



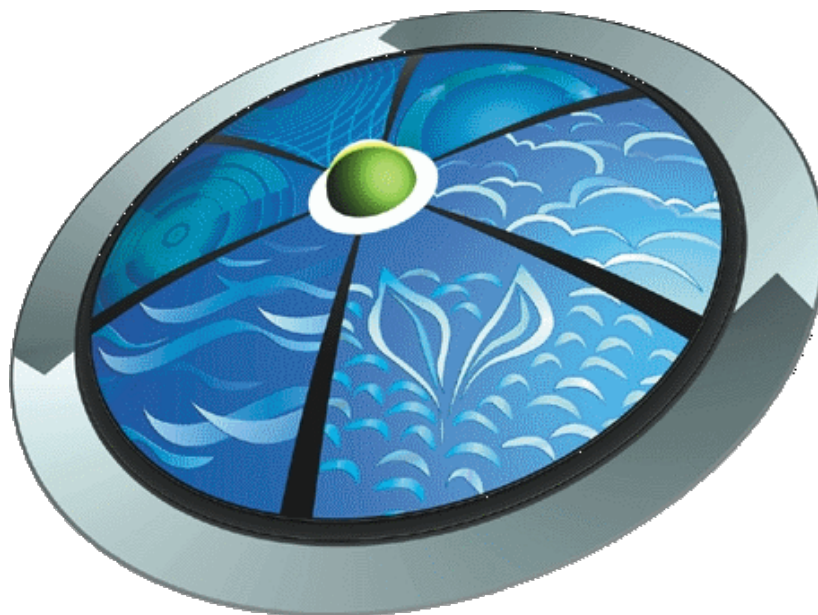
Az anyag a TÁMOP-
4.1.2.A/1-11/1-2011-0089
téma keretében készült a
Pannon Egyetemen.



ÚJ SZÉCHENYI TERV

Környezetmérnöki Tudástár

Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre



XXXI. kötet

Sugárvédelemi mérések

Dr. Kovács Tibor

Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet

Az anyag a TÁMOP-
4.1.2.A/1-11/1-2011-0089
téma keretében készült a
Pannon Egyetemen.



Környezetmérnöki Tudástár
Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre

XXXI. kötet

Sugárvédelemi mérések

Szerzők:

Dr. Kovács Tibor

ISBN: 978-615-5044-98-4

2014

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. Környezetvédelmi monitoring
26. Ivóvíztisztítás és víztisztaság-védelem
27. Levegőtisztaság-védelem és klímakutatás
28. Nukleáris mérési technológia környezetmérnököknek
29. Biztonságtudomány
30. Környezetállapot értékelés
31. Sugárvédelemi mérések
32. Szennyvíztisztítás korszerű módszerei
33. Környezetmérnökök katasztrófavédelmi feladatai
34. Környezetvédelmi analitika
35. Környezeti auditálás

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 TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0089 téma
keretében készült a Pannon Egyetemen."

Részletes információk a következő címen találhatóak:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/hu/>

Tartalomjegyzék

Ábrajegyzék.....	10
Táblázatjegyzék.....	11
Jegyzőkönyv készítés alapismeretei.....	12
1. Környezeti gamma dózisteljesítmény mérőeszköz kalibrálása szabadmezős módszerrel	14
1.1. A mérés elve	14
1.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	14
1.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés	14
1.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	14
1.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése	14
1.6. A mérés receptszerű leírása	14
1.7. Számítás	16
1.8. Kimutatási határ meghatározása	17
1.9. Kérdések	17
2. Környezeti gammadózisteljesítmény mérése, sugárterhelés számítása.....	19
2.1. A mérés elve	19
2.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	19
2.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés	19
2.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	19
2.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése	19
2.6. A mérés receptszerű leírása	19
2.7. Számítás	20
2.8. Kimutatási határ meghatározása	20
2.9. Kérdések	21
3. Az építőanyagok radionuklid koncentrációjának mérése, sugárvédelmi minősítése..	22
3.1. A mérés elve	22
3.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	22
3.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés	22
3.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	23
3.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése	23
3.6. A mérés receptszerű leírása	24
3.7. Számítás	25
3.8. Kimutatási határ meghatározása	26
3.9. Kérdések	27

4. Légtéri radonkoncentráció (^{222}Rn) mérése nyomdetektorral, sugárvédelmi minősítés	28
4.1. A mérés elve	28
4.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	28
4.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés elve	28
4.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	28
4.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése	28
4.6. A mérés receptszerű leírása	29
4.7. Számítás	30
4.8. Kimutatási határ meghatározása	30
4.9. 9. Kérdések	30
5. Radon leánytermékek koncentrációjának mérése, egyensúlyi faktor meghatározása	31
5.1. A mérés elve	31
5.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	31
5.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés elve	31
5.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	31
5.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése	31
5.6. A mérés receptszerű leírása	32
5.7. Számítás	32
5.8. Kimutatási határ meghatározása	32
5.9. Kérdések	33
6. Talajgáz radonkoncentrációjának (^{222}Rn), a talaj permeabilitásának in situ mérése, sugárvédelmi minősítés	34
6.1. A mérés elve	34
6.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	34
6.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés	34
6.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	34
6.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése	34
6.6. A mérés receptszerű leírása	35
6.7. Számítás	36
6.8. Kimutatási határ meghatározása	37
6.9. Kérdések	37
7. Talajok in situ radonexhalációjának meghatározása, minősítése	38
7.1. A mérés elve	38
7.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	38
7.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés	38
7.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	38

7.5.	A mérésnél használt eszközök ismertetése	38
7.6.	A mérés receptszerű leírása	39
7.7.	Számítás	40
7.8.	Kimutatási határ meghatározása	40
7.9.	Kérdések	40
8.	Szemcsés anyagok (ipari melléktermékek) radonemanációjának vizsgálata	41
8.1.	A mérés elve	41
8.2.	A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	41
8.3.	A mintavétel és a mintaelőkészítés	41
8.4.	Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	41
8.5.	A mérésnél használt eszközök ismertetése	42
8.6.	A mérés receptszerű leírása	43
8.7.	Számítás	44
8.8.	Kimutatási határ meghatározása	44
8.9.	Kérdések	45
9.	Vízminták összes alfa és béta aktivitásának meghatározása	46
9.1.	A mérés elve	46
9.2.	A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	46
9.3.	A mintavétel és a mintaelőkészítés elve	46
9.4.	Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	47
9.5.	A mérésnél használt eszközök ismertetése	47
9.6.	A mérés receptszerű leírása	47
9.7.	Számítás	48
9.8.	Kimutatási határ meghatározása	49
9.9.	Kérdések	49
10.	Vízminták radonkoncentrációjának (^{222}Rn) meghatározása, sugárvédelmi minősítése	50
10.1.	A mérés elve	50
10.2.	A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	50
10.3.	A mintavétel és a mintaelőkészítés elve	50
10.4.	Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	50
10.5.	A mérésnél használt eszközök ismertetése	51
10.6.	A mérés receptszerű leírása	51
10.7.	Számítás	52
10.8.	Kimutatási határ meghatározása	53
10.9.	Kérdések	53

11. Vízminták ^{226}Ra koncentrációjának meghatározása, sugárterhelés számítása, sugárvédelmi minősítése.....	54
11.1. A mérés elve	54
11.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	54
11.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés	54
11.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	54
11.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése	54
11.6. A mérés receptszerű leírása	54
11.7. Számítás	56
11.8. Kimutatási határ meghatározása	57
11.9. Kérdések	58
12. Radioaktív szennyvíz gamma-spektrometriás vizsgálata	59
12.1. A mérés elve	59
12.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	59
12.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés	59
12.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	59
12.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése	59
12.6. A mérés receptszerű leírása	59
12.7. Számítás	60
12.8. Kimutatási határ meghatározása	60
12.9. Kérdések	61
13. Növényminták ^{210}Pb koncentrációjának meghatározása gamma-spektrometriával	62
13.1. A mérés elve	62
13.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	62
13.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés	62
13.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	63
13.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése	63
13.6. A mérés receptszerű leírása	63
13.7. Számítás	63
13.8. Kimutatási határ meghatározása	64
13.9. Kérdések	65
14. ^{210}Po mennyiségi meghatározása dohány mintában félvezető (PIPS) detektoros alfa-spektrométerrel.....	66
14.1. A mérés elve	66
14.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások	66

14.3.	A mintavétel és a mintaelőkészítés	66
14.4.	Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége	66
14.5.	A mérésnél használt eszközök ismertetése	66
14.6.	A mérés receptszerű leírása	67
14.7.	Számítás	70
14.8.	Kimutatási határ meghatározása	71
14.9.	Kérdések	72

Ábrajegyzék

1. ábra Automess 6150 AD-b környezeti dózisteljesítménymérő.....	15
2. ábra Szabad mezős kalibrálás.....	15
3. ábra Levegőből visszaszórt fotonok mennyisége a forrástávolság függvényében.....	16
4. ábra A talajról visszaszóródó fotonok százalékos értéke a H/D függvényében, különböző sugárforrások esetén.....	17
5. ábra Alumínium Marinelli geometriájú mintatartó	23
6. ábra OMH etalonok	23
7. ábra A félvezető detektoros gamma-spektrometriás mérőrendszer	24
8. ábra Gamma-spektrum képe a szoftveren	25
9. ábra Az NRPB diffúziós kamra keresztmetszete	28
10. ábra Az NRPB diffúziós kamra képe	28
11. ábra A maratókészülék	29
12. ábra Kiértékelő berendezés: kamera, a motorvezérelt optikai mikroszkóp és az ehhez csatlakoztatott számítógép.....	29
13. ábra Pylon WLx monitor.....	31
14. ábra Alphaguard PQ2000 radonmonitor	32
15. ábra Az AlphaGuard és a mérés tartozékai	35
16. ábra A RADON-JOK permeabilitás mérő	35
17. ábra Radim Monitor	39
18. ábra Az exhalációs edény	39
19. ábra Kalibráló forrás.....	41
20. ábra Kalibráló edény	42
21. ábra Lucas cella	42
22. ábra Az egycsatornás mérőrendszer	42
23. ábra A törőcella vázlata.....	43
24. ábra Az áthajtás	43
25. ábra Mintaelőkészítés.....	46
26. ábra A számítógéppel összekapcsolt NDI mérőrendszer	47
27. ábra Az ólomtorony kifordítható szelvénye a mintatartó tálkával	47
28. ábra Mintából begyűjtött beütések ábrázolása a MultiAct szoftverrel.....	48
29. ábra WG-1001 típusú vákuumos víz-átbuborékolató rendszer, Pylon AB-5 radon monitor	51
30. ábra Lucas cella	51
31. ábra Vízminta vétel	52
32. ábra Az emanációs cella	55
33. ábra A radon áthajtása a Lucas cellába	55
34. ábra A mérés lépéseinek sematikus ábrája	56
35. ábra Műanyag Marinelli geometriájú mintatartó edény	59
36. ábra Szárító berendezés	62
37. ábra A szárított, őrölt és darált növényminták	63
38. ábra Minta bemérése	67
39. ábra Bepárlás	67
40. ábra Törzsoldat.....	68
41. ábra A depozíciós készülék vázlatos rajza	68
42. ábra A spontán depozíció	69
43. ábra Az alfa-forrás.....	69
44. ábra A félvezető detektoros alfa-spektrométerek.....	70
45. ábra Az alfa-spektrum képe.....	70

Táblázatjegyzék

1. táblázat Dózisérték mérési táblázat:	20
2. táblázat Dóziskorlátok.....	22
3. táblázat A meghatározandó nuklidok adatai	25
4. táblázat ^{226}Ra -ra vonatkozó dóziskonverziós tényezők ($\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$) (EU BSS No115).....	57

Jegyzőkönyv készítés alapismeretei

A jegyzőkönyvek alapján lehet bizonyítani az elvégzett munkát, annak eredményét, minőségét, ez alapján lehet a kísérleteket megismételni, ellenőrizni a mérések módszerek helyességét.

A jegyzőkönyveknek tartalmazni kell a mérés rövid leírását, a mérési adatokat, a számítások módját, eredményeket, következtetéseket. Minden adatot rögzíteni kell.

A jegyzőkönyv fő részei:

- Fejléc
- Elméleti összefoglaló
- Mérés leírása
- Mért adatok
- Számítások
- Adatok értékelése
- Felhasznált irodalom

Fejléc

A fejlécnek tartalmazni kell a mérés címét, a mérés dátumát, a mérést végző személy (személyek) nevét, neptun kódját, a mérésvezető nevét.

Javasolt fejléc:

Hallgató neve	Mérés címe	Dátum
Neptun kód		Mérésvezető
Hallg. csop.pl: mérnöki kar, mechatronika SZ	Laboratóriumi gyakorlat neve	

Elméleti rész

Röviden az elvégzendő feladat, mérés elve (fontosabb elvek, összefüggések, kiértékeléshez szükséges számítások).

Mérési feladat

Ismertetni kell az adott gyakorlaton kiadott mérési feladatot.

Mérés leírása

A mérés menetének pontos leírása (olyan részletességgel, hogy ezek alapján a mérés megismételhető legyen). Meg kell adni a felhasznált mérőeszközök adatait, beállítását, a kísérlet során felhasznált anyagokat, vegyszereket, a mérés körülményeit (pl. hőmérséklet, mérési idő stb.), azaz minden olyan adatot, ami a mérési eredményeket befolyásolhatja.

Mért adatok

A mérési eredmények rögzítésére külön munkalapot is használhatunk. A munkalapra az adatokat tintával kell beírni, javítani áthúzással kell. Lezárás után külön alá kell írni.

Számítások

Le kell írni a számításnál használt összefüggéseket, helyettesítsük be a mérési adatokat, majd adjuk meg a számítási eredményeket a mértékegységgel, hibával együtt. Több azonos számítási menet esetén csak egyszer kell bemutatni, és az eredményeket táblázatban kell összefoglalni. A táblázat fejléce tartalmazza a címeket, mértékegységeket.

Kerekítésnél használja a kerekítés szabályait.

Amennyiben két adatsor között összefüggés van diagramon is ábrázoljuk (a diagram jegyzőkönyv esetén nem helyettesíti a táblázatban megadott pontos eredményeket). Diagramok készítésénél figyelni kell arra, hogy kellő méretű legyen, a számok, tengelyfeliratok, mértékegységek jól olvashatók legyenek. Az ábrának legyen száma, címe és a szövegben történjen utalás az ábrára. A felrajzolt pontokra illesszünk egyenest vagy görbét.

Adatok értékelése

Az irodalmi ismeretek, adatok alapján minél szélesebb körűen értékeljük a kapott eredményeket. Itt részletezze az esetleges hibalehetőségeket, tapasztalatokat.

Felhasznált irodalom

Itt adja meg azokat az irodalmi hivatkozásokat, amelyek alapján készült a jegyzőkönyv, illetve amelyek alapján felkészült, illetve értékelést végzett.

1. Környezeti gamma dózisteljesítmény mérőeszköz kalibrálása szabadmezős módszerrel

1.1. A mérés elve

Egy radioizotóp okozta szennyeződés és/vagy a természetes eredetű radioizotópoktól származó gamma dózisteljesítmény mérése gyakori feladat. Minden dózisteljesítmény mérő készülék többé-kevésbé energiafüggő, így a rendelkezésre álló dózisteljesítmény mérő által mért adatok pontosíthatók, ha az adott izotóp egy ismert aktivitású pontforrásával előzőleg kalibráljuk a készüléket, mivel adott pontforrástól különböző távolságban a dózisteljesítmény számolható. Ilyen elven, szükség esetén (baleset) más jellegű számláló készülékek is kalibrálhatók dózisteljesítmény mérésére.

Adott, ismert aktivitású sugárforrástól a szabadban különböző távolságban mérjük a dózisteljesítményt (intenzitást), illetve a sugárforrás eltávolítása esetén a háttérét. A levegőben, illetve talajon szóródott hányadot modellezéssel korrigáljuk. A mért és számított értékeket ábrázolva kalibráljuk a mérőeszközt.

1.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

Mivel a mérőeszközök különböző mértékben energiafüggők, pontosan csak a mérni kívánt izotóppal megegyező, ismert aktivitású pontforrással kapunk megfelelő eredményt. A természetes háttérsugárzás mérésére a ^{226}Ra radioizotópot használhatjuk. Jelentősen eltérő körülmények (pl. eltérő hőmérséklet) már hibát eredményeznek (pl. sötétáram).

1.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

Nyitott terep (szóró felületektől, tárgytól mentes) terület kiválasztása.

1.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

Mérni kívánt izotóppal megegyező, ismert aktivitású pontforrás.

1.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Automess 6150 AD-b környezeti dózisteljesítménymérő (1. 1 ábra)
és/vagy NC-483, szcintillációs detektoros MÉV egysatornás analizátor

1.6. A mérés receptszerű leírása

Az on/off (bal felső) gomb egyszeri megnyomásával kapcsoljuk be az Automess 6150 AD-b (1. ábra – ZnS-al bevont plasztik szcintillációs kristállyal, hőfok és sötétáram kompenzációval ellátott, 25 keV-7 MeV közt energiafüggetlen, 5 nSv/óra érzékenységgű) környezeti szintű dózisteljesítmény mérőt. A készülék beállítása automatikus, kikapcsolása az on/off gomb gyors kétszeri megnyomásával történik.

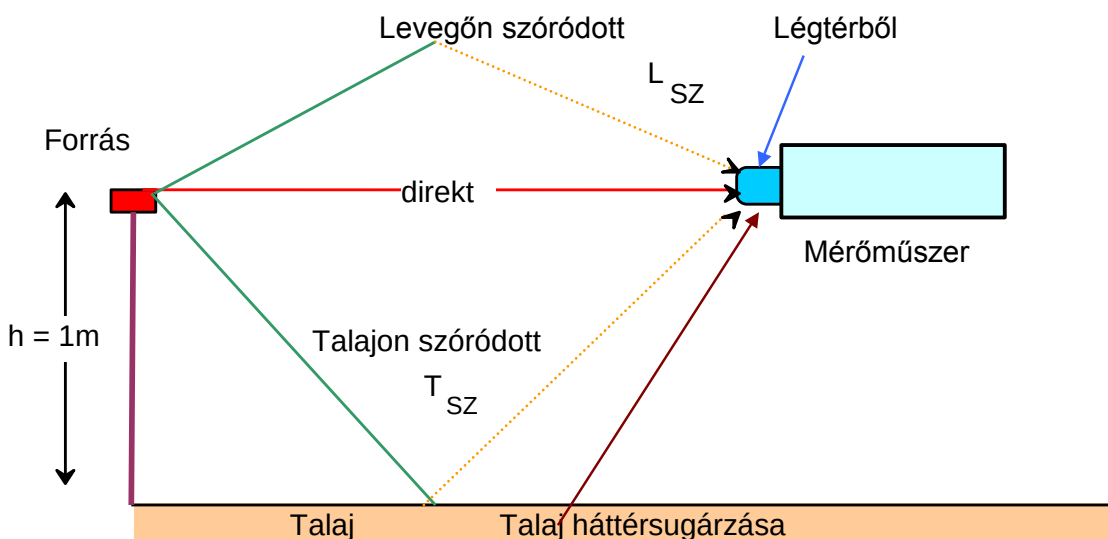


1. ábra Automess 6150 AD-b környezeti dózisteljesítménymérő

Kapcsoljuk be az NC-483 készüléket az „on” kapcsolóval, az üzemmód kapcsolót „int” állásba, az „E” potmétert 40 skálárészre, a „hv” potmétert 1200 skálárészre, a „time” kapcsolót 1 percre állítsuk. A start gombbal indítjuk a mérést, aminek eredménye a mérés befejeztével a számlálón megjelenik.

A mérésvezető által kiadott ^{226}Ra sugárforrást egy 1 m magas fa állványra helyezzük úgy, hogy az állvány közelében (kb. 10 m körzetben) a talaj, illetve levegő kivételével ne legyen szóró közeg (fal, kerítés, stb.). Állvány hiányában keressünk egy egyedül álló fát, és a faágra kötéllel függesszük fel a forrást úgy, hogy a talajtól 1 m magasságban legyen.

A forrástól különböző távolságban (1-10 méter között méterenként a legtávolabbi ponttal kezdve), 3-3 párhuzamos méréssel, a talajtól 1 m magasságban mérjük meg a sugárzás mértékét), és jegyezzük fel a műszerünk által jelzett értéket, számoljuk ki az átlagot. Ekkor a műszer egyrészt a ^{226}Ra sugárforrásból származó primer nyalábot, a levegőben, és a talajon szóródott és így a detektorba jutó szórt fotonokat, illetve a légtérből, és a talajból származó háttérsugárzást méri (2. ábra).



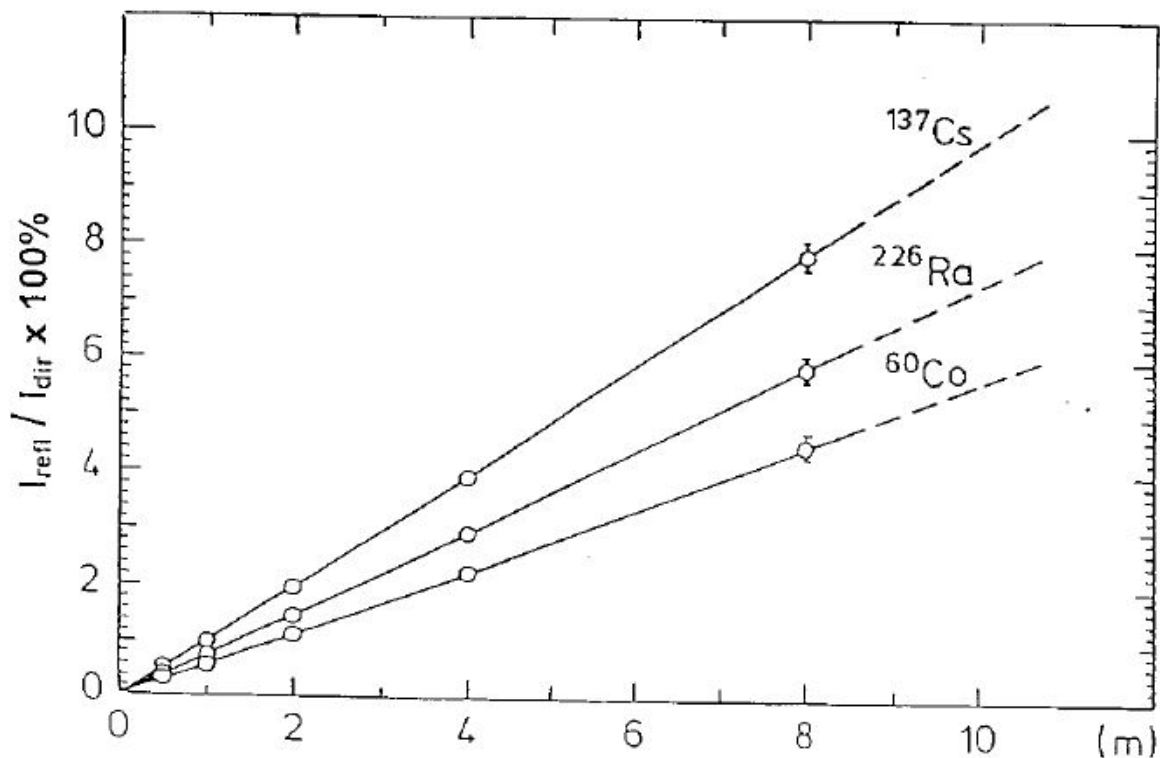
2. ábra Szabad mezős kalibrálás

A méréseket ismétljük meg a sugárforrás eltávolítása után is. A műszer ekkor csak a talajból, illetve a légtérből származó háttérsugárzást érzékeli.

1.7. Számítás

Az azonos távolságban a sugárforrás jelenlétében, illetve a nélkül mért értékek kivonásával megkapjuk a rádium sugárforrásból származó primer illetve szórt fotonok intenzitását.

A talajról illetve levegőből szóródott hányad a modellezéssel kapott táblázatok, grafikonok alapján vehető számításba. A **3. ábrán** található diagram segítségével leolvassuk a levegőből visszaszórt fotonoktól származó növekmény százalékos értékeit a forrástól való távolság függvényében.



3. ábra Levegőből visszaszórt fotonok mennyisége a forrástávolság függvényében

A talajról visszaszóródó fotonok figyelembe vétele a **4. ábrán** található H/D értékekhez (mérési magasság és a mérési pont távolságának hányadosa) tartozó $I_{\text{refl}} / I_{\text{dir}}$ 100%-ban kifejezett értékekkel történhet.

A diagramokról leolvasott értékkel korrigáljuk a mért értékeket. Amennyiben a direkt sugárzást „y”-nal, a mért sugárzást „x”-szel jelöljük, akkor a következő összefüggés írható fel.:

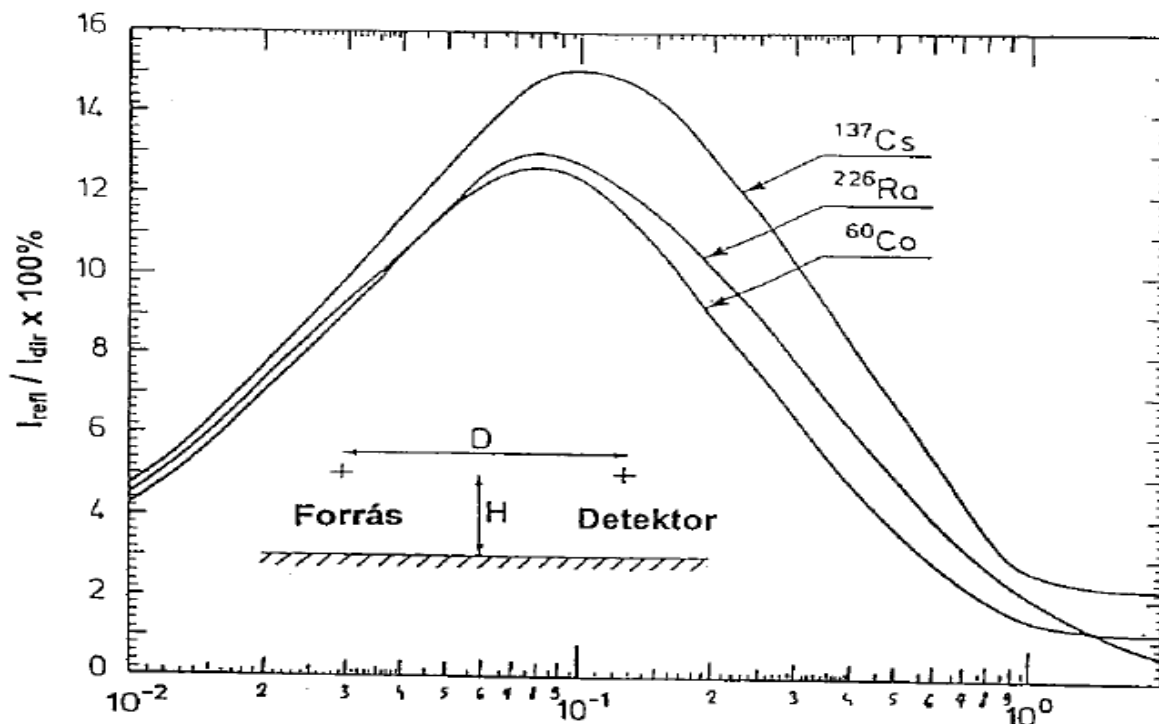
$$x = y + y \cdot \text{talajkorr} + y \cdot \text{levegőkorr}$$

vagyis:

$$y = x / \text{korrekciós faktor}$$

Ahol:

$$\text{korrekciós faktor} = (100 \% + \text{talajkorr} \% + \text{levegőkorr} \%) / 100\%$$



4. ábra A talajról visszaszóródó fotonok százalékos értéke a H/D függvényében, különböző sugárforrások esetén

Az adott ^{226}Ra sugárforrás aktivitásának (A), illetve a távolság (d) ismeretében számoljuk ki az elméleti dózisteljesítmény (D) értékeket (a ^{226}Ra dózisállandója: $193,0 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1} / \text{GBq} \cdot \text{m}^{-2}$) az alábbi összefüggéssel:

$$\dot{D} = \frac{\dot{D}_K \times A}{d^2}$$

A mért és számított eredményeket a táblázatban rögzítsük.

Az adott mérési pontban az így korrigált „y” mérési eredményeket ábrázoljuk az adott mérési pontban az adott összefüggéssel kiszámolt levegőben elnyelt dózisteljesítmény értékek függvényében. A továbbiakban az adott mérőeszközzel mért értékeket figyelembe véve a grafikonról olvassuk le a megfelelő dózisteljesítmény értékeket.

1.8. Kimutatási határ meghatározása

A kalibrálás során a kimutatási határ meghatározása nem releváns.

1.9. Kérdések

Miért kell a mérni kívánt radioizotóppal azonos sugárforrással kalibrálni a műszert?

Mivel a mérőeszközök különböző mértékben energiafüggők, pontosan csak a mérni kívánt izotóppal megegyező, ismert aktivitású pontforrással kapunk megfelelő eredményt.

Hogyan változik a pontforrások környezetében a dózisteljesítmény a távolság függvényében?

Az adott ^{226}Ra sugárforrás aktivitásának (A), illetve a távolság (d) ismeretében számoljuk ki az elméleti dózisteljesítmény (D) értékeket (a ^{226}Ra dózisállandója: $193,0 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1} / \text{GBq} \cdot \text{m}^{-2}$) az alábbi összefüggéssel:

$$\dot{D} = \frac{\dot{D}_K \times A}{d^2}$$

Miért mérünk a primer nyalábnál (számolt értéknél) nagyobb intenzitást a mérőeszközzel?
A műszer egyrészt a ^{226}Ra sugárforrásból származó primer nyalábot, a levegőben, és a talajon szóródott és így a detektorba jutó szórt fotonokat, illetve a légtérből, és a talajból származó háttérsugárzást méri (**2. ábra**).

2. Környezeti gammadózisteljesítmény mérése, sugárterhelés számítása

2.1. A mérés elve

A szabadban, illetve különböző helyiségekben mérjük a háttérsugárzástól származó gammadózisteljesítményt. Az ott töltött idő és az emberi szervezet árnyékolási tényezőit figyelembe véve számíthatjuk az éves sugárterhelést.

2.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

Közel állandó dózisteljesítményű területen alkalmazható a dózisteljesítményből származó dózisterhelés számítása. TENORM anyagok környezetében (beépítés esetén az épületekben) a világításlag többszöröse mérhető.

2.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

Mivel in situ mérések, külön mintaelőkészítés nincs. A méréseket 1 m magasságban kell végezni, mivel ez felel meg egy álló ember sugárvédelem szempontjából vett súlypontjának.

2.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

A mérés során nincs szükség vegyszerek, etalonok használatára.

2.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Automess 6150 AD-b környezeti dózisteljesítménymérő (**1. ábra**)

2.6. A mérés receptszerű leírása

Az on/off (bal felső) gomb egyszeri megnyomásával kapcsoljuk be az Automess 6150 AD-b (**1. ábra** – ZnS-al bevont plasztik szcintillációs kristállyal, hőfok és sötétáram kompenzációval ellátott, 25 keV-7 MeV közt energiafüggetlen, 5 nSv/óra érzékenységgű) környezeti szintű dózisteljesítmény mérőt. A készülék beállítása automatikus, kikapcsolása az on/off gomb gyors kétszeri megnyomásával történik.

A kalibrált dózisteljesítmény mérővel 1 m magasságban, a szabadban nagyobb terület esetén hálós szerkezetben (pl. 10 · 10 m), lakóépületekben helyiségenként 4-5 ponton, a falaktól minimum 1 m távolságban 3-3 párhuzamos mérést végzünk. Mérési idő 1 perc.

A gyakorlat során a szabadban füves és bitumenes területen, az épületen belül a BÜFÉ területén (étteremben), az intézeti könyvtárban (mint munkahelyen) illetve egyik irodában (mint lakószobában) végezzünk 4-4 ponton méréseket. (Építőanyagként TENORM anyagokat beépített épületekben az inhomogén dózistér miatt célszerű különböző magasságokban, pl. ágy, szék, is megmérni a dózisteljesítményt, mivel a lakásban nem jellemző az állandó álló helyzet.) A mérési és korrigált értékeket a **1. táblázatban** foglaljuk össze.

1. táblázat Dózisérték mérési táblázat:

Mérési hely	mérési pont	1. mérés	2. mérés	3. mérés	m. átlag	hely átlag
1. Füves terület	1					
	2					
	3					
	4					
2. Bitumenezett út, járda	1					
	2					
	3					
	4					
3. BÜFÉ (étterem)	1					
	2					
	3					
	4					
4. Könyvtár (munkahely)	1					
	2					
	3					
	4					
5. Iroda (lakószoba)	1					
	2					
	3					
	4					

2.7. Számítás

Határozza meg a mérésvezető által megadott korosztállyal (felnőtt és/vagy gyerek, illetve csecsemő) és ottartózkodási idővel, a mért illetve a népességgel súlyozott világtátlaggal a gamma sugárzástól származó éves sugárterhelést (effektív dózist).

$$E = t_1 \cdot D_1 \cdot K_{t/gy/cs} + t_2 \cdot D_2 \cdot K_{t/gy/cs} + t_3 \cdot D_3 \cdot K_{t/gy/cs} + t_4 \cdot D_4 \cdot K_{t/gy/cs} + t_5 \cdot D_5 \cdot K_{t/gy/cs}$$

Ahol:

$K_{t/gy/cs}$: a felnőttre (0,7), gyerekekre (0,8), vagy csecsemőre (0,9) vonatkozó konverziós tényező,

t: a különböző mérési helyen (1. füves terület, 2. bitumenezett felület, 3. BÜFÉ, 4. könyvtár, 5. iroda) töltött idő,

D: a különböző mérési helyen (1. füves terület, 2. bitumenezett felület, 3. BÜFÉ, 4. könyvtár, 5. iroda) mért, majd a kalibrációs grafikonról leolvasott levegőben elnyelt dózisteljesítmény, illetve a szabadban és épületben mért világtátlag.

Hasonlítsuk össze a világtátlaggal kapott értéket az adott helyeken mért értékekből számolt effektív dózissal. (A népességgel súlyozott világtátlag szabadban $59 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ épületben $84 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$).

2.8. Kimutatási határ meghatározása

A dózisteljesítmény mérése során a kimutatási határ meghatározása nem releváns.

2.9. Kérdések

Mekkora a dózisteljesítmény világátlag szabadban, épületben?

A népességgel súlyozott világátlag szabadban $59 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ épületben $84 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$

Miért kell az emberi szervezet árnyékoló hatásával számolni?

Az emberi test önmaga is elnyeli a sugárzást és egyes szervei sugárárnyékban vannak. Elsősorban az árnyékolás miatt az ember effektív sugárterhelése átlagosan 20-30 %-kal kisebb, mint a levegőben mért érték. Az árnyékolás mértéke (konverziós tényező) függ a gamma fotonok energiájától, valamint az egyes szervek nagyságától, így korfüggő.

3. Az építőanyagok radionuklid koncentrációjának mérése, sugárvédelmi minősítése

3.1. A mérés elve

Szabadban, illetve épületben a gammadózisteljesítményt a környező anyagok ^{226}Ra , ^{232}Th és ^{40}K koncentrációja határozza meg. Gamma-spektrometriai módszerrel meghatározható az építőanyagok radionuklid koncentrációja. Ezek, illetve az EU iránymutatása alapján meghatározható, hogy egy anyag felhasználható-e az építkezéseken.

Az építőanyagok gamma-sugárzásától származó sugárterhelést (évi 7000 órás benntartózkodást feltételezve) 0,3-1 mSv/év értékben javasolják korlátozni. Ezt az értéket a szabadban való tartózkodáshoz viszonyított többlet dózisként határozták meg. Ezek alapján a **2. táblázatban** szereplő adatokat kell figyelembe venni.

2. táblázat Dóziskorlátok

Építőanyag	Dóziskorlát (mSv/év)	
	0,3	1
Nagy mennyiségben használt anyagok (beton, tégl, stb.)	$I \leq 0,5$	$I \leq 1$
Felületi vagy kis mennyiségben használt anyagok (cserép, csempe stb.)	$I \leq 2$	$I \leq 6$

3.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

Építőanyagok, ipari melléktermékek építőipari alkalmazhatóságának minősítése sugárvédelmi szempontból.

Hibát okozhat jelentősen eltérő sűrűségű, mátrixú minták mérése. Az egyensúly beállításához a mérés előtt kb. 30 napig légmentesen le kell zárni a mintát.

3.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

A homogén mintavétel általános szabályai itt is érvényesek. Amennyiben szükséges a mintát 0,5 cm átmérő alá kell őrölni. A mintát szárítószekrényben 105 °C-on súlyállandóságig szárítjuk, majd törőmozsárban homogenizáljuk. Ezt követően Marinelli geometriájú alumínium mintatartóba tesszük (**5. ábra**), oly módon, hogy a mintatartó belsejét műanyag fóliával kibéleljük, majd tömegét táramérlegre helyezve mérjük üresen és telerakva is.

Az edény radon-záróságának érdekében teflonszalaggal körültekerjük a menetes részét. A műanyag fóliát összehajtogatjuk, hogy a mintatartó felső részét se szennyezzük el, majd a fedelet vigyázva a menetek sérülékenysége, rátekerjük, majd szigetelő szalaggal körbetekerjük.

A mintatartóra fel kell tüntetni a következő adatokat: minta jele/neve; nettó tömege; lezárás időpontja. A szekuláris egyensúly beállításához a mintát 1 hónapig lezárva tároljuk.



5. ábra Alumínium Marinelli geometriájú mintatartó

3.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

A mérés során az analizátor energiakalibrációját ^{241}Am , ^{137}Cs és ^{60}Co OMH etalonokkal (6. ábra), a hatásfok kalibrációját körmérésben összemért vörössalak, vörösiszap vagy balatoni iszap etalonokkal végezzük.



6. ábra OMH etalonok

3.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Félvezető detektoros spektrométer rendszer (7. ábra):

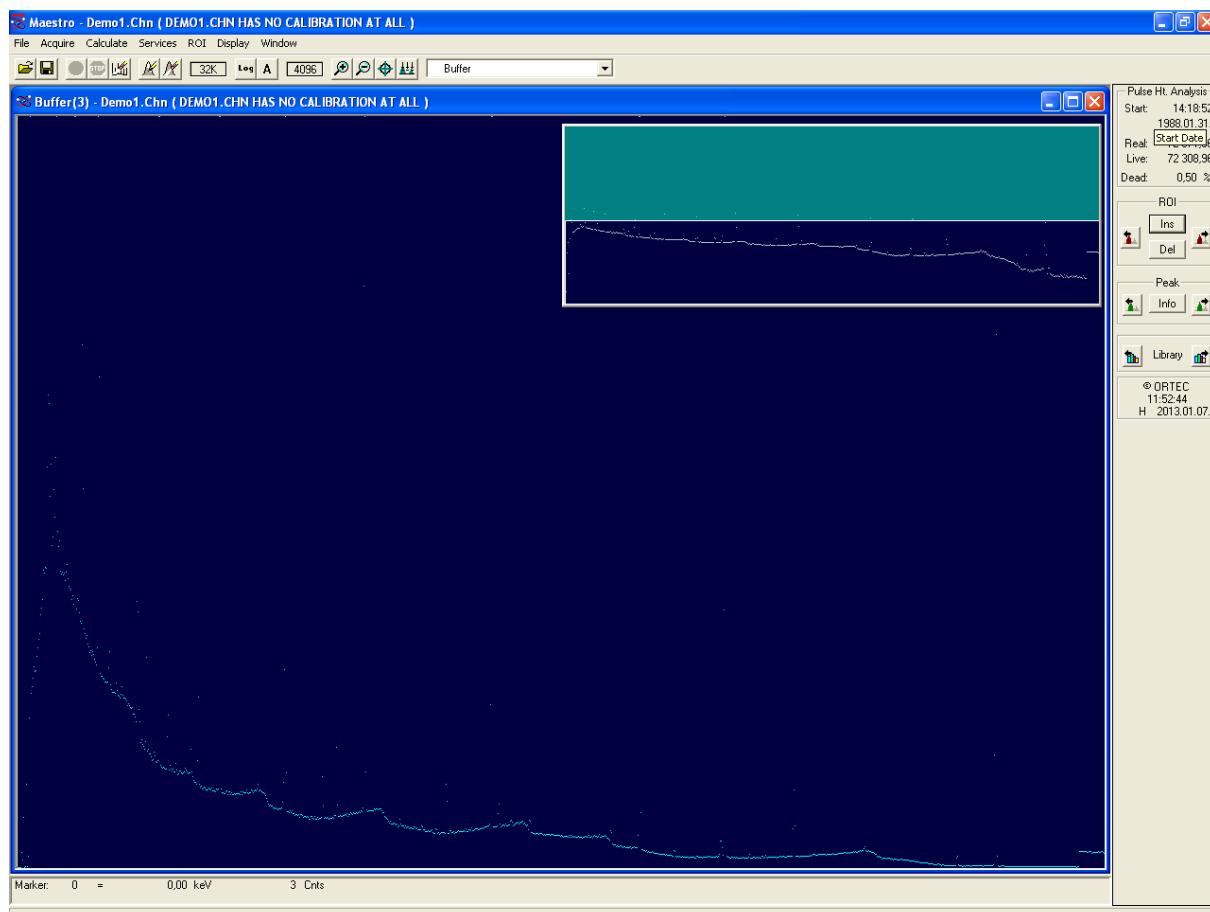
Ortec GMX40-76 félvezető detektor, 10 cm vastag ólomtorony, PCA ME sokcsatornás analizátor vagy analizátor, számítógép, kiértékelő szoftver.



7. ábra A félvezető detektoros gamma-spektrometriás mérőrendszer

3.6. A mérés receptszerű leírása

Egy hónap elteltével a mintát a félvezető detektoros gamma-spektrométer rendszer ólomtornyába helyezzük. A NIM analízátoron és/vagy a számítógép kezelő szoftverén beállítjuk a mérési paramétereket. Mérési idő a minta jellegétől függően 40-80000 s élőidő. A megfelelő energiáknál (**3. táblázat**) a csúcsterületek kijelölésével meghatározzuk az egyes energiákhoz tartozó nettó impulzusszámot (**8. ábra**)



8. ábra Gamma-spektrum képe a szoftveren

A mintát, a korábban felvett etalon, valamint a háttér spektrum figyelembevételével értékeljük ki.

3. táblázat A meghatározandó nuklidok adatai

Meghatározandó nuklid	Mért elem	gamma-energia keV	gamma-gyakoriság %
^{226}Ra	^{214}Pb	295,21	18,7
	^{214}Bi	609,32	45
^{40}K	^{40}K	1460,83	10,67
^{232}Th	^{228}Ac	911,07	27,8
	^{208}Tl	2614,6	99,83

3.7. Számítás

Radionuklid-koncentráció meghatározása

A kiértékelés relatív módszerrel történik, így a megfelelő csúcskijelölést az etalon és háttér esetén is elvégezzük. A minta, illetve az etalon azonos csúcsához tartozó értékeiből levonjuk az azonos mérési időhöz tartozó háttér nettó értékeit.

A kapott beütésszámokat egységnyi tömegre vonatkoztatjuk. Az etalon aktivitáskoncentrációjának ismeretében kiszámítjuk a mintában található fontosabb radioizotópok koncentrációját.

Így tehát a minta aktivitás koncentrációját a következő módon számítható:

$$A_m = \frac{I_m}{I_{\text{etalon}}} \times A_{\text{etalon}}$$

Ahol:

A_m : a mintában az adott izotóp aktivitás koncentrációja ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)

I_{etalon} : az etalonban az adott izotóptól származó, tömegegységre vonatkozó, háttérrel korrigált impulzusszám (cps; cpm)

I_m : a mintában az adott izotóptól származó, tömegegységre vonatkozó, háttérrel korrigált impulzusszám (cps; cpm)

A_{etalon} : az etalonban az adott izotóp aktivitás koncentrációja ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)

A ^{214}Pb és a ^{214}Bi aktivitáskoncentrációjának átlagolásával meghatározzuk a ^{226}Ra aktivitáskoncentrációját. Hasonló módon a ^{232}Th koncentrációját a ^{228}Ac és a ^{208}Tl számolt aktivitáskoncentrációjának átlagolásával kapjuk. A ^{40}K esetén egyszerű aránypárral adódik az aktivitáskoncentráció.

Építőanyag minősítése

A vizsgált építőanyag radionuklid koncentrációjának ismeretében számítsuk ki az I index értékét az alábbi összefüggéssel:

$$I = \frac{C_{\text{Ra-226}}}{300} + \frac{C_{\text{Th-232}}}{200} + \frac{C_{\text{K-40}}}{3000} \leq 1$$

ahol a C_{Ra} , C_{Th} , C_{K} az építőanyagokban mért ^{226}Ra , ^{232}Th és ^{40}K aktivitás-koncentrációja (Bq/kg egységben).

Ezen eredmények alapján az EU irányelvek figyelembevételével minősíteni kell a vizsgált építőanyagot.

3.8. Kimutatási határ meghatározása

A detektálási határ megadására a gyakorlatban az ún. Currie-limit (L_D) szolgál:

$$L_D = \frac{2,71 + 3,29 \cdot \sqrt{H}}{t_m \cdot \varepsilon \cdot k_\gamma},$$

ahol

L_D : a Currie-limit (Bq)

H : az adott energiánál a valódi háttér (impulzus)

t_m : az adott minta mérési időtartama (s)

ε : az adott energián, az adott mérési geometriában a teljesenergia-csúcs hatásfok

k_γ : az adott energiájú gamma-vonal gyakorisága

Az aktivitáskoncentrációra a detektálási határhoz az egyenlet nevezőjébe beírandó még a minta tömege is.

Hibaszámítás

A mérések statisztikus hibáját a következő képletek alapján számítjuk:

Abszolút hiba az etalon mérésekor:

$$\sigma_{et} = \sqrt{\frac{I_{et} + I_h}{t_{et}} + \frac{I_h}{t_h}}$$

Abszolút hiba a minta mérésekor:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{I_m + I_h}{t_m} + \frac{I_h}{t_h}}$$

ahol

I_{et} és I_m : az etalon, illetve a minta háttérrel korrigált, egységnyi időre és tömegre vonatkoztatott impulzusszáma az adott fotocsúcs esetén

I_h : a háttér egységnyi időre vonatkoztatott értéke

t : a mérési idő (háttér, etalon, minta)

3.9. Kérdések

Melyik természetes eredetű radionuklidok a meghatározók a gammadózisteljesítmény szempontjából?

Szabadban, illetve épületben a gammadózisteljesítményt a környező anyagok ^{226}Ra , ^{232}Th és ^{40}K koncentrációja határozza meg.

Miért a ^{226}Ra a meghatározó a ^{238}U sorban a gammadózisteljesítmény szempontjából?

Radiológiai szempontból az urán sorban csak a ^{226}Ra -tól kell figyelembe venni a bomlási sort, mivel csak ettől kezdve bocsátanak ki gamma fotonokat, ezért gyakran a ^{226}Ra koncentrációját szabályozzák az urán helyett.

Miért kell 30 napig lezárni a mintát a gamma-spektrometriai mérés előtt?

A ^{214}Pb és a ^{214}Bi aktivitáskoncentrációjának átlagolásával meghatározzuk a ^{226}Ra aktivitáskoncentrációját. A ^{226}Ra és leányelemei közötti szekuláris egyensúly beállításához a mintát 1 hónapig lezárva tároljuk.

Milyen izotópokból határozzák meg az építőanyagok minősítési indexét?

A vizsgált építőanyag radionuklid koncentrációjának ismeretében számítsuk ki az I index értékét az alábbi összefüggéssel:

$$I = \frac{C_{\text{Ra}-226}}{300} + \frac{C_{\text{Th}-232}}{200} + \frac{C_{\text{K}-40}}{3000} \leq 1$$

ahol a C_{Ra} , C_{Th} , C_{K} az építőanyagokban mért ^{226}Ra , ^{232}Th és ^{40}K aktivitás-koncentrációja (Bq/kg egységben).

4. Légtéri radonkoncentráció (^{222}Rn) mérése nyomdetektorral, sugárvédelmi minősítés

4.1. A mérés elve

A szilárdtest nyomdetektoros radonkoncentráció mérés elve az, hogy a nyomdetektort egy, csak a radont áteresztő mérőcellába zárják, majd a radon és leányelemei bomlása során keletkező alfa részecske a nyomdetektorba csapódva szerkezeti sérülést okoz. Expozíció után a nyomdetektorokat tömény lúgban maratják. Így a nyomok mikroszkopikusan láthatóvá válnak. A nyomsűrűség arányos a légtér átlagos radonkoncentrációjával, így a nyomdetektor kalibrálásával kiértékelhető.

4.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

A mérési módszer alkalmas lakóhelyi és munkahelyi (föld alatti) légterek átlagos radon aktivitás koncentrációjának meghatározására.

4.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés elve

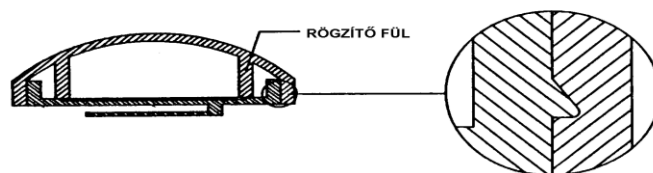
Mivel in situ mérés folyik, nincs mintavétel. A nyomdetektorok a mérni kívánt térbe kerülnek kihelyezésre.

4.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

TASTRACT nyomdetektor
96 %-os etil alkohol tisztításhoz
20m%-os NaOH oldat a maratáshoz

4.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

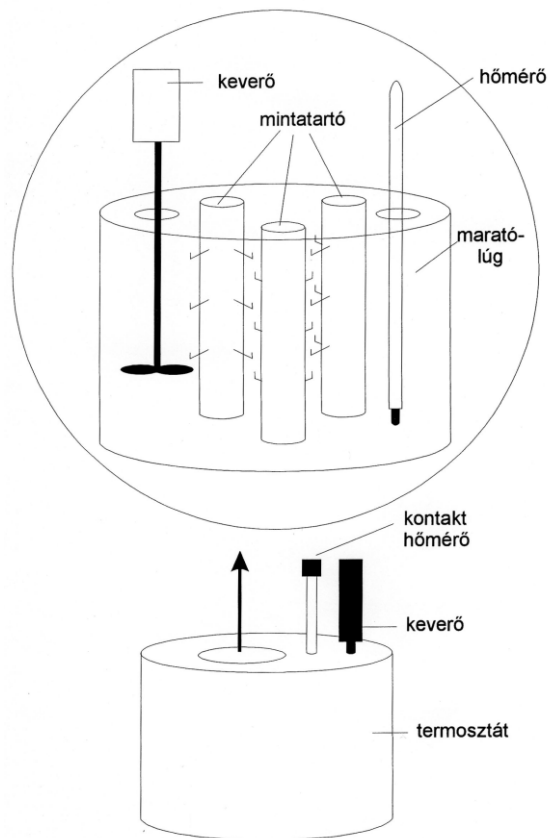
NRPB-160 típusú tok (9. ábra és 10. ábra), 1mm Ø fúró, blue-tech ragasztó, radonzáró fólia a szállításhoz, maratórendszer a nyomok előhívásához, csipesz, ragasztószalag, zárható tasak; maratókészülék (11. ábra)
nyomdetektor kiértékeléséhez motorvezérelt VIRGINIA képanalizáló rendszer (12. ábra)



9. ábra Az NRPB diffúziós kamra keresztmetszete



10. ábra Az NRPB diffúziós kamra képe



11. ábra A maratókészülék



12. ábra Kiértékelő berendezés: kamera, a motorvezérelt optikai mikroszkóp és az ehhez csatlakoztatott számítógép

4.6. A mérés receptszerű leírása

A maratókészülék kialakítása miatt a 10x10, vagy 10x20 mm-es detektor egyik sarkába egy körülbelül 1 mm átmérőjű lyukat kell fúrni. (Ennek segítségével akasztjuk fel az expozíciót követően a maratóállványra.) A detektorokat a kitisztított NRPB-160 típusú (kb. 16 cm³ térfogatú) kamrába Blue-tech ragasztóval rögzítjük. Ezt követően történik a kihelyezés. 1-3 hónapos expozíciót követően a radonkamrárt szétszedjük, a nyomdetektorokat 6 M-os NaOH oldatban 90 °C-on három órán át maratjuk, ezt követően leöblítve szárítjuk majd meghatározzuk a nyomsűrűséget.

A kiértékelő berendezés három alapvető részből, a digitális kamerából, a motorvezérelt optikai mikroszkópból és az ehhez csatlakoztatott számítógépből és monitorból áll. A kiértékelést a menüvezérelt Virginia 99 szoftverrel végezzük.

A kiértékeléshez exponálatlan (hátér) és ismert ideig ismert aktivitáskoncentrációjú radontérbe kihelyezett (kalibráló) detektorokkal is elvégezzük a maratást és a kiértékelést.

4.7. Számítás

A kiértékelés után a kapott nyomsűrűség értékéből az expozíció alatti átlagos radonaktivitás koncentráció meghatározható. A számolás menetét egy példán keresztül tekintsük át.

A nyomértékek arra a felületegységre vonatkoznak, amelyet a mikroszkóp egy mérés alatt átvizsgál. Egy hónapra kitett detektor 5 pontján végezett kiértékelés során átlag 6,1 nyom adódott felületegységenként. A háttér detektoron a nyomsűrűség 1,5 nyom. Így a nettó nyomsűrűség 4,6 nyom/vizsgált felületegység.

Ebből az értékből a radonkoncentráció kiszámítása az átszámítási tényező (ÁT) ismeretében, amit a kalibráció során határozzunk meg.

(Átszámítási tényező: pl. 8 napos expozíció, 14754 Bq/m³ átlagos radonkoncentráció, 83,25 átlagos nyom/felületegység (háttérrel korrigálva 81,75) → 1 nyom 180,4 Bq/m³-es értéket jelent 8 napos expozíciónál. 30 napra kihelyezett nyomdetektor esetén ez 48,1 Bq/m³)

Az átszámítási tényező értékét befolyásolja a detektoranyag tulajdonságainak alapvető megváltozása, ezért minimum félévente, illetve új detektor esetén kötelező kalibrációt végezni. Tovább folytatva a számolást:

$$c_{Rn} = 4,6 \text{ nyom} \cdot 48,1 \text{ Bq/m}^3 = 221 \text{ Bq/m}^3.$$

4.8. Kimutatási határ meghatározása

A kimutatási határ kiszámítása a háttérként használt detektor adatainak használatával történik. „n” megszámolt nyom esetén a 10%-os standard deviáció eléréséhez legkevesebb 100 nyom megszámolása szükséges. Minden detektor esetén a nyomszámlálást addig végezzük, hogy a standard deviáció ne haladja meg a 10%-ot. Pontosabb mérések szükségessége esetén 200, illetve 400 nyom megszámolásáig végezzük a méréseket.

4.9. 9. Kérdések

Alkalmas-e a nyomdetektor a radonkoncentráció dinamikus változásának nyomon követésére? A mérési módszer alkalmas lakóhelyi és munkahelyi (föld alatti) légterek **átlagos** radon aktivitás koncentrációjának meghatározására.

Érzékeny-e a nyomdetektor a gamma-sugárzásra?

A nyomdetektort egy, csak a radont áteresztő mérőcellába zárják, majd a radon és leányelemei bomlása során keletkező alfa részecske a nyomdetektorba csapódva szerkezeti sérülést okoz.

Milyen anyaggal kell maratni a nyomdetektorokat?

Expozíció után a nyomdetektorokat tömény lúgban maratják. Így a nyomok mikroszkopikusan láthatóvá válnak.

5. Radon leánytermékek koncentrációjának mérése, egyensúlyi faktor meghatározása

5.1. A mérés elve

A radon okozta sugárterhelést gyakorlatilag a radon leánytermékei okozzák. A tényleges sugárterhelés becsléséhez a leánytermékek koncentrációját félvezető detektoros alfa-spektrométerrel kell meghatározni. A radon és leányelemek koncentrációjából meghatározható az egyensúlyi faktor.

5.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

A mérési módszer alkalmas lakóhelyi és munkahelyi (föld alatti) légterek radon és radon leánytermékek aktivitás koncentrációjának meghatározására, amiből az egyensúlyi faktor, illetve a tényleges sugárterhelés becsülhető.

5.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés elve

In situ mérést végzünk. A kiválasztott helyiségbe, légtérbe behelyezzük a radonmonitort és a radon leánytermék mérőt. Mintavételes módszernél egy órán át végezzük a mérést, de célszerűbb hosszabb idejű, több órás vagy napos folyamatos méréseket végezni.

5.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

Szűrőpapír: 0,8 μm -es, 25 mm-es átmérőjű (Millipore filter javasolt)

5.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Pylon WLx monitor (13. ábra)

Alphaquard PQ2000 radonmonitor, diffúziós üzemmódban (14. ábra)



13. ábra Pylon WLx monitor



14. ábra Alphaguard PQ2000 radonmonitor

5.6. A mérés receptszerű leírása

Az Alphaquard PQ2000 radonmérőt diffúziós üzemmódban működtetjük. Mérési időnek 10 percet állítunk be.

A leánytermékek mérésénél Pylon WLx monitort használunk. A szűrőt a mérés indítása előtt kicseréljük. A menüt folyamatos üzemmódba, 1 órás mérési időre kapcsoljuk, majd elindítjuk a mérést. A mintavétel folyamatosan zajlik szivattyú segítségével, 0,5 dm³/perc térfogatárammal. A készülék így a radon leánytermékek koncentrációjára utaló „working level” értékek órás átlagát adja meg. Néhány óra elteltével az adatokat kiolvassuk.

5.7. Számítás

A Pylon WLx monitor műszer által mért munkaszint értékekből az alábbi összefüggéssel számítjuk az egyensúlyi ekvivalens koncentrációt:

$$EEC = WL * 3700$$

ahol:

EEC: egyensúlyi ekvivalens koncentráció (Bq/m³)

WL: munkaszint.

Az egyensúlyi ekvivalens koncentrációból számítjuk az egyensúlyi faktort:

$$F = EEC / C_{Rn}$$

ahol

F: egyensúlyi faktor

C_{Rn}: mért radonkoncentráció (Bq/m³)

5.8. Kimutatási határ meghatározása

Az Alphaguard PQ2000 radonmonitor a méréshez tartozó kimutatási határt megadja.

A PYLON WLx radonmonitor a méréshez tartozó kimutatási határt megadja.

5.9. Kérdések

Mit jelent az egyensúlyi faktor?

Mivel a levegőben átlagos körülmények között szinte soha nincs radioaktív egyensúly a radon és bomlástermékei között, definiáljuk a radon bomlástermékek levegőbeli koncentrációját jellemző f egyensúlyi faktort:

$$f = Rn_EEC / CRn ,$$

ami azt fejezi ki, hogy a bomlástermékek aktivitáskoncentrációja hányszorosa az anyaelem ^{222}Rn aktivitáskoncentrációjának

Mi az EEC?

Egyensúlyi ekvivalens koncentráció:

$$EEC = WL * 3700$$

ahol:

EEC: egyensúlyi ekvivalens koncentráció (Bq/m^3)

WL: munkaszint.

Mi okozza ténylegesen a radontól származó sugárterhelést?

A radon okozta sugárterhelést gyakorlatilag a radon leánytermékei okozzák.

6. Talajgáz radonkoncentrációjának (^{222}Rn), a talaj permeabilitásának in situ mérése, sugárvédelmi minősítés

6.1. A mérés elve

A talajgáz radon-koncentrációjának mérésének legelterjedtebb módszerénél 80-100 cm mélységből veszünk mintát. A talajgáz a mérőműszerhez csatlakoztatott szivattyú segítségével jut be a radonmonitor mérőcellájába, ahol detektálásra kerül a gáz radonkoncentrációja.

A radonkoncentráció vizsgálati hálójának sűrűségét a feladat típusa határozza meg. (Építési területek előzetes minősítésénél elegendő a 20×20 méteres háló. A részletes vizsgálat egyedi építkezéseknél kb. 15 - 20 mérési pontot igényel 100 m^2 -ként.)

A talaj permeabilitása, azaz a levegőáteresztő képessége meghatározható a talajból egységnyi idő alatt kiszívható talajgáz alapján.

6.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

A pórustér radonkoncentrációja a rádiumkoncentrációtól, az emanációtól, a kőzet szerkezetétől (sűrűség, porozitás, stb.), nedvességtartalmától, időjárási viszonyoktól stb. függ. A pórustérbe kijutott radon a továbbiakban diffúzió és konvekció által mozoghat. Így a fenti paraméterek extrém változása jelentősen befolyásolhatja a mért értéket.

A talaj permeabilitása is jelentősen függ a nedvességtartalomtól, esetleges fagytól stb., így extrém időjárási körülmények között nem célszerű a méréseket elvégezni.

A radonkoncentráció és permeabilitás adatok ismeretében az épületek magas radonkoncentrációjának elkerülése céljából még építkezés előtt meghatározhatjuk az esetlegesen szükséges építéstechnológiai előírásokat.

Alacsony kockáztnál semmilyen beavatkozás nem indokolt. Közepesnél már célszerű bizonyos építéstechnológiai elveket, megoldásokat alkalmazni. Magas kockázati kategóriában kötelező a megfelelő előzetes beavatkozás (fóliázás, alácsövezés, altalaj eltávolítása, stb.).

6.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

Mivel in situ mérések, külön mintaelőkészítés nincs. A kijelölt helyen a mintavevő csövet (belső átmérője 8 mm, falvastagsága 2 mm, hossza 105 cm) 80 cm mélységbe leverjük, amin keresztül vesszük a mintát.

A permeabilitás mérés ugyan ezen cső felhasználásával történik.

6.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

A mérés során nincs szükség vegyszerek, etalonok használatára.

6.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

A mérés során Alphaguard PQ2000 radonmonitort, AlphaPUMP szivattyút, RADON-JOK permeabilitásmérőt, mintavevő csövet (és tartozékait: acélkúp, peremvédő, távtartó, kiütő pálca, kalapács) használunk (15. ábra és 16. ábra)



15. ábra Az AlphaGuard és a mérés tartozékai



16. ábra A RADON-JOK permeabilitás mérő

6.6. A mérés receptszerű leírása

A talajgáz radon (^{222}Rn) koncentrációjának meghatározása

Az általunk használt mintavevő csövet (átmérője 12 mm, hossza 1,05 m) 80 cm mélyen az adott helyen leütjük úgy, hogy az aljába előzőleg egy 45 mm hosszú acélkúpot, a cső tetejére pedig a peremvédő idomot helyezünk. A peremvédő eltávolítása után tegyük a csőbe a kiütő pálcát, illesszük a cső tetejére a távtartót és üssük ki a cső aljából a kúpot. (Így az aktív tér 50 mm magas és 12 mm átmérőjű lesz.)

A talajgáz radonkoncentrációjának mérését Alphaguard PQ2000 radonmonitorral végezzük. A műszert átáramlásos, azaz „FLOW” üzemmódban használjuk. A műszer oldalán levő csomakhoz légszűrővel ellátva illesztjük a gumicsövet, amelynek másik vége a talajba levert mintavételi

csőre csatlakozik. A műszert és a szivattyút oly módon csatlakoztatjuk egymáshoz, hogy a radonmérő rácsos védőjénél levő csonkra illesztjük a pumpa „in” jelzésű bemenetéhez csatlakoztatott csövet. A pumpa out kimenete a szabadba engedi ki a műszeren áthaladt légáramot. A műszer menüében a „CHANGE” gomb segítségével beállítjuk a „FLOW” üzemmódot, valamint az 1 perces mintavételi időt. A beállítást követően a műszer újraindul és kijelzi azt az időtartamot, amely szükséges neki a mérés megkezdéséhez. A pumpát elindítjuk. A mintavétel során 1 percenként kijelzi a talajból kiszívott levegőminta ^{222}Rn aktivitáskoncentrációját, melyet folyamatosan figyelni és rögzíteni kell. Az idő függvényében egy darabig növekedés tapasztalható, majd egy maximumértéket követve csökkenés lesz megfigyelhető. A talajgáz ^{222}Rn aktivitáskoncentrációjának a maximumérték fog megfelelni.

Talaj permeabilitásának in situ mérése

Állítsuk fel és vízszintezzük a RADON-JOK permeabilitásmérőt. Nyissuk ki a mérőeszköz tetején található csapot, majd nyomjuk össze a 2000 cm³-es gumiharmonikát és ismét zárjuk el a csapot. Ezután helyezzünk az aljára a mérősúlyt. Ez 2,16 kPa negatív nyomást eredményez. A talajgáz mérését követően gumicsővel kössük össze a permeabilitás mérő csappal ellátott csonkját a talajgáz mérésénél használt csővel. A csap nyitása után a levegő a talajból a gumihengerbe áramlik. Stopperral mérjük meg a harang aljára helyezett súly (súlyok) süllyedését a megadott két jel között (hangjelzés jelzi a kezdeti és végső időt). A két jel közti idő alapján a grafikonról meghatározzuk a talaj permeabilitását.

6.7. Számítás

A radonmérő a talajgáz radonkoncentrációját Bq·m⁻³ (kBq·m⁻³) egységben közvetlenül megadja.

A permeabilitás mérés elve az, hogy egy homogén izotóp normál körülmények közt lévő talaj esetén egy csőben feláramló levegő mennyisége a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$Q = F \cdot \frac{k}{\mu} \cdot \rho$$

ahol:

Q : a levegőáram a csőben (m³·s⁻¹)

F : a geometriára jellemző cső tényező (m)

k : a talaj permeabilitása (m²)

μ : a levegő dinamikus viszkozitása (Pa·s)

ρ : a felszín és a cső vége közötti nyomáskülönbség (Pa)

A cső tényezőt az alábbi képlettel számoljuk:

$$F = \frac{2\pi \cdot l}{\ln\left(\frac{2l}{d} \sqrt{\frac{4D-1}{4D+1}}\right)}$$

ahol:

l : a cső fejénél kialakított aktív tér (henger) magassága (m)

d : az aktív tér átmérője (m)

D : a felszín alatti mélység (m)

általában $l \gg d$.

Ezek alapján a feláramló gázáramot mérve meghatározhatjuk a talaj permeabilitását.

6.8. Kimutatási határ meghatározása

Az Alphaguard PQ2000 radonmonitor a méréshez tartozó kimutatási határt megadja.
A permeabilitás mérése során a kimutatási határ meghatározása nem releváns.

6.9. Kérdések

Mi befolyásolja a talajgáz radonkoncentrációját?

A pórustér radonkoncentrációja a rádiumkoncentrációtól, az emanációtól, a kőzet szerkezetétől (sűrűség, porozitás, stb.), nedvességtartalmától, időjárási viszonyoktól stb. függ

Milyen egységben adjuk meg a talajgáz radonkoncentrációját?

A radonmérő a talajgáz radonkoncentrációját $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ($\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$) egységben közvetlenül megadja.

7. Talajok in situ radonexhalációjának meghatározása, minősítése

7.1. A mérés elve

Exhaláción az egységnyi felületen egységnyi idő alatt kiáramló radon mennyiségét értjük. Mértékegysége $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. A mérés elve, hogy a vizsgált területre egy ismert geometriájú edényt helyezve mérjük az idő függvényében az edényben lévő levegő radonkoncentrációját. A gradiensből meghatározzuk a kiáramlás mértékét

7.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

A radontól származó lakossági sugárterhelés csökkentése céljából egyre nagyobb szerepet kap az építkezésre kijelölt területek előzetes radiometriai vizsgálata. Ide tartozik radonkiáramlás mértékének meghatározása is.

A talajgáz radon exhalációját nagymértékben befolyásolják a meteorológiai tényezők (hőmérséklet, csapadék, légnyomás, szélsébség), a talajvíz a pórusfolyadékok áramlása, az árapályerők pumpáló hatása, a domborzati viszonyok, törésvonalak, stb.

7.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

In situ vizsgálat, mintavételre így nincs szükség. A vizsgálandó területen meghatározzuk az exhalációs edény helyét és a leírás alapján elvégezzük a mérést.

7.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

A mérés során nincs szükség vegyszerek, etalonok használatára.

7.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Alphaguard PQ2000 radonmonitor (ionizációs kamrával rendelkező, diffúziós üzemmódban, 10 perces mérési idővel beállított radon monitor)

vagy RADIM radonmonitor (félvezető detektoros, diffúziós üzemmódban, 30 perces mérési idővel beállított radon monitor, **17. ábra**).

Exhalációs kamra (ismert térfogatú, és ismert felületű, két csappal ellátott, alul nyitott edény, **18. ábra**).



17. ábra Radim Monitor



18. ábra Az exhalációs edény

7.6. A mérés receptszerű leírása

Adott területen a radonexhaláció meghatározása

Az Alphaguard 2000 radonmonitort diffúziós üzemmódnak megfelelően kell átszerelni (mérésvezető végzi) és be kell állítani 10 perces „DIFF” mérési üzemmódba.

Helyezzünk egy kb. 100 dm³-es, alul nyitott hordót a vizsgálandó területre. A hordó nyitott peremét a tömítés miatt néhány cm-re mélyítsük a talajba, a hordó alá helyezzünk be egy radonmérőt (melyen 10-30 perces mérési időt állítsunk be), majd a hordó körül tömörítsük a talajt.

A hordóhoz a csapokon keresztül csatlakoztassunk egy rugalmas pufferedényt (itt gumicsövet) ami meggátolja a hordó alatti, illetve a külső levegő közti nyomáskülönbség kialakulását. Két-három óra után a hordót eltávolítjuk, a mérési adatokat kiolvassuk, majd a radonkoncentráció változását az idő függvényében ábrázoljuk.

A radonkoncentráció kezdeti (lineáris szakasz) növekedés meredekségéből valamint a hordó adataiból (felülete és térfogata) kiszámoljuk az exhalációt.

7.7. Számítás

Az exhaláció számítása:

$$E = \frac{\Delta C \cdot V}{\Delta t \cdot F},$$

ahol:

E : a levegőáram a csőben (m³·s⁻¹)

ΔC : a Δt mérési idő alatt kialakuló radonkoncentráció-különbség a mérőedényben (Bq·m⁻³)

Δt : a ΔC kialakulásához szükséges idő (s)

V : a mérőedény térfogata (m³)

F : a mérőedény talajjal érintkező felülete (m²)

7.8. Kimutatási határ meghatározása

Az Alphaguard PQ2000 radonmonitor a méréshez tartozó kimutatási határt megadja. Exhaláció mérése során a kimutatási határ meghatározása nem releváns.

7.9. Kérdések

Mi az exhaláció fogalma, mértékegysége?

Exhaláción az egységnyi felületen egységnyi idő alatt kiáramló radon mennyiségét értjük. Mértékegysége Bq·m⁻²·s⁻¹.

Milyen tényezők befolyásolhatják a radonexhaláció mértékét?

A talajgáz radon exhalációját nagymértékben befolyásolják a meteorológiai tényezők (hőmérséklet, csapadék, légnyomás, szélsébség), a talajvíz a pórusfolyadékok áramlása, az árapályerők pumpáló hatása, a domborzati viszonyok, törésvonalak, stb.

8. Szemcsés anyagok (ipari melléktermékek) radonemanációjának vizsgálata

8.1. A mérés elve

A szemcsés vizsgálandó mintát egy üveg ampullába leforrasztjuk. Az ampullába bemért minta térfogata az ampulla összes térfogatának 1/3-át nem haladhatja meg. 30 napig állni hagyjuk, mivel ennyi idő kell, hogy 99%-nál nagyobb mértékben beálljon a szekuláris egyensúly. Az ampullában lévő radont Lucas cellába áthajtva mérjük a keletkezett radon aktivitását. A bemért minta ^{226}Ra -tartalmának ismeretében (melyet félvezető detektoros gamma-spektrometriai módszerrel határoztunk meg) kiszámoljuk az emanációs tényezőt.

8.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

Ipari melléktermékek, építőanyagok, ásványok, illetve különböző kezelések után ezen anyagok várható radonkibocsátásának meghatározására szolgál.

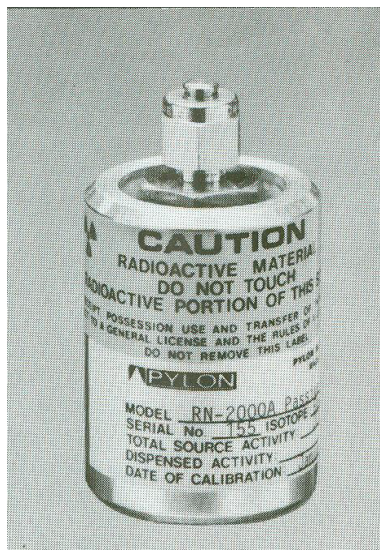
8.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

Amennyiben finom szemcsés az anyagunk közvetlenül használhatjuk, ellenkező esetben aprítani kell. Szemcseméret szerint osztályozva is vizsgálhatjuk az emanációt, mivel a szemcseméret is befolyásolhatja a mértékét.

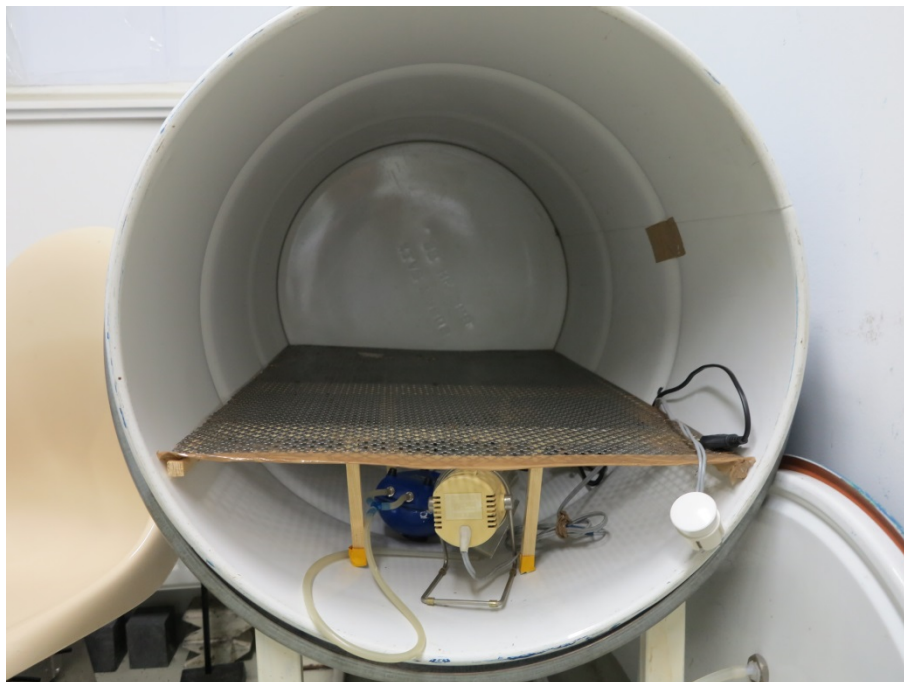
8.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

A mérés során nincs szükség vegyszerekre.

LUCAS-cella kalibrációhoz: PYLON modell 2000A jelű radon emanációs forrást (^{226}Ra aktivitása $105,7 \pm 0,4\%$ kBq, radon kibocsátása a fém edényben 100%, -20 és $+40$ °C, ill. 0-300 kPa között) használunk (19. ábra és 20. ábra).



19. ábra Kalibráló forrás



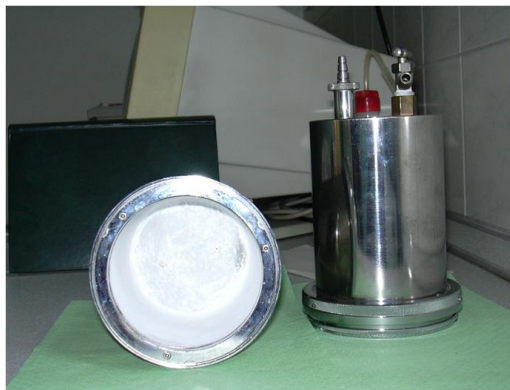
20. ábra Kalibráló edény

8.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Üvegampulla

1 literes Lucas-cella (21. ábra)

EMI fotoelektronsokszorozó, NP-420P típusú egysatornás analízátor (22. ábra)



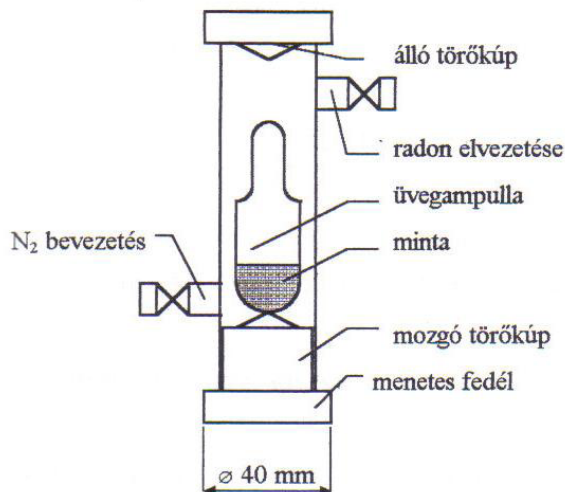
21. ábra Lucas cella



22. ábra Az egysatornás mérőrendszer

8.6. A mérés receptszerű leírása

Egy kb. 40-50 cm³-es üvegampullába mérjünk be 5-10 g vizsgálandó anyagot, majd forrasszuk le az ampullát. 30 napos várakozás után helyezzük a lezárt ampullát az ún. törőcellába (**23. ábra**). Egy rázó mozdulattal szétörjük az üveget, és a radont egy előzőleg kivákuozott, ismert háttérű Lucas cellába szívjuk át. A törőcellából szakaszosan, nitrogén árammal hajtsuk át a radont (**24. ábra**). A radon és bomlástermékei egyensúlyának beállása végett 3 órán át állni hagyjuk a Lucas cellát, majd egy fotoelektronszorzóhoz kapcsolva mérjük az intenzitást.



23. ábra A törőcella vázlata



24. ábra Az áthajtás

A cella behelyezése, illetve kivétele csak lekapcsolt nagyfeszültség mellett végezhető!
A mérési idő (az intenzitástól függően) 1000-2000 s.

8.7. Számítás

A keletkezett és légtérbe jutott radon aktivitása.

$$A_{^{222}\text{Rn}}(\text{Bq}) = \frac{C - H}{\eta \cdot K \cdot B}$$

ahol:

C: bruttó beütésszám 1 másodperc alatt (cps),

H: háttér intenzitás (cps),

η : a Lucas cella számlálási hatásfoka,

K: az áthajtási hatásfok (jelen elrendezésnél: 99,5%),

B: bomláskorrekciós faktor (az átszívítás és mérés közt eltelt idő alatti bomlás: $e^{-\lambda t}$).

A bemért tömeg és az aktivitáskoncentráció ismeretében meghatározzuk a bemért anyagban lévő ^{226}Ra aktivitását, és meghatározzuk az emanációs tényezőt.

$$E = \frac{A_{\text{Rn}-222}}{A_{\text{Ra}-226}} \cdot 100 \quad (\%)$$

8.8. Kimutatási határ meghatározása

A méréseknél a minimálisan detektálható beütésszám a következő egyenlet alapján számítható:

$$L_D = 2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{N_h}$$

ahol:

L_D : a minimálisan detektálható beütésszám (detection limit) (beütés)

N_h : a háttér beütésszám (beütés)

A kimutatási határ így definíciószerűen azt a koncentrációt jelenti, amely a legkisebb kimutatható beütésszámból számítható.

Amely az alábbi képlet alapján számítható ki:

$$KH_{^{222}\text{Rn}}(\text{Bq}) = \frac{2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{N_h}}{\eta \cdot K \cdot B}$$

ahol:

N_h : a háttér beütésszám (beütés)

η : a Lucas cella számlálási hatásfoka,

K: az áthajtási hatásfok (jelen elrendezésnél: 99,5%),

B: bomláskorrekciós faktor (az átszívítás és mérés közt eltelt idő alatti bomlás: $e^{-\lambda t}$).

8.9. Kérdések

Mi az emanáció fogalma, mértékegysége?

Egy közetből a pórusterbe kilépő és az abban összességében keletkező teljes radonmennyiség arányát nevezzük emanációs koefficiensnek, (η_{Rn}) és szokásosan % -ban adjuk meg.

Miért kell 30 napig lezárni az üvegampullát?

A leforrasztott üvegampullát 30 napig állni hagyjuk, mivel ennyi idő kell, hogy 99%-nál nagyobb mértékben beálljon a szekuláris egyensúly a rádium és leányeleme között.

9. Vízminták összes alfa és béta aktivitásának meghatározása

9.1. A mérés elve

A környezeti minták radiológiai minősítésénél a minták összes alfa béta aktivitáskoncentrációjának a mérése elterjedt módszer. Az összes alfa béta aktivitás meghatározása sok bizonytalansággal terhelt azonban a környezeti minták tájékoztató mérésére szinte az összes törvényi szabályozás előírja.

A mérés során a minta felületéről származó alfa részecskéket detektáljuk illetve a minta mélyebb rétegéből származó béta részecskéket. Az ionizáló sugárzást megfelelő alfa-béta szeparációval rendelkező mérőberendezéssel mérjük.

9.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

A mérés alkalmaz vízmintákból származó bepárlási maradék, porminták, hamuminták elemzésére. A mérést zavarhatja a nem megfelelő (érdes) minta felület kialakítása, a mintában elnyelt önadszorbeálódott sugárzás. Ezek kiküszöbölésére a mintával azonos sűrűségű hiteles referencia mintával kalibráljuk a berendezést.

9.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés elve

Adott térfogatú, a mintavételkor besavazott vízmintát szárazra párolunk, a bepárlási maradékot dörzsmozsárban porítjuk, majd 0,5 grammot analitikai mérlegen a mintatartó edénybe mérünk, majd néhány csepp alkoholban szuszpendáljuk, hogy az alkohol elpárolgása után a kialakuló felület homogén legyen. A mintát levegőn vagy infralámpa alatt megszáritjuk (25. ábra).



25. ábra Mintaelőkészítés

9.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

OMH hiteles Am-241 és Sr-90 forrás
96 %-os etil alkohol
Analitikai tisztaságú cc. HCl

9.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Porcelán tégely, porcelán dörzsmozsár, szárítószekrény/kerámia főzőlap, 4,5 cm átmérőjű nikkel, saválló acél, vagy alumínium mintatartó, analitikai mérleg, infra lámpa
A méréshez Gamma NDI 512 csatornás ZnS/béta pasztik, jelalak diszkriminációs detektort használunk

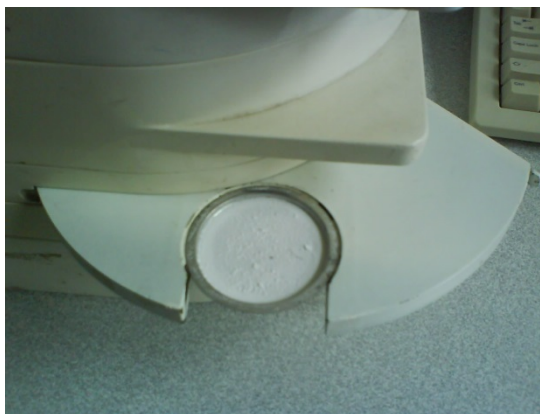
9.6. A mérés receptszerű leírása

Az előkészített (szuszpendált) légszáraz mintát betesszük az NDI detektor mintatartó ólomtoronyba (26. ábra és 27. ábra).

Az ólomtorony alulról harmadik téglája egy nyitható, kifordítható tálcával rendelkezik, melyben a mintatartó tálcák stabil és állandó pozíciójú elhelyezésére alkalmas mélyedés található.



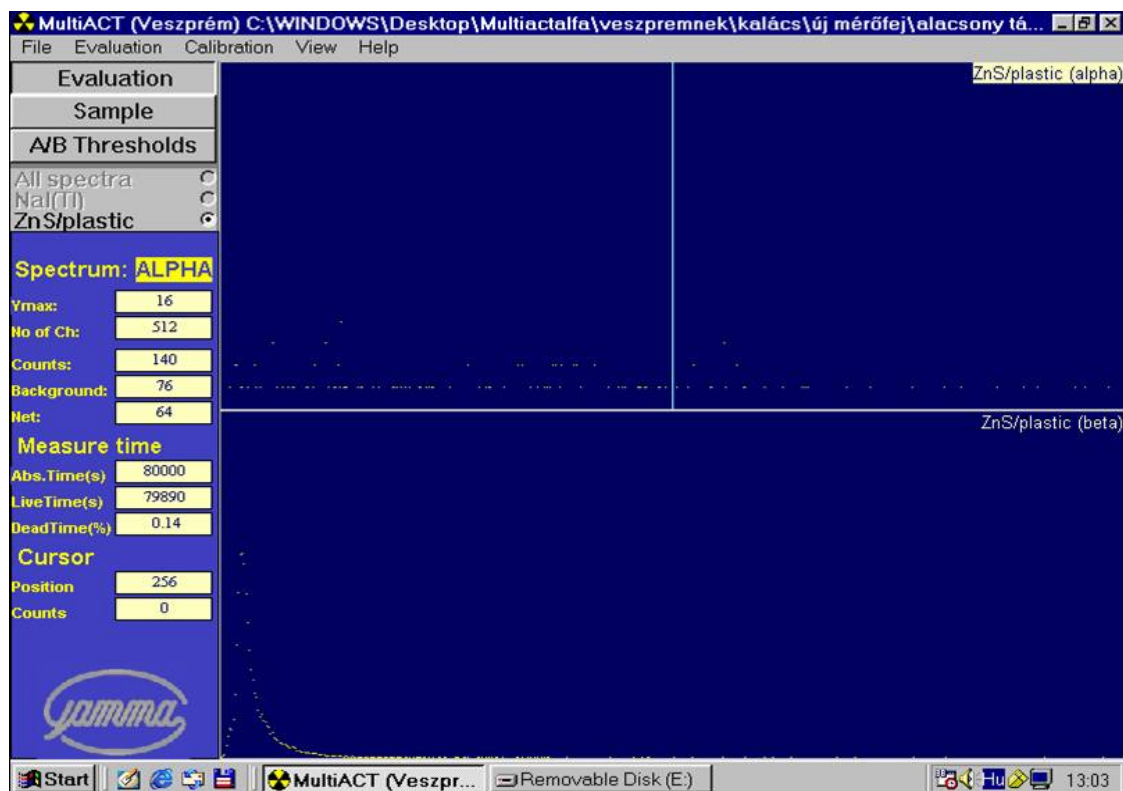
26. ábra A számítógéppel összekapcsolt NDI mérőrendszer



27. ábra Az ólomtorony kifordítható szelvénye a mintatartó tálcával

A detektorral történő mérés előtt a számítógépen elindítjuk a MultiAct szoftvert, melynek segítségével a detektort kezelhetjük.

A szoftver segítségével kiválasztjuk a SAMPLE menüpontot, majd a legördülő sávból a SET PRESET TIME opciót, ahol beállítjuk a mérési időt. A mérési idő beállítása után a menüsorból kiválasztjuk a DATA ACQUISITION menüpontot, majd annak legördülő sávjából a START opciót. Ezzel a mérés elindul, majd a beállított idő letelte után automatikusan leáll (28. ábra).



28. ábra Mintából begyűjtött beütések ábrázolása a MultiAct szoftverrel

9.7. Számítás

Számlálási határfok meghatározása

A detektor alfaszámlálási határfokát ismert aktivitású (OMH hiteles) Am-241, míg a béta számlálási határfokot Sr-90 forrással végezzük el. A mérési időt jelen esetben 30-60 s között állítjuk be.

$$\varepsilon_{\alpha/\beta} = \frac{I_{Am-241/Sr-90}}{E_{Am-241/Sr-90}} \times 100 \text{ [%]}$$

ahol:

$\varepsilon_{\alpha/\beta}$: α/β – számlálási határfok (%)

$I_{Am-241/Sr-90}$: Am-241/Sr-90 forrásból időegység alatt beérkező beütésszám

$E_{Am-241/Sr-90}$: Am-241/Sr-90 forrásból időegység alatt beérkező elméleti beütésszám
100% számlálási határfok esetén

A minta aktivitáskoncentrációjának megadása

A bemért bepárlási maradék összes alfa– illetve béta aktivitását a következő módon számolhatjuk ki:

$$A_{\alpha/\beta} = \frac{I_M - I_H}{I_{etalon} - I_H} \times A_{etalon[\alpha/\beta]}$$

ahol:

$A_{\alpha/\beta}$: a minta összes alfa/béta aktivitása (Bq)

I_{etalon} : etalontól származó tömeg egységre vonatkozó impulzusszám (cps; cpm)

I_M : a mintától származó tömeg egységre vonatkozó impulzusszám (cps; cpm)

I_H : a háttértől származó tömeg egységre vonatkozó impulzusszám (cps; cpm)

A_{etalon} : a preparátumtájkára bemért etalon α/β – aktivitása (Bq)

9.8. Kimutatási határ meghatározása

A méréseknél a minimálisan detektálható beütésszám a következő egyenlet alapján számítható:

$$L_D = 2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{N_h}$$

ahol:

L_D : a minimálisan detektálható beütésszám (detection limit) (beütés)

N_h : a háttér beütésszám (beütés)

A kimutatási határ így definíciószerűen azt a koncentrációt jelenti, amely a legkisebb kimutatható beütésszámból számítható.

Amely az alábbi képlet alapján számítható ki:

$$K.H. = \frac{2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{I_h}}{\varepsilon_{\alpha/\beta} \cdot t \cdot M} \cdot 100$$

ahol:

K.H.: kimutathatósági határ ($\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$)

M: felhasznált minta mennyisége (l)

$\varepsilon_{\alpha/\beta}$: számlálási hatásfok (%)

N_h : háttér a vizsgálandó energia tartományban (impulzus)

t: mérési idő (s)

9.9. Kérdések

Milyen radionukliddal kalibráljuk az alfa számlálót?

A detektor alfaszámlálási hatásfokát ismert aktivitású (OMH hiteles) Am-241 forrással végezzük el.

Milyen radionukliddal kalibráljuk a béta számlálót?

A detektor béta számlálási hatásfokát ismert aktivitású (OMH hiteles) Sr-90 forrással végezzük el.

Milyen információt ad az összes alfa/béta aktivitás?

Az összes alfa béta aktivitás meghatározása sok bizonytalansággal terhelt azonban a környezeti minták tájékoztató mérésére szinte az összes törvényi szabályozás előírja.

10. Vízminták radonkoncentrációjának (^{222}Rn) meghatározása, sugárvédelmi minősítése

10.1. A mérés elve

A mérés elve, hogy a vízben oldott radont levegő átbuborékolatásával egy kivákuumozott, belülről Zns(Ag) szcintillátorral bevont mérőcellába hajtjuk. A ^{222}Rn és rövid felezési idejű leányelemei közti egyensúly beállításához szükséges 3 órás várakozás után a cellát egy fotoelektronsokszorozóhoz kapcsoljuk és mérjük a beütésszámot. Az áthajtási és detektálási határfok ismeretében számolható a radonkoncentráció.

10.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

A lakossági sugárterhelés csökkentése érdekében a nemzetközi szervezetek ajánlásokat fogalmaztak meg az ivóvíz maximális radonkoncentrációjára vonatkozólag. Ezért vizsgálni és szabályozni kell a forrásvizek, ivóvizek radon koncentrációját.

A mérést zavarhatja a vízben esetlegesen lévő nagyobb széndioxid koncentráció, továbbá, hogy melegítés, rázkódás hatására eltávozik a radon egy része a vízből.

10.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés elve

A mérést a mintavétel helyén végezzük (lehetőleg). A pangó szakaszokban esetleg hosszabb ideig tartózkodó víz elkerülése végett 10 percig folyassuk a vízcsapból a vizet, majd óvatosan, az edény fala mellett csurgatva vegyünk 180 cm^3 mintát. Az óvatosságra a rázkódás hatására vízből távozó radon mennyiségének minimalizálása miatt van szükség.

10.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

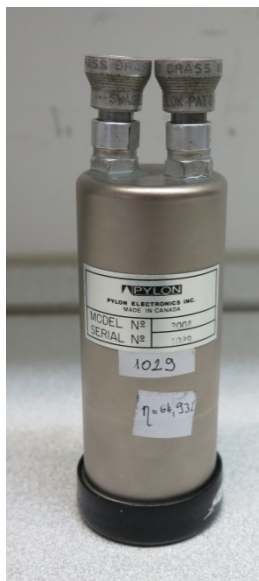
LUCAS-cella kalibrációhoz: PYLON modell 2000A jelű radon emanációs forrást (^{226}Ra aktivitása $105,7 \pm 0,4\%$ kBq, radon kibocsátása a fém edényben 100%, -20 és $+40\text{ }^\circ\text{C}$, ill. $0-300\text{ kPa}$ között) használunk. (19. ábra és 20. ábra)

10.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

WG-1001 típusú vákuumos víz-átbuborékolató rendszer, Pylon AB-5 radon monitor, a hozzá tartozó LUCAS-cella (29. ábra és 30. ábra), kalibráló kamra



29. ábra WG-1001 típusú vákuumos víz-átbuborékolató rendszer, Pylon AB-5 radon monitor



30. ábra Lucas cella

10.6. A mérés receptszerű leírása

Zárjuk le a kigázósító egységen a Bypass-szelepet a buborékolató fő-, illetve a finomszabályzó túszelepet. Illesszük egy olyan Lucas-cellát a berendezéshez, amelynek háttérét előzőleg 3*300 s méréssel meghatároztuk. A vákuumcsatlakozón keresztül a vákuumpumpával szívjuk ki a levegőt a Lucas cellából, a vákuum mértékét a műszerrel ellenőrizzük (27 skálárész).

Csapvíz vizsgálata esetén a pangó szakaszokban esetleg hosszabb ideig tartózkodó (így kisebb radonkoncentrációjú) víz okozta hibás mintavétel elkerülése végett 10 percig folyassuk a vízcsapból a vizet, majd óvatosan, a mérőhenger fala mellett kis sugárban csurgatva vegyünk 180 cm³ mintát, hogy minél kisebb mennyiségű radon távozzon el a vízből (**31. ábra**).



31. ábra Vízminta vétel

A mintavétel után a mérőhengerbe helyezük a kerámia átbuborékolató egységet, úgy hogy a gumidugóval lezárjuk a hengert és a szabad vezetékét az átbuborékolató gyorscsatlakozásba, a CaCl₂-os szárítócső csatlakozóját pedig a baloldali gyorscsatlakozóba illesztjük. Ekkor a rendszerben lévő levegő miatt rövid ideig megindul a vízen keresztül az átbuborékolás. Ennek befejeztével nyissuk ki a 3-as csapot, majd a 4-es túszeleppel annyi levegőt engedjük át a mérőhengeren, hogy a teljes átbuborékolatás kb 5 percig tartson. Vigyázzunk, mert a hirtelen nagy levegőáram magával ragadhat vizet ami a szárítóba, esetleg a Lucas cellába jut, és ennek tönkremenetelét jelenti. A levegőáram megszűntekor nyissuk ki a bypass szelepet, hogy a maradék nyomáskülönbség is kiegyenlítődjön. Három óra várakozás után, amikor a radon egyensúlyba került a rövid felezési idejű leánytermékeivel, a cellát a radonmonitorhoz kapcsoljuk és 300 s-ig három párhuzamos mérést végzünk. Az eredményeket átlagoljuk.

10.7. Számítás

A ²²²Rn-aktivitáskoncentrációjának meghatározása:

$$A_{\text{Rn-222}} = \frac{(B - H)}{F \cdot D \cdot S \cdot V \cdot 3}$$

ahol:

A_{Rn-222}: a ²²²Rn aktivitás koncentrációja Bq/l mértékegységben

B: bruttó intenzitás (cps)

H: az üres cella háttér intenzitása (cps)

F: a cella számlálási hatásfoka

D: a radon áthajtási hatásfoka

S: a három órás várakozás alatti radon bomlást figyelembe vevő tényező

V: a vizsgált minta térfogata (liter)

3: egyensúly esetén az egy radon bomlást kísérő alfa-részecskék száma

A víz fogyasztásából származó dózisterhelés az:

$$E = K \cdot G \cdot C \cdot \tau$$

összefüggéssel számolható, ahol:

E: a víz fogyasztásából származó lekötött effektív dózis (Sv),

K: ^{222}Rn lenyelési dóziskonverziós tényezője ($3,5 \cdot 10^{-9} \text{ SvBq}^{-1}$),

G: a víz fogyasztás értéke ($\text{dm}^3 \text{ nap}^{-1}$),

C: a víz ^{222}Rn aktivitáskoncentrációja (Bq dm^{-3}),

τ : a fogyasztás időtartama (nap).

10.8. Kimutatási határ meghatározása

A méréseknél a minimálisan detektálható beütésszám a következő egyenlet alapján számítható:

$$L_D = 2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{N_h}$$

ahol:

L_D : a minimálisan detektálható beütésszám (detection limit) (beütés)

N_h : a háttér beütésszám (beütés)

A kimutatási határ így definíciószerűen azt a koncentrációt jelenti, amely a legkisebb kimutatható beütésszámból számítható.

Amely az alábbi képlet alapján számítható ki:

$$K.H. = \frac{2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{I_h}}{\varepsilon_\alpha \cdot t \cdot M} \cdot 100$$

ahol:

K.H.: kimutathatósági határ (Bq L^{-1})

M: felhasznált minta mennyisége (l)

ε_α : számlálási hatásfok (%)

N_h : háttér a vizsgálandó energia tartományban (impulzus)

t: mérési idő (s)

10.9. Kérdések

Miért kell óvatosan folytatva venni a vízmintát?

Az óvatosságra a rázkódás hatására vízből távozó radon mennyiségének minimalizálása miatt van szükség.

Miért kell folytatni 10 percig a csapvizet a mintavétel előtt?

A pangó szakaszokban esetleg hosszabb ideig tartózkodó víz elkerülése végett 10 percig folyassuk a vízcsapból a vizet.

Miért kell 3 órán át várni a Lucas cella mérése előtt?

A ^{222}Rn és rövid felezési idejű leányelemei közti egyensúly beállításához 3 órás várakozás szükséges.

11. Vízminták ^{226}Ra koncentrációjának meghatározása, sugárterhelés számítása, sugárvédelmi minősítése

11.1. A mérés elve

A vízben oldott ^{226}Ra -koncentrációjának mérésénél a radonemanációs módszert használjuk. Szükség esetén bepárlással töményítjük a mintát, majd levegőárammal kihajtjuk a maradék radont, emanációs edénybe töltjük és lezárjuk. A rádium bomlása során keletkező radont 12-30 nap múlva áthajtjuk egy Lucas cellába, majd mérjük az intenzitást. Az áthajtási és a detektálási hatásfok ismeretében számítjuk a rádium koncentrációját, illetve a fogyasztásból származó lekötött effektív dózist.

11.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

Környezeti vízminták, ivóvizek, ásványvizek ^{226}Ra aktivitás-koncentrációjának meghatározása radonemanációs módszerrel.

11.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

A rádium meghatározásánál a különböző helyről (forrás, vezetékes vízcsap, kút, felszíni víz, stb.) műanyag kannába vesszük a vízmintákat (1-5 l). Az esetleges sókiválás elkerülése céljából a kannákba literenként 5 ml sósavat, vagy salétromsavat teszünk.

11.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

LUCAS-cella kalibrációhoz: PYLON modell 2000A jelű radon emanációs forrást (^{226}Ra aktivitása $105,7 \pm 0,4\%$ kBq, radon kibocsátása a fém edényben 100%, -20 és $+40$ °C, ill. 0-300 kPa között) használunk.

Az alkalmazott vegyszerek analitikai tisztaságúak

37 %-os HCl oldat

N_2 inert gáz

CaCl_2

11.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Üveg főzőpohár, fűtőlap vagy homokfürdő, emanációs üvegcella

1 literes Lucas-cella (21. ábra)

EMI fotoelektronsokszorozó, NP-420P típusú egycsatornás analizátor (8. 6 ábra)

11.6. A mérés receptszerű leírása

A vízmintákat homokfürdön részlegesen bepároljuk 150 ml-re. Ezt egy emanációs kamrákba töltjük (32. ábra), majd inert, radonmentes vivőgáz segítségével a vízmintákból kihajtjuk a vízben oldott maradék radon gázt is. Ezután légmentesen lezárjuk a rendszert és minimum 12 napig állni hagyjuk, hogy a ^{226}Ra - ^{222}Rn egyensúly beálljon.



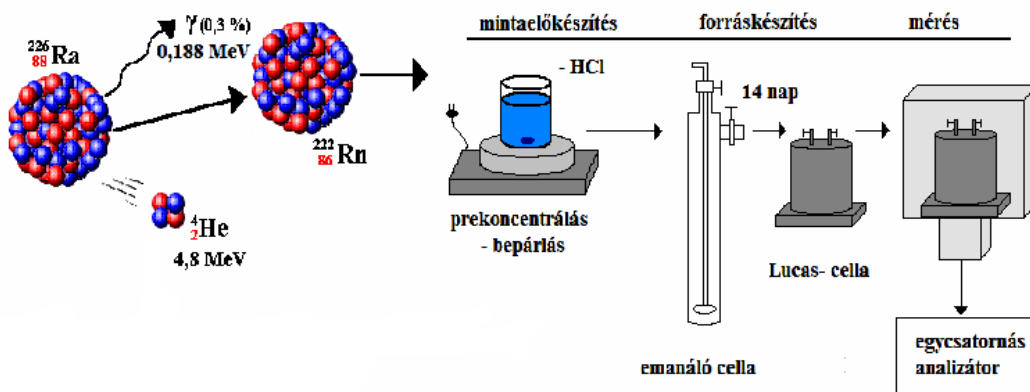
32. ábra Az emanációs cella

Ezután radonmentes gázzal a rádium bomlása során keletkezett radon gázt CaCl_2 -os szárítón keresztül egy kivákuumozott 1 l térfogatú Lucas cellába vezetjük (33. ábra).



33. ábra A radon áthajtása a Lucas cellába

Három óra várakozás után (mialatt beáll a radon és leányelemei közti egyensúly) a cellát EMI fotoelektronsokszorozóhoz illesztjük, és az intenzitást NP-420P típusú egycsatornás analizátorral mérjük (3x1000 sec). A cella számlálási hatásfoka és a kihajtási hatásfok ismeretében a ^{226}Ra koncentrációját számolhatjuk. A mérés lépéseinek összefoglalása látható a **34. ábrán**)



34. ábra A mérés lépéseinek sematikus ábrája

11.7. Számítás

$$A_{\text{Ra}-226} = \frac{(B - H)}{F \cdot D \cdot S \cdot V \cdot 3 \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t})}$$

ahol:

$A_{\text{Ra}-226}$: a Lucas–cellában lévő radon aktivitás- koncentrációja (Bq/l)

B: bruttó impulzus (cps)

H: háttér impulzus(cps)

F: számlálási hatásfok

D: áthajtási hatásfok

S: korrekciós tényező (a radon bomláskorrekciós tényezője $e^{-\lambda T}$)

T: az áthajtás és a mérés között eltelt idő (~10800 sec)

V: a minta térfogata (l)

λ : a ^{222}Rn bomlási állandója (1/sec)

t: a minta lezárásától a radongáz áthajtásáig eltelt idő (sec)

Az $(1 - e^{-\lambda t})$ érték a radon bomlását veszi figyelembe a kibuborékoltatás és az áthajtás között eltelt időben. S értéke a bomlási egyenletből számítható ki:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

ahol S az N / N_0 arányt adja meg, vagyis:

$$S = e^{-\lambda \cdot T}$$

A σ_r (relatív hiba) és σ_n (nettó impulzus szám szórása, %) meghatározása:

$$\sigma_n = (A + 2 \cdot B)^{\frac{1}{2}}$$

ahol:

A: bruttó beütésszám

B: háttér beütésszám

$$\sigma_r = \frac{\sigma_n}{A} \cdot 100$$

ahol:

σ_n : nettó impulzus szám szórása

A: bruttó beütésszám

A víz fogyasztásából származó dózisterhelés az:

$$E = K \cdot G \cdot C \cdot \tau$$

összefüggéssel számolható, ahol:

E: a víz fogyasztásából származó lekötött effektív dózis (Sv),

K: a Ra-226 lenyelési dóziskonverziós tényezője (korfüggő, **4. táblázat**),

G: a víz fogyasztás értéke (dm³ nap⁻¹),

C: a víz ²²⁶Ra aktivitáskoncentrációja (Bq dm⁻³),

τ : a fogyasztás időtartama (nap).

4. táblázat ²²⁶Ra-ra vonatkozó dóziskonverziós tényezők (Sv·Bq⁻¹) (EU BSS No115)

Nuklid	K ₁ (2-7 éves)	K ₁ (7-12 éves)	K ₁ (12-17 éves)	K ₁ (Felnőtt)
²²⁶ Ra	6,2·10 ⁻⁷	8·10 ⁻⁷	1,5·10 ⁻⁶	2,8·10 ⁻⁷

11.8. Kimutatási határ meghatározása

A méréseknél a minimálisan detektálható beütésszám a következő egyenlet alapján számítható:

$$L_D = 2,7 + 14,6 \cdot \sqrt[5]{N_h}$$

ahol:

L_D: a minimálisan detektálható beütésszám (detection limit) (beütés)

N_h: a háttér beütésszám (beütés)

A kimutatási határ így definíciószerűen azt a koncentrációt jelenti, amely a legkisebb kimutatható beütésszámból számítható.

$$KH = \frac{(L_D / t)}{F \cdot D \cdot S \cdot V \cdot 3 \cdot (1 - e^{-\lambda t})}$$

ahol:

L_D: a minimálisan detektálható beütésszám (detection limit) (beütés)

t: mérési idő (sec)

F: a cella számlálási hatásfoka

D: a radon áthajtási hatásfoka

S: a három órás várakozás alatti radon bomlást figyelembe vevő tényező

V: a vizsgált minta térfogata (l)

3: egyensúly esetén az egy radon bomlást kísérő α -részecskék száma

$1 - e^{-\lambda t}$: a lezárt mintában kialakult Ra-Rn egyensúlyi faktor

11.9. Kérdések

Miért kell savazni a vízmintát?

Az esetleges sókiválás elkerülése céljából a kannákba literenként 5 ml sósavat, vagy salétromsavat teszünk.

Miért kell lezárás előtt a maradék radont kihajtani a vízből?

Inert vivőgáz segítségével a vízmintákból kihajtjuk a vízben oldott radon gázt, ugyanis ez a vízben oldott radon valószínű, hogy nem konkrétan a vett minta rádium tartalmából keletkezett, ezért el kell távolítani. A vivőgáznak radonmentesnek kell lennie, ezért általában N_2 gázt alkalmazunk.

Miért kell minimum 12 napot várni a méréssel?

Légmentesen lezárjuk a rendszert és minimum 12 napig állni hagyjuk, hogy a ^{226}Ra - ^{222}Rn egyensúly beálljon.

Miért korfüggő a rádium dózistényezője?

Ennek egyik oka, hogy a rádium úgynevezett csontkereső izotóp, azaz a csontokba épül be. Mivel fizikai felezési ideje hosszú (1620 év) és biológiailag is lassan ürül a szervezetből, így hosszú ideig károsítja a szöveteket, jelentős sugárterhelést okozva. A szervezetbe beépült rádium a csontdaganatos megbetegedések számának megnövekedését eredményezheti, mint azt a korai időszakban bekövetkezett súlyos megbetegedések és több száz halálos kimenetelű baleset igazolta. A gyerekek esetén a 12-17 éves korosztály a legveszélyeztetettebb, mivel ebben az időszakban a legintenzívebb a csontok növekedése.

12. Radioaktív szennyvíz gamma-spektrometriás vizsgálata

12.1. A mérés elve

A radioaktív bomlások nagy részét gamma-fotonok kibocsátása is kíséri. Így a radioaktív szennyvizekben ezen izotópok minősége és mennyisége gamma-spektrometriai módszerrel meghatározható.

12.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

Környezeti minták, mesterséges radionukliddal szennyezett minták, így pl. radioaktív szennyvizek mérésénél használható a módszer. Ezzel az eljárással eldönthető, hogy egy radioaktív szennyvíz kiengedhető-e a közcsatornába.

12.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

A homogén mintavétel általános szabályai itt is érvényesek. A vizsgált szennyvíztartályban lévő vizet 10 percig cirkuláltatva kevertetjük, majd a mintavevő csonkon 1 l mintát veszünk. Az edénybe előzőleg 5 ml tömény HCl-at töltünk a csapadékkiválás megelőzése céljából.

12.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

analitikai tisztaságú cc. HCl

különböző radionuklid (pl. ^{241}Am , ^{137}Cs és ^{60}Co) ismert aktivitáskoncentrációjú, 500 ml-es oldata, a detektor energia és hatásfok kalibrációjához.

12.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Félvezető detektoros spektrométer rendszer

Ortec GMX40-76 félvezető detektor, 10 cm vastag ólomtorony, PCA ME sokcsatornás analizátor vagy analizátor, számítógép, kiértékelő szoftver.

12.6. A mérés receptszerű leírása

A fél literes mintatartóba (35. ábra) töltjük az ismert aktivitáskoncentrációjú radioizotópokat tartalmazó etalon mintának felvesszük a gammaspektrumát.



35. ábra Műanyag Marinelli geometriájú mintatartó edény

Ezután fél liter mintát a kalibrációnál is használt típusú mérőedénybe töltünk és ezzel is felvesszük a spektrumot. A mérési idő 10 000 s.

12.7. Számítás

Radionuklid-koncentráció meghatározása

A kiértékelés abszolút módszerrel történik, így a megfelelő csúcskijelölést az etalon és háttér esetén is elvégezzük. A minta, illetve az etalon azonos csúcsához tartozó értékeiből levonjuk az azonos mérési időhöz tartozó háttér nettó értékeit.

Az E_i energiára vonatkozó hatásfok - az értelmezése alapján - a következőképpen írható fel:

$$\varepsilon(E_i) = \frac{I(E_i)}{A(E_i) \cdot \eta(E_i)}$$

ahol:

$I(E_i)$: az E_i energiájú gamma-sugárzás mért intenzitása ($\text{imp} \cdot \text{s}^{-1}$, azaz cps),

$A(E_i)$: az E_i energiájú gamma-sugárzást kibocsátó készítmény aktivitása (Bq),

$\eta(E_i)$: az E_i energiájú gamma-sugárzás hozama (egy bomlás eredményeként hány E_i energiájú foton keletkezik a megfelelő izotópban, $\text{cps} \cdot \text{Bq}^{-1}$).

A különböző, E_i energiájú sugárzás esetén kapott ε -értékeket ábrázoljuk az energia függvényében, így megkapjuk az *energia - hatásfok* görbét.

Az ismeretlen aktivitású és az etalon izotóptól eltérő szennyvíz minta azonos feltételek mellett mért spektrumból a csúcsokhoz tartozó energiák alapján azonosítjuk a radionuklidok fajtáját, majd az intenzitásából - $I(E_j)$ -ből, egysége: cps - az aktivitás a következőképpen számolható:

$$A_a = \frac{I(E_j)}{\varepsilon(E_j) \cdot \eta_a(E_j)}$$

ahol:

A_a : ismeretlen aktivitású radionuklid aktivitása (Bq),

$\varepsilon(E_j)$: E_j energiájú sugárzásnak az energia - hatásfok görbéről leolvasott értéke,

$\eta_a(E_j)$: az a nuklid E_j energiájú gamma-sugárzásának hozama ($\text{gamma-foton} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$).

Így a szennyvízben található radionuklidok fajtája és mennyisége meghatározható.

12.8. Kimutatási határ meghatározása

A detektálási határ megadására a gyakorlatban az ún. Currie-limit (L_D) szolgál:

$$L_D = \frac{2,71 + 3,29 \cdot \sqrt{H}}{t_m \cdot \varepsilon \cdot k_\gamma},$$

ahol

L_D : a Currie-limit (Bq)

H : az adott energiánál a valódi háttér (impulzus)

t_m : az adott minta mérési időtartama (s)

ε : az adott energián, az adott mérési geometriában a teljesenergia-csúcs hatásfok

k_γ : az adott energiájú gamma-vonal gyakorisága

Az aktivitáskoncentrációra a detektálási határhoz az egyenlet nevezőjébe beírandó még a minta mennyisége is.

Hibaszámitás

A mérések statisztikus hibáját a következő képletek alapján számítjuk:

Abszolút hiba az etalon mérésekor:

$$\sigma_{et} = \sqrt{\frac{I_{et} + I_h}{t_{et}} + \frac{I_h}{t_h}}$$

Abszolút hiba a minta mérésekor:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{I_m + I_h}{t_m} + \frac{I_h}{t_h}}$$

ahol

I_{et} és I_m : az etalon, illetve a minta háttérrel korrigált, egységnyi időre és térfogatra vonatkoztatott impulzusszáma az adott fotocsúcs esetén

I_h : a háttér egységnyi időre vonatkoztatott értéke

t : a mérési idő (háttér, etalon, minta)

12.9. Kérdések

Milyen módszerrel értékeljük ki a gamma-spektrumokat?

A kiértékelés abszolút módszerrel történik, így a megfelelő csúcskijelölést az etalon és háttér esetén is elvégezzük. A minta, illetve az etalon azonos csúcsához tartozó értékeiből levonjuk az azonos mérési időhöz tartozó háttér nettó értékeit.

Mi a különbség az abszolút és relatív módszer között?

Az abszolút módszernél bármilyen izotópokból álló, de az egész energiatartományt átfogó ismert aktivitású mintára, etalonra van szükség. Ezzel az etalonnal határozzuk meg a detektor hatásfokának energiafüggését a mérendő mintával közel azonos geometriában.

A relatív módszer akkor használható, ha a meghatározandó mintának megfelelő összetételű (azonos izotópokat tartalmazó), ismert aktivitású mintánk van. A minták többi paraméterének (mérési geometria, sűrűség) is azonosnak kell lennie.

Mi az előnye, hátránya a félvezető detektoros gamma-spektrometriának?

A félvezető detektor jobban megkülönbözteti a közel eső csúcsokat (jobb a felbontása), míg a szintillációs detektorral mért spektrum csúcsai nagyobbak (jobb a hatásfoka). Hátránya, hogy cseppfolyós nitrogénnel kell hűteni.

13. Növényminták ^{210}Pb koncentrációjának meghatározása gamma-spektrometriával

13.1. A mérés elve

A ^{210}Pb mérésének egyik módja a gamma-spektrometria. A növényminták szárítása, aprítása után a kis energia miatt vékony mintaréteget alakítunk ki. A gamma-fotont félvezető detektoros gamma-spektrometriai rendszerrel mérjük.

13.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

Az élelmiszerfogyasztásból származó belső sugárterhelés több mint felét a ^{40}K adja. Ezt követően a fő forrás a ^{210}Po és a ^{210}Pb ($28 \mu\text{Sv/év}$). Az ólom izotóp mérésének egyik módja a gamma-spektrometria. Hátránya, hogy a kis energiájú gamma-foton ($46,5 \text{ keV}$, előfordulási valószínűsége mindössze 4%) mérése az önadszorpció miatt nehéz. Mintaelőkészítésnél csak szárítást használhatunk, hamvasztás esetén az ólom elszublimálhat.

13.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

A vizsgálni kívánt növénymintát szárítjuk, majd dörzsmozsárban porítjuk (36. ábra és 37. ábra). A mintákat az etalon mérésénél használatos mintatartóba helyezzük.



36. ábra Szárító berendezés



37. ábra A szárított, őrölt és darált növényminták

13.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

A mérés során hazai körmérésekben használt növényminta etalonokat használunk.

13.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Félvezető detektoros spektrométer rendszer, azaz
Ortec GMX40-76 félvezető detektor, 10 cm vastag ólomtorony, PCA ME sokcsatornás
analizátor, számítógép, kiértékelő szoftver

13.6. A mérés receptszerű leírása

A mintát (illetve az azonos geometriájú mérőedénybe lecsomagolt etalont, illetve a háttér) a
félvezető detektoros gamma-spektrométer rendszer ólomtoronyába helyezzük. A NIM
analizátoron és/vagy a számítógép kezelő szoftverén beállítjuk a mérési paramétereket. Mérési
idő 200 0000 s előidő.

A 46 keV energiánál a csúcsterület kijelölésével meghatározzuk az impulzusszámot.

A mintát, a felvett etalon, valamint a háttér spektrum figyelembevételével értékeljük ki.

13.7. Számítás

Radionuklid-koncentráció meghatározása

A kiértékelés relatív módszerrel történik, így a megfelelő csúcskijelölést az etalon és háttér
esetén is elvégezzük. A minta, illetve az etalon azonos csúcsához tartozó értékeiből levonjuk
az azonos mérési időhöz tartozó háttér nettó értékeit.

A kapott beütésszámokat egységnyi tömegre vonatkoztatjuk. Az etalon
aktivitáskoncentrációjának ismeretében kiszámítjuk a mintában található ^{210}Pb radioizotóp
koncentrációját.

Így tehát a minta aktivitás koncentrációját a következő módon számítható:

$$A_m = \frac{I_m}{I_{\text{etalon}}} \times A_{\text{etalon}}$$

ahol:

A_m : a mintában az adott izotóp aktivitás koncentrációja ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)

I_{etalon} : az etalonban az adott izotóptól származó, tömegegységre vonatkozó, háttérrel korrigált impulzusszám (cps; cpm)

I_m : a mintában az adott izotóptól származó, tömegegységre vonatkozó, háttérrel korrigált impulzusszám (cps; cpm)

A_{etalon} : az etalonban az adott izotóp aktivitás koncentrációja ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)

13.8. Kimutatási határ meghatározása

A detektálási határ megadására a gyakorlatban az ún. Currie-limit (L_D) szolgál:

$$L_D = \frac{2,71 + 3,29 \cdot \sqrt{H}}{t_m \cdot \varepsilon \cdot k_\gamma},$$

ahol

L_D : a Currie-limit (Bq)

H : az adott energiánál a valódi háttér (impulzus)

t_m : az adott minta mérési időtartama (s)

ε : az adott energián, az adott mérési geometriában a teljesenergia-csúcs hatásfok

k_γ : az adott energiájú gamma-vonal gyakorisága

Az aktivitáskoncentrációra a detektálási határhoz az egyenlet nevezőjébe beírandó még a minta tömege is.

Hibaszámitás

A mérések statisztikus hibáját a következő képletek alapján számítjuk:

Abszolút hiba az etalon mérésekor:

$$\sigma_{et} = \sqrt{\frac{I_{et} + I_h}{t_{et}} + \frac{I_h}{t_h}}$$

Abszolút hiba a minta mérésekor:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{I_m + I_h}{t_m} + \frac{I_h}{t_h}}$$

ahol

I_{et} és I_m : az etalon, illetve a minta háttérrel korrigált, egységnyi időre és tömegre vonatkoztatott impulzusszáma az adott fotocsúcs esetén

I_h : a háttér egységnyi időre vonatkoztatott értéke

t : a mérési idő (háttér, etalon, minta)

13.9. Kérdések

Melyik természetes eredetű radionuklid okozza lenyeléssel a legnagyobb belső sugárterhelést? Az élelmiszerfogyasztásból származó belső sugárterhelés több mint felét a ^{40}K adja. Ezt követően a fő forrás a ^{210}Po és a ^{210}Pb ($28\ \mu\text{Sv/év}$).

Miért nehéz mérni gamma-spektrometriai módszerrel a ^{210}Pb izotópot?

Hátránya, hogy a kis energiájú gamma-foton ($46,5\ \text{keV}$, előfordulási valószínűsége mindössze $4\ \%$) mérése az önadszorpció miatt nehéz.

14. ^{210}Po mennyiségi meghatározása dohány mintában félvezető (PIPS) detektoros alfa-spektrométerrel

14.1. A mérés elve

A feltárt növéymintából spontán depozícióval a polónium leválasztható. Megfelelően vékony tisztán csak a vizsgálandó alfa-sugárzó radionuklidot tartalmazó minta vákuumban speciális PIPS félvezető detektorral mérhető és megfelelő jelzőizotóp használatával az aktivitása meghatározható.

14.2. A mérés alkalmazási köre, a zavaró hatások

Po-210 mennyiségi meghatározása környezeti (dohány) mintában.

A mérést zavarja a túl vastag minta (forrás) amely jelentős önabszorpcót szenved ezt a spontándeponizációs forráskészítési módszerrel küszöböljük ki, amely megfelelően vékony források kialakítására alkalmas.

A mérést a spontán depozíciós leválasztás során a jelenlevő vas (III) ionok zavarják, ezért szükséges a leválasztás során aszkorbinsav hozzáadása, a vasionok redukálása céljából.

14.3. A mintavétel és a mintaelőkészítés

A vizsgálathoz a mintát kész cigaretta megbontásával, vagy nevelt dohánynövény levelének levegőn történő szárításával nyerjük. A minta előkészítése során tömény HNO_3 -as, tömény HCl -as és desztillált vizes feltárást alkalmazunk H_2O_2 hozzáadásával. Mivel a feltárás, ill. a leválasztás határfokát nehéz meghatározni, illetve reprodukálni, a mintához a minta előkészítési eljárás elején ismert aktivitású mesterséges nyomjelző izotópot, ún. tracet adunk – ^{210}Po esetében leggyakrabban ^{209}Po -t – és azzal a feltételezéssel élünk, hogy a polónium izotópok kémiai viselkedése nagyjából azonos.

14.4. Az alkalmazott vegyszerek, standardok, etalonok minősége

Az alkalmazott vegyszerek analitikailag tisztaságúak

37 %-os HCl oldat, 65 %-os HNO_3 , 30 %-os, H_2O_2

Aszkorbinsav

9 M HCl

Ioncserélt víz

96 %-os etil-alkohol

NIST hiteles ^{209}Po nyomjelző

14.5. A mérésnél használt eszközök ismertetése

Teflon, üveg főzőpoharak, Erlenmeyer lombik, mérőlombik, analitikai mérleg, mágneskeverős fűtőlap, aprító berendezés

Spontándeponizációs készülék, saválló acéllemez

ORTEC Solo, PIPS detektoros (FWHM: 21 keV) alfa kamra, Silena 9302 típusú kártya-analizátor, EMCA 2000 adatgyűjtő szoftver, Ilmvac PK2 vákuumszivattyú

14.6. A mérés receptszerű leírása

A minta előkészítés lépései:

A vizsgálandó mintát – szárított dohányleveleket, vagy cigarettából származó vágott dohányt – örlőberendezés segítségével aprítjuk. Az apróra őrölt mintából 2 g-t bemérünk egy 50 ml-es Erlenmeyer lombikba, 4 párhuzamos mintát készítünk **(38. ábra)**



38. ábra Minta bemérése

Készítünk egy vak (csak ^{209}Po tracer és cc. HNO_3 -at tartalmazó), és egy dupla vak (csak cc. HNO_3 -at tartalmazó) mintát is.

A bemért mintához 0,05 ml ismert (1,5747 Bq/ml) aktivitás-koncentrációjú ^{209}Po nyomjelző oldatot adunk.

Majd bemérünk 25 ml 65%-os HNO_3 -t és bepároljuk a mintánkat kb. 5 ml-re, majd még egyszer megismétljük ezt a lépést. A minta előkészítés következő lépéseként 25 ml cc. HCl -t és 1 ml H_2O_2 -t adunk a mintához és ismét kb. 5 ml-re bepároljuk, majd ezt a lépést is megismétljük **(39. ábra)**



39. ábra Bepárlás

A sósavas bepárlást követően 25 ml ionmentes vízzel megismétljük a bepárlási folyamatot.

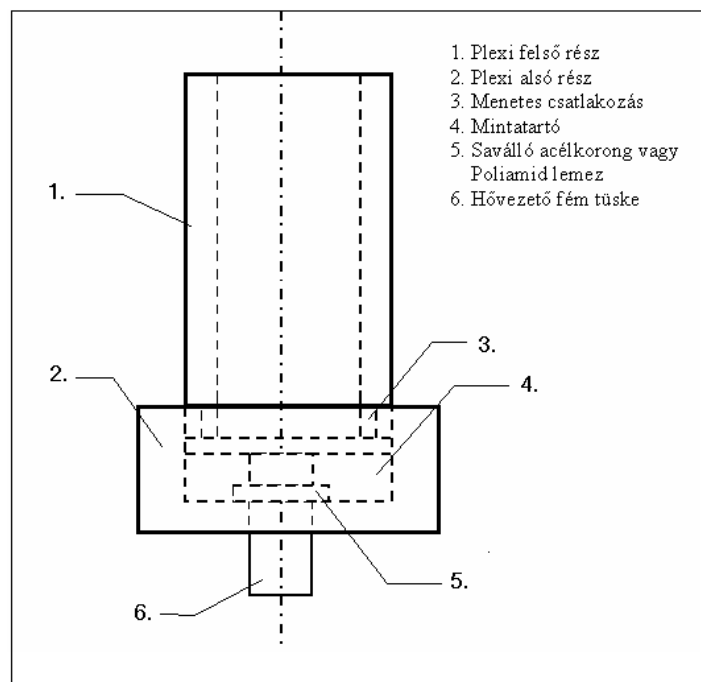
A bepárlás után a lehűlt oldatot ionmentes vízzel 100 ml-es mérőlombikba mossuk, homogenizáljuk az oldatot. (A minta előkészítés minden lépését elvégezzük a referencia oldatokkal is.) **(40. ábra)**



40. ábra Törzsoldat

Forráskészítés spontán depozícióval

A megfelelő vastagságú, ^{210}Po tartalmú réteg leválasztása azon alapszik, hogy gyenge sósavas oldatból a Po(IV) ionok a Fe(II) és más ionok mellől redoxireakció révén leválnak a pozitívabb elektródpotenciálú fémekre. A leválasztást leggyakrabban ezüst, nikkel vagy magas nikkeltartalmú saválló acéllemezre végzik. A depozíciós készülék vázlatos rajza a **41. ábrán** látható.



41. ábra A depozíciós készülék vázlatos rajza

Bekapcsoljuk a termosztátot és beállítjuk a hőmérsékletet 80 °C-ra.

Egy saválló lemeztől lehúzzuk a védőfóliát és tiszta alkohollal mossuk. A lemez felületének fényesnek és homogénnek kell lennie.

A lemezt szivárgásmentesen befogjuk a depozíciós készülékbe. A vizsgálandó oldatból 50 ml-t bemérünk a depozíciós készülékbe.

Hozzáadunk egy spatulányi aszkorbinsavat az esetlegesen jelenlévő Fe(III) ionok redukálására. A depozíciós készüléket behelyezzük a vízfürdőbe és 80 °C-on 2 órán át kevertetjük. Közben a fogyó vízmennyiséget folyamatosan pótoljuk (**42. ábra**).



42. ábra A spontán depozíció

A leválasztás után a mintaoldatot kiöntjük a depozíciós készülékből, a készüléket óvatosan kiöblítjük ionmentes vízzel, szétszedjük, a saválló lemezt óvatosan kiemeljük, ionmentes vízzel leöblítjük és szobahőmérsékleten száradni hagyjuk (43. ábra).

A leválasztott felületet tilos megérinteni, mivel letörölnénk róla a felvitt réteget!

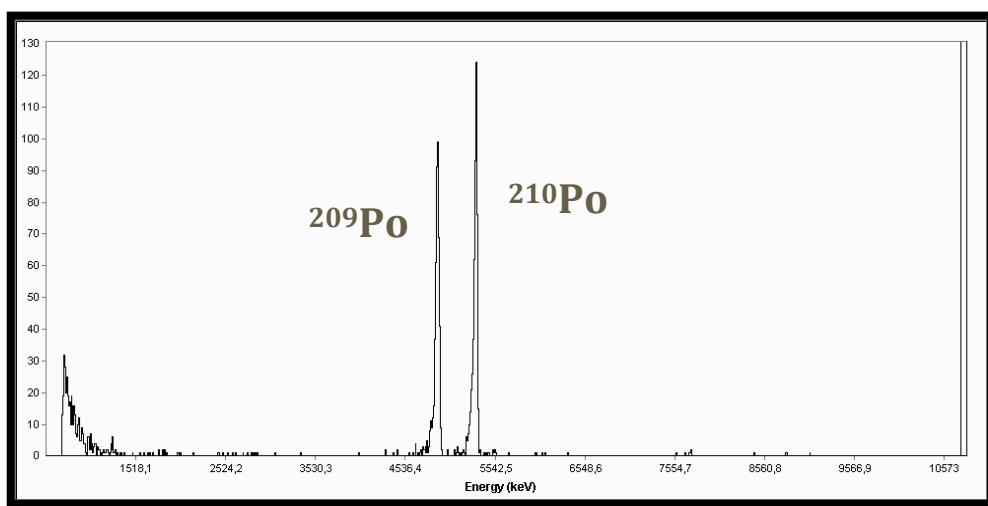


43. ábra Az alfa-forrás

A kész forrásukat alacsony háttérű félvezető PIPS detektoros (FWHM: 21 keV) ORTEC alfa kamrában tesszük az előzetes bekalibrált geometriába (felülről a második tálca). Az 4 kamrával felszerelt alfa-spektrométer és a vákuumszabályozók képe a 44. ábrán látható. A EMCA 2000 szoftvert elindítjuk, a vákuumszivattyút bekapcsoljuk. A vákuumelosztón keresztül kivákuumozzuk a kamrát és elindítjuk a START gombbal a mérést a mérést 80 000 sec-ig végezzük. A mérés automatikus leáll, a spektrumban azonosítjuk az egyes polónium izotópokat majd a csúcs alatti területekből számolunk (45. ábra).



44. ábra A félvezető detektoros alfa-spektrométerek



45. ábra Az alfa-spektrum képe

14.7. Számítás

A mérések során kapott alfa-spektrumok kiértékelésénél azt vesszük alapul, hogy a minta előkészítés kezdeti lépéseként a mintához adott tracer aktivitása (A_1) ismert. A tracernek

megfelelő csúcs alatti terület (N_t) és a vizsgált radionuklid csúcsának megfelelő terület (N) megegyezik az aktivitások arányával. Így a Po-210 aktivitása (A) számítható.

$$\frac{N_t}{N} = \frac{A_t}{A}$$

Az aktivitás alapján a minta tömegének ismeretében meghatározható az adott dohány minta Po-210 aktivitás-koncentrációja.

14.8. Kimutatási határ meghatározása

A mérések során *minimálisan detektálható beütésszám* a következő egyenlet alapján számítható:

$$L_D = 2,71 + 4,65 \cdot N_h^{1/2}$$

ahol:

L_D : a minimálisan detektálható beütésszám (detection limit) (beütés)

N_h : a háttér beütésszám (beütés)

A *minimálisan detektálható aktivitás* az alábbi képlettel adható meg:

$$MDA = \frac{2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{I_h}}{\eta_d \cdot t}$$

ahol:

MDA: a minimálisan detektálható aktivitás (Bq)

I_h : háttér a vizsgálandó energiatartományban (impulzus)

η_d : a detektor hatásfoka (%)

t : mérési idő (s)

Az MDA aktivitás értékéből számolt aktivitás-koncentráció a kimutatási határ (KH), amely

$$KH = \frac{2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{I_h}}{\eta_d \cdot t \cdot M}$$

ahol:

KH: a kimutatási határ ($Bq \cdot g^{-1}$)

I_h : háttér a vizsgálandó energiatartományban (impulzus)

η_d : a detektor hatásfoka (%)

t : mérési idő (s)

M : a felhasznált minta mennyisége (g)

14.9. Kérdések

Miért kell jelzőizotópot alkalmazni?

Mivel a feltárás, ill. a leválasztás hatásfokát nehéz meghatározni, illetve reprodukálni, a mintához a minta előkészítési eljárás elején ismert aktivitású mesterséges nyomjelző izotópot, ún. tracert adunk – ^{210}Po esetében leggyakrabban ^{209}Po -t – és azzal a feltételezéssel élünk, hogy a polónium izotópok kémiai viselkedése nagyjából azonos.

Mi a spontán depozíció?

A megfelelő vastagságú, ^{210}Po tartalmú réteg leválasztása azon alapszik, hogy gyenge sósavas oldatból a Po(IV) ionok a Fe(II) és más ionok mellől redoxireakció révén leválnak a pozitívabb elektródpotenciálú fémekre. A leválasztást leggyakrabban ezüst, nikkel vagy magas nikkeltartalmú saválló acéllemezre végzik.

Miért kell vákuumkamrában mérni az alfasugárzást?

Az alfa-sugárzás rövid hatótávolsága, az abszorpció csökkentése miatt a mérést vákuumban kell végezzük.