Rósa Géza

A Paksi Atomerőmű környezeti megítélése

A Nemzeti Alaptanterv a fizika tanításának részletes követelményei között tartalmazza, hogy a tanulók a 10. évfolyam végén legyenek képesek reális véleményt alkotni az atomenergia felhasználásának lehetőségeiről, szükségességéről és kockázatáról. Rendelkezzenek a sugárvédelemmel kapcsolatos alapismeretekkel, ismerjék az atomerőmű működési elvét. Cikkem célja az, hogy a fizikát tanító pedagógusok részére a gyakorlati szakember szempontjából fontosnak ítélt néhány sugárvédelmi alapismeretet, illetve a paksi atomerőmű környezeti hatását bemutató néhány információt biztosítsak.

Sugárvédelmi alapismeretek

Nem sokkal *Röntgen* 1895-ös és *Becquerel* 1896-os felfedezését követően ismertté vált, hogy az úgynevezett ionizáló sugárzások számos hasznos tulajdonságuk mellett bizonyos kockázatot is jelentenek. Az orvosi és ipari radiológia, a radioaktív izotópok ipari, mezőgazdasági, kutatási célokra való felhasználása, az atommagban rejlő energia felszabadítása mindennapjaink realitása. Ezekről a lehetőségekről a társadalom nem mondhat le, de felhasználásukat úgy kell korlátozni és szabályozni, hogy hasznukat élvezhessük, a felhasználás kockázatát pedig ésszerűen az elfogadható szint alá csökkentsük.

A sugárvédelemnek pont ez a fő feladata: nem akadályozva az ionizáló sugárzások ésszerű felhasználását, biztosítani kell azt, hogy a felhasználás során a társadalmi haszon nagyobb, legyen, mint a vállalt kockázat, de az egyéneket érő sugárterhelés se legyen nagyobb mint az egészségügyi hatóságok által megállapított ún. dóziskorlát.

Ahhoz, hogy a sugárvédelem működni tudjon, meg kell határoznia az ionizáló sugárzások mennyiségére jellemző dózisfogalmakat, tudnia kell mérni ezeket, és ismernie kell az ionizáló sugárzások biológiai hatásait. Ezen ismeretek birtokában értékelhető egy-egy munkafolyamat technológia kockázata, s megszabhatók azok a korlátok, amelyek betartása mellett a tevékenység engedélyezhető.

Dózisfogalmak

A sugárvédelem fejlődése során először csak a röntgen- és gamma-sugárzás mérésének igénye fogalmazódott meg, így az első dózisfogalom a *besugárzási dózis* is csak erre a két sugárzásra volt értelmezve. A sugárveszélyes technológiák elterjedésével szükségessé vált az alfa-sugárzásra, béta-sugárzásra és neutronsugárzásra is alkalmazható dózisfogalom megalkotása, ez volt az *elnyelt dózis*. Mindkét fogalom az ionizáló sugárzásoknak valamilyen fizikai hatását jellemezte, konkrétabban a besugárzási dózis a levegőben keltett ionizáció mértékével volt arányos, az elnyelt dózis pedig a besugárzott anyagban a sugárzás hatására elnyelt energiára vonatkozott.

Mivel a sugárvédelem legfontosabb eleme az ember, így szükség volt olyan dózisfogalomra, amely a fizikai hatáson túl az emberben kiváltott biológiai hatásokra adott valami-

lyen számszerű értéket. Ezen igény kielégítésére megalkották régebben a *dózisegyenérték* fogalmát, jelenleg emellett már az *effektív dózisegyenérték* fogalmát használjuk, és a közeli jövőben várhatóan Magyarországon is bevezetésre kerül az *effektív dózis* fogalma.

A jelenlegi sugárvédelmi gyakorlatban legáltalánosabban az elnyelt dózis, a dózisegyenérték és az effektív dózisegyenérték használatos, ezért e három dózisfogalomnak a pontos definícióját közlöm.

Elnyelt dózis (D)

Bármely ionizáló sugárzásra vonatkozóan a besugárzott anyag térfogatelemében a sugárzás hatására elnyelt energiának és a térfogat elem tömegének a hányadosa. Mértékegysége a *gray* (Gy) (ejtsd: gréj).

$$1\ \mathrm{Gy} = 1\ \mathrm{J} \times \mathrm{kg}^{-1}$$

Dózisegyenérték (H)

A testszövet adott pontjában az elnyelt dózis, a minőségi tényező (Q) és más módosító tényezők (N) szorzata. (Jelenleg N = 1, a nemzetközi ajánlásoknak megfelelően.)

$$H = D \times Q \times N$$

A dózisegyenérték mértékegysége ugyanaz, mint az elnyelt dózisé, azaz J/kg, de hogy attól meg lehessen különböztetni, önálló nevet kapott, ez a *sievert* (Sv) (ejtsd: szívert).

A Q a sugárzás minőségétől függő súlyozó tényező: értékét röntgen- és gamma-sugárzás esetén önkényesen 1-nek vesszük, elektronokra az értéke 1, termikus neutronokra 2,3, gyors neutronokra, protonokra az értéke 10, alfa-részecskékre és többszörösen töltött részecskékre pedig 20.

Effektív dózisegyenérték (H_E)

$$H_E = \sum_T w_T \times H_T$$

Ahol H_T az átlagos dózisegyenérték a T szövetben; w_T súlyozó tényező, amely az adott szövet besugárzásának hatását az egész test egyenletes besugárzásának hatásához viszonyítja. W_T értékeit az alábbi táblázat mutatja:

Szövet	w_T	Szövet	w_T
gonádok	0,25	pajzsmirigy	0,03
emlő	0,15	csontfelszín	0,03
vörös csontvelő	0,12	egyéb	0,30
tüdő	0,12		

(Megjegyzés: A Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság már közzétette a w_T egy korszerűbb táblázatát, de hazai jogszabályaink ezt mindezidáig nem honosították.)

Az effektív dózisegyenérték mértékegysége is a Sv.

Az ionizáló sugárzások élettani hatásai

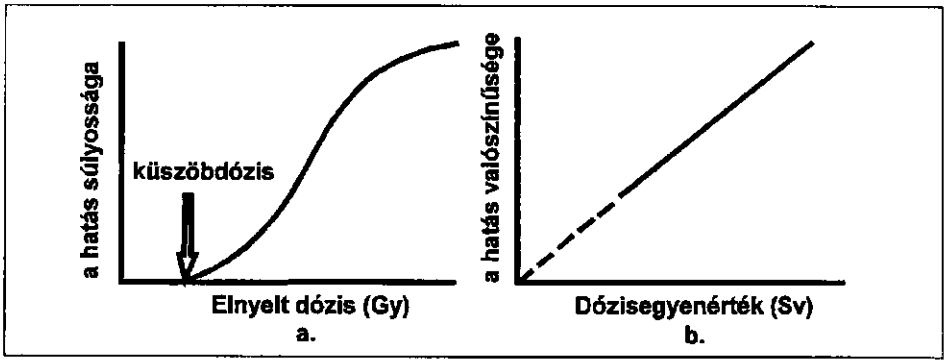
Ha az ionizáló sugárzás kölcsönhatásba lép bármilyen anyaggal, a kölcsönhatás során az anyag részecskéinek energiát ad át, ionizációkat, esetleg magreakciókat vált ki. Ezek a változások kémiai hatásokhoz vezethetnek, hisz egy elektron szabaddá válása egy kémiai kötés felbomlását idézheti elő, a magreakció az elemek átalakulását is okozhatja.

Abban az esetben, amikor az ionizáló sugárzás élő szervezet anyagával lép kölcsönhatásba, a kiváltott hatások itt nem fejeződnek be, hanem élettani következményeket idéznek vagy idézhetnek elő. Megváltoztatják egy-egy sejt működését, amennyiben elegendően sok sejt működése változik meg, ez az adott szerv vagy szövet működésének megváltozását, zavarát okozza, ami bizonyos esetekben az egész szervezet károsodásához vezethet. Hogy a hatás milyen és mikor alakul ki, az nagy mértékben függ a besugárzás jellemzőitől, azaz a besugárzott testrész nagyságától (legveszélyesebb az egész test besugárzása), a besugárzás nagyságától, illetve időbeni eloszlásától. A változások lehetnek *koraiak* (elegendően nagy dózis esetén), vagy *későiek.* Amennyiben a sugárzás hatása a besugárzott egyeden jelenik meg, akkor *szomatikus* hatásról, amennyiben a hatás a besugárzott egyed besugárzást követően fogant valamelyik utódán figyelhető meg, akkor *genetikai* hatásról beszélünk.

A sugárhatások a dózis–hatás összefüggés szempontjából két csoportra oszthatók. Vannak olyan hatások, melyeknél a biológiai hatás egy bizonyos küszöbdózisig nem alakul ki, afölött a növekvő dózissal egyre súlyosabb formában jelenik meg. Ilyen hatás például a bőrpír, a szőrzet kihullása, a szemlencse homálya. Ezeket a hatásokat *determinisztikus hatásoknak* nevezzük. Vannak olyan – ún. *sztochasztikus* – hatások, amikor a sugárterhelés növekedésével nem a hatás súlyossága növekszik, hanem a hatás kialakulásának valószínűsége. Ilyen hatás a különféle daganatok kialakulása, a leukémiában való megbetegedés, és idetartoznak a genetikai hatások is. Ez utóbbi hatásokat állat- és növénykísérletek során egyértelműen megfigyelték. Mivel embereken kísérleteket végezni értelemszerűen nem lehet, csak megtörtént balesetek túlélőinek megfigyelése ad bizonyos adatokat, ezek azonban a genetikai hatást ember esetében még soha nem bizonyították. Nem tudták kimutatni sem a két, Japánra ledobott atombomba túlélőinek immár több mint ötven éve végzett megfigyelése során, sem a csernobili baleset környékén élők esetében. Ennek ellenére a sugárvédelem feltételezi, hogy az ionizáló sugárzásoknak az emberekre vonatkozóan is van genetikai hatásuk, ennek valószínűségét jelenleg $0{,}4 \times 10^{-2}$ Sv^{-1}-re teszik az első két generációra vonatkozóan.

E kétféle dózis–hatás összefüggést szemlélteti az *1. ábra,* ahol az *a*-val jelzett ábra a determinisztikus, a *b*-vel jelölt a sztochasztikus hatásokra jellemző.

A sztochasztikus hatásokra jellemző dózis–hatás összefüggés viszonylag jól ismert a nagyobb dózisok tartományában, erre utal, hogy ott a görbe folyamatos vonallal szerepel. Kevéssé ismert azonban a kis dózisok tartományában, itt az ismert tartomány lineáris extrapolációját alkalmazzuk; erre utal, hogy itt a görbe szaggatottan van kihúzva. Az utóbbi években számos olyan megfigyelést publikáltak, tettek közzé, amelyek megkérdőjelezik ezt az úgynevezett küszöb nélküli lineáris modellt, azt állítván, hogy a kis dózisok tartományában vagy van küszöbdózis, vagy a görbe emelkedése kevésbé meredek. Miután ezen megfigyelések még nem elégségesek ahhoz, hogy a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság ezt az óvatos modellt megváltoztassa, ezért a sugárvédelemben ezt használjuk.

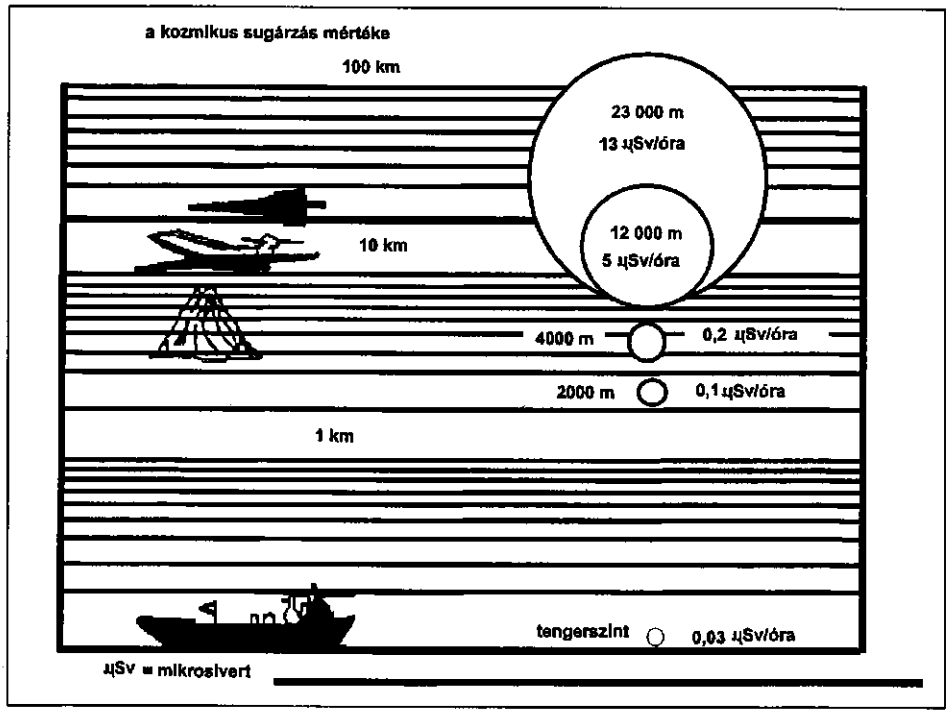


1. ábra

Természetes és mesterséges eredetű sugárterhelés

Ionizáló sugárzások kialakulása óta érik a Föld felszínét. Ezek egy része a világűrből érkezik, ezen sugárzásokat gyűjtőnéven kozmikus sugárzásnak nevezzük; egy másik részük a földkéregből származik. A földkérget alkotó anyagok ugyanis tartalmaznak ősi radioaktív anyagokat, mint például a kálium 40-es tömegszámú izotópját (felezési ideje: 1,25 milliárd év), különböző uránizotópokat (felezési idejük: 0,7-4,5 milliárd év), a tórium 232-es izotópját (felezési ideje: több mint 10 milliárd év), valamint az urán- és tóriumizotópok radioaktív bomlástermékeit. A természetes eredetű sugárterhelésnek több mint 50%-át az urán egyik bomlásterméke, a radon idézi elő. A radon egy természetes eredetű radioaktív nemesgáz, a földkéregben a ^{226}Ra bomlása során keletkezik, kilép a légtérbe és radioaktív bomlástermékei a levegőben lebegő szilárd részecskékre (aeroszolokra) tapadnak. Ezeket a részecskéket belélegezzük, a tüdőnk visszatartja őket, és radioaktív bomlásuk során a tüdő sugárterhelését okozzák. A szabad levegőn a radon koncentrációja általában kisebb, mint az épületekben, különösen magas radonkoncentrációk tudnak kialakulni pincékben, rosszul szellőztetett földszintes épületekben.

A kozmikus sugárzás kívülről éri a szervezetünket, azaz ún. *külső* sugárterhelést hoz létre, szemben a radon bomlástermékei által kiváltott ún. *belső* sugárterheléssel. A tenger szintjén a kozmikus sugárzásból óránként kb. 0,03 μ Sv effektív dózisegyenérték terhelés alakul ki. Ez az érték lényegesen megnő, ha magas hegyre megyünk fel, illetve repülőgépen utazunk. Ezt szemlélteti a *2. ábra.*

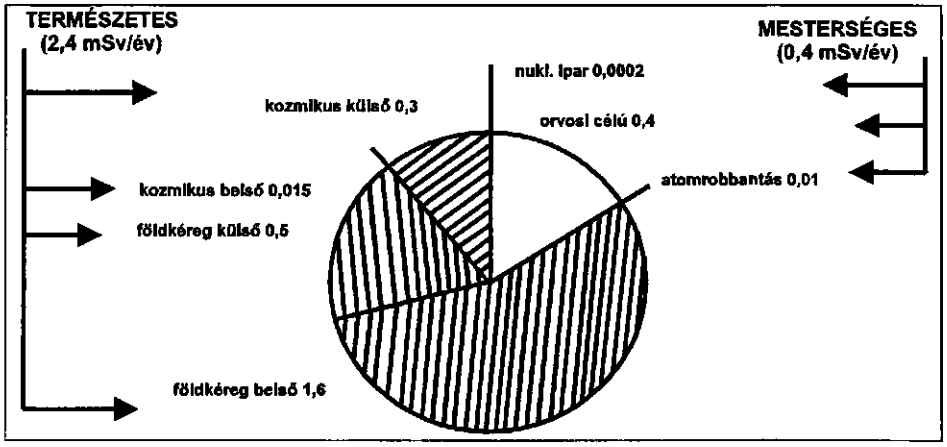


2. ábra

Vannak olyan radioaktív izotópok – tipikusan a ^{14}C és ^{3}H – amelyek a kozmikus sugárzás hatására az atmoszférában keletkeznek, ezek beépülnek a tápláléklánc különböző elemeibe és végső fokon kozmikus eredetű belső sugárterhelést idéznek elő.

A 19. század legvégén, de jellemző módon a 20. században rohamosan elterjedtek a röntgenvizsgálatok. Vannak, akik az orvost úgy ábrázolják, hogy egyik kezében valamilyen műszert tart, a másik kezében valamilyen vegyszert. A műszerek egyik leggyakrabban használt fajtája a röntgenberendezés, melyet átvilágításra, felvétel készítésére, illetve az utóbbi időben egyre gyakrabban képerősítővel és számítógéppel kombinálva különböző kisebb-nagyobb műtétek során használnak. Nem elhanyagolható, bár a korábbinál lényegesen kisebb sugárterhelést idéz elő a radioaktív izotópok gyógyászati célú felhasználása. Gondoljunk csak a különböző szcintigráfiás vizsgálatokra, nyomjelzéses technikákra. Az ENSZ erre szakosodott szakértő szervezetének felmérése szerint világátlagban az orvosi célú alkalmazások átlagosan 0,4 mSv/év sugárterheléssel járnak fejenként. Ehhez igen csekély mértékben járul hozzá a radioaktív sugárforrások, gyorsítók, nagy besugárzók, ipari, mezőgazdasági, kutatási és oktatási célú felhasználása, illetve az atomerőművek működése. Az ötvenes és hatvanas években végzett kísérleti légköri atomrobbantások jelentős mértékű globális szennyeződést idéztek elő, a kiülepedett szennyeződés napjainkban évente személyenként átlagosan 0,01 mSv sugárterhelést okoz.

A következő ábra összefoglalóan mutatja be a legfontosabb természetes és mesterséges eredetű sugárforrásokat, illetve az azok hatására kialakuló sugárterheléseket. Az adatok világátlagot tükröznek; rá kell mutatni, hogy az átlaghoz képest igen jelentős különbségek is megfigyelhetők. Vannak olyan területek, ahol a földkéreg az átlagosnál lényegesen nagyobb koncentrációban tartalmaz természetes eredetű radioaktív izotópokat, így ezeken a területeken (pl. India, Brazília, Skócia bizonyos területei) a világátlagot 5-ször, 10-szer meghaladó mértékű természetes eredetű sugárterhelések alakulnak ki.



3. ábra

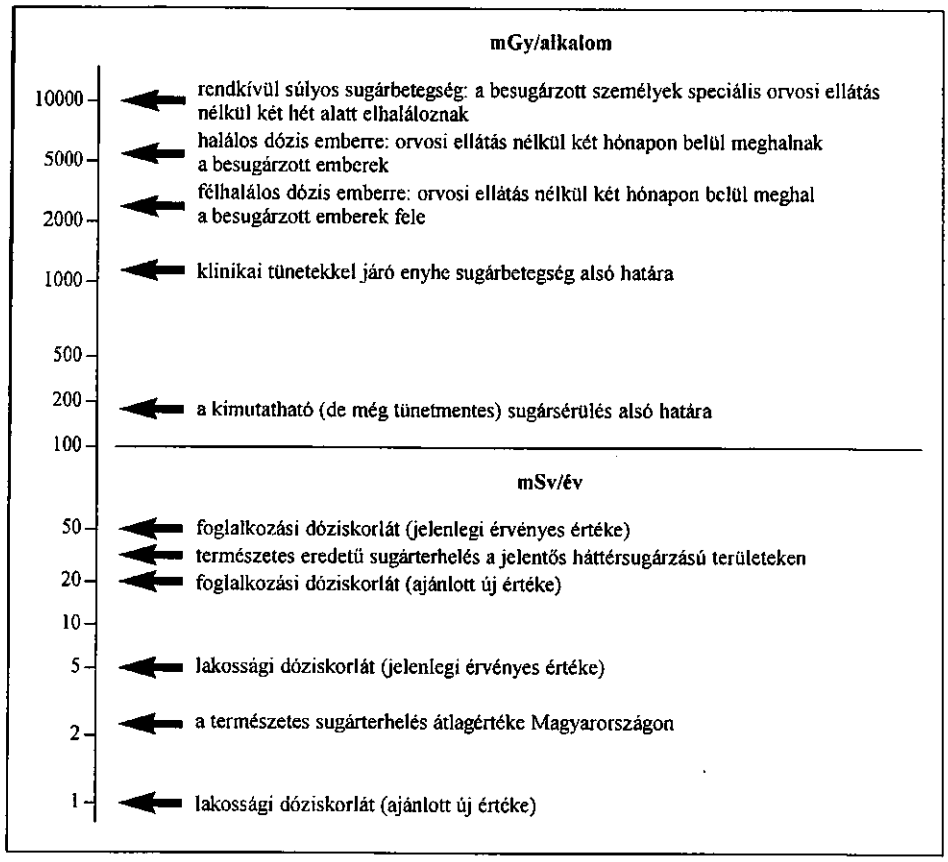
Dóziskorlátok

A sugárvédelem csak olyan sugárveszélyes tevékenységet engedélyez, melynél bizonyítható, hogy társadalmi haszna nagyobb, mint a vállalt kockázat. Emellett azonban a kockázatot az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szintre kell csökkenteni, de mindenképpen be kell tartani az egyénekre megfogalmazott dóziskorlátokat. Dóziskorlátot az egészségügyi hatóság alapvetően két lakossági csoportra fogalmaz meg, úgymint sugárveszélyes munkát hivatásszerűen végző felnőtt emberekre, illetve a lakosság tagjaira. (Vannak külön korlátok tanulókra, terhes nőkre, de ezeket most nem tárgyaljuk.)

A sugárveszélyes munkakörben dolgozók éves effektív dózisegyenérték korlátja jelenleg 50 mSv. A nemzetközi ajánlások már tartalmaznak egy újabb korlátot is, nevezetesen azt, hogy megtartva éves korlátként az 50 mSv-et, biztosítani kell, hogy ezek a dolgozók

bármely egymást követő öt évben összességében 100 mSv-nél nagyobb sugárterhelést ne kapjanak. Ezt az ajánlást a hazai jogszabályok még nem vették át, de a Paksi Atomerőműben mint üzemi ellenőrzési szintet már bevezettük. A hazai szabályozás jelenleg a lakosság egyedeire a természetes és orvosi eredetű dózisokon felül 5 mSv/év dóziskorlátot tartalmaz az összes mesterséges eredetű sugárforrásra együttesen. A paksi atomerőmű kibocsátásaiból származó lakossági többletdózis jelenlegi korlátja ezen belül 0,46 mSv/év.

A következő ábra összefoglalva mutatja az előbb tárgyalt dóziskorlátokat, de ezen kívül tartalmazza még a természetes eredetű sugárterhelés magyarországi átlagértékét, illetve az ábra felső részében már nem éves átlagértékként, hanem egy-egy alkalommal elszenvedett elnyelt dózisban adja meg azokat az dózisértékeket, amelyeknek már van kimutatható biológiai hatásuk.



4. ábra

A Paksi Atomerőmű radioaktív kibocsátásai és azok hatása

Az atomerőmű működése során nem fogyaszt oxigént, nem bocsát a környezetbe kéndioxidot, szén-dioxidot, nitrogén-oxidokat, port, pernyét. Sajátossága viszont minden atomerőműnek, így a paksinak is, hogy az üzemanyagában lejátszódó maghasadások igen jelentős mennyiségű radioaktív hasadási termék keletkezésével járnak, illetve az, hogy a maghasadásokat kísérő neutronsugárzás a reaktorban lévő anyagokat felaktiválja, azaz radioaktív korróziós és egyéb aktivációs termékeket hoz létre.

Az atomerőmű technológiai rendszereit úgy tervezték meg, hogy ezek a radioaktív anyagok a környezettől többszörösen el legyenek zárva. Az üzemanyag hermetikus burkolatban van, így a hasadási termékek és a környezet között ez a burkolat képezi az első gátat. Természetesen még normál üzemi körülmények között is előfordul, hogy némelyik üzemanyag-burkolat kis mértékben elveszíti hermetikusságát, így a radioaktív anyagok az üzemanyagkötegeket körülvevő úgynevezett primerköri vízben is megjelenhetnek. A primerköri víz ezen kívül tartalmaz aktivációs termékeket is. A primerkör egy zárt, nyomástartó rendszer, melynek üzemi nyomása 125 bar, de próbanyomása 194 bar. Ez a nyomástartó rendszer képezi a következő gátat a radioaktív anyagok és a környezet között. A radioaktív anyagokat tartalmazó primerkör teljes egészében egy túlnyomásra méretezett, nyomáscsökkentő rendszerekkel ellátott vasbeton épületrészben, az ún. hermetikus térben helyezkedik el. A hermetikus tér fala a harmadik gát a radioaktív anyagok és a környezet között. Normál üzemi körülmények között a hermetikus tér a környezethez képest depresszión van, amit úgy érnek el, hogy állandó elszívást valósítanak meg ebből a térrészből. Az elszívott levegő a primerköri tömörtelenségek következtében tartalmaz kis mennyiségben radioaktív aeroszolokat, jódgőzöket és nemesgázokat. Az elszívott levegőt technológiai szűrőkben az aeroszoloktól és jódgőzöktől igen jó hatásfokkal megtisztítják, a radioaktív nemesgázokat szénadszorbereken való átengedéssel némileg visszatartják, de teljesen kiszűrni nem tudják. Az elszívott és megtisztított levegő az erőmű 100 m magas kéményein át a légtérbe távozik. A sugárvédelmi ellenőrzés természetesen kiterjed mind az egyes helyiségekre, mind a technológiai szűrőrendszerekre, mind pedig a kéményen távozó levegőre. Ez az ellenőrzés részben figyelmeztet arra, ha nagyobb mérvű tömörtelenség alakul ki, másrészt felügyelet alatt tartja a szűrőrendszerek hatékonyságát, valamint ellenőrzi és rögzíti a kibocsátott radioaktív anyagok mennyiségét. Ez utóbbi adatok részben bizonyítják, hogy az atomerőmű betartja a kibocsátásokra vonatkozó korlátokat, másrészt alapul szolgálnak a hatóságok által elvégzett lakossági dózisbecsléshez.

Az atomerőmű nemcsak a kéményen át bocsát radioaktív anyagokat a környezetbe, hanem bizonyos csatornákon keresztül folyékony kibocsátásokkal radioaktív anyagokat juttat a Dunába is. Technológiai leürítéseknél, tisztítási műveleteknél, a védőruha mosásánál, laboratóriumi vizsgálatoknál keletkeznek olyan hulladékvizek, amelyek radioaktív szennyeződést is tartalmaznak. Ezen vizek közvetlen kibocsátása nem lehetséges. Minden ilyen vizet gyűjtőtartályban kell felfogni, majd meghatározni hagyományos szennyező, illetve radioaktív szennyeződés tartalmát. Amennyiben a vizsgálatok a tartály vizét kibocsáthatónak ítélik, akkor megfelelő üzemi engedélyezés és nyilvántartás mellett a tartály vize a Dunába bocsátható. Általában azonban ezek a vizek feldolgozásra kerülnek.

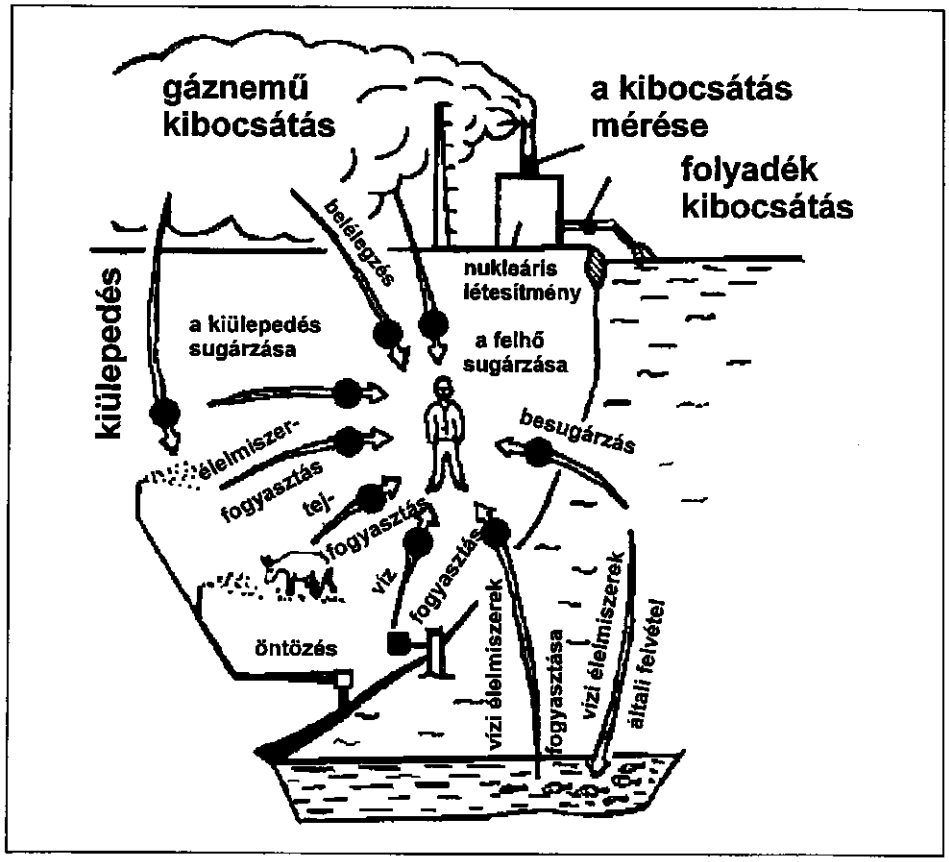
A feldolgozás módja desztilláció, a visszamaradó sűrítményt az erőmű folyékony radioaktív hulladékként kezeli, a desztillátumot még egy ioncserélő gyantasoron is átengedve, újabb ellenőrző tartályban gyűjti. Amikor egy ilyen tartály megtelik, mintát vesznek belőle, ellenőrzik annak mind kémiai, mind radioaktív szennyezőanyag-tartalmát, és megfelelő üzemi ellenőrzés és nyilvántartás mellett az engedélyezett útvonalon, amennyiben a szennyezőanyag-tartalom a megszabott normákon belül marad, a folyadékot a Dunába engedik.

A fenti vázlatos ismertetésből is kitűnik, hogy az atomerőmű mind a légköri, mind a folyékony kibocsátásokra vonatkozóan kibocsátási korlátokkal rendelkezik. A hatóságok nemcsak a kibocsátható radioaktív anyagok mennyiségét határozták meg, hanem megállapították a lehetséges kibocsátási útvonalakat, a mintavételi és ellenőrzési eljárásokat, a minták archiválási rendjét, illetve saját ellenőrzéseik részletes szabályait is.

Az atomerőművet üzemeltető cég a folyamatos jelentéseken túl köteles éves sugárvédelmi jelentést is készíteni. Ezt a jelentést aztán megküldi az összes érintett hatóságnak. A hatóságoknak az Országos Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézetben van egy adatfeldolgozó és értékelő központja, ahol összegyűjtik a környezetellenőrzésben érintett összes hatóság (a Földművelésügyi Minisztérium szakintézetei, a Környezetvédelmi és Te-

rületfejlesztési Minisztérium szakintézményei, a Népjóléti Minisztérium szakintézményei) év közben végzett ellenőrzéseinek adatait, ezeket összevetik egymással, illetve az üzemi ellenőrzések adataival. Ez az összevetés alkalmat ad arra, hogy az esetleges hibás adatokat feltárják és a további értékelésekből kiszűrjék,valamint arra, hogy korrekciós intézkedéseket hozzanak. A hitelesnek elfogadott adatok felhasználásával ez a központ minden évben elkészíti a kibocsátási adatokat, a terjedést befolyásoló meteorológiai és hidrológiai adatokat, valamint a környéken élő lakosság demográfiai, táplálkozási és viselkedési szokásait figyelembe vevő matematikai modellek segítségével a radioaktív kibocsátások által előidézett lakossági többletdózisok meghatározását. Erről a munkáról a tárgyévet követő 6–7. hónapban összefoglaló jelentést adnak ki, mely jelentésben értékelik az atomerőmű radioaktív kibocsátásait, a kibocsátások hatására kialakuló környezeti sugárzási viszonyokat és végül az atomerőmű működése következtében létrejövő lakossági többletdózisokat.

Az ellenőrző rendszer felépítése olyan, hogy nem csupán a kibocsátásokat és a környezetbe jutott radioaktív anyagok terjedését befolyásoló paramétereket méri, hanem igyekszik adatokat gyűjteni a lakosság sugárterhelését befolyásoló összes besugárzási útvonalról. A következő ábrán az ember felé mutató nyilak jelzik ezeket a besugárzási útvonalakat és a nyilakon, illetve a kibocsátási útvonalakon elhelyezett fekete körök utalnak az ellenőrzés tényére. Az ellenőrzés mindig többszintű, mert az üzem teljes körű környezetellenőrzést végez, és a hatóságok független mérései ezeket összességükben lefedik, sőt bizonyos határterületeken egymás ellenőrzéseit is megerősítik.



5. ábra

A hatóságok által összeállított jelentés legfontosabb része a lakossági többletdózis becslése, hiszen ez az adat összefoglalóan tartalmazza a sugárvédelmi mérések és számítások eredményeit és alkalmas a környezeti hatás komplex megítélésére. Az 1995-re vonatkozó jelentés már elkészült (l. az alábbi táblázatot!):

Besugárzási útvonal	**becsült érték** [μSv]	**korlát** [μSv]
Légköri kibocsátás		
külső sugárterhelés:		
nemesgázizotópok	0,0390	
radioezüst aeroszol	0,0013	
egyéb izotóp	0,0016	
belső sugárterhelés:		
inhaláció	0,0040	
radioezüst (élelm.)	0,0015	
egyéb izotóp	0,0300	
Összes légköri:	0,0770	300
Folyékony kibocsátás		
Külső sugárterhelés:	0,0011	
Belső sugárterhelés:	0,0180	
trícium	0,0140	
egyéb izotóp	0,0040	
Összes folyékony:	0,0190	160
Mindösszesen:	**0,0960**	**460**

A kibocsátásokból becsült évi egyéni effektív dózisegyenérték-hozzájárulás az erőmű közelében (3 km) élők esetén, a hatósági dóziskorlátokkal, besugárzási útvonalak szerint.

Az egy évre becsült kb. 0,1 μSv lakossági többletdózis olyan kis érték, hogy érdemi egészségi hatása nincs, tehát az atomerőmű normál üzemi kibocsátásai a környezet állapotát érdemben nem befolyásolják. Hogy ez mennyire így van, azt az 1 mSv (1000 μSv) dózis kockázatának összehasonlítása mutathatja be. Tehát 1 mSv effektív dózisegyenértékkel azonos kockázatot jelent:

- elszívni 3 csomag cigarettát;
- kerékpározni 600 km-t;
- autózni 3250 km-t;
- egy éven keresztül naponta kétszer átmenni egy forgalmas úton;
- vagy egy éven keresztül naponta meginni egy pohár bort.

Radioaktív hulladékok keletkezése és azok kezelése

A szellőzőrendszerek szűrői, a radioaktív anyaggal szennyezett folyadékok feldolgozása során keletkezett hulladékok, az elszennyezett és nem tisztítható védőeszközök, egyes szerelési hulladékok, illetve a reaktor belsejéből kiemelt és tovább már nem használható szerkezeti elemek radioaktív hulladéknak minősülnek. 1995-ben a paksi atomerőmű négy blokkjában összesen 207 m^3 bepárlási maradék és kb. 1 m^3 kimerült ioncserélő gyanta keletkezett. A teljes üzemidő alatt 1995 végéig 2480 m^3 bepárlási maradék és 24 m^3 kimerült ioncserélő gyantahulladék keletkezett. A szilárd kis és közepes aktivitású hulladékok térfogata a gyűjtés után 1995-ben 402 m^3 volt, a tömörítést követően e hulladékmennyiség térfogata 115 m^3-re csökkent.

A fenti adatok mutatják, hogy 14 milliárd kWh villamosenergia-termelés (ez a hazai termelésnek kb. 42 százaléka volt) összesen néhány száz m^3 kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékot eredményezett.

A szilárd radioaktív hulladékokat a műanyagburkolattal ellátott 200 literes fémhordókba történt préselést és ellenőrzést követően az ország egyetlen radioaktívhulladék-tárolójába szállították végső elhelyezésre. A folyékony radioaktív hulladékokat nagy – 400–500 m^3-es – rozsdamentes acéltartályokban tárolják, úgy, hogy minden egyes tartály önálló betonfülkében van, melynek bejárata nem a padlószinten, hanem a tartály tetejének magasságában helyezkedik el, a helyiség padlózata és oldalfala pedig a kellő magasságig hézagmentesen, rozsdamentes acélburkolattal van ellátva. Ez a burkolat egy szivárgásérzékelővel ellátva garantálja, hogy a tartályból esetleg kiszivárgó folyadék ne kerülhessen a környezetbe, és hogy ilyen esetben a mindig rendelkezésre álló tartaléktartályba mind a tartályból, mind a helyiségből a folyadék átszivattyúzható legyen. Ez az ideiglenes tárolási mód az ellenőrzések tanúsága szerint a környezet védelmét évtizedes léptékben megfelelően biztosítja.

Nemzeti program keretében folyik egy olyan terület keresése, mely terület alkalmas az atomerőmű hulladéktárolójának felépítésére. Erre a tárolóhelyre kerülnek majd a cementezéssel megszilárdított folyékony hulladékot tartalmazó hordók, illetve a préseléssel tömörített szilárd radioaktív hulladékok, természetesen mindkét fajtából csak azok, amelyek kis és közepes aktivitásúnak minősülnek.

Külön program indult a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére alkalmas terület megtalálására. Nagy aktivitású radioaktív hulladék döntően a leszereléskor fog majd keletkezni, illetve akkor, ha a kiégett üzemanyagok Oroszországba való visszaszállítása (ami 1989 óta egyetlen megszakítástól eltekintve folyamatosan történik) valamilyen oknál fogva lehetetlenné válik.

A radioaktív hulladékok végső elhelyezése műszakilag jól kezelhető feladat, de mivel a tárolás nem évtizedekig, hanem évszázadokig, esetleg évezredekig történik, a biztonság közérthető módon való bemutatása igen nehéz feladat. Kis és közepes aktivitású hulladékok végső elhelyezésére szolgáló tároló létesítmény már számos országban régóta működik minden környezetszennyezés nélkül, a hetvenes évektől hazánkban is, de hosszú élettartamú nagy aktivitású radioaktív hulladék végső elhelyezésére szolgáló létesítmény még sehol sem működik. A kérdés nem pusztán műszaki és gazdasági problémák megoldásával jár, hanem igen jelentős mértékben igényli a lakossági kapcsolatok rendezését is.

A nukleáris balesetekről

Amint azt a paksi atomerőmű példája is bizonyítja, normál üzemi körülmények között az atomerőmű környezetbarát létesítménynek tekinthető, hiszen hagyományos környezetvédelmi problémái hagyományos módon kezelhetők, radioaktívanyag-kibocsátásai pedig oly alacsony szintűek, hogy az ezek hatására kialakuló lakossági többletdózisnak nincs érdemi egészségi hatása. Ezt ma már a környezetvédelmi mozgalmak sem kérdőjelezik meg, a viták inkább az atomerőművek biztonsága körül zajlanak. Az 1979-ben az Amerikai Egyesült Államokban bekövetkezett TMI-baleset, illetve az 1986-ban Csernobilban bekövetkezett baleset számos jogos kérdést vetett fel az atomerőművek biztonságát illetően. Nemzetközi ajánlások szerint egy működő atomerőmű nukleáris biztonsága elfogadható, ha egy olyan súlyos üzemzavar, melynek során a reaktor aktív zónája részben vagy teljesen megolvad, nem nagyobb valószínűségű, mint 10^{-4}/év/blokk. A Paksi Atomerőműre elvégzett valószínűségi alapú biztonsági elemzés azt mutatta, hogy blokkjainkra ezen esemény valószínűsége ebben a nagyságrendben van, de néhány biztonságnövelő intézkedéssel a helyzet még tovább javítható. Ezek az intézkedések folyamatban vannak.

A reaktor aktív zónájának olvadása még nem jár jelentős környezetszennyezéssel, hiszen ekkor a harmadik gát, nálunk az ún. hermetikus tér, nyugati erőművekben az ún. konténment még útját állja a radioaktív anyagok környezetbe kerülésének. Annak a valószínűsége, hogy a zóna károsodásával egyidejűleg a hermetikus tér is sérüljön, nyilván lényegesen kisebb, mint a zónaolvadásé. Ennek ellenére az ország felkészült egy ilyen esemény következményeinek felmérésére, lokalizálásra, csökkentésére, illetve felszámolására. Egy kormányrendelet életre hívta a Nukleárisbaleset-elhárítási Kormánybizottságot. A Kormánybizottságon túl minden egyes megyében működnek olyan Védelmi Bizottságok, melyek egy esetleges nukleáris baleset során töltenék be szerepüket. Magának az atomerőműnek is van egy Balesetelhárítási Intézkedési Terve, melyben a hatóságokkal egyeztetve részletesen meghatározásra kerültek azok a feladatok, melyeket az ilyen súlyos esetben az erőművet üzemeltető szervezetnek kellene ellátni.

A két említett súlyos atomerőmű-baleset tapasztalatait a nemzetközi nukleáris közösség és minden egyes nukleáris létesítménnyel rendelkező ország hatóságai, szakmai szervezetei feldolgozták, és ma már elmondható, hogy a hasonló esetek megismétlődésének valószínűsége majdnem nulla.

Összefoglalás

Az atomerőmű normál üzemi körülmények között környezetbarát létesítménynek tekinthető, mert nem fogyaszt oxigént, nem bocsát ki égéstermékeket, így nem járul hozzá az üvegházhatás fokozódásához, a savas esők kialakulásához. Nem szennyezi környezetét porral, pernyével. Radioaktív kibocsátásai igen jól ellenőrzöttek és oly kis mértékűek, hogy a környékén élő lakosok sugárterhelését csak elhanyagolható mértékben növelik. Az üzemeltetés során keletkező radioaktív hulladékok ideiglenes tárolása biztonságosan megoldott, a végleges megoldásnak műszaki akadálya nincs, de itt még sok feladat vár megoldásra. Az atomerőművek környezeti kockázatát érdemben az esetleges nukleáris balesetek jelentik. Ezek valószínűsége már jelenleg is igen csekély, és folyamatos biztonságnövelő intézkedésekkel a biztonsági színvonal tovább javítható.

Irodalom

MSZ 62/1-1989. sz. szabvány az ionizáló sugárzás elleni védelemről.
Alapfokú sugárvédelmi ismeretek, 1992.
Dr. TURAI ISTVÁN: *Sugáregészségügyi ismeretek. Medicina, 1993.*
MARX, G.: *People and Risks. Atoms in our hands ELFT 1995.*