

SUGÁRVÉDELMI KÉRDÉSEK AZ ATOMERŐMŰVEKNÉL

Az atomerőművekkel kapcsolatos sugárvédelmi problémák a szerteágazó, ma is sokat vitatott, nagy mértékben interdiszciplináris kérdések egész sorát vetik fel. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint az a tény, hogy az 1966-ban Rómában megalakult Nemzetközi Sugárvédelmi Társulat (International Radiation Protection Association), melynek ma 25 tagegyesületén keresztül több mint 8000 tagja van, 1977. április végén rendezte meg Párizsban IV. Nemzetközi Kongresszusát és ennek 430 előadása közül több mint 150 a reaktorokhoz kapcsolódó, illetve a sugárvédelem alapjait tárgyaló témákkal foglalkozott.

Bár az egyes előadásokhoz csatlakozó magas szintű vitákban az öt kontinens legkiválóbb sugárvédelmi szakemberei vettek részt és az 1928-ban megalakult Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (International Commission on Radiological Protection, ICRP) előterjesztette egy kerekasztal vita keretében a megengedhető maximális dózisokra vonatkozó 20 év előtti ajánlásait felváltó új nemzetközi javaslatait, az alapvető sugárvédelmi problémák minden szempontból kielégítő végleges lezárására ez alkalommal sem kerülhetett sor.

A következőkben rövid áttekintést szeretnék nyújtani a sugárvédelmi vonatkozású előzményekről, az atomerőművek megjelenésével felmerült új sugárvédelmi problémákról és a jelenleg érvényben levő, illetve a közeljövőben várható új sugárvédelmi normákról.

Talán nem lesz érdektelen, ha néhány vitathatatlan tény megállapításával kezdem:

1. Az emberiség évszázadokkal előbb észlelte az ionizáló sugárzások egészségkárosító hatásait, mint magát az ionizáló sugárzásokat. A csehországi joachimstali ércbányákban már az 1500-as években felfigyeltek arra, hogy a bányászoknak 50–60%-a néhány éves munka után meghal. Ma már tudjuk, amit akkor természetesen nem tudhattak, hiszen az első ionizáló sugárzás, a röntgen sugárzás, majd a radioaktivitás felfedezésére csak az 1800-as évek legvégén került sor, hogy tudniillik a bányászok korai elhalálózását elsősorban a közetporral belélegzett urán, rádium és bomlástermékeik alfa-, béta- és gamma-sugarai okozták.

Az 1920-as években bekövetkező New Jersey világító óraszámplafestő fiatal nők tragédiájából az emberiség már konkrét számadatokhoz juthatott a halálos dózis nagyságára vonatkozóan. Az 1–2 éves rádiumfestékes munka után többnyire csont nekrozisban elhalt 40 nő csontjaiban talált rádium mennyiségének meghatározásából nyilvánvalóvá lett, hogy néhány mikrogramm inkorporált rádium²²⁶ már halálos dózist jelent, melynek számértéke mintegy 500 rad elnyelt dózissra becsülhető.

2. Ugyancsak vitathatatlan tény az is, hogy az emberiség sok százezer éven át az úgynevezett természetes háttérsugárzásban élte és éli ma is életét, amelyről feltehetjük, hogy káros hatást az emberre nem fejt ki. E természetes háttérsugárzás ionizáló sugárzás, a kozmikus sugárzásból, a Föld felszínén mindenütt jelen levő természetes radioaktív anyagoktól (urán, tórium, protaktinium és bomlástermékeik) eredő alfa-, béta-, gamma-sugárzásból, valamint saját testünkben található radioaktív anyagok (kálium, rádium, radioszén) sugárzásaiból tevődik össze. Átlagértéke mintegy évi 0,17 rad-ra tehető.

3. Egy további tény az, hogy az emberi szervezet a közvetve ionizáló sugárzásokkal szemben, mint a röntgen-sugárzás, gamma-sugárzás, neutron-sugárzások, teljesen érzéketlen. Ezek a sugárzások biológiai hatást csak ott és olyan mértékben fejtenek ki, ahol és amilyen mértékben a fotonok, illetve neutronok energiája gyorsan mozgó szekunder töltött részecskék (főként elektronok és protonok) útján a testben ionizációs energiává alakul át. Valamennyi sugárhatás kiinduló pontját tehát az ionizáció képezi. Hogy ebből az egyszerű fizikai folyamatból aztán milyen további lépéseken keresztül jutunk el a makroszkopikusan észlelhető különféle élettani hatásokhoz, pl. bőrpír megjelenése, hajhullás, rákos daganatok visszafejlődése, mutációk megjelenése, kromoszómatorés stb., arról vajmi keveset tudunk.

Igen mély bepillantást nyerhetünk viszont az emberi szervezet rejtelmeibe, ha kiszámítjuk egy bizonyos biológiai hatás kiváltásához szükséges dózishoz megfelelő ionpárok számát, ill. az 1 ionizációra jutó ionizálatlan atomok számát. Így pl. 500 rad körüli egésztest besugárzás esetén 1 ionizációra 10^8 semleges atom jut. És erre a rendkívül kis ionsűrűsége az emberi szervezet már halállal reagál.

4. Végül egy negyedik vitathatatlan tény az, hogy az ionizáló sugárzások elleni védekezésnek egyetlen gyakorlatilag járható útja a *fizikai sugárvédelem*, azaz fizikai-technikai módszerekkel lecsökkenteni a szervezetben létrejövő ionizációk számát és ezzel az ezek folyamán kialakuló biológiai elváltozásokat. A *biológiai sugárvédelem*, azaz az emberi szervezet ionizáló sugárzások iránti érzékenységeinek a csökkentése különféle biológiai hatású vegyületekkel, eljárásokkal sajnos gyakorlatilag hasznosítható eredményeket a mindennapi életünk igényeinek a kielégítésére nem hozott és nem is várható, hogy a jövőben hozni fog. Az ilyen jellegű sugárbiológiai kutatásokat sok helyen már be is szüntették.

Legyen szabad itt megjegyezni, hogy sajnos reaktor-szaknyelvünkben teljesen logikátlanul és nyelvtanilag is hibásan még ma is biológiai védelemnek szokás nevezni a 100%-ban fizikai-technikai elemeket tartalmazó védelmet.

Az atomerőművek speciális sugárvédelmi problémái

Térjünk át ezek után a vitathatatlan tényekről, a sugárvédelem vitatható problémáira, különös tekintettel az atomerőművek gyors térhódításával kapcsolatosan felmerülő új kérdésekre. Az egész sugárvédelem alapvető kérdése: a természetes háttérsugárzás és az emberre nézve halálos dózisterhelés között hol van az a dózis szint, amely mind az egyén, mind a társadalom szempontjából még megengedhető kockázatot jelent, azaz mekkora a megengedhető maximális dózis értéke?

A kérdésnek ilyen formában történő felvetését az indokolja, hogy egyrészt az emberiség nem mondhat le az ionizáló sugárzásokat kibocsátó anyagok és gépi berendezések felhasználásáról, márpedig ennek során elkerülhetetlenül éri az embert bizonyos mennyiségű ionizáló sugárzás. A sugárvédelem fokozásával egyre növekvő költségek árán lehet ugyan a kapott dózist egyre lejjebb és lejjebb szorítani, de nullává tenni nem lehet. Ha ezt kívánánk, ez az atomenergia békés felhasználásáról való teljes lemondást jelentené, azaz a radioizotópok felhasználásának valamennyi területen történő beszüntetését és az atomerőművek leállítását.

A fenti kérdés felvetést másrészt az a tény indokolja, hogy jelenlegi tudásunk szerint már kis dózisterhelések is idézhetnek elő bizonyos egészség károsodást, tehát életünk minden más megnyilvánulásához hasonlóan itt is a haszonnal szemben bizonyos kockázatot kell vállalnunk.

Így pl. bár a statisztikai feljegyzések alapján előre megjósolhatjuk, hogy a következő hétfévi forgalomban nyáron 6–9 ember fog az országutakon meghalni. Ennek ellenére

sem a hatóságok nem tiltják be a hétfégi „életveszélyes” kirándulásokat, sem a felüdülni, szórakozni vágyó autósok tízezrei nem mondanak le kirándulásaikról, tehát vállalják a halálos kimenetelű balesetek kockázatát is.

Hasonlóan közismert tény ma már a dohányzás tüdőrákkeltő hatása és mégis sok száz millió ember dohányzik, mitsem törődve az egyáltalában nem elhanyagolható tüdőrák kockázatával. . .

Az egészség károsodás megnyilvánulásai sokfélék lehetnek. Az embert fenyegető különböző veszélyek kockázatának számszerű összehasonlítására legmegbízhatóbb adatokhoz a halálos kimenetelű károsodások számára vonatkozó statisztikai adatgyűjtéssel juthatunk. Az adatokat 1 évre szokás vonatkoztatni. Ennek megfelelően a civilizációnk fejlődésével együttjáró folyamatos kockázat általánosan elfogadott definíciója bármilyen veszélyforrásra: az 1 évre vonatkozó halálesetek valószínűsége. Így pl. az erős dohányzás kockázata 10^{-3} , napi másfél cigaretta esetén már csupán 10^{-6} , a foglalkozásokkal kapcsolatos balesetek kockázata 10^{-4} és 10^{-5} között mozog, a légiforgalom kockázata 10^{-5} .

Az atomenergia békés felhasználása is jelent bizonyos kockázatot, tehát olyan sugárvédelemről és műszaki biztonságról kell gondoskodnunk, amely a kockázatot legalább a más energia forrásainkkal — hő-, víz-, villamos-energiával kapcsolatos kockázat szintjére csökkenti.

Évszázadunk első felében sok-sok, főleg röntgenüzemekben észlelt sugársérülések tapasztalatai alapján megállapították azt a dózisszintet, amely alatt az ionizáló sugárzással dolgozóknál várható egészségkárosodások száma oly kicsi, hogy az még elfogadható kockázatot jelent. Kimutatása csak nagyszámú dolgozó megfigyelése alapján, statisztikai módszerekkel történhet. Ennek az úgynevezett megengedhető maximális dózisnak az értéke a hivatásszerűen ionizáló sugárzásokkal dolgozók számára évi 5 rem.

Az atomenergia békés felhasználásának rohamos elterjedése először a mesterségesen előállított radioizotópok széles körű felhasználásához, majd az atomerőművek építéséhez vezetett. Az atomerőművek körül végzett sugárvédelmi mérések és nagy gondossággal végrehajtott számítások nyomán aztán új sugárvédelmi problémák körvonalai kezdtek kirajzolódni.

Az atomerőművek fokozatos elterjedése tehát szükségszerűen új sugárvédelmi vonatkozású kérdést vetett fel: mekkora a megengedhető maximális dózis az atomerőművek környezetében élő úgynevezett speciális helyzetű lakosságra és mekkora a lakosság egészére vonatkozóan?

E kérdés megválaszolása elsősorban az atomerőművek tervezése szempontjából igen nagy jelentőséggel bír, bár kétségtelen, hogy civilizációnk fejlődése következtében ma már egyéb ionizáló sugárforrásokkal, pl. a televízióval, a nagy magasságokban történő repüléseknél erős kozmikus sugárzással stb. is számolnunk kell, ha a lakosság teljes sugárterhelését kívánjuk számba venni. Az atomerőművek építési költségeit ugyanis döntő módon befolyásolja a megvalósítandó védelem mértéke.

Ha módunkban állna pl. a himlő, kolera elleni védőoltásokhoz hasonlóan az ionizáló sugárzások iránti érzékenységet lecsökkentő biológiai védelmet alkalmazni, akkor a fizikai sugárvédelem igen költséges technikai létesítményeinek kisebb-nagyobb része mellőzhető lenne. Erre sajnos tapasztalataink szerint semmi reményünk sem lehet. Így világszerte akörül folynak a viták, hogy a 20 év óta érvényben levő ICRP ajánlásokon alapuló sugárvédelmet továbbra is kielégítőnek tekinthetjük-e, nem lehetne-e ezt csökkenteni, vagy nem kell-e netán ezt fokozni?

Mint ismeretes az ICRP ajánlásokban a különleges csoport, tehát az atomerőművek környékén élők számára a sugaras munkakörökben dolgozókra megadott évi 5 rem-nek a tizede, azaz 0,5 rem, a lakosság egészére az 1/30-ad része, azaz 0,17 rem szerepel, ami egyébként azonos a természetes háttérsugárzás átlagos értékével.

A megengedhető maximális dózisokentebbi fszámértékeinek megadása előtt azonban az ICRP ajánlások határozottan leszögezik, hogy mivel kis valószínűséggel már egészen kis dózisok is idézhetnek elő biológiai károsodást — elsősorban rákos megbetegedést —, minden felesleges ionizáló sugárzástól az embert óvni kell.

Ez azt jelenti, hogy a sugárvédelem tervezésénél irányadó szempontnak kell lennie: az embert érő sugárterhelést olyan alacsony szintre kell lehozni, amilyenre csak az még ésszerűen lehozható. Az ICRP új megfogalmazása szerint „as low as reasonably achievable”, de semmiesetre sem haladhatja meg a megengedhető maximális dózisok értékeit.

Az „ésszerűen elérhető” legalacsonyabb szintre törekvés

Jogosan felmerül ezek után a következő kérdés: mi teszi indokolttá ezt a nem egyértelmű, sok vitára okot szolgáltató megfogalmazást, ami éppen az atomerőművek tervezésénél sok-sok millió forintos bizonytalanságot hoz be attól függően, hogy mit nevezünk „még ésszerűen” megvalósíthatónak.

Az indokolást elsősorban az a jelentés szolgáltatta, amelyet 1955–56-ban az angol miniszterelnök felkérésére a brit Orvosi Kutató Tanács dolgozott ki és terjesztett a Parlament elé. A legkiválóbb tudósokat magában foglaló Bizottság feladata az volt, hogy próbálja meg minél megbízhatóbban megválaszolni azt az egész emberiség jövője szempontjából alapvetően fontos kérdést, hogy milyen szomatikus és genetikai hatásokat fejtenek ki a különböző ionizáló sugárzások embernél és milyen összefüggések állanak fenn a dózisterhelés és biológiai károsodások között, különös tekintettel a kis dózisok tartományára.

A jelentés forrásai:

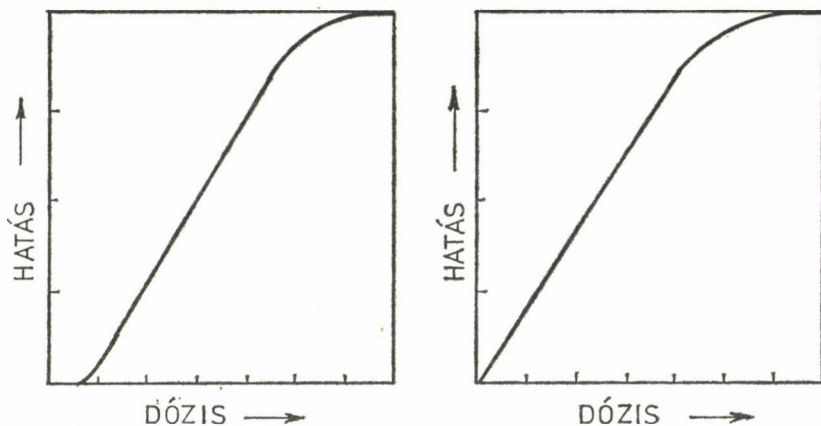
- sugárterápiás betegeknél,
 - radiológiai dolgozóknál, radioaktív érc-bányászoknál és világítófestékes óraszámlepedőknél,
 - a Japánra ledobott atombombák túlélőinél és
 - bizonyos állatkísérleteknél
- szerzett tapasztalatok voltak.

A jelentés szerint a kérdés egyértelmű megválaszolása igen nehéz feladat, mert hiszen emberen, az állatokon végzett vizsgálatokhoz hasonló kísérletek etikai okokból nem végezhetők, márpedig az állatokon kapott eredmények az emberre általában nem vihetők át.

Ettől függetlenül a reprodukív kor az embernél olyan hosszú, hogy a károsodások öröklésének recesszív volta miatt csak a harmadik, negyedik generációnál várható genetikai megnyilvánulások észleléséhez elegendő idő még csak igen kevés esetben állt rendelkezésünkre.

Mint alapvető felismerést a jelentés (5) mindenesetre leszögezi, hogy a dózis-sugárhatás görbe a régebben feltételezett szigmoid (1. ábra) alak helyett lineáris lefutást mutat, tehát nincsen olyan kis dózis, amelyhez nulla hatás tartozna, nincsen küszöbérték és tolerancia-dózis, egészen kis dózisok is — kis valószínűséggel ugyan — de létrehozhatnak rákos megbetegedést vagy káros génmutációkat.

Világos, hogy az atomerőművek által felvetett új sugárvédelmi kérdés komplexumnak, azaz a lakosság nagy részére, illetve az egész lakosságra ható kis dózisok ártalmasságának a megítélése végeredményben a hatásdózis görbe lefutásától függ. Az egyenes vagy a szigmoid lefutás felel-e meg a valóságnak? A kérdésnek teljesen egyértelmű, mindenkit meggyőző megválaszolását csak jóval több tapasztalat begyűjtése után, a jövőtől várhatjuk.



A dózis-sugárhatás görbe szigmoid és lineáris lefutása

Az UNESCO Bizottság jelentésének kiadása óta alig telt el 20 év és máris vannak, akik nem látják bizonyítva a hatásdózis görbe linearitását és ennek megfelelően a kis dózisokat hatástalanoknak tartják, a megengedhető maximális dózisszinteknek a felemelését javasolják. Mások viszont újabb tapasztalatokra és számításokra hivatkozva a megengedhető maximális dózisszinteknek 1 nagyságrenddel való csökkentését tartják indokoltak. Bármilyen változás természetesen elsősorban az atomerőműveket érintené sok-milliárdos költség kihatással.

A már említett áprilisi IRPA kongresszuson *K. Z. Morgan*, a világ talán legelismerettebb sugárvédelmi tudósa, az IRPA megalapítója megvédte az ICRP ajánlások jelenlegi rendszerét azzal, hogy az iparban és az atomerőművek túlnyomó többségében nyert dozimetriai mérések alapján az ICRP ajánlásoknak megfelelően a megengedhető maximális dózis értékeket csak határ értékeknek tekintik, a dolgozók átlagos dózisterhelése ennek csupán 5–10%-a között mozog. Amíg ez így marad, a megengedhető maximális dózis értékeknek sem a csökkentésére, sem a megemelésére nincsen szükség, mert a rákos megbetegedés kockázata 1000 emberre és 40 évi munkára vonatkozóan mindössze 6 fő, ami az egyéb okokból eredő rákos megbetegedések mellett teljesen elhanyagolható.

Ha bármi okból megváltozna a jelenlegi helyzet és a mai átlagos 5–10%-os megengedhető maximális dózisterhelés pl. 50–80%-ra, azaz tízszeresére emelkedne, természetesen sürgősen intézkedések válnának szükségessé.

Ez esetben sem lenne célszerű azonban a megengedhető maximális dózisok értékét pl. tízedére csökkenteni, mert ez esetben számos sugárvédelmi megbízott úgy érezné, hogy az „ésszerűen elérhető legalacsonyabb dózis szintre való törekvés” elv alapján neki egy további csökkentésre, azaz a jelenlegi megengedhető maximális dózis szint 1%-a körüli dózisszint elérésére kell törekednie. Ez viszont már biztosan felesleges túlzást jelentene és sok olyan haszontól, életszínvonal-emelkedéstől fosztaná meg az emberiséget, amit az ionizáló sugárzások egyre kiterjedtebb alkalmazásától a jövőben joggal remélhetünk.

De azoknak sincsen igazuk, akik a hatásdózis görbe lineáris menetét nem látják igazolva és azt csupán a nagyobb dózisok tartományában észlelt valóban lineáris összefüggés egyszerű extrapolációjának tekintik és ennek következtében a megengedhető maximális dózisszinteknek 1 nagyságrenddel való megemelését is lehetségesnek tartják. Az ilyen vélemények megfogalmazói vagy nem ismerik az ide vonatkozó nemzetközi irodalmat, vagy egyszerűen nem hajlandók figyelembe venni az irodalomban leközölt tényeket. Mert igenis sok publikációban találunk adatokat a kis dózisok hatására bekövetkezett károsodásokról embernél. Így leukémia fellépéséről (1, 2), fiatal korúakon észlelt károsodásról (3, 4), igen fiatal és igen öreg személyek fokozott érzékenységről.

Számos kiértékelés azt mutatja, hogy a nagy lineáris ionsűrűségű sugárzásoknál pl. ^{224}Ra emberbe jutásánál, ha van eltérés a lineáris hatásdózis görbétől, ez — kis dózisok esetén — feltétlenül ellentétes irányú eltérés, azaz az 1 rad-ra jutó rákos megbetegedések száma kis dózisok esetében nagyobb, mint nagy dózisoknál, tehát az azonos dózis leadásához szükséges hosszabb idő nem csökkenti, hanem növeli a rákos megbetegedés kockázatát.

Nagyfokú felelőtlenségre utal ezeket a tényeket egyszerűen figyelmen kívül hagyni és a megengedhető maximális dózisszinteknek 10-szeres értékre történő felemeléséről beszélni. Az ennek megfelelő 6%-os rákos megbetegedés növekedést, úgy vélem, az érintett laikus emberek túlnyomó része már elfogadhatatlan kockázatnak minősítené.

Végül, ha figyelembe vesszük mindezeket túl az ionizáló sugárzásokkal szembeni érzékenység terén mutatózó egyéni variabilitást is, akkor feltétlenül indokoltnak kell tartanunk az ésszerűen elérhető legalacsonyabb dózisszintekre való törekvés elvét is. Itt a hangsúly az „ésszerűen” szón van, tehát nem az egyáltalában elérhető, csak irreális költségek árán megvalósítható lehető legalacsonyabb dózisszintekre kell törekednünk, hanem csupán az ésszerűen elérhetőre, mert ésszerű az adott határok között valahol megállanunk és életünk minden más területéhez hasonlóan, a védelem további fokozása helyett bizonyos kockázatot vállalnunk. Tehát egyáltalában nincsen igazuk azoknak, akik kifogásolják, hogy ezek szerint teljesen biztonságos sugárzási szint nem létezik, az atomerőművek mindenképpen ártalmasak a lakosságra, legjobban, ha ilyeneket nem építünk. A 100%-os biztonság hiánya nem az atomerőművek és általában az ionizáló sugárzások specifikus sajátága, hanem a civilizációnak legáltalánosabb jelensége. Egy taxiutazás Budapesten ugyanúgy nem jár 100%-os biztonsággal, mint egy íróasztal-lámpa kikapcsolása vagy egy klasszikus hőerőmű üzemeltetése.

A legújabb helyzet

• Ezek után szeretném még röviden ismertetni a legújabb helyzetet. Az ICRP befejezte 20 év előtti ajánlásainak igen gondos, sokoldalú felülvizsgálatát. Végül is sikerült e nagy és kis nemzetek képviselőiből álló, kormányoktól függetlenül működő legmagasabb szintű nemzetközi testületnek valamennyi felmerült kérdés megítélése terén egységes álláspontra jutnia és nyomdába adni a testület legújabb sugárvédelmi ajánlásait. Ennek lényege a következőkben foglalható össze:

A régebbi ajánlásnak „praktikusan elérhető legalacsonyabb dózisszintje” (as low as practical) helyébe került a már említett „ésszerűen elérhető legalacsonyabb dózisszint” (as low as reasonably achievable) fogalmazás, amely bár többet mond a réginél, de sajnos még mindig nem teljesen egyértelmű a tervezés számára.

Egy másik változás: az eddigi 3 csoport — hivatásszerűen ionizáló sugárzásokkal dolgozók, különleges helyzetű csoport és a lakosság — helyett csak 2 csoport szerepel, az első kettő. Az ezekre nézve megadott megengedhető maximális dózisértékek változatlanul 5, illetve 0,5 rem. A lakosságra nézve elvileg ugyanez az évi 0,5 rem a mérvadó azzal a megjegyzéssel, hogy a lakosság esetében egy 5-szörös biztonsági tényezőt ajánlatos

alkalmazni, ami végeredményben 0,1 rem-et jelent a jelenleg érvényben levő évi 0,17 rem-mel szemben.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az atomerőművek megjelenése és gyors terjedése új és nehéz kérdéseket vetett fel mindenekelőtt a sugárvédelem elvi alapjait illetően. Úgy tűnik, hogy éppen napjainkban az ICRP új állásfoglalásával ezeket az elvi alapokat, nevezetesen a megengedhető maximális dózisok kérdését sikerült a legszélesebb nemzetközi síkon úgy tisztázni, hogy egyrészt mind az atomerőművek dolgozói, mind a lakosság biztonságban érezheti magát, kockázat vállalása az ionizáló sugárzások vonalán jóval kisebb, mint életünk legtöbb más területén, másrészt az atomerőművek további bekapcsolása egyre növekvő energiaigényeink kielégítésére az eddigiekhez hasonló feltételek mellett folytatható.

Új és nehéz kérdéseket vetettek fel az atomerőművek fizikai, műszaki, technológiai síkon is, hogy a sugárvédelmi követelmények realizálhatók legyenek. Rendkívül lényeges ezzel kapcsolatban a műszaki biztonság lehető legmagasabb szintű megvalósítása, mert a műszaki meghibásodásból eredő balesetek kisebb-nagyobb területre vonatkozóan nem kívánatos sugárvédelmi helyzetek kialakulásához vezethetnek.

Végül hangsúlyozni szeretném az üzemeltetés szervezési, irányítási kérdéseinek a fontosságát. Feltétlenül ki kell zárni a téves beavatkozásoknak a lehetőségét, a kiégett fűtőelemek szakszerűtlen elszállítását stb. Nagyobb mennyiségű radioaktív anyagoknak a szabadba jutása nehezen felmérhető károkat okozhat emberéletben és anyagiakban egyaránt.

Mindenesetre tény az, hogy éppen azért, mert a számítások alapján az ember előre látta az atomenergia békés felhasználásának potenciális veszélyforrásait, kezdettől fogva nagy súlyt helyezett a sugárvédelmi és biztonsági követelmények messzemenő érvényesítésére és ennek következtében a nukleáris létesítmények üzemeltetésének és baleseteinek egészségkárosító hatása mind ez ideig messze alatta marad az emberiség más, hasonló célú létesítményei károsító hatásainak.

IRODALOM

1. STEWART ALICE, KNEALE G. W., Radiation Dose Effects in Relation to Obstetric X-Rays and Childhood Cancers, *Lancet* 1185 (June 6, 1970).
2. BROSS I. D. J., NACHIMUTHU N. Leukemia from low level Radiation, *New England Journal of Medicine* 287, 107 (July 20, 1972)
3. MODAN B., BAIDATZ D., STEINITZ R., LEVIM S. G. Radiation Induced Head and Neck Tumors, *Lancet* 277 (febr. 23., 1974)
4. SILVERMAN, CHARLOTTE, HOFFMAN D. A., Thyroid Tumor Risk from Radiation During Childhood, *Preventive Medicine*, 4 100 (1975)
5. Medical Research Council, The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations, London, Her Majesty's Stationery Office 1956.