

Sugárvédelem

Általános sugárvédelmi ismeretek

A Föld, a földi élet és az emberiség minden időkből ki volt téve a környezetből érkező ionizáló sugárzások hatásainak. Erről azonban mit sem tudtunk a XIX. század végéig, a röntgensugárzás és a természetes radioaktív anyagok sugárzásának felfedezéséig.

Ezen felfedezéseket osztatlan lelkesedés fogadta, mivel mind az orvosi diagnosztika, mind a rák gyógyítása terén addig hallatlan lehetőségeket, illetve reményeket kínált fel ez a gyorsan fejlődő új tudomány.

Az ionizáló sugárzások később megismert nemkívánatos hatásai és főképpen a II. világháború végének és a hidegháború kezdetének sokkoló eseményei a lakosságban ellenérzéseket ébresztett a nukleáris technológiákkal szemben, hiába mutattak fel óriási eredményeket az atomenergia békés célú felhasználása terén.

A nukleáris technológiákkal kapcsolatos indokolatlan ellenérzések eloszlatásához a sugárvédelemmel kapcsolatos ismeretek tanítása a legfontosabb.

Alapvető fogalmak

Az élő szervezetben lefékeződő ionizáló sugárzás először fizikai és kémiai jelenségeket okoz. Ilyenek az atomok ionizációja, a víz vagy más molekulák kémiai felbomlása, molekulaszervezeti változások. Ezek a folyamatok gyakorlatilag azonnal, egy másodpercen belül lezajlanak. A fizikai és kémiai hatások indukálta biológiai hatások kialakulása azonban időben elnyúlva, órák, napok vagy akár évek múltán figyelhető meg. Mielőtt a biológiai hatások részletes tárgyalására térnénk, tisztáznunk kell az alapvető fogalmakat.

A szervezetet ért sugárzás dózisát nevezzük **sugárterhelésnek**. A **dózis** azt mutatja meg, hogy a sugárzás egységnyi tömegű anyagban mennyi energiát adott le. Mértékegysége: Gy (Gray, J/kg). 1 Gray dózis esetén a besugárzott anyag minden kg-jában 1 J sugárzási energia nyelődik el.

Nyilvánvalóan egy sugárzási tér biztonságának megítélésekor a fő szempont, hogy abban adott idő alatt mekkora dózist szenvedünk el. Ennek mérőszáma **adózisteljesítmény**, amely az egységnyi idő alatt elszenvedett dózis nagyságával egyenlő. Mértékegysége: Gy/s (Gray per secundum).

A testben lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok sokasága arányos a dózissal. Ezek a folyamatok vezethetnek aztán sejtek, szövetek, és szervek működési zavaraihoz, vagy kóros elváltozásához. A kóros hatásokat, melyek hosszabb-rövidebb idő után klinikai tünetekkel jelentkezhetnek, **sugárártalomnak** hívjuk. A sugárártalom mértékét az úgynevezett **egyenértékű dózis** mutatja meg: $H_T = w_R \cdot D$, mértékegysége: Sv (Sievert).

A fenti képletben D az elnyelt dózis, w_R pedig az adott sugárzástípusra jellemző **sugárzási súlytényező**. Vagyis a sugárártalom arányos a terheléssel, a fizikai-kémiai elváltozások sokaságával. Ezek azonban lehetnek nagyon koncentráltak, mint például **alfa-sugárzás** esetén. Ekkor a biológiai hatás, a sugárártalom nagyobb lesz. Ezért az alfa-sugárzás sugárzási súlytényezője 20. Vagy fordítva, kevésbé koncentrált ionizáció esetén a biológiai ártalom kisebb, ilyen lép fel **gamma-** és **béta-**

[sugárzás](#) esetén, melyek sugárzási súlytényezője 1. A neutron-sugárzás sugárzási súlytényezője 2-20 között változik a neutronok mozgási energiájának (repülési sebességének) függvényében.

Nyilván az egészségkárosítás szempontjából nemcsak az élő szövetetroncsoló sugárzás fajtájának van jelentősége, hanem a besugárzott szerv sugárérzékenységének is. Ennek figyelembe vételéhez a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság ([ICRP](#)) ajánl különböző súlytényezőket minden szervre. Ezeket testszöveti súlytényezőnek hívjuk. Az effektív dózis az emberi test összes szövetére vagy szervére (T) vonatkozó, súlyozott egyenértékű dózisok (H_T) összege:

$$E = \sum w_T \cdot H_T = \sum w_T \sum w_R \cdot D. \text{ Mértékegysége: Sv.}$$

A fenti képletben H_T az adott szervet (szövetet) ért egyenértékű dózis, w_T pedig a testszöveti súlytényező.

Külön meg kell jegyeznünk, hogy a fenti mennyiségek alapmértékegységei (Gy, Gy/s, Sv) a mindennapi gyakorlathoz túlságosan nagy értékek, ezért a gyakorlatban ezek töredékének megfelelő értékeket használunk. Az alábbi táblázatban foglaljuk össze a szokásos "kicsinyítő" jelöléseket:

Jelölés	Jelentés	Szorótényező	Példa
m	milli	10^{-3}	1 mGy = 1 ezred Gy
μ	mikro	10^{-6}	1 μ Sv = 1 milliomod Sv
n	nano	10^{-9}	1nGy/h = 1 milliárdod Gy per óra

Problémát szokott az is okozni, hogy nagyon sokan még régi egységben gondolkodnak, illetve számos irodalom ezek felhasználásával íródott. Alábbi táblázatunk segítséget nyújt eligazodni a régebbi egységek között:

Régi	Új	Régi -> új	Új -> régi
mértékegység		váltás	
rad	Gy	1 rad = 0,01 Gy	1 Gy = 100 rad
rem	Sv	1 rem = 0,01 Sv	1 Sv = 100 rem
R (röntgen)	Gy	1 R = 0,0087 Gy	1 Gy = 115 R

További részletes fogalom-meghatározásokat tartalmaz a Tanács 2013/59/EURATOM Irányelve az ionizáló sugárzás miatti sugárterhelésből származó veszélyekkel szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírásokról, és az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtására kiadott 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet.

Sugárterhelés

“Sugárözönben élünk” – ez volt Öveges professzor egyik könyvének találó címe. Valóban bárhol élünk, bárhova utazunk, mindig ér minket több-kevesebb ionizáló sugárzás. Ezek a sugárzások részben **természetes**, részben pedig **mesterséges eredetűek**.

A természetes sugárterhelés

A természetes sugárzások a kozmikus térből, elsősorban a Napból és a földkéregből eredő sugárzások, amelyek már a földi élet kialakulását megelőzően is jelen voltak. Az élet, az ember sugárzási térben fejlődött ki. A természetes sugárterhelés tehát nem jelent veszélyt az emberekre, sőt életünk elválaszthatatlan része.

Testünkben átlagosan $3-4 \times 10^{21}$ darab természetes radioaktív atom található. Egy átlagos felnőtt testében a természetes radioaktív izotópoknak köszönhetően másodpercenként 8500 radioaktív bomlás következik be. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szerint a Föld népessége természetes forrásokból évente átlagosan **2,4 mSv (millisievert)** effektív dózist kap. Ennek kétharmada **belső**, egyharmada pedig **külső** forrásokból ér bennünket.

A belső sugárterhelés túlnyomó részéért a szervezetünkbe jutó természetes radioaktív anyagok, elsősorban az urán leányeleme, a radon rövid felezési idejű bomlástermékei a felelősek. A külső sugárterhelés körülbelül 40%-a a kozmikus sugárzásból, 60%-a pedig a földkéregből eredő sugárzásból származik.

Érdekes adat, hogy hazánkban a földi átlagnál mintegy 20%-kal nagyobb, 3 mSv/év a természetes sugárterhelés, mivel azon országok közé tartozunk, amelyek lakói az átlagosnál hosszabb időt töltenek épületekben. Ennek oka az építőanyagokban mindig jelenlévő urán bomlásának egyik terméke, a radongáz, amely zárt terekben bizonyos mértékben felszaporodik. A skandináv országokban ugyanezen ok miatt az átlagos természetes sugárterhelés 50%-kal magasabb a magyarországinál.

Nagyon fontos adalék az eddig elmondottakhoz, hogy Földünk bizonyos tájain a természetes sugárterhelés mértéke jóval nagyobb, akár tízszerese is lehet a miénknek. Ennek okai lehetnek a talajban nagyobb mennyiségben megtalálható természetes radioaktív anyagok, vagy egyszerűen a tengerszint feletti magasság. Utóbbi esetben ugyanis vékonyabb fejünk felett a légkör, ami a kozmikus sugárzástól védi szervezetünket. Különösen magas háttérsugárzású területek találhatóak például a brazil tengerparton, Indiában, Iránban, Franciaországban, Madagaszkáron és Nigériában. Évtizedek óta széles körű orvosi és statisztikai vizsgálatokat végeznek az itt élő több tízezres népcsoportokon, de ez idáig körükben semmilyen, sugárzásnak tulajdonítható egészségkárosodást nem tudtak kimutatni.

A mesterséges eredetű sugárterhelés

A mesterséges eredetű sugárterhelés létének jól meghatározható születésnapja van. 1895. november 8-án Wilhelm Conrad Röntgen a történelemben először jegyezte le a később róla elnevezett sugarak észlelését. A röntgen sugárzás alkalmazása bámulatosan ívelt felfelé; kevesebb, mint két hónap múlva egy angliai kórházban már röntgensugarakkal átvilágítva illesztették össze egy eltört kar csontjait. A röntgensugárzás alkalmazása azóta is széles körű, így mesterséges sugárterhelésünk túlnyomó részéért a mai napig is az orvosi röntgenvizsgálatok a felelősek. A röntgenvizsgálatoktól ezért megriadni oktalanság lenne, egy mellkas röntgen például csak 0,1-0,4 mSv sugárterhelést okoz

az alkalmazott technika függvényében, indokolt esetben viszont jelentősen elősegítheti a helyes diagnózist.

Az orvosi eredetű sugárzások mellett a legnagyobb mesterséges sugárterhelést a légköri atomrobbantások okozták. Ennek értéke azonban nagyon kicsi, 0,01 mSv/év.

Akármilyen hihetetlen is, de az atomenergetikai ipartól származó 0,0002 mSv/év sugárterhelés – beleértve természetesen a csernobili balesetet is – kisebb, mint a világító számlapú óráktól eredő 0,0004 mSv/év többlet sugárterhelés. És a nukleáris iparban dolgozók többlet terhelése is csak 2,5-szer nagyobb ennél az igen kis értéknél.

A nukleáris ipar által okozott többlet sugárterhelésnek csak egy töredékéért felelősek maguk az atomerőművek. Például a Paksi Atomerőmű révén a környező lakosságot évente legfeljebb 2 órára jutó természetes sugárdózisnak megfelelő terhelés éri.

Az ionizáló sugárzások hatásai

Az ionizáló sugárzásoknak alapvetően kétféle biológiai hatása lehet. Azokat a hatásokat, amelyek többnyire rövid időn belül és vitathatatlanul a kapott sugárterhelés miatt lépnek fel, determinisztikus hatásoknak nevezzük. A **determinisztikus hatások** egy küszöbdózis felett mindenkinél fellépnek. **Sztokhasztikus hatások**nak nevezzük azokat a hatásokat, amelyek valószínűségi jellegűek és a kiváltó sugárterhelés elszenvedése után jóval később lépnek fel. Vagyis adott egyenérték dózis esetén megmondható a sztochasztikus hatások fellépésének valószínűsége, vagy gyakorisága egy nagyobb népesség esetén, de soha nem mondható meg, hogy konkrétan kinél lépett fel az adott hatás a sugárzás miatt. Ezek a tünetek ugyanis többsugárzásnak nem kitett populációban is előfordulnak.

A determinisztikus hatás: a sugársérülés és a sugárbetegség

Helyi sugársérülésről akkor beszélünk, amikor csak egyes szerveket, illetve testrészeket ér nagy besugárzás. A sugársérülés mindig determinisztikus hatás következménye. Ilyenek lehetnek például a fehérvérsejtek számának csökkenése, a bőrpír, átmeneti, vagy maradandó sterilitás, a szőrzet hullása. A különböző szövetek "sugárállósága" nagyon eltérő lehet. Legkönnyebben a gyorsan osztódó és a nagymértékben differenciált sejtekből álló szövetek sérülnek. Így a legérzékenyebb szövetek közé tartozik a csontvelő (vörös), a vastagbél, a tüdő, a gyomor és az emlő. A legellenállóbbak az érzékszervek, az ideg és izomszövet, a bőr és a csontfelszín.

Sugárbetegség lép fel, amennyiben nagyon nagy, 1000 mGy-nél nagyobb dózis éri egy ember egész testét. A sugárbetegség szintén kizárólag determinisztikus hatás következménye. A heveny sugárbetegség négy szakaszra osztható:

- Kezdeti szakasz: A dózistól függően néhány óra múlva hányinger, étvágytalanság, émelygés, fejfájás, rossz közérzet, esetleg hasmenés vagy láz lép fel.
- Lappangási szakasz: a tünetek elmúlnak, a sérült jól érzi magát. Minél nagyobb a dózis, annál rövidebb ez a szakasz. 2-3 Gy dózis esetén akár 3-4 hét is lehet, míg nagy dózisok esetén el is maradhat.

- Kritikus szakasz: A kezdeti tünetek súlyosabb formája, továbbá pontszerű bőrbevérvések, véres széklet, az immunrendszer sérülése miatt fertőzések lépnek fel. A túlélés szempontjából a 3-6-ik hét a legkritikusabb.
- Lábadozási szakasz: a felépülés hónapokig is elnyúlhat.

A 8 Gy dózist kapott betegek szinte minden esetben elhaláloztak, ezért ezt az értéket hívjuk **halálos (letális) dózis**nak. Orvosi ellátás nélkül a 3-4 Gy dózist elszenvedők fele marad életben. Ezt az értéket hívjuk **félhalálos dózis**nak. Megfelelő orvosi kezeléssel a túlélés nagymértékben megnövelhető: a 4,2-6,3 Gy dózist kapott 21 csernobili sérült közül 14-et meg tudtak menteni.

A sztochasztikus hatások: daganatos betegségek és – feltételezés szerint, nem bizonyítottan – öröklődő betegségek, mutációk.

A sztochasztikus sugárhatások nem speciális kórok, hanem olyan kórok, amelyek bizonyos természetes gyakorisággal a sugárhatásnak nem kitett populációban is előfordulnak. A különböző eredetű – nem bizonyíthatóan sugárhatásból származó – daganatos betegségek, genetikai elváltozások sajnos meglehetősen gyakoriak. Magyarországon évente mintegy 30 ezer személy hal meg daganatos betegségben és az öröklődő károsodások spontán gyakorisága is 10,5%, igaz ezek zöme nem szembeötlő hatású genetikai ártalom. Akkor honnan tudunk a sztochasztikus hatások létéről és mibenlétéről?

- A japán városokra ledobott atombombák túlélői körében megfigyelték rosszindulatú daganatos betegségek gyakoribb előfordulását. Először a leukémia, majd másfél évtized után a tömör daganatok jelentek meg. 20-25 év múlva a leukémia gyakorisága már nem tért el a többi japán városra érvényes értéktől.
- 1954-ben a Marshall szigetek közelében végrehajtott atomrobbantás után az érintett 244 fős lakosság 5%-án pajzsmirigyrák alakult ki.
- Egyes rosszindulatú daganatos betegségek gyakoribb előfordulását figyelték meg az évtizedekkel korábban sugárveszélyes munkahelyeken dolgozók bizonyos köreiben is. Az urán- és egyéb ércbányászok között annál gyakoribbnak találták a tüdőrák gyakoriságát, minél nagyobb volt a radon a-sugárzása miatti összes hörgődózis. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy ezer bányász körében évente 5-tel több tüdőrákot legalább 70 Sv összes hörgődózis esetén észleltek. Ez az érték óriási, több mint a tízszerese a halálos dózisnak¹, és 30 000-szerese az éves átlagos természetes dózisnak.
- A röntgen orvosok az 1910-1930-as években gyakran tartózkodtak és nyúltak be a vizsgálat során a direkt sugárzási térbe. Később a kézhátukon gyakran alakult ki bőrrák. Többnyire amputálni kellett az ujjakat, vagy ujjperceket, de több száz esetben az elhalálozást sem sikerült elkerülni. Az 1936. április 4-én, a hamburgi Szent György Kórház udvarán felavatott obeliszkrájuk emlékeztet. Az emlékművön a következő szöveg olvasható: „Valamennyi nemzet röntgenológusának, radiológusának, orvosoknak, fizikusoknak, vegyészeknek, technikusoknak és betegápoló nővéreknek, akik életüket áldozták embertársaik betegsége elleni küzdelemben. Hős úttörői voltak a röntgen- és rádiumsugárzás alkalmazásának a gyógyászatban.” Az emlékmű 359, köztük 11 magyar nevet tartalmaz.

- Az ionizáló sugárzások bizonyos orvosi alkalmazásai is hozzájárultak egyes daganatos betegségek megszorodásához. A gerincgyulladás miatt rádiummal kezelt brit betegek körében érezhetően megnőtt a fehérvérűség előfordulása. Ezeknek a tapasztalatoknak következtében alakult ki a gyakorlatban, hogy a sugárdiagnosztikai és terápiás eljárásokat a minimálisan szükséges sugáradaggal kell végrehajtani.
- Az örökletes sugárkárosodások és mutációk fellépésének gyakoribbá válását sugárterhelés hatására eddig emberben még nem sikerült kimutatni. Ezeknek a hatásoknak a létét elméleti megfontolásokból sejtjük.

A sugárvédelem alapelvei

A sugárvédelem három fő alapelve híven tükrözi az elmúlt száz év törekvéseit az ionizáló sugárzások használatának minél biztonságosabbá tételére:

- Indokolás: egy tevékenység bevezetésére vonatkozó döntéseknek indokoltnak kell lenniük, ami azt jelenti, hogy a tevékenységből származó – egyénre vetített vagy társadalmi szintű – előnyök ellensúlyozzák az esetleges egészségkárosító következményeket.
- Optimálás: a lakossági vagy foglalkozási sugárterhelésnek kitett személyek sugárvédelmét úgy kell optimalni, hogy a személyi dózisok nagysága, a sugárterhelés valószínűsége, valamint a sugárterhelésnek kitett személyek száma az aktuális műszaki ismereteket, valamint a gazdasági és a társadalmi tényezőket figyelembe véve az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szintű legyen.
- Dóziskorlátozás: tervezett sugárzási helyzetben egy adott személy által kapott dózisok összege nem haladhatja meg a foglalkozási sugárterhelés vagy a lakossági sugárterhelés esetére megállapított dóziskorlátokat. Az orvosi sugárterhelések esetében nem alkalmazandók dóziskorlátok.

Dóziskorlátozás

Mindhárom alapelvet átfogó szabályozás, előírásrendszer valósítja meg. A dóziskorlátok azt határozzák meg, hogy az ionizáló sugárzások alkalmazásának hatására maximálisan milyen mértékben emelkedhet meg a lakosság, illetve a sugaras munkahelyen dolgozók sugárterhelése. Megállapításuknál abból indultak ki, hogy a tapasztalatok szerint a természetes háttérsugárzásból származó terhelés (átlagosan 2,4 mSv/év) még nem okoz érezhető károsító hatást.

Az Európai Unióban a Tanács 2013/59/EURATOM Irányelve szabályozza az ionizáló sugárzás miatti sugárterhelésből származó veszélyekkel szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírásokat. Ezzel összhangban van a magyar szabályozás, az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtására kiadott 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet. Ezek szerint a sugárveszélyes munkahelyeken dolgozóakra és a lakosságra az alábbi korlátok vonatkoznak:

- A foglalkozási sugárterhelésre vonatkozó effektív dóziskorlát évi 20 mSv. Különleges körülmények között vagy a nemzeti jogszabályokban meghatározott bizonyos sugárzási helyzetekben azonban az illetékes hatóság egy-egy évben ennél nagyobb, de legfeljebb 50 mSv nagyságú effektív dózist is jóváhagyhat, amennyiben bármely egymást követő öt évben

– azokat az éveket is ideértve, amikor a korlátot meghaladták – az éves átlagos dózis nem haladja meg a 20 mSv értéket.

- A lakossági sugárterhelésre vonatkozó dóziskorlát a lakosság tagjait az összes jóváhagyott tevékenységből ért éves sugárterhelések összegére érvényes, ez az effektív dóziskorlát 1 mSv/év.

A korlátok nem vonatkoznak az egyén érdekében végrehajtott orvosi eljárásokból származó, vagy baleseti sugárterhelésre.

Dózismegszorítás

Annak érdekében, hogy egy adott tevékenységből származó, adott és ellenőrzés alatt tartott forrásból eredő foglalkozási vagy a lakosság tagjaira vonatkozó sugárterhelés az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szintet jelentősen ne haladja meg, a forrásra vonatkozóan dózismegszorítást kell alkalmazni. Ennek – a dóziskorláton belüli – értékét (a munkavállalókra vonatkozóan tartományát, a lakosság egy csoportjának számára az effektív dózis évi felső határát) az adott forrásra, foglalkozási területre és lakossági csoportra vonatkozóan – a sugáregészségügyi helyzet figyelembevételével – az ÁNTSZ Országos Tisztifőorvosi Hivatala határozza meg.

A dózismegszorítás – a létesítmények jellegének megfelelően – a Paksi Atomerőmű esetében 90 $\mu\text{Sv}/\text{év}$, a Kiegészítő Kazetták Átmeneti Tárolója részére 10 $\mu\text{Sv}/\text{év}$, a püspökszilágyi Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló, valamint a bátaapáti Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló részére 100 $\mu\text{Sv}/\text{év}$, a Budapesti Kutatóreaktorra 50 $\mu\text{Sv}/\text{év}$, az Oktatóreaktorra 50 $\mu\text{Sv}/\text{év}$ és a bezárt uránbánya területének helyreállítására 300 $\mu\text{Sv}/\text{év}$.