban:
- kevesebb, mint egy év
 - 1-3 év
 - 3-6 év
 - 6-10 év
 - több, mint 10 év
108. A geotermikus energia a kőzetekben és pólusvízben tárolódó termikus energia, amelynek a forrása.
- a napsugárzás
 - a víz párolgása
 - a kőzetalkotók radioaktív bomlása
 - a kőzetek biomassa tartalma
 - a kőzetalkotók exoterm kémiai átalakulása
 - a kőzetek mállása fagy hatására
109. Milyen mélységben érünk el a földkéregben 1 0C hőmérséklet növekedést,-nek nevezzük.
110. Mennyi a geotermikus mélységlépcső értéke, ha a 200 0C értéket 5000 m-en érték el?
111. Az egységnyi mélységváltozásra jutó hőmérséklet-növekedést -nek nevezzük!
112. A földkéreg egységnyi felületén átáramló hőmennyiséget-nek nevezzük
113. Mennyi a hőtartalma 5000 m mélységben levő 1 m³ vízzel telt homokkőnek, ha a porozitása 0,1, a hőmérséklete és a felszín átlaghőmérséklete közötti különbség 200 0C? (a homokkő sűrűsége 2,6 g/cm³, fajhője 2,5 kJ/kg 0K) (4.2 képlet) (6270 kJ)
114. A földhőtermelés fenntarthatóságának feltételei egy meghatározható teljesítmény alatti termelés, amely ideig fenntartható.
115. Mennyi Magyarországon a geotermikus gradiens átlaga a világátlaghoz képest?
- nagyobb
 - kisebb
 - egyenlő
 - kisebb egyenlő
 - nagyobb egyenlő
116. Magyarországon a közepes hőmérsékletű (50-80 0C) termálvizet jelentős mértékben használják az alábbi célokra:
- balneológiai
 - ivóvíz ellátási
 - ipari vízellátási
 - mezőgazdasági
 - épületenergetikai
 - elektromos energia termelési
117. Ha a termálvíz a hőhasznosításban mint primer közeg szerepel és hőcserélő közbeiktatásával megfelelően kezelt szekunder közeg szállítja a hőt a fogyasztóhoz, akkor a hőhasznosítás:
- nyitott
 - zárt
 - közvetlen

- d. közvetett
- e. féli nyitott
- 118. Ha a felhasznált termálvizet visszasajtoljuk a vízáadó rétegbe geotermikus rendszerről, egyébként geotermikus rendszerről beszélünk.
- 119. Mennyi az idealizált hőszivattyú teljesítménytényezője, ha a fűtési hőmérséklet 35 0C, a környezeti hőmérséklet pedig 0 0C?
- 120. A COP („coefficient of performance”) tényező a leadott termikus teljesítmény és a felvett elektromos teljesítmény
- 121. Mennyi az elektromos hőszivattyú teljesítménytényezője (COP), ha egy hónap alatt leadott fűtési energia 27000 MJ, és a hálózatból közben felvett elektromos energia 2400 kWh?
- 122. Amennyiben a kompresszort elektromos motor hajtja hőszivattyúról beszélünk.
- 123. Melyik berendezés nem része egy hőszivattyúnak:
 - a. kompresszor
 - b. kondenzátor
 - c. transzformátor
 - d. expanziós szelep
 - e. elpárologtató
- 124. A kitermelés nélküli direkt elpárologtató rendszer hátrányai:
 - a. a talaj oldali hőcsere direkt, a keringetett hűtőközeggel történik
 - b. nem szükséges a talaj oldali hőcsereelőben a közeg keringetésére még egy szivattyút alkalmazni
 - c. a rézcsövek hőátadása sokkal jobb, mint a vizes rendszereknél alkalmazott KPE csöveké
 - d. nagyon sérülékeny, és rendkívül nehezen javítható
 - e. kevesebb földmunkára van szükség
 - f. talajban elhelyezett csőhálózat nehezen hozzáférhető és javítható
- 125. A geotermikus villamosenergia-termelés céljaira nem igazán megfelelő közeg:
 - a. száraz gőz
 - b. nedves gőz
 - c. 180 0C-nál nagyobb hőmérsékletű forróvíz
 - d. 150-180 0C-os hőmérsékletű forróvíz
 - e. 150 0C-nál alacsonyabb hőmérsékletű forróvíz
- 126. Melyik típus nem tartozik a geotermikus villamosenergia-termelés fajtáihoz:
 - a. szárazgőz erőmű
 - b. egynyomásos közvetlen kigőzölögtető erőmű
 - c. kétnyomásos közvetlen kigőzölögtető erőmű
 - d. kettős ciklusú erőmű
 - e. gázturbinás erőmű
- 127. Melyik technológiai főberendezés marad el a száraz gőzerőmű rendszerben, ha a geotermikus energia száraz gőz formájában áll rendelkezésre?
 - a. gőzturбина
 - b. generátor
 - c. kondenzátor
 - d. gőzkazán
 - e. kitermelő kút
- 128. Melyik berendezés nem része egy kigőzölögtető erőműnek:
 - a. kitermelő kút
 - a. kondenzátor

- b. kigőzölögtető
 - c. gőzturbina
 - d. gőzkazán
129. Melyik berendezés nem része egy segédközegek erőműnek:
- a. gőzkazán
 - b. kitermelő kút
 - c. hőcserélő
 - d. gőzturbina
 - e. kondenzátor
130. Az alacsony hőmérsékletű termálvíz leggazdaságosabb felhasználása:
- a. közvetlen villamosenergia-termelésre
 - b. közvetlen villamosenergia-termelésre és fűtésre
 - c. kapcsolt (ellenáramú)energiatermelésre
 - d. közvetlen fűtésre
 - e. csatornába engedésre
131. A hagyományos vízgőz-körfolyamathoz hasonló olyan körfolyamatot, amelyben egyedül a turbinát meghajtó közeg eltérő (ami ammónia, vagy nagy molekuláris tömegű szerves fluidum)-körfolyamatnak nevezzük.
132. Milyen munkaközeg használatos a szerves Rankine-körfolyamatban?
- a. vízgőz
 - b. levegő
 - c. ammónia, vagy szerves fluidum
 - d. oxigén
 - e. nitrogén
133. Milyen munkaközeg használatos a szerves Kalin körfolyamatban?
- a. levegő
 - b. ammónia
 - c. nem homogén kettős közeg
 - d. freon
 - e. vízgőz
134. A Föld légköre a napsugárzás melyik tartományát nem engedi át?
- a. ultraibolya
 - b. ibolya
 - c. kék
 - d. vörös
 - e. infravörös
135. Mennyi a globális sugárzás átlagos évi összege Magyarországon?
- a. 1000-2100 MJ/2m
 - b. 2100-4200 MJ/2m
 - c. 4200-4700 MJ/2m
 - d. 4700-6200 MJ/2m
 - e. 6200-7700 MJ/2m
136. A napsütéses órák száma Magyarországon?
- a. 1000-1800 óra
 - b. 1800-2000 óra
 - c. 2000-2200 óra
 - d. 2200-2400 óra
 - e. 2400-2600 óra
137. A passzív napenergia hasznosítása során mit nem tekintünk lényeges körülménynek?

- a. tájolást
 - b. árnyékolás t
 - c. építészeti kialakítást
 - d. építőanyagokat
 - e. kollektortípust
138. Az olyan épületet, amelyben a fűtési hőszükséglet $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{év})$ -re, a primerenergia-felhasználás, beleértve a használati melegvíz előállítását és a háztartási áramot is, pedig $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{év})$ -re korlátozódik-nak nevezzük.
139. Amennyiben a Nap energiáját egy berendezésben közvetítő közeg segítségével hőenergiává alakítjuk át, amelyet épületgépészeti eszközökkel hasznosítunk rendszerről beszélünk.
140. Mely elemek nem részei egy napkollektornak?
- a. szilíciumlapka
 - b. fényáteresztő lemez
 - c. elnyelő lemez
 - d. hőszigetelő
 - e. csővezeték
 - f. inverter
141. A hőhordozó közegnek átadott hőteljesítményt osztva az A felületű napkollektorra eső nap sugárzási energiájával a kollektor-nak nevezzük.
142. Mennyi hőenergiát tud átadni naponta 1 m^2 napkollektor, ha a kollektor-hatásfok $0,6$?
143. Melyik eszköz nem a napenergia-hasznosítás eszköze?
- a. Van der Graaf generátor
 - b. nem szelektív sík-kollektorok
 - c. szelektív sík-kollektorok
 - d. vákuumos sík-kollektor
 - e. vákuumcsöves sík-kollektorok
 - f. gyűjtőlencse
144. Milyen lépés nem történik meg a napelemek működése során:
- a. egyenáram invertálás
 - b. fényelnyelés,
 - c. az elektronok gerjesztett állapotba kerülnek
 - d. a pozitív és negatív töltések lokális szétválasztása
 - e. a töltések külső áramkörbe vezetése.
145. A napelemek olyan szilárdtest eszközök, amelyek a fénysugárzás energiáját közvetlenül alakítják át.
146. Mely elemek nem részei egy szilícium napelemnek:
- a. pozitív elektróda
 - b. negatív elektróda
 - c. inverter
 - d. p-típusú szennyezés
 - e. n-típusú szennyezés
 - f. akkumulátor
147. Mely berendezések szükségesek a napelemes rendszerek által szolgáltatott energiának az elektromos hálózatba történő betáplálására?
- a. csővezeték-hálózat
 - b. napelem-blokk
 - c. hőszivattyú
 - d. inverter

- e. gőzturbina
- f. vízturbina
- 148. A napelem által generált villamos teljesítményt osztva a beeső fény teljesítményével a napelemnak nevezzük.
- 149. Hány m² felületű napelemet kell felállítani, ha 30 W-os teljesítményű izzót akarunk üzemeltetni? (a napelem hatásfoka 20 %, a fényintenzitás 1000 W/m²)
- 150. Melyik paraméter nem lényeges a napelem működése szempontjából:
 - a. hőmérséklet
 - b. fényintenzitás
 - c. fény spektrum
 - d. napelem anyaga
 - e. napelem hővezetési tényezője
- 151. Mely paraméterek nem szükségesek a napelem kitöltési tényezőjének meghatározásához?
 - a. T
 - b. VOC
 - c. ISC
 - d. VMPP
 - e. IMPP
 - f. t
- 152. Milyen feltételek hátrányosak a napelem gazdaságos gyártása során?
 - a. nagy hatásfok lehetősége
 - b. a felhasznált anyagok rendelkezésre állása
 - c. az anyagok magas ára,
 - d. alacsony termelési költségű technológiai lehetősége,
 - e. termék időbeli stabilitása (évtizedek),
 - f. környezetkárosító anyag
- 153. Melyek a szilícium anyagú napelem gyártásának alapvető technológiái?
 - a. esztergálás
 - b. marás
 - c. hegesztés
 - d. forrasztás
 - e. szelet technológia
 - f. vékonyréteg technológia
- 154. A napelemmel előállított energia tárolható:
 - a. magában a napelemben
 - b. akkumulátorban
 - c. elektromos hálózatban
 - d. inverterben
 - e. kollektorban
 - f. napkéményben
- 155. Milyen megoldások nem lehetségesek háztartásokban a napelem használatára?
 - a. közvetlenül hálózatra termel
 - b. részben felhasznál, részben hálózatra termel
 - c. teljes egészében felhasznál, ill. tárol
 - d. részben felhasznál, ill. tárol, részben hálózatra termel
 - e. piacon értékesít
- 156. A következő berendezésekkel közvetve, vagy közvetlenül nem elektromos energiát állíthatunk elő a napenergia felhasználásával:
 - a. napelem

- b. napkollektor
 - c. torony típusú naphőerőmű
 - d. parabola-teknős naphőerőmű
 - e. napkémény
157. Melyik berendezés nem része egy naphőerőműnek:
- a. tükörrendszer
 - b. napelem
 - c. hőcserélő
 - d. gőzturbina
 - e. kondenzátor
 - f. inverter
158. Milyen elem nem része egy napkéménynek:
- a. üvegfedél
 - b. napkollektor
 - c. kémény
 - d. szélturbina
 - e. generátor
159. A földfelszínen áramló víz mozgási és helyzeti energiája az, amit-nak tekintünk és hasznosítunk.
160. Melyik berendezés hasznosítja a folyadék perdületét?
- a. alulcsapott vízikerék
 - b. felülcsapott vízikerék
 - c. középen csapott vízikerék
 - d. Fourneyron kerék
 - e. Bánki turbina
161. Milyen áramlástan tételén alapul a vízturbina működési elve?
- a. mozgásegyenlet
 - b. hatás-ellenhatás elve
 - c. impulzus tétel
 - d. impulzusnyomaték tétel
 - e. folytonossági tétel
162. A turbinán átáramló folyadék energiájának egy része a turbina tengelyén levehető (hasznosítható) mechanikai munkává alakul, és ezt az energiakülönbséget a turbina nevezzük.
163. Mely paraméterek nem szükségesek a turbinára érkező folyadék összteljesítményének kiszámításához?
- a. a víz hőmérséklete
 - b. a víz sűrűsége
 - c. a nehézségi gyorsulás
 - d. víznyelés
 - e. esésmagasság
 - f. víz pH-ja
164. A turbina tengelyteljesítményét elosztva a turbinára érkező folyadék összteljesítményével megkapjuk a turbina-t.
165. Mennyi a névleges teljesítménye annak a Kaplan-turbinának, amelynek névleges víznyelése 140 m³/s, esésmagassága 6 m, hatásfoka 85%?
166. Mitől nem függ a turbina hasznos teljesítménye?
- a. hatásfoktól
 - b. folyadék sűrűségétől
 - c. esésmagasságtól

- d. víznyeléstől
 - e. a víz pH értékétől
167. Milyen átömlésű reakciós turbinákat nincsenek a folyadék átáramlása alapján?
- a. radiális átömlésű
 - b. radiális beömlésű, félaxiális kiömlésű
 - c. félaxiális átömlésű
 - d. axiális átömlésű
 - e. biaxiális átömlésű
168. Mennyi a turbinára érkező folyadék összteljesítménye, ha a tengelyteljesítménye 7 MW, hatásfoka 0,85?
169. Melyik berendezést tekinthetjük akciós turbinának?
- a. Bánki turbina
 - b. Pelton turbina
 - c. Kaplan turbina
 - d. Francis turbina
 - e. Fourneyron turbina
 - f. Bourdin turbina
170. Melyik vízenergia hasznosító berendezésben történik nyomásenergia-változás (ezért ún. reakciós turbina)?
- a. szabadsugár-turbina
 - b. alulcsapott vízikerek
 - c. felülcsapott vízikerek
 - d. Kaplan turbina
 - e. Bánki turbina
 - f. Francis turbina
171. Hogyan szabályozhatók a vízszugárturbinák?
- a. szabályozó-túvel
 - b. fordulatszám változtatással
 - c. állítható vezetőlapátokkal
 - d. tolózárrel
 - e. motoros szeleppel
172. Milyen módon szabályozható a reakciós turbina?
- a. szabályozó-túvel
 - b. fordulatszám változtatással
 - c. állítható vezetőlapátokkal
 - d. tolózárrel
 - e. motoros szeleppel
173. Annak a geometriailag tökéletesen hasonló járókeréknek a fordulatszámát, amelynek 1 m esőmagasság esetében 1 kW a hasznos teljesítménye, a turbina-nak nevezzük.
174. Mennyi a jellemző fordulatszáma annak a turbinának, amelynek a tengelyteljesítménye 7 MW, a vízésés 6,27 m, fordulatszáma 107 ford/perc?
175. A folyók, tavak, tengerek vízenergiáját hasznosító, és azt elektromos energia formájában a nagyfeszültségű hálózatba tápláló műszaki létesítményt nevezzük.
176. Mely berendezések nem részei egy vízerőműnek?
- a. vízturbina
 - b. kondenzátor
 - c. generátor
 - d. elpárologtató
 - e. transzformátor

- f. duzzasztómű
177. Milyen a teljesítmény alapján osztályozott vízerőműveket nem ismerünk?
- a. nagy vízerőmű
b. kis vízerőmű
c. törpe vízerőmű
d. piko vízerőmű
e. nano vízerőmű
f. femto vízerőmű
178. Kis vízesés hasznosításához használt vízturbinák?
- a. Pelton turbina
b. Kaplan turbina
c. Szabadsugár turbina
d. Francis turbina
e. Turgo turbina
179. Milyen folyóra telepíthető vízerőműveket ismer?
- a. Átfolyós rendszerű vízerőművek
b. Tározós rendszerű vízerőművek
c. Árapály erőművek
d. Tengeráramlat erőmű
e. Hullámerőművek
f. Szivattyús-tározós erőmű
180. Hol található Magyarországon vízerőmű?
- a. Dunán
b. Tiszán
c. Dráván
d. Hernádon
e. Körösön
f. Maroson
181. A hazai vízenergia-hasznosítás hány százaléka a potenciálnak?
- a. 5 %
b. 10 %
c. 20 %
d. 30 %
e. 40 %
182. Hol épült a Tiszán vízerőmű?
- a. Vásárosnamény
b. Tiszalök
c. Kisköre
d. Szolnok
e. Csongrád
f. Szeged
183. Az energiaellátás nem terhelte a környezetet
- a. az energiahordozók elvételével
b. az energiahordozók átalakításával
c. a környezeti tér felhasználásával
d. a szennyezőanyagok kibocsátásával
e. a megújuló energia-felhasználás növelésével
184. Mit nem ír elő az EU kibocsátás-csökkentési intézkedéscsomagja?
- a. 20%-kal kevesebb üvegházhatású gázt bocsássanak ki
b. a teljes energiaszükséglet 20%-át megújuló energiából fedezzék

- c. energiafogyasztásukat 20%-kal csökkentésük
 - d. energiafogyasztásukat szinten tartásuk
 - e. a közlekedési és szállítási ágazat üzemanyag-szükségletét 10%-ban bioüzemanyagból, villamos energiából vagy hidrogénből fedezték.
185. Az energetika által kibocsátott szennyezőanyagok kiterjedésüket és hatásukat tekintve lehet:
- a. konvekciós
 - b. turbulens
 - c. lokális-globális
 - d. lamináris
 - e. kondukciós
186. A szennyezőanyagok légköri koncentrációját (immisszióját) nem befolyásoló tényezők?
- a. a szennyezőforrás emissziója
 - b. a mérési eljárás
 - c. a forrás magassága,
 - d. a szélirány,
 - e. a szél terjedési sebessége
187. Melyik nem elsődleges lokális szennyezőanyag?
- a. ózon
 - b. szálló por
 - c. nitrogén-monoxid
 - d. nitrogén-dioxid
 - e. kén-dioxid
188. A PM10 szennyezés miatti elhalálozások száma tekintetében 2005-ben hányadik volt hazánk az EU-ban?
- a. 1.
 - b. 2.
 - c. 3.
 - d. 4.
 - e. 5.
189. Melyik tevékenységre nem jellemző a nagymértékű kén-dioxid kibocsátás?
- a. energiaipar
 - b. széntüzeléses fűtés
 - c. fatüzeléses fűtés
 - d. földgázfűtés
 - e. közúti közlekedés
190. Az összes nitrogén-oxid kibocsátás hány százaléka közlekedés eredetű az EU-ban?
- a. kisebb, mint 20 %
 - b. 20-30 %
 - c. 30-40 %
 - d. 50-60%
 - e. nagyobb, mint 50 %
191. Mely gázokat nem tekintünk üvegház-hatású gázoknak?
- a. oxigén
 - b. széndioxid
 - c. vízgőz
 - d. metán
 - e. nitrogén

- f. dinitrogén-oxid
192. Melyik gazdasági szektor felelős döntően az üvegház-hatású gázok kibocsátásáért hazánkban?
- a. mezőgazdaság
 - b. ipari folyamatok szektor
 - c. energiaszektor
 - d. hulladékszektor
 - e. erdészet
193. Melyik terület nem szerepel a zajtól védendő területek közül:
- a. mezőgazdasági terület
 - b. üdülőterület, különleges területek közül az egészségügyi területek
 - c. falusias lakóterület
 - d. városias lakóterület
 - e. gazdasági terület
194. Milyen területekre nem kell készíteni stratégiai zajtérképeket és intézkedési terveket?
- a. nagyvárosi agglomerációra
 - b. régiókra
 - c. nagy forgalmú vasutakra
 - d. nagy forgalmú közutakra
 - e. nagy forgalmú repülőterekre
195. A stratégiai térképeken a zajhelyzet értékelésére használt mutatók:
- a. L_{den} , és $L_{éjjel}$
 - b. L_{den}
 - c. $L_{éjjel}$
 - d. L_{nappal}
 - e. L_{este}
196. Az atomerőművek társadalmi elfogadtatásának nem súlyponti kérdései?
- a. a csernobili típusú katasztrófa nem ismétlődhet meg
 - b. a radioaktív hulladékok biztonságos elszigetelhetősége
 - c. az atomerőművek nem a nukleáris fegyverfejlesztés melegágyai
 - d. az atomerőművek határfokának növelése
 - e. atomenergetikai eszközök terrorizmus elleni védelme
197. A felsorolt kijelentések közül melyik tartozik az atomenergia-hasznosítás előnyeihez?
- a. havária esetén óriási helyi, regionális, és globális szennyező forrássá válhat
 - b. jelentős mennyiségű szilárd és folyékony, kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék keletkezik
 - c. a kiégett, nagy aktivitású üzemanyagok átmeneti és tartós tárolása, esetleg újrafeldolgozása jelentős feladatot jelent
 - d. biztonságos védelemmel ellátott atomerőművek radioaktív sugárzása és emissziója alacsony szintű és ellenőrzött
 - e. a leszerelt radioaktív elemek végleges környezeti elhelyezése még nem megoldott
198. Részben a levegőbe (többnyire a füstgázok révén), részben a (hűtési rendszer kialakításától függően) az élővizetekbe kerülő környezetbe bocsátott hőt-nek nevezzük.
199. Az egységnyi hasznosított hőre jutó hulladék-hő mennyiségét-nak nevezzük.

200. Mennyi egy atomerőmű hulladék-hő mutatója ha az energiaátalakítás hatásfoka 0,3?
201. Melyik állítás nem igaz: A víz hő-szennyezésének hatása káros a környezetre, mert:
- a. a víz oxigén tartalma csökken
 - b. nő az algatermelés
 - c. a hőkedvelő (termofil) baktériumtörzsek elszaporodnak
 - d. a fölmelegedés növeli a vizek terhelhetőségét
 - e. a melegvízben nagyobb a növényi tápanyagok oldhatósága
 - f. nincs lényeges hatása