

a szocialista országok atomenergia programjának. Nem kis feladatok ezek, de hatalmas lehetőségeket, távlatokat is jelentenek.

Az egész kérdéskomplexummal kapcsolatban — véleményem szerint — igen fontos, ha nem meghatározó szerep jut a nemrégiben beindult MTA tárcaszinten kiemelt „Atomenergiakutatás” című kutatási irány koordináló tanácsának.

Ennek a koordináló tanácsnak szoros kapcsolatot tartva a KGST megfelelő szervével, továbbá a Nehézipari Minisztérium megfelelő programjával szoros együttműködésben komoly megfontolások után ki kell alakítania álláspontját, hogy mely területeken van szükség feltétlenül hazai kutatásra. Ennek a kérdésnek az eldöntésében többféle szempontot is szem előtt kell tartanunk, elsősorban nevezetesen azt, hogy mely kérdéseknél van meg már a megfelelő tudományos kutatási előzmény és tapasztalat, továbbá ezek hol és mennyiben kapcsolódnak ipari lehetőségeinkhez, valamint a KGST igényekhez. Ez utóbbit nem lehet eléggé hangsúlyozni, mert az egész kérdést csakis a szocialista integráció keretén belül lehet megoldani. Ebben a vonatkozásban a KFKI értékes tapasztalatai — éppen az atomenergia kutatás területén — feltétlenül komoly segítséget jelentenek.

Végül nem kis feladat lesz a koordináló tanács számára, hogy megtalálja az irányítás és ösztönzés azon módszereit, amelyekkel elérhető, hogy a meglevő tudományos tapasztalat a megfelelő területeken ténylegesen az atomenergia hasznosítása által megkívánt kutatási feladatok megoldása felé forduljon és azokat eredményesen megoldja.

IRODALOM

- [1] WRENDA 76/77 — World Request List for Nuclear Data. INDC (SEC) — 055/V. IAEA, Vienna, August 1976.
- [2] Byer, T. A., INDC (NDS). 44/G, IAEA, Vienna, June 1972.

- [3] J. R. Lemly, Request list of nuclear data for controlled fusion research as submitted to the IAEA by member states INDC (NDS) — 057/V. IAEA, Vienna, Dec. 1973.
- [4] A. Lorenz, J. Phillips, J. J. Schmidt, J. R. Lemley, Survey of Atomic and Molecular Data Needs for Fusion. INDC (NDS). 072/LN, IAEA, Vienna) January 1976.
- [5] J. L. Fowler and W. W. Havens, Jr., Phys. Tod. 29. (1976) No. 8. p. 42.
- [6] Nuclear Data in Science and Technology Proc. Symp. Paris, 12–16 March, 1973. IAEA, Vienna, 1973.
- [7] C. M. Fleck, E. Ruppert, H. Krimminger, Reaktor-technik und Technologie 22 (1973) 169.
- [8] Raics P., Izotóptechnika 19 (1976) 439.
- [9] S. Eklund, Atomenergia bizottság és a környezet. Előadás, Magyar Tud. Akadémia. OMKDK Sokszorosító üzeje, Budapest, 1974. (Kéziratként).
- [10] H. H. König, Atom und Strom, Heft 11/12, 1973. p. 110.
- [11] D. Berényi, Nuclear Data in Science and Technology. Proc. Symp. Paris, 12–16 March, 1973. IAEA, Vienna, 1973. p. 269.
- [12] „Safeguarding Nuclear Material” Vol. 1–2 Proc. Symp., Vienna 20–24 Oct. 1975. IAEA, Vienna, 1976.
- [13] E. P. Velikov, E. E. Kintner, Atomic En. Rev. 14 (1976) 719.
- [14] Csongor É., Fiz. Szemle 20 (1970) 26.
- [15] Csongor É., Acta Phys. Hung. 34 (1973) 249
- [16] S. Szalay and É. Csongor, Acta Phys. Hung. 25 (1968) 279.
- [17] Scherf E. és Meszena Gy., Atomki Közl. 2 (1960) 109.
- [18] A. Ménes and D. Berényi, Acta Phys. Hung. 36 (1974) 179.
- [19] E. Koltay, D. Berényi, I. Kiss, S. Riez, G. Hock and J. Bacsó, Z. A278 Physik (1976) 299.
- [20] B. Schlenk, D. Berényi, S. Riez, A. Valek and G. Hock, J. Phys. B: Atom. Molec. Phys. 10 (1977) 1303
- [21] Medveczky L., Izotóptechnika 19 (1976) 348.
- [22] Varga D., Kádár I., Kövér Á., Kövér L., közlés előkészületben.
- [23] L. Kövér., D. Varga., Cs. Ujhelyi., J. Miller, Á. Kövér and D. Berényi, Surface Sci., beküldés alatt.
- [24] Berényi D., „A fémek nyomelemzése”. Kerekasztal megb. anyaga. Szerk. Felszerfalvy J. és Kedves F. Debrecen, 1975. 7. o.
- [25] J. Végh, D. Berényi, E. Koltay, I. Kiss, S. Seif-el Nasr and L. Sarkadi, Nucl. Inst. Meth., közlés előkészületben.

SUGÁRVÉDELMI KÉRDÉSEK AZ ATOMERŐMŰVEKNÉL

Bozóky László
Országos Onkológiai Intézet

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, 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 vitathatatlán tény megállapításával kezdem:

1. Az emberiség évszázadokkal előbb észlelte az ionizáló sugárzások egészségkárosító hatásait, mint magát az ionizáló sugárzásokat. A Csehország-i 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 elhalálozását elsősorban a kőzet porral belélegzett urán, rádium és bomlástermékeik alfa-, béta- és gamma-sugarai okozták.

Az 1920-as években bekövetkező New Jersey világító órászámlap festő fiatal nők tragédiájából az emberiség már konkrét számadatokhoz juthatott a halálos dózis nagyságára vonatkozóan. Az 1–2 éves rádium festékes munka után többnyire csont nekrozisban elhalt 40 nő csontjaiban talált rádium mennyiségének meghatározásából nyilvánvaló lett, hogy néhány mikrogramm inkorporált rádium-226 már halálos dózist jelent, melynek számértéke mintegy 500 rad elnyelt dózissal becsülhető.

2. Ugyancsak vitathatatlan tény az is, hogy az emberiség sok százezer éven át az úgynevezett természetes háttérsugárzásban élt 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 alakult át. Valamennyi sugárhatás kiinduló pontját tehát az ionizáció képezi. Hogy ebből az egyszerű fizikai folyamatból aztán milyen további lépéseken keresztül jutunk el a makroszkópicusan észlelhető különféle élettani hatásokhoz, pl. bőripár megjeleneése, hajhullás, rákos daganatok visszafejlődése, mutációk megjeleneése, kromoszóma törés stb., arról vajmi keveset tudunk.

Igen mély bepillantást nyerhetünk viszont az emberi szervezet rejtelseibe, ha kiszámítjuk egy bizonyos biológiai hatás kiváltásához szükséges dózissal 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 érzékenységének 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 megjegyeznem, 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 kívánnánk, ez az atomenergia békés felhasználásáról való teljes lemondást jelentené, azaz a radioizotópok felhasználásának valamennyi területen történő megszüntetését és az atomerőművek leállítását.

A fenti kérdés felvetését másrészt az a tény indokolja, hogy jelenlegi tudásunk szerint már kis dózisterhelések is idézhetnek elő bizonyos egészségkárosodást, 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 hétfégi forgalomban nyáron 6–9 ember fog az országutakon meghalni. Ennek ellenére sem a hatóságok nem tiltják be a hétfégi „életveszélyes” kirándulásokat, sem a felüldülni, szórakozni vágyó autósok tízezrei nem mondanak le kirándulásaikról, tehát vállalják a halálos kimenetelű balesetek kockázatát is.

Hasonlóan közismert tény ma már a dohányzás tüdőrák keltő hatása és mégis sok száz millió ember

dohányzik, mitsem törődve az egyáltalában nem elhanyagolható tüdőrák kockázatával. . .

Az egészség károsodás megnyilvánulásai sok-félék 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 veszély forrása: 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 röntgen üzemekben észlelt sugársérülések tapasztalatai alapján megállapították azt a dózis szintet, amely alatt az ionizáló sugárzással dolgozóknál várható egészség károsodások száma oly kicsi, hogy az még elfogadható kockázatot jelent. Kimutatása csak nagyszámú dolgozó megfigyelése alapján, statisztikai módszerekkel történhet. Ennek az úgynevezett megengedhető maximális dózisonak az értéke a hivatásszerűen ionizáló sugárzásokkal dolgozók számára évi 5 rem.

Az atomenergia békés felhasználásának rohamos elterjedése először a mesterségesen előállított radioizotópok széleskörű 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. Amíg ugyanis a radioizotópokkal dolgozók létszáma még az iparilag fejlett országokban is csupán néhány tized százalék, tehát a sugárvédelem, ill. az egészségkárosodás problémái a népességnek csupán egy kis részét érintették, addig az atomreaktorok kürtőin, hűtő folyadékain keresztül különféle radioaktív anyagok, gázok, aerosolok juthatnak ki a szabadba, illetve az atomerőművek környezetében élő lakosság szervezetébe. Kedvezőtlen meteorológiai körülmények esetén a kürtőkön át kiáramló radioaktív anyagok szennyezhetik a talajt, a növényzetet, az ezt fogyasztó állatokat, az itt termelt élelmiszereket. A hűtővíz útján is radioaktív anyagok juthatnak folyók vizeibe, tavakba, a benne élő halakba, növényekbe és mindezeket keresztül a távolabb élő és dolgozó emberek szervezetébe is.

Az ionizáló sugárzások károsító hatását tehát ilyen módon az atomerőművek szomszédságában élő lakoságnál, illetve kisebb mértékben az egész lakoságnál sem lehet teljesen kizárni. Ezek száma viszont már sokszorososan meghaladja a hivatás-

szerűen ionizáló sugárzásnak kitett kis csoport létszámát, köztük terhes nők, gyermekek is vannak és ennek következtében a nagyságrendekkel nagyobb valószínűséggel várható genetikai kérdések is előtérbe kerültek.

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 állana 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?

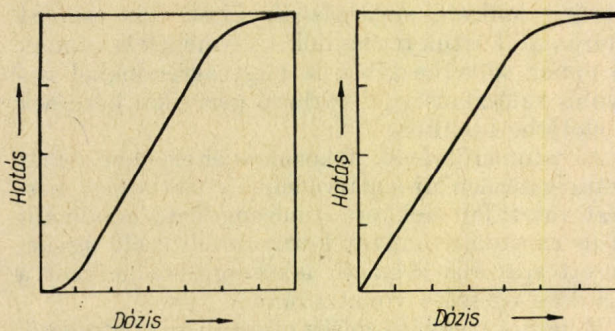
Mint ismeretes az ICRP ajánlásokban a különleges csoport, tehát az atomerőművek környékén élők számára a sugaras munkakörökben dolgozókra megadott évi 5 rem-nek a tizede, azaz 0,5 rem a lakosság egészére az 1/30-ad része, azaz 0,17 rem szerepel, ami egyébként azonos a természetes háttérsugárzás átlagos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

A megengedhető maximális dózisok fentebbi számértékeinek megadása előtt azonban az ICRP ajánlások határozottan leszögeznek, 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 leszorítani, amilyenre csak az még ésszerűen leszorítható. Az ICRP új megfogalmazása szerint „as low as reasonably achievable”, de semmiesetre sem haladhatja meg a megengedhető maximális dózisok értékeit.

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 indoklást elsősorban az a jelentés szolgálhatta, amelyet 1955–56-ban az angol miniszter-



A dózis-sugárhatás görbe szigmoid és lineáris

elnök 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 óraszámlap festőknél,
- 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) mindenestre leszögezi, hogy a dózis-sugárhatás görbe a régebben feltételezett szigmoid 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 gén mutációkat.

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 hatás-dózis görbe lefutásától függ. Az egyenes, vagy a szigmoid lefutás felel-e meg a valóságnak? A kérdésnek teljesen egyértelmű, mindenkit meggyőző megválaszolását csak jó-

val több tapasztalat begyűjtése után, a jövőtől várhatjuk.

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

A már említett áprilisi IRPA Kongresszuson K. Z. Morgan, a világ talán legelismertebb 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 értéknek tekintik, a dolgozók átlagos dózisterhelése ennek csupán 5–10%-a között mozog. Amíg ez így marad, a megengedhető maximális dózis értékeknek sem a csökkenésére, 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. tizedére csökkenteni, mert az esetben számos sugárvédelmi megbízott úgy érezné, hogy ez „ésszerűen elérhető legalacsonyabb dózis szintre való törekvés” elv alapján neki egy további csökkentésre, azaz a jelenlegi megengedhető maximális dózis szint 1%-a körüli dózis szint elérésére kell törekednie. Ez viszont már biztosan felesleges túlzást jelentene és sok olyan haszontól, életszínvonal emelkedésektől fosztaná meg az emberiséget, amit az ionizáló sugárzások egyre kiterjedtebb alkalmazásától a jövőben joggal remélhetünk.

De azoknak sincsen igazuk, akik a hatás-dózis görbe lineáris menetét nem látják igazolva és ezt csupán a nagyobb dózisok tartományában észlelt valóban lineáris összefüggés egyszerű extrapolációjának tekintik és ennek következtében a megengedhető maximális dózis szinteknek 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 hatás-dózis görbétől, az — 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 mutatkozó 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 dózis szinterekre 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 vállalunk. 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 sajátossága, hanem civilizációnak legáltalánosabb jelensége. Egy taxi utazás Budapesten ugyanúgy nem jár 100%-os biztonsággal, mint egy íróasztal lámpa kikapcsolása, vagy egy klasszikus hőerőmű üzemeltetése.

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, sajnos még mindig nem teljesen egyértelmű a tervezés számára.

Egy másik változás: az eddigi 3 csoport — hivatászerűen ionizáló sugárzásokkal dolgozók, különleges helyzetű csoport és a lakosság — helyett csak 2 csoport szerepel, az első kettő. Az ezekre nézve megadott megengedhető maximális dózis értékek változatlanul 5, illetve 0,5 rem. A lakos-

ságra 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 térhódítása a 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 legszűkebb 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 energia igényeink 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 rendkívül súlyos sugárvédelmi helyzetek kialakulásához vezethetnek.

Végül hangsúlyozni szeretném az üzemeltetés szervezési, irányítási kérdéseinek a fontosságát. Feltétlenül ki kell zárni a téves beavatkozásoknak a lehetőségét, terroristáknak az atomerőművekbe való erőszakos, vagy meglepetésszerű útján történő behatolását, a kiégett fűtőelemek szakszerűtlen elszállítását stb. Nagyobb mennyiségű radioaktív anyagoknak a szabadba jutása nehezen felmérhető károkat okozhat ember életében 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 messze menő érvényesítésére és ennek következtében a nukleáris létesítmények üzemeltetésének és baleseteinek egészségkárosító hatása mindeztől messze alatta marad az emberiség más, hasonló célú létesítményeinek károsító hatásainál.

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., Levin 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.