

SUGÁRVÉDELEM A GYAKORLATBAN

SUGÁRVÉDELEM A GYAKORLATBAN

Szerkesztette

Deme Sándor
Pesznyák Csilla



TYPOTEX

A könyv megjelenését az Eötvös Loránd Fizikai Társulat támogatta.



© Andrási Andor, Ballay László, Bujtás Tibor, Deme Sándor, Elek Richárd,
Jakab Dorottya, Katona Tünde, Kristóf Krisztina, Lumniczky Katalin, Nádasi Iván,
Ormai Péter, Pázmándi Tamás, Pesznyák Csilla, Sáfrány Géza, C. Szabó István,
Szűcs László, Vincze Árpád, Zombori Péter, Typotex, Budapest, 2024
Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

Szakmai lektor: Zombori Péter

ISBN 978 963 493 292 5

Kedves Olvasó!

Köszönjük, hogy kínálatunkból választott olvasnivalót!

Újabb kiadványainkról és akcióinkról a www.typotex.hu

és a [facebook.com/typotexkiado](https://www.facebook.com/typotexkiado) oldalakon értesülhet.

Typotex Kiadó

Alapította Votisky Zsuzsa, 1989

A kiadó az 1795-ben alapított Magyar Könyvkiadók
és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.

Felelős kiadó: Németh Kinga

Felelős szerkesztő: Jutai Péter

Borítóterv: Somogyi Péter

Nyomta és kötötte: OOK-PRESS Nyomda, Veszprém

Felelős vezető: Szathmáry Attila

TARTALOM

ELŐSZÓ.....	13
1. A SUGÁRVÉDELEM TÖRTÉNETE.....	15
1.1. A kezdetek.....	15
1.2. A sugárzások elleni védelem kialakulása.....	15
1.3. Az ionizáló sugárzás ismert hatásai és a megfelelő védelmi célok.....	16
2. DOZIMETRIAI ALAPOK.....	25
2.1. Bevezetés.....	25
2.2. A sugárzások és az anyag kölcsönhatásai.....	25
2.3. Alapfogalmak és dózismeghatározások, definíciók.....	26
2.3.1. <i>Fluens</i> – Φ	26
2.3.2. <i>KERMA</i> – K	26
2.3.3. <i>Elyelt dózis</i> – D	26
2.3.4. <i>Lineáris Energiaátadási Tényező</i> – <i>LET</i>	27
2.3.5. <i>Egyenértékűdózis</i> – H	28
2.3.6. <i>Effektív dózis</i> – E	29
2.4. Mérhető (gyakorlatban használatos) sugármennyiségek.....	30
2.4.1. <i>Környezeti dózisegyenérték</i> – $H(d)$	30
2.4.2. <i>Személyi dózisegyenérték</i> – $H_p(d)$	31
3. AZ IONIZÁLÓ SUGÁRZÁS BIOLÓGIAI, EGÉSZSÉGGÁROSÍTÓ HATÁSAI.....	33
3.1. Bevezetés.....	33
3.2. Ionizáló sugárzás hatására kialakuló fizikai-kémiai folyamatok.....	34
3.3. Az ionizáló sugárzás sejten belüli célpontjai, sugárzás hatására bekövetkező sejthalál.....	35
3.4. A sugárhatásra bekövetkező sejthalál dóziszüggése.....	36
3.5. A sugárhatást befolyásoló tényezők.....	37
3.5.1. <i>A lineáris energiáttranszfer és a relatív biológiai hatás</i>	37
3.5.2. <i>Oxigénhatás</i>	38
3.6. Az ionizáló sugárzás szervezeti szintű hatásai.....	38
3.6.1. <i>Determinisztikus sugárhatások</i>	38
3.6.2. <i>Sztocasztikus sugárhatások: sugárzásra kialakuló daganatok</i>	39
3.7. A kis dózisos biológiai hatásai.....	40
3.8. Összefoglalás.....	41

4. A SUGÁRVÉDELMI SZABÁLYOZÁS.....	43
4.1. Bevezetés.....	43
4.2. A sugárvédelmi szabályozást meghatározó legfontosabb nemzetközi szervezetek	43
4.2.1. UNSCEAR.....	43
4.2.2. ICRP	44
4.2.3. Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ).....	46
4.2.4. ICRU, OECD NEA, WHO, ILO, FAO	49
4.2.5. Sugárvédelmi szabályozás az Európai Unióban	50
4.2.6. A hazai sugárvédelmi szabályozás	53
5. VÉDEKEZÉS A KÜLSŐ SUGÁRTERHELÉS ELLEN	63
5.1. Bevezetés.....	63
5.2. A sugárforrások sugárzási terének számítása.....	64
5.2.1. Fluens-dózis konverziós tényezők	64
5.2.2. Pontszerű sugárforrások.....	65
5.2.3. Kiterjedt γ -sugár-források.....	67
5.3. Védelemméretezés.....	67
5.3.1. A védelem mögötti γ -sugárzási tér számítása.....	67
5.3.2. A szórt γ -sugárzási tér becslése.....	68
5.3.3. Sugárvédelmi mérések	70
5.3.4. Védőfalak méretezése egyszerű módszerekkel.....	70
5.3.5. Számítógépes programok a védelem számítására	72
5.4. A védelem megválasztásának gyakorlati kérdései.....	74
5.4.1. A β -sugárzás elleni védelem	74
5.4.2. Védőrétegek kis energiájú fotonsugárzások ellen	75
5.4.3. Sugárgyengítő egyéni védőeszközök	75
5.4.4. Védőfalak közepes és nagy energiájú fotonsugárzások ellen	76
5.4.5. Sugárzás gyengítése a bejárat labirintusban	77
5.4.6. Védekezés kis intenzitású neutronsugárzás ellen	77
6. A BELSŐ SUGÁRTERHELÉS MECHANIZMUSA ÉS SZÁMÍTÁSA	79
6.1. Bevezetés.....	79
6.2. Biokinetikai modellek	80
6.2.1. Az emberi légzőrendszer modellje (HRTM)	80
6.2.2. Az ember emésztőrendszerének modellje (HATM).....	83
6.2.3. Sértetlen bőrön keresztüli abszorpció.....	84
6.2.4. Radioaktív anyagok seben keresztüli felvétele.....	84
6.2.5. Orvosi beavatkozással módosított biokinetika.....	85

6.3. Dozimetriai modellek.....	85
6.3.1. Fizikai és matematikai fantomok.....	87
6.4. A belső sugárterhelés szabályozása és gyakorlati meghatározásának módszerei....	87
6.4.1. Dózisszámítás a felvétel meghatározásán keresztül.....	88
6.4.2. A dózis közvetlen meghatározásának lehetőségei	90
6.4.3. „Az egységnyi radionuklid-tartalom dózisa” elv alkalmazása	90
6.5. A belső sugárterhelés meghatározását befolyásoló tényezők, a bizonytalanság forrásai	91
7. VÉDEKEZÉS NYITOTT RADIOAKTÍV SUGÁRFORRÁSOK FELHASZNÁLÁSÁNÁL	95
7.1. Nyitott radioaktív sugárforrások.....	95
7.1.1. A zárt és a nyitott sugárforrás fogalma	95
7.1.2. Felhasználási területek	95
7.1.3. Belső sugárterhelés elleni védelem.....	96
7.2. Felhasználás izotóplaboratóriumban.....	97
7.2.1. Az izotóplaboratóriumok csoportosítása, osztályozása	97
7.2.2. Izotóplaboratóriumok kialakítása	97
7.2.3. Védekezés a radioaktív szennyezettség ellen	99
7.2.4. A belső sugárterhelés ellenőrzése	99
7.2.5. Radioaktív hulladék keletkezése és kezelése	99
8. A RADIOAKTÍV ANYAGOK BIZTONSÁGOS SZÁLLÍTÁSA.....	101
8.1. Bevezetés.....	101
8.2. Jogszabályi háttér	101
8.3. Csomagolások	103
8.4. Előkészítés a szállításra.....	106
8.5. Szállítás	107
8.5.1. A járművek.....	107
8.5.2. A járművek jelölése	108
8.6. Engedélyek	109
8.7. Okmányok	109
8.8. Elkülönítés és őrzés.....	111
9. INTÉZMÉNYI RADIOAKTÍV HULLADÉKOK KEZELÉSE	113
9.1. Bevezetés.....	113
9.2. Radioaktív hulladékok osztályozása	114
9.3. Az intézményi radioaktív hulladékok kezelésének sugárvédelmi aspektusai ..	116
9.4. Összegzés	120

10. A SUGÁRVESZÉLYES MUNKAHELYEK ELLENŐRZÉSI MÓDSZEREI.....	123
10.1. Az ellenőrzés szervezési kérdései	123
10.1.1. <i>A sugárveszélyes munkahelyek területi felosztása</i>	123
10.1.2. <i>A sugárveszélyes munkahelyek típusai</i>	125
10.1.3. <i>Az ellenőrzés végrehajtása</i>	127
10.1.4. <i>Az archiválás, dokumentálás kérdései</i>	128
10.2. Az ellenőrzés mérés technikája.....	129
11. SZEMÉLYI DOZIMETRIA	135
11.1. Bevezetés	135
11.2. Külső sugárterhelés	136
11.2.1. <i>Aktív és passzív doziméterek</i>	136
11.2.2. <i>Személyi dozimetria Magyarországon</i>	138
11.3. Belső sugárterhelés	146
11.3.1. <i>Az ellenőrzési program tervezése</i>	146
11.3.2. <i>Az alkalmazott mérési módszerek</i>	148
11.3.3. <i>A mérési eredmények értelmezése, dózisbecslés</i>	154
12. KÖRNYEZET-ELLENŐRZÉS	161
12.1. Bevezetés	161
12.2. A környezetbe kibocsátott radionuklidok terjedési modelljei	161
12.2.1. <i>A kibocsátott szennyező anyagok terjedése a légkörben</i>	162
12.2.2. <i>Terjedés hidrológiai rendszerekben</i>	172
12.3. A radionuklidok légköri és vízi kibocsátásának mérése.....	173
12.3.1. <i>A légköri kibocsátás mérése</i>	174
12.3.2. <i>A vízi kibocsátás mérése</i>	176
12.4. Helyszíni mérések a környezetben	177
12.4.1. <i>A γ-dózis-teljesítmény mérése</i>	177
12.4.2. <i>In situ γ-spektrometria</i>	177
12.4.3. <i>Légszennyezettség-mérés</i>	179
12.5. Környezeti mintavétel és a minták laboratóriumi analízise.....	179
12.5.1. <i>Környezeti mintavétel</i>	179
12.5.2. <i>Környezeti minták laboratóriumi analízise</i>	180
13. A SUGÁRVÉDELMI MŰSZEREK METROLÓGIAI KÖVETELMÉNYEI	183
13.1. Bevezetés	183
13.2. A sugárvédelmi mérőeszközökre vonatkozó szabályozás.....	183
13.3. A sugárvédelmi mérőeszközök csoportosítása	184
13.4. A mérőeszközökre vonatkozó előírások	184

13.4.1. A felületi radioaktív szennyezettséget mérő eszközökre vonatkozó előírások..	186
13.4.2. A dózismérőkre vonatkozó előírások.....	186
13.4.3. A radonmérőkre vonatkozó előírások	187
13.5. A dózismérőkre vonatkozó kihívások pulzáló terek esetén	188
13.6. Hitelesítésre bemutatható, a metrológiai követelményeknek megfelelő mérőeszközök.....	188
14. A LAKOSSÁG SUGÁRTERHELÉSE.....	191
14.1. A lakosság természetes sugárterhelése	191
14.1.1. Kozmikus sugárzás.....	191
14.1.2. Természetes radioaktív izotópok.....	192
14.1.3. Áttekintés.....	196
14.2. Orvosi sugárterhelés	197
14.3. A légköri atomfegyver-kísérletek okozta sugárterhelés	204
14.3.1. Globális kibullás okozta dózisterhelés	204
14.3.2. Lokális és regionális hatások.....	205
14.4. Nukleáris üzemanyagciklus okozta sugárterhelés	205
14.4.1. Bevezetés.....	205
14.4.2. Az atomerőművek tervezett üzemeltetése.....	206
14.4.3. Atomerőművek baleseti hatásai.....	207
14.5. Összegzés.....	208
15. NUKLEÁRIS VESZÉLYHELYZETEK KEZELÉSE.....	211
15.1. Bevezetés	211
15.2. Általános alapelvek és biztonsági normák.....	211
15.3. Kockázat alapú tervezési követelmények	213
15.3.1. Veszélyhelyzeti Tervezési Kategóriák (VTK).....	213
15.3.2. Veszélyhelyzeti munkavállalók védelme	214
15.3.3. Lakosságvédelmi tervezési zónák	214
15.3.4. Veszélyhelyzetek osztályozása.....	215
15.4. Sugárvédelmi követelmények	215
15.4.1. Vonatkoztatási szintek.....	216
15.4.2. Általános kritériumok.....	217
15.4.3. Származtatott szintek	219
15.5. Védekezési stratégia.....	220
16. SUGÁRVÉDELEM A PAKSI ATOMERŐMŰBEN.....	223
16.1. Az atomerőmű technológiai berendezései	223
16.2. A sugárzás forrásai az atomerőműben.....	225

16.3. A sugárzás elleni védekezés elemei az atomerőműben.....	227
16.3.1. <i>A radioaktív anyagok kijutásának megakadályozása</i>	227
16.3.2. <i>A reaktor biológiai védelmének jellemzői</i>	229
16.3.3. <i>Dekontaminálás</i>	230
16.3.4. <i>A szellőzőrendszerek alkalmazása</i>	230
16.4. Az atomerőmű sugárvédelmi szervezete.....	231
16.4.1. <i>A sugárvédelmi szervezet felépítése</i>	231
16.4.2. <i>A Sugár- és Környezetvédelmi Főosztály feladatköre</i>	232
16.5. Sugárbiztonsági normák	233
16.6. Szervezési intézkedések a sugárvédelem biztosítására	236
16.6.1. <i>Sugárvédelmi képzés</i>	236
16.7. Sugárvédelmi ellenőrzés.....	241
16.7.1. <i>Személyi dozimetriai ellenőrzés</i>	241
16.7.2. <i>Telepített sugárvédelmi ellenőrző rendszerek</i>	243
17. A SUGÁRVÉDELEM MÉRÉSTECHNIKÁI	253
17.1. Bevezetés	253
17.2. Sugárforrások	253
17.2.1. <i>Természetes sugárforrások</i>	253
17.2.2. <i>Mesterséges sugárforrások</i>	256
17.2.3. <i>Ionizáló sugárzást létrehozó berendezések</i>	261
17.3. Sugárzás és anyag kölcsönhatása.....	268
17.3.1. <i>Töltött részecskék és anyag kölcsönhatása</i>	268
17.3.2. <i>γ-sugárzás és anyag kölcsönhatása</i>	271
17.3.3. <i>Neutronsugárzás és anyag kölcsönhatása</i>	275
17.4. Detektorok	277
17.4.1. <i>Gázionizációs detektorok</i>	278
17.4.2. <i>Szcintillációs számlálók</i>	283
17.4.3. <i>Félvezető detektorok</i>	284
17.4.4. <i>Lumineszcens doziméterek</i>	285
17.4.5. <i>Buborékdetektorok</i>	289
17.4.6. <i>Nyomdetektorok</i>	289
17.5. A dózisteljesítmény-mérés	290
17.5.1. <i>Elektronsugárzás</i>	290
17.5.2. <i>Fotonsugárzás</i>	291
17.5.3. <i>Neutronsugárzás</i>	293
17.5.4. <i>Kevert sugárzások mérése</i>	294
17.5.5. <i>Pulzált sugárzások mérése</i>	294

17.5.6. Komplex ellenőrző rendszerek.....	294
17.6. Dózismérés	294
17.6.1. Munkahelyi sugárterhelés (foton és neutron).....	295
17.6.2. Személyi doziméterek.....	295
17.7. A felületi szennyezettség direkt mérése.....	296
17.7.1. α -szennyezők.....	297
17.7.2. β -szennyezők	297
17.7.3. <i>In situ</i> γ -spektrometria	297
17.7.4. Személyellenőrző sugárkapuk.....	298
17.8. Mintavételes mérés technika.....	298
17.8.1. Dörzsmintavétel sík felületekről.....	299
17.8.2. Dörzsmintavétel zárt sugárforrások zártságának ellenőrzéséhez.....	299
17.8.3. Légszennyezettség-mérés és levegő-mintavétel.....	299
17.9. Minták előkészítése és mérése.....	302
17.9.1. Mintafeldolgozás.....	302
17.9.2. α - és β -sugárzók.....	305
17.9.3. γ -spektrometria.....	307
17.10. A légköri és vízi kibocsátás meghatározása.....	308
17.10.1. Az aktivitáskoncentráció direkt mérése	309
17.10.2. Mintavétel.....	310
17.10.3. Levegőforgalom meghatározása.....	311
17.10.4. A vízforgalom meghatározása.....	312
17.11. A radonkoncentráció meghatározása.....	312
17.11.1. A radongáz eredete (talajgáz).....	313
17.11.2. A radonmérő eszközök.....	317
17.11.3. A bel- és kültéri radon	322
17.12. Mérés kiértékelés.....	324
17.12.1. Bevezetés, alappfogalmak.....	324
17.12.2. A mérés kiértékelés elmélete.....	326
17.12.3. A sugárvédelmi mérések kiértékelésének általános esete	334
17.12.4. Mérés adatok statisztikai elemzése	338
18. MEGHATÁROZÁSOK.....	345
RÖVIDÍTÉS JEGYZÉK.....	355
TÁRGY MUTATÓ.....	359

ELŐSZÓ

Sugárvédelem tárgyú magyar nyelvű szakkönyv eddig kettő jelent meg. Az első 1958-ban, dr. Bozóky László tollából, *Védekezés atommagsugárzás ellen* cím alatt, a második 2010-ben *Sugárvédelem* címmel, Fehér István és Deme Sándor szerkesztésében. Utóbbi könyv megírását az Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT) Sugárvédelmi Szakosztálya kezdeményezte, és 2022-ben már nem volt kapható.

Az ELFT Sugárvédelmi Szakosztály ezért új, szintén sugárvédelmi témájú könyv megírását tűzte ki célul, *Sugárvédelem a gyakorlatban* címmel. A célunk egy olyan szakkönyv megalkotása volt, amely szakmai alapot ad a kezdő sugárvédelmi szakemberek munkájához. Ennek érdekében a 2010-es *Sugárvédelem* szerkezetét lényegében megőriztük, de a fejezeteket lerövidítettük és gyakorlatközpontúvá tettük.

Az előző könyv tematikáját kiegészítettük a Méréstechnika fejezettel, ahol a mérés-technika leírása előtt a szerzők ismertetik a leggyakrabban alkalmazott sugárforrásokat, a mérés-technika magfizikai alapjait és a mérések kiértékelésének módszereit.

A 2010-es szerzők közül néhányan elhunytak, helyettük új szerzőket kértünk fel, akik a sugárvédelem részterületeit szintén kiválóan ismerik, művelik. Így könyvünk nem teljesen egységes stílusú, de reméljük, sok hasznos információt nyújt.

Köszönetünket fejezzük ki Kristóf Krisztinának, aki a technikai szerkesztést végezte, és Zombori Péternek, aki a könyvet lektorálta.

A szerkesztők

IN MEMORIAM DEME SÁNDOR (1936–2024)

A könyvet a tragikus hirtelenséggel elhunyt társszerkesztő, Deme Sándor emlékének ajánljuk, aki a *Sugárvédelem a gyakorlatban* című könyv ötletgazdája, létrehozásának fő hajtóereje volt. Deme Sándor az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakosztály alapító tagja, korábbi elnöke, vezetőségi tagja, majd 2011-től állandó meghívottja volt. Több mint hat évtizednyi, töretlen lelkesedéssel, kimagasló tudással és eredményességgel végzett, példaértékű munkássága előtt tisztelettel és elismeréssel adózunk.

A szerzők