

Sugárvédelmi gyakorlat
fizikushallgatóknak

Bornemisza Györgyné, Pávó Gyula

2012.11.15

Tartalomjegyzék

Bevezetés	2
1. Miért van szükség a sugárvédelemre?	3
2. Az ionizáló sugarak hatásai	6
2.1. Dózisfogalmak	6
2.1.1. Fizikai dózisfogalmak	6
2.1.2. Biológiai dózisfogalmak	7
2.2. Az embert érő sugárterhelések okai	9
2.2.1. A természetes sugárterhelés	9
2.2.2. A mesterséges eredetű sugárterhelés	10
2.3. Az ionizáló sugárzások biológiai hatása	13
2.3.1. A sugárzások biológiai hatását befolyásoló tényezők	15
2.4. A kockázatokról	15
2.5. Sugárvédelem	17
2.5.1. Kollektív sugárvédelem	17
2.5.2. A sugárvédelem hármas alapelve	17
2.5.3. Dóziskorlátok	17
2.5.4. Védekezés a sugárterhelés ellen	18
3. TLD dozimetriai gyakorlat	21
3.1. A termolumineszcens doziméter működési elve	21
3.2. A PorTL doziméter	22
3.2.1. Fizikai felépítése	22
3.2.2. Logikai vázlata	24
3.2.3. Használata	24
3.3. Mérési feladatok	25
3.4. Otthoni feladatok	25
Ellenőrző kérdések, irodalom	26

Bevezetés

Ez a jegyzet fizikus- és környezettudós hallgatók sugárvédelmi gyakorlatához készült.

Áttekinti az emberiséget érő - túlnyomóan természetes - sugárterhelés forrásait, azok biológiai hatását.

Bemutatja a sugárhatás kockázatát, összeveti más tevékenységek következményeivel. Rámutat a sugárvédelem fontosságára és konkrét lehetőségeire és ismerteti több dózis(teljesítmény)t mérő eljárást.

A gyakorlat során az Lágymányosi Kampszán, az Északi Tömbön belül és kívül GM-csővel mérünk dózisteljesítményt; termolumineszcens dózismérővel (TLD) ellenőrizzük az Atomfizikai Tanszék legnagyobb aktivitású izotópjának sugárvédelmét.

A három módszer összehasonlítása

A gyakorlaton használt GM-csőes dózisteljesítmény-mérő (MiniRay SM 200 X) "csak" mutatja a pillanatnyi dózisteljesítmény-értéket, ezért nem soroljuk a dokumentálhatóan mérő eszközök közé.

Az ionizáló sugárzást dokumentálhatóan mérő eszközök a (2013.03.ig használt) film- és a szilárdtest-doziméterek. Az utóbbiak csoportjából kiemelkednek a termolumineszcens kristályok, kis méretükkel, energia-függetlenségükkel és nagy érzékenységgükkel.

A termolumineszcens doziméterek bármikor kiértékelhetők, ideálisak a változó dózisteljesítményű helyenken (pl.: kamionvizsgáló-röntgen, nagy magasságban hosszú utat megtevő repülőgépek). Itt rögtön kell tudni, mekkora dózist kapott az illető, a besugárzás energiájáról nem tudunk meg semmit. A kiolvasás egyúttal törli a dózismérőt; ha itt hiba történik, elvesz az adat.

A filmdozimétert kéthavonta szokás kicserélni és előhívni. A feketedés alapján többször is ki lehet értékelni, jól archiválható, meghatározható a besugárzást végző foton energiája, a sugárnyaláb - ha van - iránya, de szélsőséges esetben harmadévet kell várni a kiértékelés eredményére.

1. fejezet

Miért van szükség a sugárvédelemre?

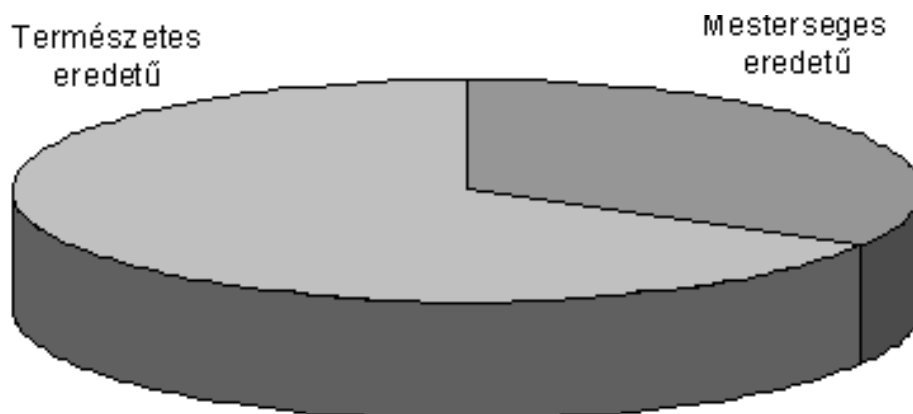
Az a tény, hogy ionizáló sugárzások (röntgensugarak, magsugárzások) biológiai ártalmakat okozhatnak, már nem sokkal 1895-ben történt felfedezésük után nyilvánvalóvá vált. A sugárvédelem területén az első jelentős lépést már 1928-ban megtették. Ekkor definiálták a besugárzási dózis fogalmát, megadták meghatározásának módját és megtették az első javaslatot a gyakorlati sugárvédelem megszervezésére. A megengedhető dózis fogalmát úgy értelmezték, mint azt a besugárzást, "melyet az emberi szervezet utólagos sérülések nélkül tolerálni képes".

Azóta az egységek definícióját több ízben helyesbítették, a "megengedett sugárzási szinteket" is több ízben változtatták - minden esetben lefelé. Napjainkban a még a második világháború előtt létrehozott Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (International Commission on Radiological Protection - ICRP) foglalkozik a sugárvédelem alapvető problémáival. Az ionizáló sugárzások felhasználási területe az elmúlt évszázadban óriási ütemben és mindvégig töretlenül nőtt.

Példaként említjük, hogy csak az elmúlt évtizedben is tanúi lehettünk nagy hatékonyságú, modern diagnosztikai módszerek meglepő gyorsaságú elterjedésének. Ilyenek például a computer-tomográfok (CT), vagy a pozitron-annihiláció jelenségét alkalmazó PET (Positron Emission Tomography) eljárás. Így a hivatásszerűen ionizáló sugárzással foglalkozók száma is állandóan nőtt. Magyarországon kb. 15 ezer embert ellenőriznek hatóságilag film-doziméterrel.

A ma élő ember folyamatosan ki van téve több forrásból származó ionizáló sugárzásnak. Ezek eloszlását az 1.1. ábrán mutatjuk be.

A természetes sugárterhelés fele-kétharmada abból adódik, hogy a zárt helyiségekben az építőanyagból és a talajból radon kerül a levegőbe. Az innen származó sugárterhelés a szabad levegőhöz képest több nagyságrenddel is megnövekedhet. Ezért a radon az



1.1. ábra. A sugárterhelés eredete.

egyetlen természetes sugárterhelés, ami ellen védekezünk a Földön. (A radonkoncentráció mérését jelen jegyzetben nem tárgyaljuk.)

A mesterséges eredetű sugárterhelés 95%-a az orvosi diagnosztikai- és terápiás eljárások következménye. A maradék 5%-ot elsősorban a légköri kísérleti atomrobbantások máig ható következményei okozzák. Ezután következik csak a nukleáris technológiákból adódó sugárterhelés.

A társadalom nukleáris technológiákkal kapcsolatos hozzáállása ellentmondásos. Mindenki szívesen veszi az orvosi-diagnosztikai módszerek elterjedését, a nukleáris energia-termelésből adódó áramot (Magyarországon ez a teljes elektromos energia ~40%-a). Az a tény, hogy ezekben az esetekben az előnyökért a társadalom tudatos kockázatvállalására van szükség, amelyet az előnyök és a hátrányok szakszerű mérlegelésével lehet felvállalni, még csak kevesekben tudatosodott. Nyilvánvaló, hogy a társadalom egésze a tudományos technikai fejlődés során semmiképpen sem, vagy csak nagy áldozatok árán mondhat le azokról az eredményekről és előnyökről, amelyekhez a sugárforrások, sugárzó anyagok és az atomenergia felhasználásával jut.

Ugyanakkor az élővilág, így az emberiség sugármentesítése elérhetetlen illúzió is: a kozmikus tér és a természetes radioaktív anyagok háttérsugárzásának a Föld lakói mindig ki voltak és ki lesznek téve. Az élet így alakult ki és maradt fenn rajta.

A radioaktivitástól való félelem bizonyos mértékig érthető, hiszen az ionizáló sugárzást érzékszerveinkkel nem vagyunk képesek felfogni. (A gamma- és röntgen-sugárzás ugyanúgy elektromágneses sugárzás mint a fény, de a kvantumainak energiája több nagyságrenddel nagyobb, mint a látható fényé.) A halálos dózis által átadott energia még egy fokkal sem emeli az emberi test hőmérsékletét, és klasszikus módszerekkel (hőmérővel) nem is lehetne kimutatni.

A ionizáló sugárzást megfelelő eszközökkel nagyon pontosan lehet detektálni. A legolcsóbb és legegyszerűbb GM-csőves detektorral a természetes sugárzási szint néhány százalék pontossággal követhető. A természetes sugárzási szintet folyamatosan mérik (Országos Sugárzásfigyelő Jelző- és Ellenőrző Rendszer - OSJER).

Az adatok az Interneten bárki számára hozzáférhetők (<http://omosjer.reak.bme.hu> , illetve a Országos Meteorológiai Szolgálat honlapjának megfelelő oldalán: http://met.hu/levegokornyezet/gammadozis_teljesitmeny/magyar/). A már említett film-doziméteres ellenőrzésnél a természetes háttérsugárzástól való 25%-os eltérést már naplózzák, bár ez a dolgozókra megengedett érték kb. százada.

A jelen laboratóriumi gyakorlat célja az, hogy betekintést adjon a sugárvédelem céljaiba, megalapozásába, módszereibe és gyakorlatába. A mai energiapolitikai helyzetben különösen fontosnak tartjuk, hogy az atomenergia és a hagyományos energiaforrások sugárveszélyességéről, a természetes sugárterhelésről, a sugárdózisok mérésének módszereiről a hallgatóink pontos és szakmailag megalapozott ismereteket szerezzenek.

2. fejezet

Az ionizáló sugarak hatásai

2.1. Dózisfogalmak

2.1.1. Fizikai dózisfogalmak

Ahhoz, hogy a különböző sugárzások veszélyeiről, az azokkal kapcsolatos kockázatokról beszélni tudjunk, meg kell ismerni a ma használatos dózisfogalmakat. Az (elsődlegesen és másodlagosan) ionizáló sugárzások dóziséban valamely anyagban elnyelt sugárzási energiát értjük.

Az *elnyelt dózis* (D) az anyagban tömegegységenként elnyelt energia:

$$D = \frac{dW}{dm} = \frac{1}{\rho} \frac{dW}{dV},$$

ahol dW az elnyelt energia, m az elnyelő anyag tömege V térfogatban, és ρ az anyag sűrűsége. Az elnyelt dózis egysége a gray:

$$[D] = 1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gy (gray)}.$$

Elnyelt dózisteljesítmény (\dot{D}) az időegység alatt elnyert dózis (az elnyelt dózis idő szerinti deriváltja).

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}.$$

Egysége a $[\dot{D}] \text{ J/kg s} = \text{Gy/s}$, a gyakorlatban használt egysége a $\mu\text{Gy/h}$.

Pontszerű γ -forrástól meghatározott távolságra az elnyelt dózis a következő összefüggés alapján számítható. Az A aktivitású forrástól r távolságra t idő alatt a levegőben tömegegységenként elnyelt dózis:

$$D = \frac{K_\gamma \cdot t \cdot A}{r^2},$$

ahol K a forrásra jellemző érték, **az izotóp dózisállandója**. (A levegő átlagrendszáma nagyon közel esik az emberi test átlagos rendszámához.) A 2.1. táblázat néhány, gyakorlati szempontból fontos izotóp dózisállandóját tartalmazza:

Izotóp	$K\gamma$ [mGy·m ² /GBq·h]
²⁴ Na	0,444
²² Na	0,282
²²⁶ Ra	0,200
⁶⁰ Co	0,200
¹³⁷ Co	0,0799
¹³¹ I	0,054
¹⁹² Ir	0,0998

2.1. táblázat. Néhány gyakrabban használt izotóp dózisállandója.

A Bequerel (Bq) az **aktivitásnak**, az (időegységként bekövetkező bomlások számának) mértékegysége: $[Bq] = 1/s$.

2.1.2. Biológiai dózisfogalmak

Az ionizáló sugárzások biológiai hatásai bonyolult folyamatok eredményeként alakulnak ki. A testszövetet alkotó anyag és a sugárzás között először fizikai kölcsönhatások jönnek létre, amelyeket azután kémiai, biokémiai elváltozások követnek. A végeredmény a besugárzott élő szervezet biológiai elváltozása lehet.

Egyenérték-dózis (H_T) a sugárzás biológiai hatását leíró számított dózismennyiség. Az R típusú sugárzástól, T szövetben vagy szervben elnyelt dózis:

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot w_R,$$

ahol $D_{T,R}$ a T szövetben vagy szervben elnyelt dózis átlagértéke és w_R az R sugárzás károsító hatásának **súlyozótényezője**, az egyes sugárzásokra jellemző dimenzió nélküli szám. (Ma is többször találkozhatunk a Q -val jelölt minőségfaktorról (quality factor), ami megegyezik w_R -rel, ha a T szövet helyett az egész testről beszélünk. A minőségfaktort a korszerű sugárvédelem már nem alkalmazza.)

Ha a sugárzási teret különböző típusú, illetve eltérő súlyozótényezőjű sugárzások alkotják, akkor a teljes egyenérték-dózis:

$$H_T = \sum_R D_{T,R} \cdot w_R.$$

A teljes egyenérték-dózis egysége a Sievert (Sv): $[H] = J/kg = Sv(\text{sievert})$.

Sugárzás	w_R
Fotonok	1
Elektronok és müionok	1
Protonok	5
alfa-sugárzás, hasadványok, nehéz magok	20

2.2. táblázat. A sugárzási súlyozó tényezők különböző fajtájú sugárzásokra [4].

Néhány ionizáló sugárfajta súlyozótényezője a 2.2. táblázatban található:

Az effektív dózis (E) a különböző szövetek eltérő kockázatnövelő hatását figyelembe vevő, egész testre vonatkozó, számított biológiai dóziszfogalom. A egyenértékdózis számításakor ugyanis nem vettük figyelembe, hogy a különböző szervek, szövetek más-hogy reagálnak ugyanarra a sugárzásra. Az effektív dózis:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T,$$

ahol w_T a súlyozó tényező, amely a T testszövetből származó hatásokból eredő károsodás és a test egyenletes besugárzása esetén fellépő hatásokból eredő teljes károsodás aránya, H_T a szervekre számított egyenérték-dózis. Az effektív dózis egysége is a sievert, $[E] = Sv = J/kg$. A testszöveti súlyozó tényezők a 2.3. táblázatban találhatók:

Testszövet	w_T
Csontvelő	0,12
Vastagbél	0,12
Tüdő	0,12
Gyomor	0,12
Emlő	0,12
Egyéb szövetek	0,12
Ivarmirigyek	0,08
Hólyag	0,04
Nyelőcső	0,04
Máj	0,04
Pajzsmirigy	0,04
Csontfelszín	0,01
Agy	0,01
Nyálmirigyek	0,01

2.3. táblázat. A testszöveti súlyozó tényezők [4].

Az sugárzás keltette ionok megzavarhatják a sejtosztódást; amelyik szervben jelentős az osztódás, az érzékenyebb.

2.2. Az embert érő sugárterhelések okai

Miután értelmeztük a különböző sugárzások mennyiségét és biológiai hatását, megvizsgáljuk, hogy honnan származnak ezek a sugárzások.

2.2.1. A természetes sugárterhelés

A bioszférát kialakulása óta érik különböző eredetű ionizáló sugárzások. Az emberi tevékenységtől független sugárterhelést természetes sugárterhelésnek nevezzük.

Az elsődleges kozmikus sugarak részben a Galaktikából, részben a Napból származnak. Jelentős részük nagy energiájú proton, de alfa-részecskék és röntgen-fotonok is előfordulnak közöttük. A Föld légkörének felső rétegeiben az elsődleges kozmikus sugarak magreakciókat és másodlagos részecskéket (neutronokat, mezonokat, stb.) hoznak létre. A másodlagos részecskék további reakciókat okoznak, és ez úton végeredményben egy sor radioaktív elem keletkezik (^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{22}Na , ^{24}Na , ^{14}C , stb.).

A Föld mágneses tere jelentős védelmet nyújt a világegyérből érkező elektromos töltésű részecskék ellen, azokat a mágneses pólusok felé terelve. Emiatt a kozmikus sugárzás által okozott dózisterhelés függ a földrajzi helytől.

A kozmikus sugárzás által létrehozott radioizotópok a légkör keveredése révén lekerülnek a Föld felszínére, vagy az eső bemossa őket a Föld belsejébe. Így kerül pl. a trícium a vizekbe.

Magyarországon a lakosság évente átlagosan 0,3-0,35 mSv egyenérték-dózisú sugárterhelést kap a kozmikus sugárzástól.

A Földben vannak olyan radioizotópok is, amelyek még korábbi szupernóva robbanásból származnak és amelyek felezési ideje a Föld életkorával összemérhető. Ezekből adódik a földi eredetű természetes sugárterhelés. Ezeket a 2.4. táblázat foglalja össze:

Izotóp	felezési idő [év]
^{40}K	$1,28 \cdot 10^9$
^{87}Rb	$47,0 \cdot 10^9$
^{238}U és bomlási sora (^{222}Rn)	$4,49 \cdot 10^9$
^{235}U és bomlási sora	$7,04 \cdot 10^8$
^{232}Th és bomlási sora (^{220}Rn)	$14,1 \cdot 10^9$

2.4. táblázat. A földi természetes sugárterhelést létrehozó izotópok.

A fentiekből a radon okozza (az egész Földre vonatkoztatva) a természetes sugárterhelés felét úgy, hogy a (lakó)helyiségekben - kellő légcserre hiányában - feldúsul [1]. A radon nemesgáz, az urán és a tórium leányeleme. A természetes sugárterhelés hazai megoszlásának részletes ismertetése a [2] irodalom 23. oldalán található.

A teljes természetes eredetű sugárterhelés Magyarországon 2 és 4 mSv/év között van.

Természetes sugárterhelést növelő tevékenységek: a **repülés, a dohányzás és a széntüzelésű** erőművek **közelsége**.

Repülőgépen 10 km magasan 30 óra alatt 0,15 mSv járulékos dózisterhelést kapunk.

Dohányzó emberek tüdejében mintegy 300%-al magasabb a ^{210}Pb és kb. 200%-al magasabb a ^{210}Po tartalom, mint a nemdohányzókéban. Ennek megfelelően az ezektől az izotóptól származó, tüdőt ért sugárterhelés is ilyen arányban nő. A csontok ^{210}Pb tartalmában mintegy 75%-os növekedést idéz elő a dohányzás, ezért a vérképző rendszert is károsítja.

A kőszén a talajjal kb. azonos koncentrációban tartalmaz radioaktív izotópokat. A pernyében azonban az urán és az ólom lényegesen feldúsul, s így a kéményen át távozó pernye a környezet radioaktív szennyeződését idézi elő, ami a lakosság többlet-sugárterheléséhez vezet. Egy átlagos szénerőmű pernyéjének fajlagos aktivitása kb. 1500 Bq/kg. Minden megtermelt MWév villamos energiára 11 MBq aktivitás kibocsátása jut. Emellett a salakban is feldúsul az urán, ami fokozottan káros, ha lakóházak építésénél használják.

A természetes és mesterséges eredetű külső és belső sugárterheléseket a 2.5. táblázat összesíti.

Természetes sugárterhelés	67,7%
Orvosi eredetű sugárterhelés	30,7%
Nukleáris robbantások hatása (ma)	0,6%
Különböző sugárforrások hatása	0,5%
Sugárveszélyes munkahelyen dolgozók	0,35%
Atomenergetika	0,15%

2.5. táblázat. A sugárterhelésünk források szerinti megoszlása.

2.2.2. A mesterséges eredetű sugárterhelés

Egészségügyből adódó (diagnosztikai és terápiás) sugárterhelés

A lakosság természetes eredetű sugárterhelése után ez a terület adja a legnagyobb terhelést. Igaz, hogy itt a legnyilvánvalóbb mindenki számára a kockázatvállalás haszna. Meg kell azonban említeni, hogy csak akkor szabad a beteg sugárterhelésnek kitenni,

ha a vizsgálat vagy terápia elmaradása nagyobb kockázatot jelentene, mint annak végrehajtása. Ez az esetek döntő többségében úgy teljesül, hogy a vizsgálat kockázata több nagyságrenddel kisebb, mint a haszon, amelyet hoz.

A lakosság orvosi alkalmazásokból eredő sugárterhelésének világátlagos 0,6 mSv, a fejlett országokban 2 mSv/év [2].

Televízió, számítógép, katódsugárcsőves (CRT) monitor

Elektromosságban ismert, hogy a gyorsuló töltés sugároz. A televízió vagy a monitor katódsugárcsőves képernyőjébe becsapódó elektron gyorsul, (negatív gyorsulás) ezért - a röntgenkészülékekhez hasonlóan, - sugárzást (ún. fékezési röntgen-sugárzást) bocsát ki. Az alkalmazott (20 kV körüli) csőfeszültség azonban eléggé alacsony, a csőben lévő elektronáram erőssége pedig eléggé kicsiny, ezért a képernyő felé az üveg vastagsága miatt általában nem jut ki röntgen-sugárzás, a képcső vékonyabb részein pedig árnyékolást alkalmaznak.

Ez persze nem jelentkezik az LCD-, TFT-, LED- és plazma monitorok esetében. Itt nincsenek nagy feszültséggel fölgyorsított és lelassuló töltések; a plazma-kijelzőnél a kis feszültség miatti a (gáz)kisüléshez szükséges nagy térerőt [V/m] a képpont kis mérete okozza.

Atomerőművek, atomenergetika

Az atomreaktorok a mesterséges sugárterhelés forrásait jelentik, akár kutatási akár energetikai célokra használják is azokat. Teljesítményüknél fogva azonban az erőművi reaktorok terhelése mellett a kutatóreaktorok terhelése elhanyagolható. Az atomerőművektől származó sugárterhelés vizsgálatánál meg kell különböztetnünk a normál üzemi és az üzemzavari kibocsátásokat.

Normál üzemi kibocsátások

Normális üzem közben egy atomerőmű légnemű és folyékony halmazállapotú radioaktív anyagokat bocsát a környezetbe. Az előírások szerint ezek a kibocsátások csak olyan értékűek lehetnek, hogy a környéken élő lakosságnak ebből eredő többlet sugárterhelése nem érheti el az évi 0,25 mSv-et évenként 1000 MW villamos reaktorteljesítményre vonatkoztatva [3]. Ennek betartását az erőművek köré telepített környezetellenőrző hálózat folyamatosan ellenőrzi.

Üzemzavari kibocsátások

A terjedés során a radioaktív anyag felhígul (szétterül), s ezért a távolabb élők kisebb terhelést kapnak, mint a közelben lakók. Az atomerőművektől távolabb lakókat csak a hosszú felezési idejű izotópok veszélyeztetik. A lakosság egyes rétegeit ért dózist ismerve meg lehet becsülni egy üzemzavar várható következményeit, kockázatnövelő hatását (a kockázatokról l. a 2.4. fejezetet).

A csernobili katasztrófa például a Magyarországon élőkre nézve azt jelentette, hogy a felnőtt lakosság 10 év alatt összesen átlagosan 0,47 mSv többletdózist kap. Ebből 0,33 mSv-et 1986-ban kapott ([2] 212. oldal).

A rendelkezésre álló tapasztalatok (a Hirosima és Nagasaki elleni atomtámadásokat túlélők adatai, röntgen-besugárzások alanyainak megfigyelése, stb.) szerint **1 Sv dózis elszennvedése** a teljes népességre vonatkoztatva **5% valószínűséggel okoz halált**, vagy halállal végződő más betegséget.

Ha a csernobili balesetből adódó **0,47 mSv** többletdózist összeszorozzuk az 1 Sv-hez tartozó **5%** elhalálzási valószínűséggel, akkor a kockázatnövekedés: $0,47 \cdot 10^{-3} * 5 \cdot 10^{-2} = 2,35 \cdot 10^{-5}$. Ennél nagyobb kockázatot vállalunk (ld. 2.4. fejezet) 300 km-es kerékpározással.

A társadalmi megítélésben lévő különbségek gyökere két okban rejlik. Egyrészt a dohányos és az autós kockázata önként vállalt kockázat, míg Csernobil kényszerített kockázat; másrészt pedig az előbbiek esetében a haszon - amiért a kockázatot vállalják - a kockázatvállalók számára nyilvánvaló, míg Csernobil esetében a kérdés összetettebb. Mint említettük, mind az előny mind a kockázat megítélésében nagy szerepet kap a szubjektivitás. Ezért ezekben a kérdésekben a társadalmi vita biztosan tovább fog tartani. Csak remélni lehet azonban, hogy az érzelmi érvek helyét előbb-utóbb elfoglalják az alapfogalmak és tények ismeretére alapozott racionális érvek.

A paksi 2003. április 10.-11.-i üzemzavar következtében a kibocsátás által okozott többletdózis 0,00013 mSv, miközben az éves dóziskorlát az egész atomerőműre 0,09 mSv.

A nukleáris fegyverkísérletek

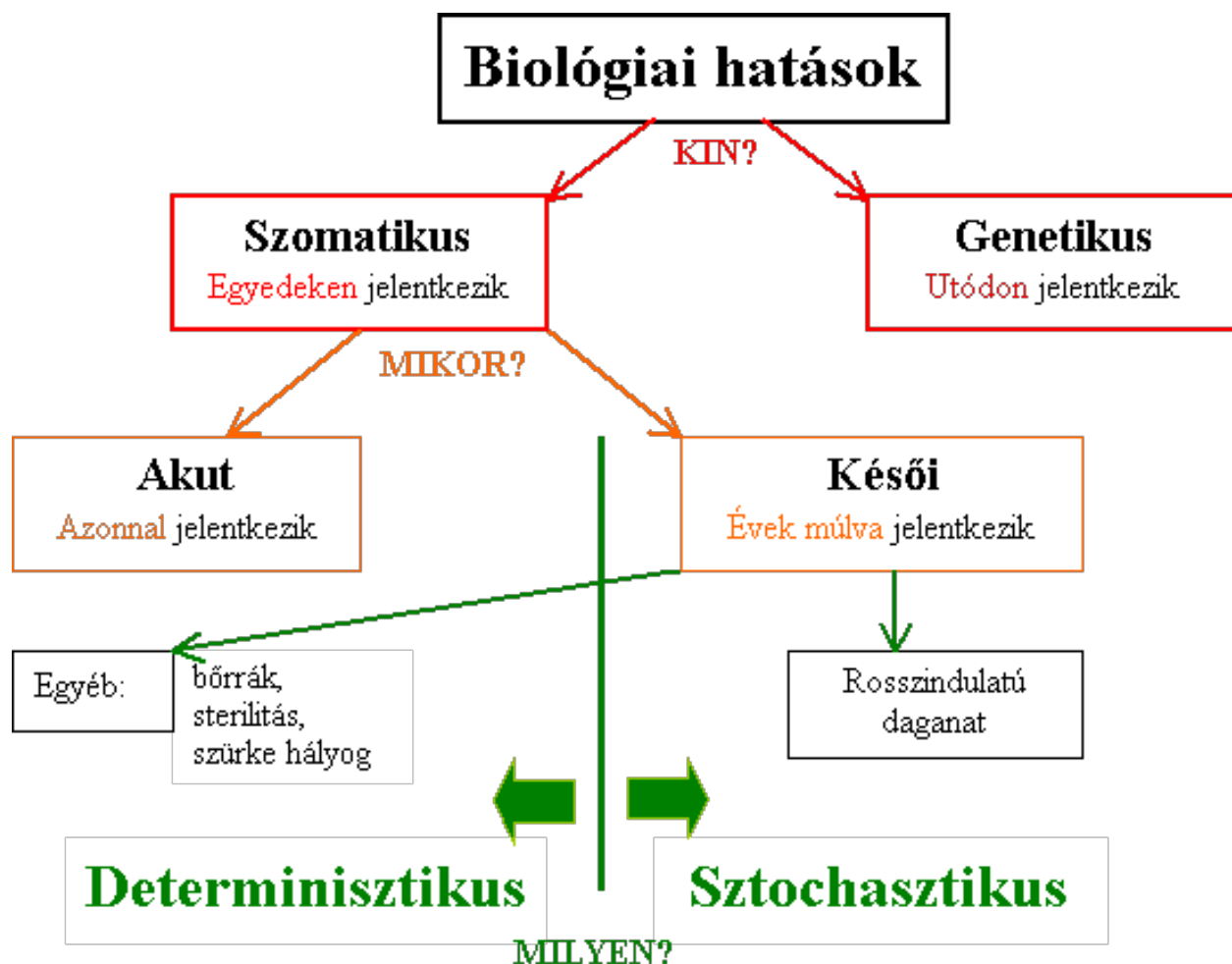
Egy-egy nukleáris szerkezet felrobbantásakor jelentős mennyiségű hasadvány kerül a légkörbe. Ezek egy része a robbantás nem túl távoli környezetében visszaesik, más részét az uralkodó széljárás távolabbra is elviszi, egy harmadik része, a kis szemcseméretű aeroszolok pedig feljutnak a sztratoszférába, és az atmoszféra rétegeinek keveredése során esetleg csak évekkel később kerülnek vissza az alsóbb rétegekbe radioaktív szennyeződést okozva.

A robbantás környezetében a legerősebb a sugárterhelés, attól távolodva rohamosan csökken. A csökkenésnek az egyik oka az, hogy a kikerült radioaktív anyagok szétszóródása megkezdődik, és így a térfogategységre jutó anyagmennyiség csökken. A csökkenés másik oka pedig az, hogy az izotópok aktivitása időben csökken. A robbantástól időben távol már csak a hosszú felezési idejű aktivitások "felhígult" hatásával kell számolni.

A hosszú felezési idejű termékek közül sugárvédelmi szempontból az egyformán mintegy 30 éves felezési idővel rendelkező ^{90}Sr és ^{137}Cs a legjelentősebbek. A stroncium béta-sugárzó, és a csontba épül be (kémiaailag a kalciumhoz hasonló). Így a vérképzésben nagy szerepet játszó csontvelőt károsítja. A cézium béta- és gamma-sugárzó, és az izomszövetbe épül be (kémiaailag a káliumhoz hasonló), ezért az egész test sugárterhelését idézi elő. Az 1963-as atomcsend egyezmény megkötése előtt a nukleáris kísérletektől származó légköri szennyezés kb. 1000-szer akkora volt, mint ma az egész világ atomiparának sugárszennyezése.

2.3. Az ionizáló sugárzások biológiai hatása

A sugárzások biológiai hatásait a "kin? mikor? milyen?", kérdések alapján osztályozzuk. Az osztályozást a 2.1. ábra tartalmazza.

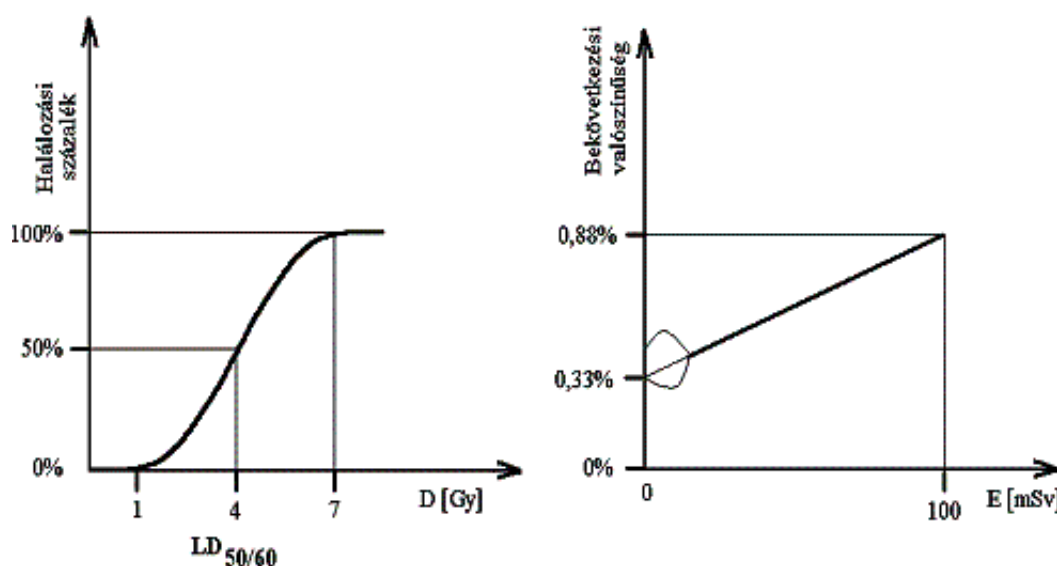


2.1. ábra. Az ionizáló sugárzás biológiai hatásainak osztályozása.

A szomatikus, vagyis az egyedeken (és nem az utódokon) jelentkező biológiai hatás speciális esete a magzati korban kapott sugárterhelés. A sugárhatás itt azonnal jelentkezik, de (legkésőbb) csak kilenc hónap múlva lesz nyilvánvalóvá. A magzat ugyanakkor nagyon érzékeny a sugárterhelésre.

A determinisztikus- és sztochasztikus hatások összevetését a 2.6. táblázat, dózisfüggését a 2.2. ábra mutatja. A baloldali ábrán magas dózisok, míg a jobboldali ábrán

a kis dózisok tartományát mutatjuk. A baloldali ábrán az $LD_{50/60}$ a félhalálos dózis jelölése, a besugárzott emberek 50%-a - orvosi kezelés nélkül - 60 napon belül belehal a sugárterhelésbe.



2.2. ábra. Az ionizáló sugárzások biológiai hatásának dóziszfüggése.

DETERMINISZTIKUS	SZTOCHASZTIKUS
A hatás csak küszöbdózis felett jelentkezik	Nincs küszöbdózis
A hatás súlyossága arányos a dózissal	A hatás valószínűsége arányos a dózissal
Vannak jellegzetes tünetek	Nincsenek jellegzetes tünetek
A hatás általában akut	A hatás mindig később jelentkezik

2.6. táblázat. A determinisztikus és sztochasztikus hatások összevetése.

Már említettük, hogy **1 Sv dózis elszívődése** a teljes népességre vonatkoztatva **5% valószínűséggel okoz halált**, vagy halállal végződő más betegséget. A 2.2. ábra jobboldali görbéjének indulási pontja a magyarországi 0,33%-os éves rosszindulatú daganat miatti halálzási adat [5]. Az, hogy a hosszantartó, kismértékű dózisz-növekedés (nagyobb háttérsugárzás) markánsan megemeli-e a betegség bekövetkezésének valószínűségét (felső vonal); vagy van egy stimuláló hatása (alsó vonal), az szakmai vita tárgya. Van adat arra, hogy kis dózisok elősegíthetik a szervezet hibajavító működését ([2] 126. oldal).

A genetikai sugárhatások azt jelentik, hogy a magsugárzások a csírasejtek kromoszómáiban és géneiben öröklődő degenerációkat hoznak létre. A kiváltott mutációk

általában kóros elváltozásokat eredményeznek, amelyek csökkentik az utód életképességét (pl. sükettség, vakság). A mutációk majdnem mindig recesszív jellegűek, vagyis nem a sugárártalmat elszenvedett egyén közvetlen utódainál jelentkeznek, hanem csak későbbi leszármazottaknál, ha azonos mutációjú kromoszómák találkoznak az utódnemzésnél. Nyilvánvaló, hogy mindaddig, amíg a társadalomnak csak kis része van kitéve a háttér-sugárzás fölötti besugárzásnak, addig a jelenség nem túl nagy fontosságú. Ha azonban a népesség jelentős hányada kerül kapcsolatba mag sugárzásokkal, a genetikai sérülések valószínűsége megsokszorozódhat.

A Hirosima és a Nagasaki elleni atomtámadásokat túlélők vizsgálatánál nem tudták kimutatni a szülőket ért sugárterhelés genetikai hatását a később fogant gyerekekben. A vizsgálatok azonban nem zárták ki a sugárterhelés genetikai hatását.

2.3.1. A sugárzások biológiai hatását befolyásoló tényezők

A sugárhatást fizikai-, kémiai- és biológiai tényezők befolyásolják ([2] 73. oldal).

A sugárzások hatását módosító fizikai tényezők: a sugárzás fajtája (2.2. táblázat), a dózisteljesítmény, az, hogy a dózist milyen részletekben közöljük (dózisfracionálás), valamint a hőmérséklet.

A kémiai tényezők közül a legjelentősebb az oxigén sugárérzékenységet fokozó hatása. A biológiai hatást elsősorban a sejtek és szövetek eltérő sugártűrése (2.3. táblázat), az életkor és az egyéni érzékenység - akár időbeli - különbözősége is befolyásolja. A sejtek és szövetek sugárérzékenységét a sejtbiológiai folyamatokban résztvevő szabályzó mechanizmusok befolyásolják. Az egyéni sugárérzékenység sok biológiai tényezőtől, köztük az életkortól is függ.

2.4. A kockázatokról

A kockázat fogalmának bevezetésére azért van szükség, hogy az embert érő különböző káros hatásokat össze lehessen hasonlítani. (Az Egyesült Államokban például minden évben meghal egy-két ember a rázuhanó repülőgéptől, az ilyen halál kockázata (ott) $1/100000000$ év körül járhat. Ezt azonban a köznapis vélekedés elhanyagolhatónak (gyakorlatilag zérusnak) ítéli. Tekintsük át a mindennapok egyéb kockázatait.

A **kockázat** (R) matematikai értelmezése a következő:

$$R = W \cdot K,$$

ahol W a bekövetkezés valószínűsége, K pedig a következmény súlyossága. Bizonyosság esetén $W = 1$, halálesetben $K = 1$.

Ha N személyt teszünk ki ugyanakkora R kockázatnak, akkor a **kollektív kockázat** - a várható halálesetek száma - $N \cdot R$. Vezessük be a **mikrorizikó** fogalmát! Ez

$$R = \frac{1}{10^{-6}}$$

kockázat, azaz pl. egyetlen áldozat várható 1 mikrorizikó kockázatnak kitett egymillió ember közül. Nemzetközi statisztikák szerint kb. ekkora kockázattal jár:

2500 km utazás vonaton,
 2000 km utazás repülőn,
 80 km autóbuszon,
 65 km autón,
 12 km kerékpáron,
 3 km motorkerékpáron,
 egy cigaretta elszívása,
 két hónap együttélés egy dohányossal,
 meginni egy palack bort,
 kövér embernek még egy vajas szendvicset enni,
 egy órán át Budapest belvárosában lélegezni,
 egy hétig házban aludni,
 öt éven belül méhcsípéstől meghalni és
 tíz éven belül villámcsapást kapni.

Egyéb kockázatok (2.7. táblázat):

Tevékenység, foglalkozás	mikrorizikó/év-ben kifejezett kockázat
Kereskedelmi munka	2-3
Gyári munka	10-100
Hivatásos autóvezetés	400
Építőipari munka	400
Szénbányászat	800
Elektromos távvezeték építés	1200
Mélytengeri halászat	800
Gyilkosság, Magyarország	30
Öngyilkosság, Magyarország	490
Dohányzás okozta halálesetek, Magyarország	3000

2.7. táblázat. Különböző tevékenységek kockázatának összehasonlítása.

2.5. Sugárvédelem

2.5.1. Kollektív sugárvédelem

A sugárvédelem alapelve az, hogy az emberi sugárterheléssel járó tevékenység okozta egészségkárosodás kockázatát elfogadható szinten kell tartani. Ez az elv képezi a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) sugárvédelmi ajánlásainak és dóziskorlátozási rendszerének alapját. Ezt a dóziskorlátozási rendszert a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (International Atomic Energy Agency, IAEA) beépítette Sugárvédelmi Alapszabályzatába, és elfogadta számos ország illetékes szerve, így közöttük hazánk is. Ez a korlátozási rendszer állandó változásban van, hiszen az újabb felismerések alapján az ajánlásokat időnként módosítják, és ezek nyilvánvalóan a szabályzatok módosítását is maguk után vonják.

2.5.2. A sugárvédelem hármasszabálya

Indokoltság elve: Sugárzással járó tevékenységet csak pozitív nettó haszon esetén szabad folytatni.

Ez ad értelmet a sugárterheléssel kapcsolatos kockázatvállalásnak. Azt, hogy egy társadalom mit tekinthet ésszerű kockázatnak, nehéz meghatározni. A kérdésnek az az átfogalmazása, hogy "azok az előnyök, amelyekhez a társadalom egésze a sugárforrások felhasználásával jut, legyenek nagyobbak, mint a hátrányok", további nehezen meghatározható fogalmakat tartalmaz. Itt már szakmai kérdéseken kívül társadalmi-, politikai- és morális problémákkal is találkozunk.

ALARA (As Low As Reasonably Achievable) elv: Minden indokolt sugárterhelést olyan alacsony szintre kell csökkenteni, amennyire az a gazdasági és társadalmi szempontok figyelembevételével ésszerűen lehetséges.

Dóziskorlátozás: Az egyéni sugárterhelés egyenérték- és effektív dózisa nem haladhat meg egy megállapított határértéket.

2.5.3. Dóziskorlátok

Foglalkozási sugárterhelés

Bármely dolgozó foglalkozási sugárterhelését úgy kell szabályozni, hogy azok a következő korlátokat ne lépjék túl:

1. **20 mSv** effektív dózis évente, öt egymást követő évre átlagolva (**100 mSv/5év**),
2. **50 mSv** effektív dózis bármely egyetlen évben,

3. **20 mSv** egyenérték dózis egy évben a szemlencsére, valamint
4. **500 mSv** egyenérték dózis egy évben a végtagokra, vagy a bőrre.

Lakossági sugárterhelés

A tevékenység következtében a lakosság érintett csoportjának becsült átlagos dózisa ne lépje túl a következő korlátokat:

1. **1 mSv** effektív dózis egy évben,
2. **15 mSv** egyenérték dózis egy évben a szemlencsére, valamint
3. **50 mSv** egyenérték dózis egy évben a bőrre.

2.5.4. Védekezés a sugárterhelés ellen

Védekezés a külső sugárterhelés ellen

A szervezeten kívül elhelyezkedő sugárforrás hatását külső sugárterhelésnek nevezzük. Az ellene való védekezésnek három alaplómódzata van: távolságvédelem, idővédelem és a sugárzást gyengítő anyagok használata.

Távolságvédelem: Egy pontszerű gammaforrástól (vákuumban) időegység alatt kapott dózis a forrástól mért távolság négyzetével fordított arányban csökken. Ezért a védekezés első módja a távolságtartás. Ezért tilos pusztán kézzel megfogni bármilyen kis aktivitású sugárforrást, csak csipesszel, (manipulátorral) szabad dolgozni.

Idővédelem: Hosszú felezési idejű radioizotópoktól kapott dózis egyenesen arányos a besugárzási idővel. Ezért a sugárveszélyes helyen töltött idő csökkentésével az elnyelt dózis csökkenthető. Ennek érdekében a munkát gondosan elő kell készíteni, hogy a szükséges anyagok, eszközök a megfelelő időben azonnal kéznél legyenek. Ha bonyolultabb manipulációt igénylő sugárveszélyes tevékenységet kell végezni, azt sugárvédett helyen előre be kell gyakorolni.

Sugárzást gyengítő (árnyékoló) anyagok használata: A dózisteljesítmény a forrástól mért távolsággal négyzetesen csökken. Vákuumban ez az állítás minden, stabil részecskékből álló sugárzásra igaz. Ha a forrás és a személy közé valamilyen anyagot helyezünk, ez a törvény módosul, mert a sugárzás egy része a közbehelyezett anyagban elnyelődik. Ilyen közbe helyezett anyag lehet a levegő is.

Elektromosan töltött részecskék árnyékolása: Természetesen az árnyékoló hatás függ az anyag és a sugárzás kölcsönhatásának jellegétől. Az alfa-sugárzást - amelynek nagy a fajlagos ionizáló képessége - már vékony anyagrétegek is teljesen elnyelik (néhány cm-es levegőrétteg, vastagabb papírlap, ruhaszövet, stb. Az alfa-sugárzó akkor veszélyes, ha bekerül a szervezetbe.)

A béta sugarak fajlagos ionizációja kisebb mint az alfa-részecskéké, ezért az ellenük való

védekezéshez is vastagabb anyagrétegre van szükség. Energiától és anyagtól függően szilárd anyagokban 0,1 mm-től 20-30 mm-ig terjed hatótávolságuk, a levegőben pedig akár néhányszor 10 cm-re is eljuthatnak. (Ezért is lehet terápiás célra használni).

Általában az elektromosan töltött részecskék gyengítése annál nagyobb, minél sűrűbb az abszorbens, és minél nagyobb az abszorbensben lévő részecskék átlagos ionizációs energiája. Ennek alapján a szilárd anyagok jobban árnyékolnak, mint a gázneműek, és a nagyobb rendszámúak jobban, mint a kisebb rendszámúak.

Elektromágneses sugárzások árnyékolása: A röntgen- és a gamma-sugárzás az anyagban lévő elektronokkal lép kapcsolatba, ezért a gamma-sugárzást is a nagy rendszámú, nagy sűrűségű anyagok (ólom, nehézbeton, stb.) gyengítik legjobban. A sugárzás intenzitásának csökkenését a következő összefüggés írja le:

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\frac{x \ln 2}{R_{1/2}}},$$

ahol $R_{1/2}$ a felezési rétegvastagság.

Neutronok árnyékolása: a neutronok az anyagban lévő atommagokkal lépnek kölcsönhatásba. Ezért olyan anyagok a jó neutronárnyékolók, amelyeknél a magreakciók nagy valószínűséggel bekövetkeznek. A neutron-abszorpció nagyon függ a neutronok energiájától, a legnagyobb valószínűséggel a lassú (termikus) neutronok nyelődnek el (n, γ) reakció során bizonyos anyagokban (pl. kadmium). A gyors neutronok árnyékolása két lépcsőben történik. Először célszerű a neutronokat lelassítani, majd nagy abszorpciós hatáskeresztmetszetű anyagokkal elnyeletni. A neutronok lassítására a legalkalmasabbak a nagy hidrogéntartalmú anyagok (pl. víz, paraffin). A neutronok elnyeletésére bórozott, nagy víztartalmú, speciális betonárnyékolást, vagy - kisebb intenzitások esetén - bórozott paraffin-téglákból épített falakat alkalmaznak. A neutronok elnyelődése általában gamma kibocsátással jár, és ezért a neutronárnyékoló falakat még a másodlagos gamma-sugárzást gyengítő ólom- vagy vasréteggel szokták körülvenni.

Védekezés belső sugárterhelés ellen

Zárt radioaktív készítményekkel végzett munka során (a tanári gyakorlatban csak ilyenekkel szabad dolgozni) csak a külső sugárterhelés veszélyével kell számolni (bár mindig gondolni kell arra, hogy a preparátum burkolata megsérülhet).

Nyitott radioaktív készítménnyel végzett munka során a radioaktív anyag párolgás, porlódás, elcsöppenés útján a környezetbe kerülhet, így létrejön az inkorporáció lehetősége.

Inkorporációnak nevezzük, amikor a sugárzó anyag belégzés, lenyelés, vagy bőrön át történő felszívódás útján a szervezetbe kerül, részt vesz a szervezet anyagcseréjében, és több- kevesebb ideig a szervezetben tartózkodik. A belső sugárterhelés elleni védekezés két legfontosabb módja a megelőzés és a dekontamináció.

A megelőzést szolgálják a sugárvédelemnek azok a szabályai, amelyek szerint sugárveszélyes helyre *tilos ételt, italt bevinni, és tilos ott enni, inni, dohányozni, ott kozmetikumokat használni*. Még zárt izotópokkal végzett munka után is kezet kell mosni, és a

személyi higiéné szabályait fokozottan be kell tartani. A munkahely padlóját, asztalait, munkafelületeit, levegőjét rendszeresen ellenőrizni kell. Minden észlelt szennyeződést azonnal jelenteni kell a jogszabályban meghatározott illetékes sugárvédelmi felügyeletnek, akinek a szakemberei a szennyeződés okát megállapítják, és a szennyezés eltávolítását, az ún. dekontaminálást elvégzik.

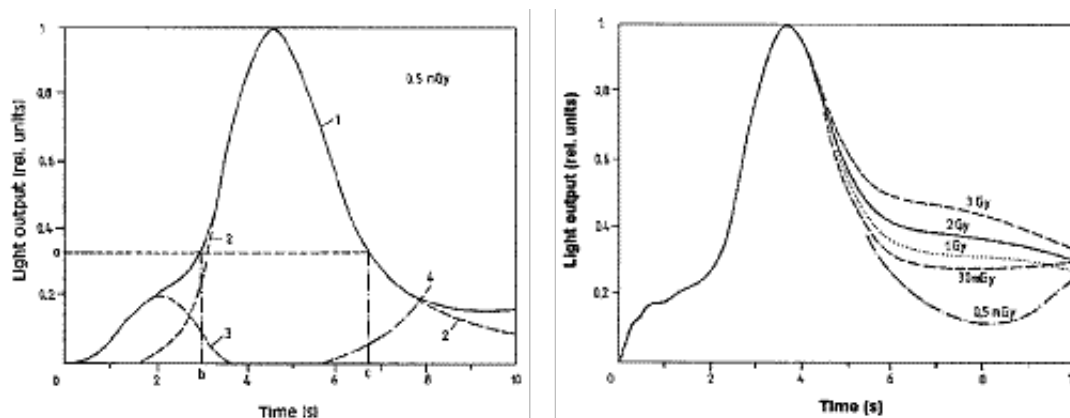
A dekorporáció lényege, hogy a szóban forgó elem stabil izotópját bejuttatva a szervezetbe az aktív izotóp felhígul, kevésbé dúsul fel és hamarabb kiürül.

3. fejezet

TLD dozimetriai gyakorlat

3.1. A termolumineszcens doziméter működési elve

A termolumineszcens detektorok működésének alapja, hogy az ionizáló sugárzás (általában gamma-sugárzás) hatására a kristályok egyes elektronjai gerjesztett állapotba kerülnek, majd a kristály szennyezőatomjainak helyén befogódnak, és onnan csak felmelegítés hatására lépnek ki és térnek vissza az alapállapotba. Az alapállapotba való visszatéréskor látható, vagy ahhoz közeli hullámhosszú fényt emittálnak. A kibocsátott fotonok száma - ami fotoelektron-sokszorozóval mérhető - arányos a doziméterben (a kristályokban) eredetileg elnyelt sugárdózissal.



3.1. ábra. A TLD fényhozamának időfüggése (hőmérsékletfüggése) kifűtéskor.

A kifűtés hatására a kristály hőmérséklete nagyjából lineárisan változik. Az idő függvényében a fotonok kilépési gyakorisága (a fényhozam) jellegzetes görbét (1) mutat (1. ábra). Egy gyorsan lecsengő, kis hőmérsékletekhez tartozó csúcs (3) után következik

a nagyobb, szélesebb, és dozimetriai célokra használni kívánt fényhozam-csúcs (2). A kifűtés végére a még gerjesztett állapotban levő elektronok elfogynak, a görbe lecseng. További fűtés hatására már a hőmérsékleti sugárzásból (izzás) származó fotonok (4) szólatatják meg a fotoelektronsokszorozót. Ezen kívül igen nagy dózisok esetén egy nagy hőmérsékletekhez tartozó csúcs is megjelenik, amint az a 3.1 ábra jobb oldalán látható. Ez utóbbi a labormérés alatt nem lesz lényeges.

A mérés feldolgozása abban áll, hogy a középső, dózissal arányos csúcs területét minél pontosabban megállapítsuk. Ehhez a fénygörbét numerikusan integrálni kell az integrálási határokat úgy beállítva, hogy a kis hőmérsékletű csúcs és a hőszugárzás járuléka minél kisebb legyen, de a dozimetrikus csúcsból minél nagyobb hányad közjük essen. Ekkor az integrál értéke arányos a besugárzás dózisával. A kettő közötti arányossági faktort ismert aktivitású forrással elvégzett kalibráció során állapíthatjuk meg. Ezt a faktort a kristály mennyisége (tömege), érzékenysége és a fotoelektron-sokszorozó hatásfoka szabja meg, ezért minden doziméterre eltérő. A faktor, valamint az integrálási határok a doziméterek egyéni memóriájába vannak programozva, de lehetőség van azok felülírására. A kifűtéssel a dozimétert tulajdonképpen lenulláztuk, alig maradnak benne gerjesztett állapotú elektronok. Ez a maradék-dózis a nagyon csekély, 1 nSv alatti.

A laboratóriumi gyakorlat során a Magyar Tudományos Akadémia **KFKI Atomenergia Kutatóintézet** által kifejlesztett dózismérőt fogjuk használni. (Ez a földi, továbbfejlesztett változata az az űreszközök generációinak fedélzetén évtizedek óta sikeresen használt Pille (<http://atomfizika.elte.hu/magfiz/sug/PIL/Pille.html>) TL dózismérőnek.)

Ez a **PorTL** rendszer, megfelelő dózismérővel alkalmas **környezeti dózisegyenérték** mérésére a **10 μ Sv - 100 mSv** tartományban, **48 - 1250 keV**-es foton energiatartományában.

A **környezeti dózisegyenérték - $H^*(d)$** - az ICRU-fantom felszíne alatt 10 mm mélyen **mért dózis** [7], 8. oldal.

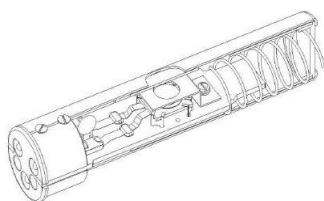
Az ICRU fantom az International Committee on Radiation Units and Measurements által ajánlott próbatest. Ez az emberi törzshöz hasonló méretű (30 cm átmérőjű) és összetételű (1 g/cm³ sűrűségű, oxigénből (76,2%), szénből (11,1%), hidrogénből (10,1%) és nitrogénből (2,6%) álló gömb.

3.2. A PorTL doziméter

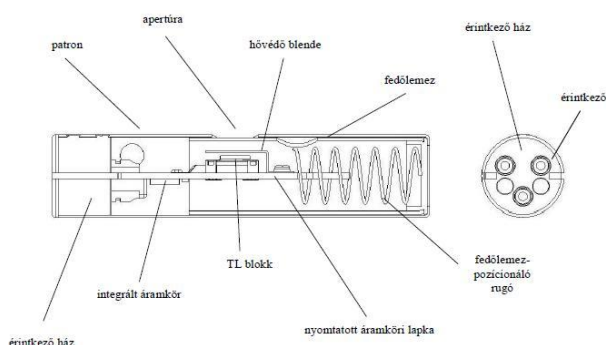
3.2.1. Fizikai felépítése

A berendezés több, - esetünkben négy - dózismérőből és a hozzájuk tartozó kiolvasóból áll. A dózismérő 1 cm átmérőjű, 8 cm hosszú henger.

A kitört- és keresztmetszeti rajza a 3.2. és 3.3. ábrákon látható:

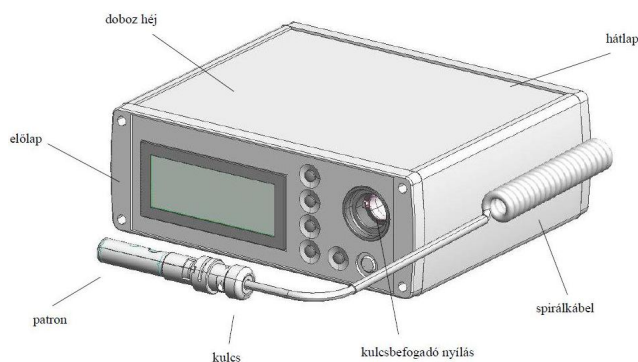


3.2. ábra. A dózismérő patron kitört vázlata.



3.3. ábra. A dózismérő patron metszeti ábrázolása.

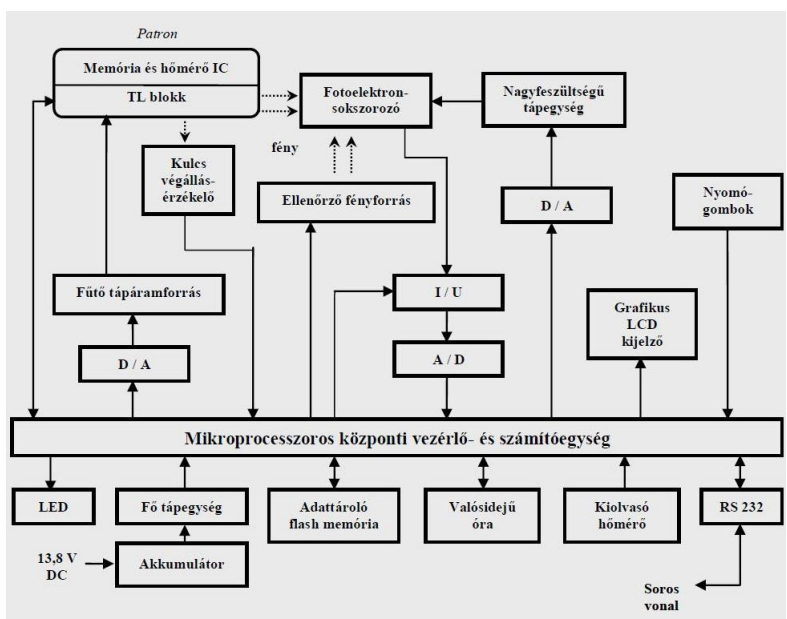
A dózismérőket a műanyag tokjukba kell tárolni, csak a kiolvasáskor kell kivenni. Ekkor a patron - pozicionálás után - finoman be kell nyomni a kiolvasó (3.4. ábra) kulcsába, ezt pedig behelyezni a kulcsbefogadó nyílásba. Ekkor a fedőlemez beljebb tolódik és a fotoelektron sokszorozó "rálát" a TLD kristályra.



3.4. ábra. A kiolvasó nézeti képe.

3.2.2. Logikai vázlata

A kiolvasó blokk-vázlata az 3.5. ábrán látható; főbb részeknek a központi vezérlő- és számítógépséget, a fűtés tápegységét, fotoelektron-sokszorozót, szélessávú I/U és A/D konvertert, nagyfeszültségű tápegységet és a grafikus LCD kijelzőt tekintjük. A kiolvasó



3.5. ábra. A berendezés blokkvázlata.

kijelzőjén az összes adat elérhető az előlapi kezelőszervekkel, erre vonatkozóan a kezelési utasításban található bővebb információ. A kiolvasó összeköthető számítógéppel is, (RS-232), így sokkal kezelhetőbbek az adatok.

3.2.3. Használata

A kiolvasó bekapcsolás után rövid időn belül mérés-kész állapotba kerül. Ha a kulcsot az óramutató körüljárási irányának megfelelően negyed fordulatot elforgatjuk, megkezdődik a mérés. Leolvasható a patron azonosító száma és a lapka pillanatnyi hőmérséklete.

A TLD blokkot a beépített fűtőelem fölmelegíti, a fotoelektron-sokszorozó fölveszi a kifűtési görbét. (Valójában tizedmásodpercenként megszámlolja a felvillanásokat és ezt az idő függvényében ábrázolja.) Így kapjuk meg az 3.1 ábrán látható grafikont.

A mérés végén megjelenik a **kiolvasott dózis**. Fölötte balra a patron azonosítója és jobbra annak a memóriaterületnek - blokknak - a sorszáma, ahol a mérés adatai vannak. A ">" jelű gombbal elő lehet hívni a mérés összegezett adatait is. (A kiolvasó 1920 blokk tárolására képes.)

A grafikus LCD-n megjeleníthetjük a kifűtési görbét és az integrálási határokat is. A patront **még egyszer** - öt perc késleltetés után - **kiolvasva** és a **két dózisértéket egymásból kivonva** kapjuk meg a **tényleges dózist**. **Öt percnél hamarabb nem szabad** újra kiolvasni ugyanazt a patront.

Ha a **tényleges dózist** az **expoziációs idővel** (ami alatt a besugárzás történt) elosztjuk, akkor kapjuk meg a(z átlagos) **dózisteljesítményt**, mSv/h, $\mu\text{Sv/h}$, vagy nSv/h egységekben. Ha megfelelő hosszúságú volt a két kiolvasás között eltelt idő, akkor a kiolvasó is megadja a **dózisteljesítményt**, de ez csak akkor mérvadó, ha nem változott jelentősen a besugárzás intenzitása.

3.3. Mérési feladatok

1. Ellenőrizzük az Északi Tömb -1.102-ben lévő ^{241}Am sugárforrás árnyékolását!

Először olvassuk ki sorban mind a **négy patront**, egymás után, majd **ismételjük meg** a sorozatot! Szokásos ütemben végezve, mire az első újra sorra kerül, eltelik a két kiolvasás közötti "kötelező" öt perces idő. Ha előtte hosszabb ideig nem történt kiolvasás és a háttérsugárzásból értékelhető mennyiségű dózis jött össze, meghatározhatjuk a **háttér dózisteljesítményét**.

Másodszor: helyezzük ki a gyakorlatvezető által megadott helyekre (izotóp mellé, árnyékolás szélére, ablakba, mérőhelyre) a **dózismérőket!** Jegyezzük (perces pontossággal) a kihelyezés idejét!

Harmadszor: szedjük be a dózismérőket! A kihelyezés óta eltelt időt tekintjük expoziációs időnek.

Negyedszer: olvassuk ki (megint két sorozatban, az előbbiekhöz hasonlóan) a **dózismérőket!**

Ötödször: gyakorlatvezetőtől meghatározott formában **küldjük el a mérési adatokat!**

2. Mérjük meg - GM-csőves sugármérővel - a **háttérsugárzás dózisteljesítményét** az épületen belül és kívül, a gyakorlatvezető által megadott paraméterekkel!

Hasonlítsuk össze ezt a magyar gamma-dózisteljesítmény értékkel!

http://met.hu/levegokornyezet/gammadozis_teljesitmeny/magyar/

3.4. Otthoni feladatok

Határozzuk meg a dózisteljesítményt a négy adott helyen!

A kiszámított illetve mért értékekhez mindenhol adjunk meg hibahatárokat is! A kalibráció szisztematikus relatív hibáját a doziméterek esetén $\pm 20\%$ -al becsüljük, a

sztochasztikus relatív hiba pedig a mért dózissal csökken: $[1+(33/D)^2]^{1/2}\%$, ahol a D dózist μSv -ben kell megadni. Adjuk meg a kétféle abszolút hiba kvadratikus összegét, mint mérési hibát, a mért értékeink mellett! Használjunk μSv , $\mu\text{Sv/h}$ illetve nSv/h egységeket!

Számítsuk ki, mennyi **idő alatt** érnénk el az adott helyen a lakossági **korlátot**, az éves magyarországi háttérsugárzásnak megfelelő évi **2,5 mSv**-et és a **foglalkozási** sugárterhelés **150 mSv**-es, szemlencsére vonatkozó éves **korlátját!**

Adjuk meg a **háttér** GM-csőves sugármérővel meghatározott **dózisteljesítményét** és a **szórását** az épületen belül és kívül! Ezt vessük össze az országos adatokkal!

Ellenőrző kérdések, irodalom

A félkövér, dőlt betűvel szedett kérdésekre adott rossz válasz a mérés elvégzésének azonnali megtagadásával jár!

1. Honnan származik a Föld lakosságának természetes sugárterhelése?
2. Honnan származik a Föld lakosságának mesterséges sugárterhelése?
3. A Föld felszínére illetve a talajba lejutó kozmikus sugárzás által keletkezett radioaktív izotópok közül soroljon fel legalább kettőt!
4. A földi eredetű radioaktív sugárzás milyen izotóptól ered? Soroljon fel legalább hármat!
5. *Mennyi a természetes és mesterséges dózisterhelés aránya?*
6. Definiálja az elnyelt dózist és az elnyelt dózisteljesítményt! Mik ezek mértékegységei?
7. Mi a dózisegyenérték/egyenérték dózis? Mi a mértékegysége?
8. Mi az effektív dózis? Mi a mértékegysége?
9. Sorolja fel a sugárvédelem három alapelvét!
10. *Kinek a felelőssége az ALARA elv betartása a gyakorlatban?*
11. *Mennyi lehet legfeljebb az éves dózisterhelése a sugárveszélyes helyen dolgozóknak öt egymást követő évre vonatkozóan? Ez mekkora éves korlátot jelent átlagosan és egy évre vonatkozóan?*
12. *Mennyi a szemlencsére vonatkozó évi dóziskorlát sugárveszélyes helyen dolgozóknak?*
13. *Mennyi a lakosságra vonatkozó évi dóziskorlát? Ez magába foglalja-e a természetes sugárterhelést is?*
14. *Mennyi a végtagokra és bőrre vonatkozó évi dóziskorlát sugárveszélyes helyen dolgozóknak?*
15. *Mennyi a lakosság szemlencsére vonatkozó éves egyenérték dóziskorlátja?*
16. *Mennyi a lakosság bőrre vonatkozó éves egyenérték dóziskorlátja?*
17. Hogyan lehet pontszerű forrás esetén az elnyelt dózist kiszámítani?

18. Milyen módon lehet a külső sugárterhelés ellen védekezni?
19. Mi az inkorporáció?
20. Mik a sugárhatást befolyásoló tényezők?
21. Sorolja fel a determinisztikus sugárhatás négy jellemzőjét!
22. Milyen effektív dózis felett jelennek meg azonnal a káros hatások tünetei?
23. Mi a félhalálos dózis, mennyi az értéke?
24. Sorolja fel a sztochasztikus sugárhatás négy jellemzőjét!
25. Ember esetében ki tudták-e mutatni a szülőket ért sugárterhelés öröklődését?
26. Hogyan definiáljuk a kockázatot?
27. Hogyan értelmezzük a kollektív kockázatot, és mi ennek az egysége?
28. Soroljon fel néhány környezetünkkel és közlekedéssel kapcsolatos kockázatot!
- 29. *Hány mSv/év a lakosságot érő természetes eredetű sugárterhelés Magyarországon?***
30. Mi a környezeti dózisegységérték?
31. Mi a termolumineszcens doziméter működésének alapelve?
32. Milyen komponensekből áll egy TLD fénygörbéje?
33. Milyen mennyiség mérésével követhetünk a dóziszra a TLD esetén?
34. Mit jelent a maradék dózis a TLD-k esetében?

Irodalom

1. UNSCEAR 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, United Nations, New York, Sources
2. Köteles György: Sugáregészségtan, Medicina Könyvkiadó Rt, Budapest, 2002
3. 1996. évi CXVI. törvény "az atomenergiáról"
4. 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet
5. KSH 2001-es jelentése
6. A Paksi Atomerőmű Rt. 2003.05.27.-i Beszámolója az Országgyűlés Környezetvédelmi Bizottsága számára
7. IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSOK DOZIMETRIÁJA (Dr. Kanyár Béla, SE Sugárvédelmi Szolgálat) <http://atomfizika.elte.hu/magfiz/sug/PIL/IonSugDoz.pdf>, (letöltés: 2012.09.25.)