

Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet

Sugárvédelem: nemzetközi szervezetek ajánlásai

Prof. Dr. Köteles György, az MTA doktora

Kulcsszavak: sugárvédelem, nemzetközi szervezetek, alapelvek, dóziskorlátok, vonatkoztatási szintek

A szerző ismerteti a sugárvédelem érdekében működő nemzetközi szervezeteket, az ICRP103 főbb ajánlásait, az IAEA Biztonsági alapelveit.

Korunk fontos oktatási, továbbképzési és kutatási feladatai közé tartozik a környezetünkben lévő természetes és mesterséges eredetű sugárzások megismerése, mennyiségi meghatározása, a biológiai hatások veszélyességi súlyozása. Ahol szükséges, védekezni kell. Normális viszonyok között az élő szervezeteket csak „kis dózisu” sugárterhelés éri [2]. Ezek vonatkozásában a védelem célkitűzése: a sugárterhelést – akár környezeti természetes, akár mesterséges – minél kisebbre kell csökkenteni. Ezzel szemben a nagy sugárterhelést el kell kerülni, meg kell előzni. Meg kell tehát ismerni, hogy mi a „kicsi” és mi a „nagy”. Ez a sugárvédelem feladata. A jelen közlemény az alábbiakban a sugárvédelem szabályozásáról, a vonatkozó fogalmakról és nemzetközi ajánlásokról ad tömör áttekintést.

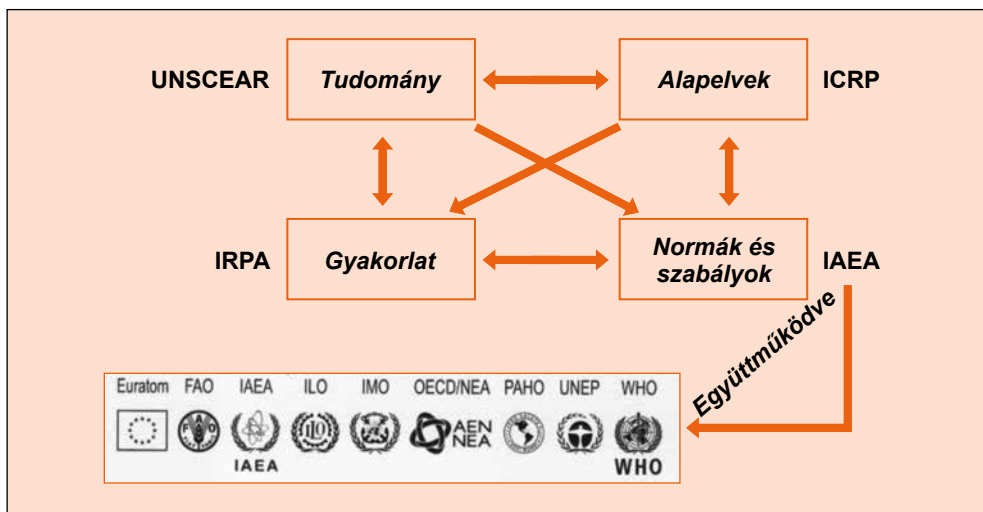
Az ajánlások jelentősége

Bár a szabályozás, a rendeletek, az ajánlások szövegei gyakran unalmasnak tűnnek, azonban széles körű kiterjedtségük megnyugtató. Azaz, igyekeznek meggyőzni arról, hogy az ionizáló sugárzások alkalmazása biztonságosan történhet. Erre a meggyőző erőre szük-

sége van a szakmának és a szélesebb társadalomnak egyaránt, hiszen a tájékozatlanság, tudatlanság számos félelmet, aggodalmat, ellenérzést táplál. Arról nem is beszélve, hogy egyes érdekcsoportok ezt ki is használják. A legszélesebb körű ismeretterjesztés tehát fontos és felelős feladat az esetleges kockázatok, a kockázat:haszon józan felmérésére és vállalására [3].

A sugárvédelem érdekében működő nemzetközi szervezetek

A nemzetközi – tudományos társasági és kormányközi – szervezetek kiterjedt hálózata a sugárvédelmi munkában igen nagy jelentőségű. Ugyanis részben összefogják a releváns szakembereket, tudósokat, az elméleti kutatás és gyakorlati alkalmazás ismerőit, másrészt vezetői tanácsokban jóváhagyják és terjesztik az ajánlásait, beemelik ezeket a nemzeti jogalkotársba, mondhatni immár globálisan. Így a sugárvédelem elvei és szabályai nemzetközi szinten harmonizáltak. Ezt az együttműködést szemlélteti az 1. ábra. Az ábrából látható, hogy az alapelveket az ICRP fogalmazza meg és terjeszti elő. Így történt ez legutóbb 2007-ben [ICRP103, 10], 16 év eltelté-



UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation;
 ICRP: International Committee on Radiological Protection; IRPA: International Radiation
 Protection Association; IAEA: International Atomic Energy Agency

1. ábra. A sugárvédelemmel foglalkozó nemzetközi szervezetek és működési területeik

vel a korábbi ajánlásaikhoz [ICRP60, 9] képest. A jelenleg érvényes ajánlásokban számos, a korábbiaktól eltérő vélemény, számadat van. A jelen közlemény ezeket is ismerteti.

Dózisfogalmak

A biológiai hatások a sugárzás dózistól függenek. Azonban a sugárzások különbözősége és a szövetek eltérő érzékenysége miatt nem kielégítő a kockázatot a szövetekben elnyelt dózissal vonatkoztatni. Ezért az alábbi háromféle dózisfogalmat alkalmazzuk:

Elnyelt dózis (absorbed dose) D , a szövetek tömegében elnyelt energia, $D = \text{energia}/\text{tömeg}$, dimenziója joule/kg, egysége a gray, rövidítése: Gy.

Egyenérték dózis (equivalent dose) H , a sugárzás fajtájára jellemző sugárzási súlytényezővel w_R módosított érték, $H = w_R \cdot D$, egysége a sievert, rövidítése: Sv.

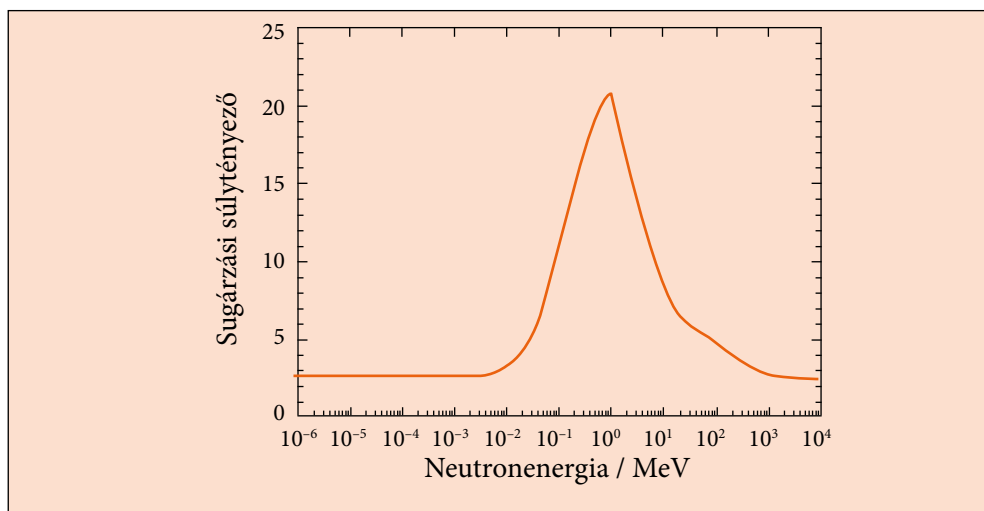
Effektív dózis (effective dose) a fentiekben túlmenően utal a szövetek sugárérzékenységére a szöveti súlytényező w_T bevezetésével, $E = w_R \cdot w_T \cdot D$, egysége a Sievert, rövidítése: Sv.

A sugárzások súlytényezőit az I. táblázat és 2. ábra, a szöveti súlytényezőket a II. táblázat foglalja össze.

I. táblázat.

A sugárzások ajánlott súlytényezői

Sugárzás típusa	Súlytényező (w_R)
Fotonok	1
Elektronok és nuonok	1
Protonok és töltött pionok	2
Alfa-részecskék, hasadási termékek, nehézionok	20
Neutronok	A neutron energiájától függően folyamatos



2. ábra. Neutronok sugárzási súlytényezői w_R az energia függvényében

II. táblázat. Ajánlott szöveti súlytényezők

Szövet	w_T	Σw_T
Csontvelő (vörös, vastagbél, tüdő, gyomor, emlő, a többi*)	0,12	0,72
Ivarsejtek	0,08	0,08
Hólyag, nyelőcső, máj, pajzsmirigy	0,04	0,16
Csontfelszín, agy, nyálmirigy, bőr	0,01	0,04
Összesen	...	1,00

* A többi: mellékvesék, epehólyag, szív, vesék, nyirokcsomók, izom, szájnyálkahártya, hasnyálmirigy, prosztata, vékonybél, lép, csecsemőmirigy, méh.

Biológiai hatások

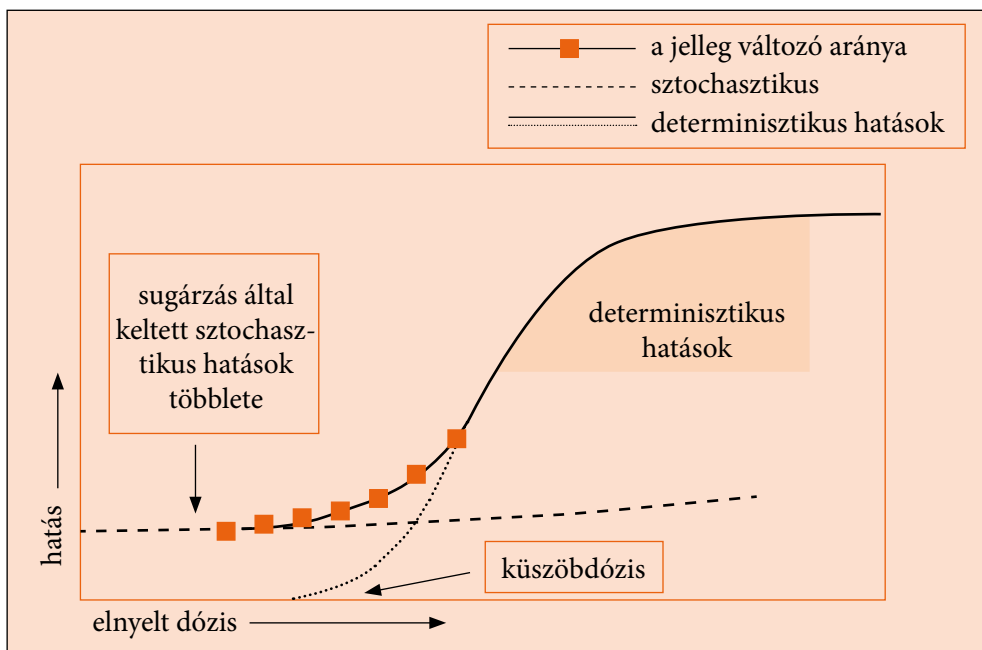
Dózis-hatás összefüggések

Sugárvédelmi szempontból az ionizáló sugárzások biológiai hatásait két nagy csoportra osztjuk, nevezetesen a determinisztikus hatásokra (másképpen és újabban: szöveti reakciókra) és az ún. sztochasztikus, valószínűségeen alapuló hatásokra. A determinisztikus hatások súlyossága az elnyelt dózistól függ, de van egy „küszöbdózis”, ami alatt nem várható károsodás (3. ábra).

III. táblázat. Néhány determinisztikus sugárhatás küszöbdózis értéke

Szövet és hatás	Egyenértékű dózis (Sv) egyszeri besugárzás esetén
Herék	
Átmeneti sterilitás	0,15
Végleges sterilitás	3,5–6,0
Petefészek	
Sterilitás	2,5–6,0
Szemlencse	
Kimutatható homályok	0,5–2,0
Látás károsodása (cataracta)	5,0
Csontvelő	
Vérzékenység	0,5
Sejtszámcsökkenés	0,5
Magzati károsodás	0,1

A küszöbdózis a biológiai szövet természetétől függően különböző érték (III. táblázat). A sztochasztikus hatások, mint a rosszindulatú daganat képződése és az örökletes hatások esetében a hatás valószínűsége van egyenes arányban az elnyelt dózissal (3. ábra), nincs küszöbdózis, azaz elvileg a legkisebb dózis is jelent bizonyos kockázatot. Ezt nevezik



3. ábra. Dózis-hatás összefüggések

„low-no-threshold – LNT” dózis-hatás modellek.

Determinisztikus hatások

A determinisztikus hatásokban a küszöbdózis korosztályoktól független, tehát felnőttekben és gyerekekben azonos érték. A küszöbdózis létezése *per se* a kis dózisok tartományában kockázatmentességet eredményez. Néhány szövet küszöbdózisát a III. táblázat szemlélteti. Úgy tűnik azonban, hogy egyedül a szemlencsehomályok (cataracta, látásérvülés) jelenlegi küszöbdózisának pontosabb megállapítására további vizsgálatok szükségesek.

A szöveti reakciók következtében – a küszöbdózis feletti tartományban – alakulnak ki a sugársérülések, a sugárbetegség tünetcsoportjai. A sugárbetegség tünetegyütteseiről, a helyi sugársérülésekről, ezek biológiájáról, patológiájáról, diagnosztizálásáról és terápiájáról rész-

letes leírásokat több könyv tartalmazza, néhány a közelmúltban jelent meg [5, 6, 7, 8].

A magzat expozíciója esetén a sugárzás okozta szöveti reakciók dóziszválaszai, a fejlődési rendellenességek, az idegrendszeri hatások szintén küszöbérték felett jelennek meg. Állatkísérletek adatai alapján a küszöb mintegy 100 mGy. A későbbi szellemi elmaradás, amely a magzat 8–15. hét közötti expozíciójának a következménye, azaz az intelligenciahányados (IQ) csökkenésének küszöbdózisa mintegy 300 mGy. Az *in utero* besugárzást követően a gyermekkorai rosszindulatú betegségek kockázata mintegy háromszorosa az egész népességéhez viszonyítva. Elsősorban a leukémia gyakorisága nő. Az ún. szolid tumороk képződésében sok az epidemiológiai bizonytalanság.

Újabbban foglalkoznak a nem rákos megbetegedések kockázatával is, mint a szívbetegségek, agyvérzés, emésztőrend-

szeri és légzőrendszeri megbetegedések. Az atombomba-támadás túlélői között ezeket a betegségeket mintegy 1 Gy felett lehetett észlelni. Kisebb dózisosknál nagy a bizonytalanság a dózis-válaszok összefüggéseiben, így kisebb dózisosknál ezek elemzése nehézkes.

Sztochasztikus hatások

A sztochasztikus hatások, mint a rák és az örökletes betegségek keltésében a kis dózisosknál és dózisteljesítménynél az egyszerű arányos viszony, a dózisznövekmény és növekedett kockázat között, az ún. LNT-modell tudományosan kézenfekvő feltételezés, de úgy vélik, hogy a kockázatok még kisebbek. Ezért alkalmazták a kockázatbecslésnél az ún. dózis-dózisteljesítmény hatékonysági faktor (dose-dose rate effectiveness factor) értékeit, ami általában egy 2-es érték. Azaz a kockázatot ezzel osztva, a kockázat felére csökken. Az igen kis dózisosk esetében *per se* felveti a küszöbdózisok lehetőségét, ha a DDREF-érték – bár bizonytalanul – növekszik. Az LNT-modell logikája ellenére, a mintegy 100 mSv alatt ésszerű a kockázatot a DDREF-értékkel csökkenteni. Ez az érték kromoszómaaberrációk keletkezésénél akár 2–6 közötti lehet, de a rákkeletkezésnél adódhat 2–3-as érték. Mindazonáltal nem valószínű, hogy akár biológiai, akár epidemiológiai, erős tudományos bizonyítékok születnének majd az így módosított modell, azaz az LNT+DDREF igazolására. Semmiképpen nem helyes kis dózisosknál a közegészségügyi hatások becsléséhez a rákesetek hipotetikus számát vagy az örökletes hibák számát a lakosság nagy létszámára vonatkoztatni, felszorozni, s különösen nem a hosszú ideig tartó expozícióknál. A rosszindulatú daganatok képződésének és az örökle-

tes betegségek kockázatát foglalja össze a *IV. táblázat*.

A *IV. táblázatban* szereplő „nominal risk” értékek a populációkra és nem az egyénekre vonatkoznak. Az értékeket mindkét nemre átlagolva adták meg. A jelenlegi becslés alapja a rosszindulatú daganatok súlyozása a halálózásra és az életminőség romlására, míg korábban az ICRP60 [9] a végzetes ráknál a relatív életrövidülést, a nem végzetes ráknál az életminőség romlását vette figyelembe.

A jelenlegi ajánlás tehát összevonta a végzetes és nem végzetes rákok kockázatát. Megjegyzik, hogy a számértékekben a tizedes értékek nem a pontosságot jelzik, hanem csupán a számítás következményei. A rák kockázata *in utero* besugárzást követően nem tűnik nagyobb-nak, mint a kora gyermekkorban történő besugárzás esetén.

IV. táblázat. Sztochasztikus hatások előfordulásának valószínűsége (10^{-2}Sv^{-1}) kis dózisteljesítményű sugárexpozíció esetén

Érintett népesség	Rosszindulatú daganatok képződése	Örökletes hatások bekövetkezése	Teljes kockázat
Teljes	5,5	0,2	5,7
Felnőtt	4,1	0,1	4,2

Az örökletes betegségeknel a károsításra illesztett valószínűségi együttható a második generációig $0,2 \cdot 10^{-2}\text{Sv}^{-1}$ az egész népességre és $0,1 \cdot 10^{-2}\text{Sv}^{-1}$ a felnőttekre. A korábbi ajánlásban, az ICRP60-ban ezek az értékek 6–8-szor magasabbak voltak.

A legújabb, korszerű biológiai, sugárbiológiai kutatások számos olyan jelenséget tártak fel, amelyek a kockázatokat csökkenthetik, vagy akár növelhetik. Így az alkalmazkodási válaszadás,

a hormesis, a spontán DNS-helyreállítás képessége csökkenthetik, a sugárzás indukálta géinstabilitás, a közelhatás (bystander signalling) növelhetik [2]. Az intenzív kutatások tárgyát képező biológiai jelenségeknek azonban kis dózisonál bizonytalan a módosító hatása, ezért egyelőre nem vonhatók le gyakorlati következtetések. Különböző is – érvel az ICRP – a nominális rákkockázat emberi epidemiológiai adatokból származik. Így, ha a fenti biológiai jelenségeknek van is hatása, azok már érvényesülhetnek a vizsgált populációban. Az indukált géinstabilitásra, a bystander sejt jelenségekre és az adaptív válaszára vonatkozó ismeretek a sugárzás indukálta egészségi hatások kialakulásában elégtelenek még ahhoz, hogy sugárvédelmi szempontból figyelembe vegyék.

Az egyéni érzékenységek különbségében felvetett genetikai fogékonysággal kapcsolatban úgy tartják, hogy a rosszindulatú daganatra hajlamosító, erős kifejeződésű gének ritkák, de kétségtelenül a hordozó személyek a normál populációnál fokozottabban érzékenyek a sugárzás daganatot okozó hatásaival szemben. A genetikai fogékonyság a sugárzás indukálta rák kialakulásában az erősen kifejeződő géneknél túl alacsony ahhoz, hogy nyilvánvalóan eltolja a népességi kockázatra vonatkozó becsléseket. A gyengén kifejeződő gének lehetséges hatása még bizonytalan.

Az örökletes hatások kockázatának becslésében igen jelentős változások következtek be. Továbbra sincs ugyanis bizonyíték arra, hogy a szülő expozíciója az utód örökletes betegségét okozhatja. Tekintve, hogy állatkísérletekben ez a jelenség észlelhető, az ICRP továbbra is indokoltnak tartja az odafigyelést. Elismerik, hogy a múltban túlbecsülték az örökletes hatások lehetőségét. A va-

lószerűségi együtthatók kiszámításánál ugyanis abból indultak ki, hogy a genetikai kockázatot egy elméleti egyensúly fejezi ki a mutációk és a szelekciók között. Most azonban a genetikai kockázatot a második generációig becslik, annak tudatában, hogy nincs különbség a 2. és a 10. generációkban. Így a mostani 0,2%-os érték folyamatos kis dózisteljesítményű expozíció valószínűségi következményére vonatkozik 2 generáción át.

A sugárvédelem rendszere

A sugárvédelemben három fontos alapelvet kell betartani, nevezetesen az indokoltság, az optimalás és a dóziskorlátozás elveit. Az indokoltság alapelve azt követeli meg, hogy ionizáló sugárzást csak abban az esetben szabad alkalmazni, ha a kitűzött feladat más eszközökkel nem teljesíthető, illetve a sugárexpozíció több előnnyel járjon, mint amennyi kárt okozna. Az optimalás alapelve előírja, hogy a sugárterhelés a lehető legkisebb legyen: „...as low as reasonably achievable...” ALARA elv gazdasági és társadalmi szempontok figyelembevételével. A dóziskorlátozás pedig megszabja azokat a dózisértékeket mind a foglalkoztatási, mind a lakossági kategóriára, amelyek fölé nem szabad a sugárterhelést emelni. A dóziskorlátozást háromféle expozíciós helyzetre határozták meg, nevezetesen a tervezett, a már létező, valamint a veszélyhelyzeti expozíciókra. A tervezett expozíciós helyzetekben minden szabályozott forrásnál érvényesek az egyenértékű dózisosokra és az effektív dózisosokra vonatkozó, eddig is érvényben tartott dóziskorlátok (V. táblázat).

Ezen értékeken belül szabhatók meg az ún. megszorítások és a referencia- (vonakoztatási) szintek. Hogy milyen

V. táblázat. Sugárvédelmi dóziskorlátok normál körülmények között


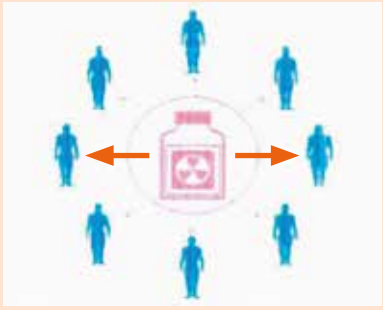
Érintett csoportok	Effektív dózis	DÓZISKORLÁTOK		
		Egyenértékdózis (mSv)		
		Szemlencse	Bőr*	Végtag
Munkavállalók	20 mSv/év 5 évre átlagolva, azaz 10 mSv/5 év, de 1 évben nem több, mint 50 mSv	150	500	500
Tanulók, gyakoronokok (16–18 év között)	6 mSv/év	50	150	150
Lakosság tagjai	1 mSv/év	15	50	

* Bőr: 1 cm² területre átlagolva.

körülmények között kell ezeket alkalmazni, arra ad eligazítást a 4. ábra és a VI. táblázat.

Referenciaszinteket alkalmazunk a környezetünkben lévő radon-222 expozícióra, valamint az egyéb, már meglévő

expozíciókra (VII. táblázat). A NORM (naturally occurring radioactive material) a természetes körülmények között előforduló sugárzásoktól vagy radioaktív anyagok jelenléte miatt bekövetkező expozíciókra vonatkozik emberi lakóhelye-

Dóziskorlát	Megszorítások és referenciaszintek
	
Minden szabályozott forrástól tervezett helyzetekben	Egyetlen forrástól minden expozíciós helyzetben

4. ábra. Dóziskorlátok, dózismegszorítások és referenciaszintek alkalmazásai a népesség tagjai vagy a dolgozók védelmére

VI. táblázat. Dózismegszorítások típusai a sugárvédelmi rendszerben az expozíciós helyzetektől és az expozíciós kategóriáktól függően

A helyzet jellege	Foglalkozási expozíció	Népességi expozíció	Orvosi expozíció
Tervezett expozíció	Dóziskorlát Dózismegszorítás	Dóziskorlát Dózismegszorítás	Diagnosztikus referenciaszint
Veszélyhelyzeti expozíció	Referenciaszint	Referenciaszint	Nem értelmezhető
Meglévő expozíció	Referenciaszint	Referenciaszint	Nem értelmezhető

VII. táblázat. *Vonatkoztatási szintek meglévő expozíciós helyzetekben*

Vonatkoztatási szintek*	
Radon	
	10 mSv/év (600 Bq · m ⁻³ lakásokra) 10 mSv/év (1500 Bq · m ⁻³ dolgozókra)
NORM, természetes háttérsugárzás, radioaktív maradékok az emberi környezetben	
Beavatkozás tartós expozíció esetén	
Nem indokolt Indokolt lehet Csaknem mindig indokolt	Kiválasztandó 1 és 20 mSv/év között a helyzettől függően

* Effektív dózis, hacsak másként nem jelölték

ken. A radon-222 referencia szintjére vonatkozóan azóta is történtek változások, nevezetesen az ICRP a lakossági referenciaszintet 600 Bq · m⁻³-ről 300 Bq · m⁻³-re változtatta, míg a WHO 100 Bq · m⁻³ értéket javasol.

A balesetek osztályozása

A világon jelenleg több mint 400 atomerőmű működik. Mindeddig három nagyobb méretű baleset történt. A Nemzetközi Atomenergia-ügynökség (International Atomic Energy Agency,

Vienna) ún. nukleáris esemény skálát állított össze annak érdekében, hogy egy baleset után annak a jellegéről gyors tájékoztatást lehessen adni és kapni (VIII. táblázat). A mindeddig előfordult három legnagyobb balesetnek környezeti hatásai is voltak, ennek megfelelően az Egyesült Államokban, a pennsylvaniai Three Mile Islandon 1977-ben bekövetkezett baleset 5-ös fokozatú, az 1986-ban történt csernobili baleset 7-es fokozatú és a 2011-ben bekövetkezett fukusimai baleset szintén a legmagasabb, 7-es fokozatú besorolást kapta.

VIII. táblázat. *Nukleáris balesetek fokozatai a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség beosztása szerint*

FOKOZAT	Esemény leírása	Csoportosítás
7	Nagy baleset	Baleset
6	Súlyos baleset	
5	Baleset környezeti kockázattal	
4	Baleset jelentősebb környezeti kockázat nélkül	
3	Súlyos rendkívüli esemény	Rendkívüli esemény
2	Rendkívüli esemény	
1	Anomália	
0	Eltérés	Eltérés
	Biztonságot nem veszélyeztető rendkívüli esemény	Kiseb mint egy eltérés

A lakosság védelmét szolgáló baleseti határértékek és intézkedési ajánlások

A nemzetközi szervezetek a baleseti sugárterhelés mértékére és megítélésére ún. referencia-dózistartományt jelölnek ki. Ez az érték az összes lehető expozíció útából származóan (a külső expozíció, továbbá a belső expozíciók belélegzésből, lenyelésből, bőrön át felszívódásból) 20–100 mSv effektív dózis összesen. Így tehát egy baleseti helyzetben a közegészségügyi-sugáregészségügyi hatóságnak a védelmi stratégiát úgy kell kialakítania, hogy az egyes intézkedések révén a lakosság egyedeinek sugárterhelése ezen dózistartományon belül maradjon.

Fontos tehát megjegyezni, hogy az egyes védelmi intézkedések meghozatalára nincsenek előírt dózishatárok – mint korábban! – hanem a nemzeti hatóságokra van bízva a körülményektől függő intézkedések jellege és mértéke (IX. táblázat).

A hivatásos személyzet védelmét szolgáló határértékek és intézkedési ajánlások

A hivatásos személyzet és a mentésben részt vevő személyek védelmét szolgáló ajánlott határértékek és intézkedések a X. és a XI. táblázatban találhatóak. Itt is hangsúlyozni kell, hogy az egyes védelmi intézkedések elbírálása és meghozatala a sugárvédelmi hatóságok feladata.

IX. táblázat. *Teendők baleseti helyzetben a sztochasztikus hatások kockázatának csökkentésére*

Körülmények		Főbb védekezési teendők és egyéb intézkedések
Ha a várható dózis meghaladja a jelzett szinteket: sürgős védelmi és egyéb intézkedések szükségessége		
$H_{\text{Pajzsmirigy}}$	50 mSv az első 7 napon	Pajzsmirigy-jód blokád
E	100 mSv az első 7 napon	Elzárkóztatás, áttelepítés, dekontaminálás, élelmiszer- (tej és víz) fogyasztás korlátozása, szennyeződés ellenőrzése, a közösség tájékoztatása
H_{Magzat}		
Ha a várható dózis meghaladja a jelzett szinteket: korai védelmi tevékenység és egyéb válaszadások		
E	100 mSv egy évben	Átmeneti áttelepítés, dekontaminálás, élelmiszer (tej és víz) pótlása, széles körű tájékoztatás
H_{Magzat}	100 mSv a teljes méhen belüli időszakban	
Ha a kapott dózis meghaladja az alábbi értékeket: hosszú távú orvosi ellenőrzés a sugárzás okozta egészségi hatások kimutatására és hatékony kezelésére		
E	100 mSv egy hónapban	Egyenértékdózis alapján a specifikus sugárérzékeny szervekre (ez a követéses orvosi vizsgálat alapja) tanácsadás
H_{Magzat}	100 mSv a teljes méhen belüli időszakban	Tanácsadás, amely lehetővé teszi a tájékozott elhatározást az egyéni körülményektől függően

H: egyenérték dózis; E: effektív dózis.

X. táblázat. Baleseti védelmi tevékenységek a determinisztikus hatások elkerülésére vagy csökkentésére

Külső akut sugárexpozíció 10 órán belül		Várható dózis esetén: – Azonnali védelmi intézkedések a dózis csökkentésére. – A társadalom tájékoztatása és figyelmeztetések. – Sürgős dekontaminálás végrehajtása. Elyelt dózis esetén: – Azonnali orvosi vizsgálat, konzultáció és a szükséges orvosi kezelés. – A szennyezés mértékének megállapítása. – Azonnali dekorporáció, ha szükséges. – Előjegyzés a későbbi hosszú távú egészség-ellenőrzéshez. – Átfogó pszichológiai tanácsadás biztosítása.
$D_{\text{Vörös csontvelő}}$	1 Gy	
D_{Mazgat}	0,1 Gy	
$D_{\text{Szövet}}$	25 Gy 0,5 cm mélyen a felszín alatt	
$D_{\text{Bőr}}$	10 Gy 100 cm ² -re	
Belső expozíció radioaktív anyag felvételéből 30 nap alatt		
$D(\Delta)_{\text{Csontvelő}}$	0,2 Gy 90-nél nagyobb atomszámú radionuklidok esetén	
	2 Gy 89-nél kisebb atomszámú radionuklidok esetén	
$D(\Delta)_{\text{Pajzsmirigy}}$	2 Gy	
$D(\Delta)_{\text{Tüdő}}$	30 Gy	
$D(\Delta)_{\text{Vastagbél}}$	20 Gy	
$D(\Delta)_{\text{Mazgat a méhen belüli fejlődés alatt}}$	0,1 Gy	

D: elnyelt dózis; $D(\Delta)$: az elnyelt dózis a felvétel ideje (Δ) során.

XI. táblázat. Baleseti védelmi tevékenységek a determinisztikus hatások elkerülésére vagy csökkentésére

Feladatok	Irányadó dózisegyenértékek $H_p(10)$
Életmentés	<500 mSv Ez lehet több szükség esetén a mentő önkéntes vállalásával
Súlyos determinisztikus hatások megelőzésére, olyan katasztrófa-helyzetek megelőzése, mely jelentősen érinti az embereket és a környezetet	<500 mSv
Olyan tevékenység, mely nagy kollektív dózist hárít el	<100 mSv

$H_p(10)$ A személyes dózisegyenérték (*personal dose equivalent*) $H_p(d)$, ahol (*where*) $d=10$ mm.

Az alapvető biztonsági célkitűzések

Az ICRP ajánlásait követően a Nemzeti Atomenergia-ügynökség (IAEA) is kiadta az alapvető biztonsági célkitűzés megfogalmazását és a 10 pontban összefoglalt biztonsági elveket [1, 2].

Az alapvető biztonsági célkitűzés az, hogy védeni kell az embereket, egyéne-

ket és közösségeket és a környezetet az ionizáló sugárzás káros hatásaitól. Annak érdekében, hogy a létesítmények működése és tevékenységük az ésszerűen elérhető legmagasabb biztonsági követelményeknek megfeleljenek, az alábbiakról kell gondoskodni:

- ellenőrzés alatt kell tartani az emberek sugárterhelését, valamint a környe-

zetbe kibocsátott radioaktív anyagok mennyiségét;

- korlátozni kell az esetlegesen veszélyes események/történések valószínűségét, mint például a nukleáris reaktor szabályozás alól való kikerülését, a nukleáris láncreakció létrejöttét, a radioaktív források vagy bármely egyéb sugárforrás ellenőrizetlenségét;
- s ha ezek bármelyike bekövetkezne, intézkedni kell a következmények enyhítésére.

Ez az alapvető biztonsági célkitűzés érvényes minden üzemre és tevékenységre, ezek teljes működési időtartama alatt, beleértve a tervezést, helykijelölést, gyártást, építést, üzembe helyezést és működést, éppúgy, mint az üzemem kívül helyezést és bezárást. Úgyszintén vonatkozik a célkitűzés a radioaktív anyag szállítására és a radioaktív hulladék kezelésére.

Biztonsági elvek

1. A biztonságért való elsődleges felelősség a sugárterhelés kockázatával járó létesítmény és tevékenység működtetéséért felelős személyé vagy szervezeté.
2. Egy független szabályozótestület keretében hatékony jogi és kormányzati keretet kell biztosítani és fenntartani a biztonság érdekében.
3. Hatékony vezetést és működtetést kell létesíteni és fenntartani a biztonság érdekében.
4. A sugárterhelés kockázatával járó létesítményeknek és tevékenységeknek hasznosnak kell lenni.
5. A védekezést optimálni kell annak érdekében, hogy az ésszerűen elérhető legmagasabb szintű biztonságot nyújtsa.

6. A sugárzási kockázatokat ellenőrző intézkedéseknél biztosítani kell, hogy senkit ne érjen a károsodás elfogadhatatlan kockázata.
7. Az embereket és a környezetet a jelenben és a jövőben is védeni kell a sugárzás kockázataitól.
8. Minden gyakorlati törekvést meg kell valósítani annak érdekében, hogy a nukleáris, vagy sugaras baleseteket megelőzzék vagy bekövetkezte esetén enyhítsék a következményeket.
9. Biztosítani kell a vészhelyzeti felkészülést és intézkedéseket a nukleáris vagy sugaras balesetekre.
10. Védelmi intézkedéseket kell tenni a meglévő vagy nem szabályozott sugárzási kockázatok csökkentésére, ezeket az intézkedéseket indokolni és optimalni kell.

Az ismeretterjesztés fontossága és témái

A korszerű és folyamatosan korszerűsödő sugaras technológiák társadalmi elfogadottsága érdekében, a kockázat: haszon józan belátásához és értékeléséhez feltétlenül szükséges a tudományos ismeretterjesztés. Ennek tartalmaznia kell néhány fontos alapismeretet is, például:

- annak tudatosítása, hogy az ionizáló sugárzás életünk velejárója,
- a természetes expozíciós szint jó támpont a „nagy és kis szintek” józan megítélésében.

A sugárzás dózisai jól mérhetőek:

- a mesterséges forrásokból származó többlétsugárzás ellenőrizhető,
- a biológiai hatások és kockázataik ismertek, kellő sugárvédelemmel megelőzhetőek, csökkenthetőek, és
- erre a megfelelő jogszabályi, műszeres, szervezeti feltételek adottak.

- minden műszaki folyamat magában rejti a balesetek lehetőségét,
- számos radiológiai és nukleáris technológia jelenlegi civilizációnkban nélkülözhetetlen, ezek biztonságos alkalmazását nemzetközi előírások és nemzeti jogszabályok segítik;
- az atomerőművek kiváltása más energiaforrásokkal ez idő szerint csak nagyon lassú és költséges fejlesztési feladat;
- ez idő szerint hazailag is szükségünk van az atomerőművekre, sőt bővítésükre is;
- a balesetek megelőzésére és bekövetkezéskor a károk csökkentésére fel kell készülni, mint ez eddig is történt, nagy felelősséggel.

Mindezekben mindannyiunknak van feladata. Ezzel a tevékenységgel is csökkenthetjük a sokszor tudatlanságból vagy akár rosszindulatú számításból gerjesztett – akár hisztérikusan megnyilvánuló – aggályokat.

Irodalom

- [1] *Fundamental safety principles, IAEA safety standards series No. SF-1*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006.
- [2] Köteles Gy.: Vita és gondolatok az ionizáló sugárzás kis dózísainak hatásairól, *Egészségtudomány*, 1999, 43: 329–338.
- [3] Köteles Gy.: A sugáregészségügyi ismeretterjesztésről, *Egészségtudomány*, 2012, 55: 38–44.
- [4] Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: *International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3*, IAEA Vienna, 2011.

- [5] *Sugárbiológia* (szerk.: Várterész Vilmos), Medicina Kiadó, Budapest, 1966.
- [6] *Sugárbiológia*, (szerk.: Pesznyák Csilla és Sáfárány Géza) elektronikus tankönyv, www.osski.hu, Budapest 2013.
- [7] *Sugáregészségtan*, (szerk.: Köteles György), Medicina Kiadó, Budapest, 2002.
- [8] *Sugáregészségtan*, második bővített kiadás (szerk.: Turai István és Köteles György), Medicina Kiadó, Budapest, 2014.
- [9] *The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP60)*, *Annals of ICRP21*, 1991, No. 1–3.
- [10] *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP*, 2007, Elsevier Ltd.

Köszönetnyilvánítás:

A szerző köszönetét fejezi ki Majzik Anna Katalin munkatársnak a kézirat elkészítésében nyújtott segítségéért.

Prof. G. J. Köteles, M.D., DSc.

Radiation protection: recommendations of international organizations

The author lists those international organizations which participate in formulations of recommendations for radiation protection. The relevant publications – i.e. ICRP103 and the Safety principles of IAEA – are introduced.

Key-words: radiation protection, international organizations, basic principles, dose limits, reference levels

Prof. Dr. Köteles György, az MTA doktora 1075 Budapest, Pf. 101.