

# ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

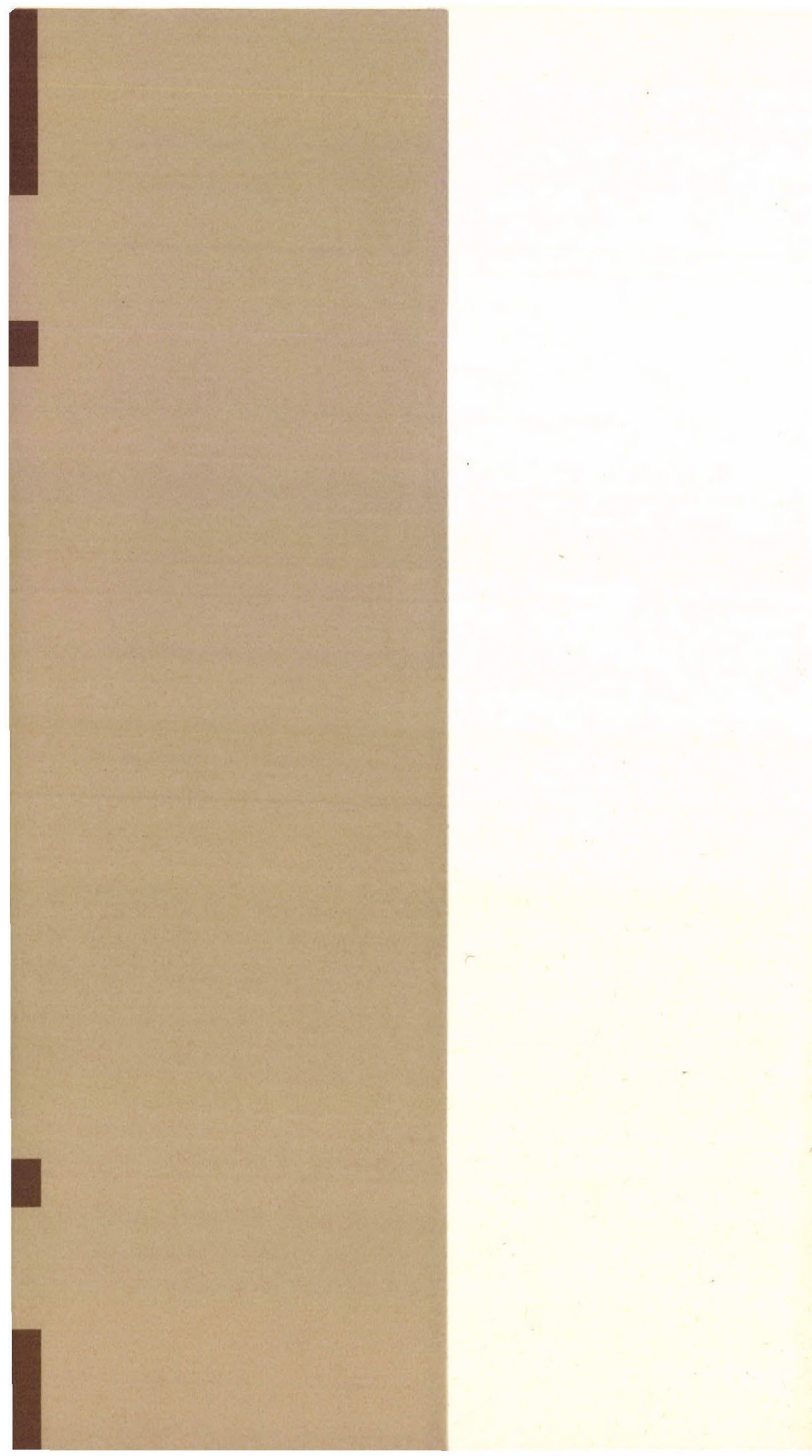
BOZÓKY LÁSZLÓ

A MEGENGEDHETŐ  
SUGÁRTERHELÉS  
SZABÁLYOZÁSÁNAK  
ELVI ÉS GYAKORLATI  
KÉRDÉSEIRŐL

06



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST



**ÉRTEKEZÉSEK  
EMLÉKEZÉSEK**

# ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

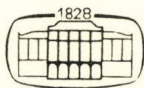
SZERKESZTI  
TOLNAI MÁRTON

BOZÓKY LÁSZLÓ

A MEGENGEDHETŐ  
SUGÁRTERHELÉS  
SZABÁLYOZÁSÁNAK  
ELVI ÉS GYAKORLATI  
KÉRDÉSEIRŐL

AKADÉMIAI SZÉKFOGLALÓ

1983. FEBRUÁR 16.



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

A kiadványsorozatban a Magyar Tudományos Akadémia 1982. évi CXLII. Közgyűlése időpontjától megválasztott rendes és levelező tagok székfoglalói — önálló kötetben — látnak napvilágot.

A sorozat indításáról az Akadémia főtitkárának 22/1/1982. számú állásfoglalása rendelkezett.

ISBN 963 05 3692 7

© Akadémiai Kiadó, Budapest 1984, Bozóky László  
Printed in Hungary

Az első ionizáló sugárzásnak, a röntgen-sugárzásnak 1895-ben történt felfedezése után rövid idő múlva a tapasztalat már azt mutatta, hogy a röntgensugárzásnak különféle fizikai hatásai mellett az embert károsító biológiai hatása is van. Ugyanezt észlelték a három évvel később felfedezett radioaktív sugárzásoknál is. Sőt ma már határozottan állíthatjuk, hogy az emberiség több száz évvel előbb ismerte meg a joachimstahli uránbányákban tömegesen elhalálozó bányászoknak akkor még rejtélyes megbetegedésében az ionizáló sugárzásoknak igen súlyos károsító hatását, mint az ezeket kiváltó ionizáló sugárzásokat.

A röntgensugárzásoknak rendkívül gyors elterjedése az orvosi diagnosztikában és terápiában, majd a rádium terápiás alkalmazása, folyamatosan termelte az újabb és újabb súlyos sugársérülteket és már évszázadunk legelején rákényszerítette az egészségügyi dolgozókat az ionizáló sugárzások elleni védekezésre.

A sugárvédelem fejlődésében két korszakot különböztethetünk meg, amelyek közt a határvonalat az első, ember által szabályozott láncreakció éve, 1942 képezi. Az első 47 éves korszakot általában a szervezetlenség, az összefüggések behatóbb vizsgálatának a hiánya

jellemezte, míg a második korszakban, az előző évtizedek sugársérülési tragédiáiból leszűrt tapasztalatok messzemenő figyelembevételével, a sok nagyságrenddel nagyobb veszélyek helyes felmérése, az egzakt fizikai mérőberendezések és számítási eljárások kifejlesztése stb. egy új tudományágnak, a „health physics-nek” a megszületéséhez vezetett.

Az úgynevezett Plutonium Project keretében *health physics* néven foglaltak össze minden olyan tevékenységet, melyben az első atomreaktoron dolgozók egészségét veszélyeztető sugárhatás mértékét fizikai módszerekkel határozták meg.

Ez a magyarul *sugárvédelemnek* nevezhető új tudományág számos ponton kapcsolódik más tudományágakhoz, mint a sugárbiológia, kémia, orvostudomány, fizika, matematika, műszaki tudományok, genetika, ökológia, metrológia, közegészségügy, számítástechnika stb. E nagymértékben interdiszciplináris tudományterület két alappillére:

1. A *sugárbiológiai-orvosi* vonatkozású kérdések közül annak megállapítása, hogy az emberre nézve mindig bionegatív hatást kiváltó ionizáló sugárzásoknak mekkora dózisai engedhetők meg a sugárzó anyagokkal, készületekkel hivatásszerűen dolgozók, illetve a lakosság számára.



2. A health physics néven összefoglalt az a sokrétű kutatási és gyakorlati tevékenység, amelynek feladata *fizikai-műszaki* módszerekkel, mérésekkel biztosítani, hogy az ionizáló sugárzások egyre szerteágazóbb felhasználása során az ember sugárterhelése az előző pontban megállapított dóziskorlát alatt maradjon.

Itt szeretném megemlíteni csupán, hogy az ionizáló sugárzások egészségkárosító hatásának a csökkentésére elvileg kétféle lehetőségünk van:

– a már említett fizikai-technikai módszerekkel csökkenteni az embert érő sugárzás mennyiségét, azaz a *fizikai sugárvédelem*,

– biológiai módszerekkel csökkenteni az emberi szervezetnek az ionizáló sugárzásokkal szembeni érzékenységet, azaz *biológiai sugárvédelem*.

A negyvenes években világszerte megindult biológiai sugárvédelmi kutatások sajnos nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket. A sugárérzékenységet csökkentő vegyületek *toxikus* hatásuk következtében rendszeres használatra nem alkalmasak. Így a sugárvédelem szempontjából csak az embert érő külső és belső sugárterhelések csökkentése, azaz a megfelelő fizikai sugárvédelmi módszerek kifejlesztése bizonyult járható útnak.

Hazánkban a sugárvédelem nemzetközi fejlődésével párhuzamosan számos eredeti új

kezdeményezés, fejlesztési-kutató munka folyt már a múltban és folyik jelenleg is. A Magyar Tudományos Akadémia Matematikai és Fizikai Tudományok Osztályának a keretében – a Nemzetközi Sugárvédelmi Társulat (International Radiation Protection Association, IRPA) 1966. évi római megalakulásával egyidőben – létrejött az IRPA Magyar Nemzeti Bizottsága, amely sokrétű tudományos és társadalmi tevékenységével, hazai és nemzetközi rendezvényeivel, úgy is mint az IRPA alapító-, vezetőségi tagja segíti hazai sugárvédelmünk és nemzetközi kapcsolataink korszerű továbbfejlesztését.

Visszatérve a sugárvédelem első alapkérdésére, az emberre nézve *megengedhető maximális sugárterhelés* nagyságára megállapíthatjuk, hogy az egész sugárvédelmi tevékenység volumenét, jelentőségét és költségkihatásait meghatározó rendkívül fontos, az eljövendő generációkra is kiható, igen nehéz feladatról van szó, amely *csak emberre vonatkozó tapasztalatok alapján* határozható meg. Sem kiszámítani, sem állatkísérletekből levezetni, mai biológiai ismereteink alapján nem lehet. Pontosan kiértékelhető tapasztalatok viszont a kis dózisok tartományában az elmúlt fél évszázadból csak igen kis mértékben állanak rendelkezésünkre.

Mivel tudományos alaposággal megtervezett, korszerű fizikai mérőeszközökkel bemért kísérleti besugárzás-sorozatok lefolytatása em-

bereken egyrészt etikailag megengedhetetlen, másrészt gyakorlatilag keresztülvihetetlen, gyors javulásra e téren biztosan nem számíthatunk. Az öröklődő károsodások vizsgálatához pl. tekintettel azok recesszív jellegére, legalább 50—60 éves időszakok lennének szükségesek.

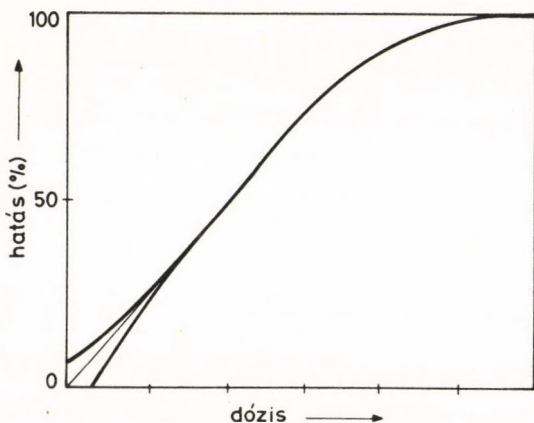
További nagy nehézségeket jelentenek az embernél, az azonos dózisokra való reagálásban mutatkozó szinte hihetetlenül nagy *egyedi különbségek*, amelyek a sztochasztikus jellegű károsodások vizsgálatánál igen nagy számú egyén bevonását tennék szükségessé.

A fentiek alapján nem csodálkozhatunk azon, hogy az úgynevezett dózis/hatás-görbe menete a kis dózisok tartományában ma sem tekinthető megnyugtatóan tisztázottnak (1. ábra).\* Elvileg három eset lehetséges:

1. A görbe a nulla pont közelében metszi az x-tengelyt, azaz létezik egy bizonyos nagyságú *küszöbdózis*, amely alatt sugárhatás egyáltalában nincsen. Erre utalt a harmincas-negyvenes években a Mutscheller-féle *toleranciadózis*, amelynek 0,2 R-es napi értékéről ma már biztosan tudjuk, hogy nem felelt meg a valóságnak.

2. A görbe lineárisan a 0-pontba megy, azaz küszöbérték nincs, a legkisebb dózis is, kis

\* Az előadáson az egyes sugárvédelmi alkotások színes diaképeken lettek bemutatva.



**1. ábra.** A dózis/hatás-görbe menetének 3 lehetséges esete a kis dózisok tartományában

valószínűséggel ugyan, de hozhat létre sugárkárosodást, leggyakrabban rákos megbetegedést.

3. A görbe a 0-pont közelében az y-tengelyt metszi, azaz a háttér sugárzás fölötti zérus dózisértéknél is már van kismérvű valószínűsége a sugárkárosodásnak. Bizonyítani természetesen sem ezt, sem az ellenkezőjét nem lehet.

Jómagam 1936-ban kerültem kapcsolatba az ionizáló sugárzásokkal, de az akkor általánosan elfogadott Mutscheller-féle toleranciadózisban kezdettől fogva kételkedtem. Értékét korszerű mérésekkel ellenőrizni kívántam. Minthogy 46 éven át ugyanabban az intézetben dolgoztam, alkalmam nyílt hosszú időn át

számos orvos és asszisztens munkatársamnál egyéni dózisméréseket, számításokat és egészségi állapot megfigyeléseket végezni nagyrészt egy olyan, ma már szinte elképzelhetetlen időszakban, amikor a hivatalosan megengedett és tolerálhatónak tartott dózisszint csaknem 20-szor magasabb volt a mainál, és még ennek betartását sem vették komolyan.

Az eredeti, ma is meglevő jegyzőkönyveim adatai közül itt most csupán azt szeretném kiemelni, hogy a dózis/hatás-görbe behúzása – még a nagyobb dózisoknál is – mennyire bizonytalan a rendkívül nagymérvű egyéni variabilitás következtében. Jelentős, sievert nagyságrendű (100 rad fölötti) egésztest-besugárzást kapott dolgozóink közül néhány, több évtizedes gammasugaras munkája után 80 éves korban is még legkisebb jelét sem mutatja a sugár-sérülésnek, egészséges, friss, dolgozik, míg hasonló egésztest-besugárzást kapott dolgozóink túlnyomó része régen meghalt. Ez viszont azt jelenti, hogy az 1. ábra 50%-os sugárhatást mutató pontja mellett, ugyanannál a dózisznál a 0%-os és a 100%-os hatást jelző pontok is a görbének effektív létező, nem mérési hibákból eredő pontjai. Az elhunytaknál lehet azon vitatkozni, hogy a halál oka a sugárhatás volt-e, avagy enélkül is, más okokból kifolyóan következett be (ilyen vizsgálatokra illetékes partnert sajnos legjobb igyekezetem mellett sem

sikerült találnom), de a jelenleg is egyértelműen bárki által észlelhető nulla hatás (itt vannak jelen) vitathatatlan, folyamatos valóság.

Annak megállapításához, hogy végül mekkora is legyen az elmúlt fél évszázad alatt ismételten és lényegesen csökkentett tolerancia-dózis helyébe léptetendő megengedhető maximális dózis, hogy lehet-e a kockázat-haszon becslésnél bizonyos küszöbdózisértéket figyelembe venni, vagy sem stb., tudnunk kellene, hogy a természet a lehetséges 3 eset közül melyiket valósítja meg az embernél.

Ezzel az alapvető kérdéssel az ICRP mellett intenzíven foglalkozik 1955-ben történt megalapítása óta az Egyesült Nemzetek Atom-sugárzások Hatásait Vizsgáló Tudományos Bizottsága, az UNSCEAR is (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). A bizottságnak legújabb, 1982-ben megjelent riportja részletesen ismerteti a vizsgálatok újabb, részleteiben igen értékes, de döntő változást nem jelentő eredményeit.

A lassan bár, de egyre szaporodó tapasztalatok azt mutatják, hogy nagy valószínűséggel a *lineáris összefüggés* van érvényben, tehát küszöbdózisról sajnos nem beszélhetünk. Jól megalapozottnak tekinthetjük mindenesetre a következő két határértékre vonatkozó adatokat:

1. Az emberiség egész életét egy alacsony szintű, folyamatos ionizáló sugárzásban élte, illetve éli ma is le, amelyről feltehető, hogy egészségkárosító hatása nincs, vagy legalábbis nem mutatható ki, mert hiszen egyszerűen nem áll módunkban a kozmikus sugárzásból, a környezetünkben és minden emberi testben jelenlevő természetes radioaktív anyagok sugárásaiból összetevődő *természetes háttérsugárzás* kiiktatása és egy ilyen körülmények között élő populáció hosszú távú vizsgálata. A természetes háttérsugárzás átlagos évi össz-dózisa 1,2–1,5 mSv.

2. A másik ugyancsak közvetlen tapasztalati adat – főként a hirosimai tragédia kivizsgálása alapján — az embert érő *egésztest-besugárzás* hatására bekövetkező *félhalálos dózis* ( $D_{L,50}$ ) értéke, vagyis az a sugárterhelés, amelynél a besugárzott személyek 50%-a 30 napon belül elpusztul. Értéke 4 Sv (400 rem), tehát kereken a természetes háttérsugárzásnak háromezerszerese.

Legyen szabad ezzel kapcsolatban itt rámutatnom az emberi szervezetnek az ionizáló sugárzásokkal szembeni *rendkívül nagy érzékenységre*. Ha  $a$ -val jelöljük egy átlag emberben levő atomok számát és  $b$ -vel a 4 Sv-nyi dózishoz tartozó ionizációk számát, akkor a kettő hányadosára  $10^8$ -at kapunk, ami azt mutatja, hogy ha az emberi szervezetben csak

minden százmilliomodik atomra jut is egyetlen szimpla ionizáció, a szervezet az esetek 50%-ában erre halállal válaszol. Hogy hogyan és miért, azt sajnos nem tudjuk, az elmúlt több, mint háromnegyed évszázad kevés volt ahhoz, hogy a biológia az egyik legegyszerűbb fizikai folyamattal, az ionizációval kezdődő sugárhatás mechanizmusát csak némiképpen is magyarázni tudná.

De térjünk vissza a sugárvédelem alapvető kérdéséhez, melyet az elmondottak alapján így is megfogalmazhatunk: a természetes háttérsugárzás évi szintje és az 50%-os letális dózisszint között hol van az az évi dózisszint, amely mind az egyén, mind a közösség szempontjából még elfogadható kockázatot jelent, azaz hasonló a közlekedésben, munkahelyi és otthoni tevékenységeink során jelentkező már megszokott kockázatokhoz.

A tapasztalat szerint az atomenergia békés felhasználásának két nagy területén, az *energia-termelésben* és a *radioizotópok* orvosi, ipari, mezőgazdasági stb. *felhasználásában* úgy tevékenykedni, hogy az e területen dolgozókat, és kisebb mértékben az egész lakosságot semmiféle ionizáló sugárzás ne érje, nem lehet. Ha tehát az emberiség élvezni akarja a Soddy szerinti második tűzgyújtás korszakának, a nukleáris energia felhasználásának az emberi életet szebbé, könnyebbé tevő előnyeit, akkor egyre



sürgősebbé válik a sugárvédelem említett alapvető kérdésének pontos, jól megalapozott megválaszolása.

Nyilvánvaló, hogy itt két, egymással ellentétben álló szempontot kell figyelembe venni:

1. Az emberi életet károsító sugárterhelés minimalizálása, ami a megengedhető maximális dózisnak minél alacsonyabb szintű megállapítását teszi kívánatossá.

2. A sugárvédelem gyakorlati megvalósításának, kiépítésének a költségei, amelyek viszont az egyre alacsonyabb dózisterhelés biztosításának irányában rohamosan növekednek és sok esetben a kívánt új alkalmazás bevezetését egyre jobban akadályozzák, sőt teljesen illuzórikussá is tehetik.

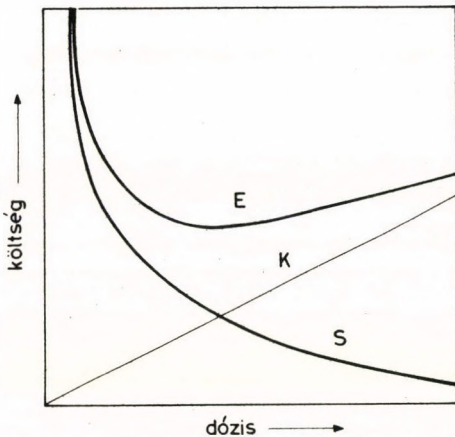
A helyzet világos felismerése egyre több nagy nemzetközi világszervezetet, mint az Egészségügyi Világszervezet (WHO), Egyesült Nemzetek (UN), Nemzetközi Munkaügyi Szervezet (ILO), Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA), Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) stb. arra ösztönöztek, hogy komoly erőfeszítéseket tegyenek a kérdés tudományosan jól megalapozott megoldására. Ezeknek a hosszú éveken át elhúzódó nemzetközi munkabizottsági üléseknek, levelezéseknek, sokszor éles vitáknak a részleteire, illetékes hazai szerveinknek és saját személyemnek e téren kifejtett tevékenységére itt nem

szeretnék kitérni, csupán az ide vonatkozó nemzetközi ajánlások jelenlegi legfontosabb megállapításait kívánom röviden összefoglalni.

I. Az ionizáló sugárzások igénybevételének egy adott feladat megoldásánál csak akkor van *létfogosultsága*, ha más módszerekkel a feladat nem oldható meg (justification).

II. A sugárvédelem megtervezésénél és megvalósításánál minden esetben az úgynevezett *ALARA-elvet* (as low, as reasonable achievable) kell figyelembe venni, azaz a sugárzási szintet olyan alacsonyra kell leszorítani, amilyenre az ésszerűen csak leszorítható.

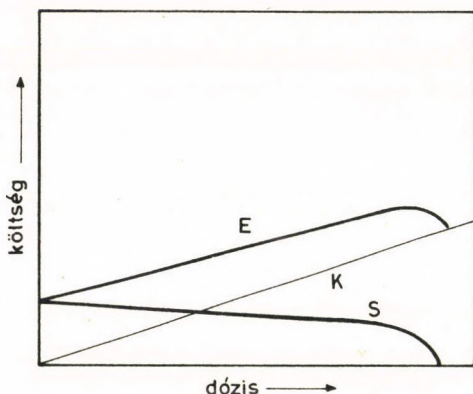
Ez lényegében véve egy *optimalizálási számítást* jelent, melynek lényege a következő (2. ábra): az x-tengelyen tüntetjük fel a kérdéses munkánál az embert érő dózist, az y-tengelyen a létesítendő sugárvédelemmel, illetve az elszenvedett egészségkárosodással kapcsolatos költségeket, mint pl. a munkakieséssel, kórházi ellátással stb. kapcsolatos költségeket. Az *S*-görbe szemlélteti, hogy az embert érő dózis csökkentése a sugárvédelem költségeinek általában jelentős emelkedésével érhető csak el, amint ezt a 2. ábra például egy atomreaktor esetére ábrázolja. A *K*-görbe az elszenvedett sugárterheléssel általában lineárisan emelkedő költségeket szemlélteti. Az *E*-görbe a kétféle költség összegét mutatja, mely bizonyos dózisterhelésnél általában minimumot mutat. Az



**2. ábra.** A sugárvédelem létesítésének költségei (S), az ember egészségkárosodásának becsült forint értékei (K), valamint a kettő összege (E) az embert érő dózis függvényében nagy létesítményeknél

ehhez tartozó dózisterhelés tekinthető az adott esetben annak a dózisértéknek, amelyet a sugárvédelemnek, mint optimumot biztosítani kell.

A 3. ábra ezzel szemben egy olyan esetet mutat, amikor az ALARA-elvet kell alkalmazni, mert minimális költségtöbblettel, pl. egy röntgen diagnosztikai készüléknél az előírt minimális ólomréteg vastagság csekély megnövelésével az ajtón, védőfalon a rajtuk áthaladó röntgensugárzás mennyiségét gyakorlatilag nullára le lehet csökkenteni.



**3. ábra.** A sugárvédelem létesítésének költségei (S), az ember egészségkárosodásának becsült forint értékei (K), valamint a kettő összege egy röntgendiagnosztikai készüléknél

Az optimalizálási eljárásnak fő problémája a *K*-görbe meghatározása. A gyógyszerköltségek, a kórházi ápolás és keresetkiesés költségei ugyan még könnyen megbecsülhetők, de magának a megbetegedésnek, szenvedésnek, esetleges elhalálozásnak a forint értéke már rendkívül problematikus. Ezért sok esetben csak a különböző variációk közti különbségek kimutatására használhatók.

III. Az optimalizálási számításoktól függetlenül az ionizáló sugárzásokkal foglalkozókat, illetve a lakosságot érő sugárterheléseket *korlátozni kell*. Az egy évre eső természetes háttérsugárzás fölötti dózisterhelés bizonyos

határon túl mindenképpen megengedhetetlen és csak egészen különleges esetekben, például ionizáló sugárzásokkal kapcsolatos szerencsétlenség esetén a mentési munkák elvégzésénél lehet kivételt tenni alóla, azaz a mentésben részt vevők számára a megengedhető terhelések kétszeres, illetve egyszer az életben ötszörös túllépését engedélyezni.

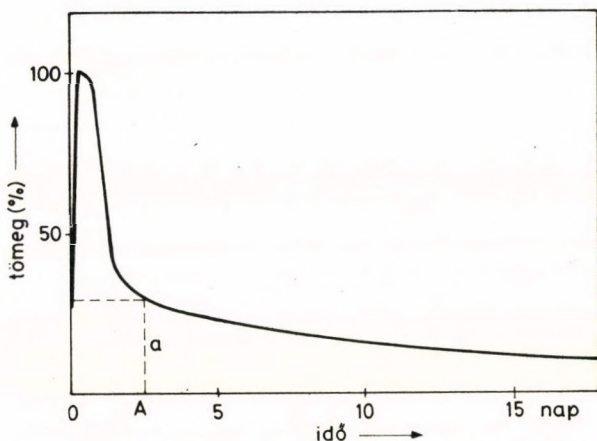
A dóziskorlátok megállapításánál az immár több mint fél évszázada működő Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP), melynek legmagasabb szintű irányító testületében ma is a világ legkiválóbb 10 sugárvédelmi szakembere dolgozik, az elmúlt évek során egy új fogalmakra és sugárvédelmi szemléletre alapozott, ellentétes politikai nézeteiktől függetlenül egyhangúlag elfogadott új követelményrendszert dolgozott ki. Ennek lényege a következőkben foglalható össze:

A sugárterhelés korlátozás szempontjából két kategóriát különböztet meg: a hivatásuknál fogva *ionizáló sugárzásokkal dolgozók* csoportját és a *lakosságot általában*. A megállapított dóziskorlát, mely magában foglalja a külső sugárzásokból és az inkorporált radioaktív anyagoktól eredő belső sugárzásokból származó dózisterheléseket, a hivatásos dolgozók számára évi 50 mSv, a lakosság számára évi 5 mSv a természetes háttérsugárzás fölött, azzal a megjegyzéssel, hogy ha valamilyen

okból kifolyóan a lakosságon belül kisebb-nagyobb csoportok sugárterhelése tartósan megközelíti az évi 5 mSv-et, akkor intézkedéseket kell foganatosítani annak érdekében, hogy a csoport dózisterhelése életük további folyamán ne lépje túl az évi 1 mSv-et, ami átlagosan a természetes háttérsugárzás kétharmadának felel meg.

Az ember szervezete tehát rendkívül érzékeny az ionizáló sugárzásokra. Különösen érzékeny az ionizáló sugárzásokat kibocsátó radioaktív anyagok inkorporálására. Ezeknek az emberi testben megengedhető maximális mennyisége nyilván az a mennyiség lesz, ami megengedhető maximális évi dózist szolgáltatja, feltéve, hogy külső sugárzás nincsen jelen. Ahhoz, hogy ezt az izotóponként lényegesen különböző mennyiséget kiszámíthassuk, mindenekelőtt ismernünk kell a testbe jutott radioaktív anyagok további sorsát, kiürülésüknek, illetve bizonyos szervekbe való beépülésüknek a törvényszerűségeit. A folyamatot általában a 4. ábra szemlélteti.

Az egyes radioizotópok görbéi között igen nagy különbségek mutatkoznak mind a szervezetbe tartósan beépülő radioaktív anyag mennyisége tekintetében, mind ennek kiürülését leíró függvény vonatkozásában, amit természetesen a testbejutás módja is lényegesen befolyásol. A kiürülési görbék általában exponenciális



**4. ábra.** Az emberbe jutott radioaktív anyag tipikus eltávozása az idő függvényében: 0–A szakaszban gyors kiürülés, A – után a testbe beépült anyag lassú kiürülése pl. exponenciális fogyással

vagy hatványfüggvényekkel jól leírhatók és így figyelembe véve a biológiai kiürülés mellett a kérdéses izotóp fizikai lebomlásának felezési idejét és beépülési helyeit, a teljes folyamat alatt leadott összdózis, a megfelelő szervekre, szövetekre kiszámítható.

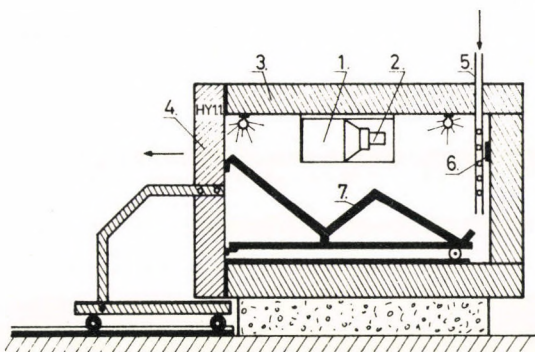
Az első feladat tehát a különböző radioaktív elemeknek az emberi szervezetbe való bejutását követő dúsulási és kiürülési folyamatok vizsgálata, minél pontosabb megismerése. A legnagyobb nehézséget e téren hosszú időn át az okozta, hogy itt a természetes háttérsugárzási

szintnél sokszorosan kisebb intenzitású sugárzások méréséről van szó, tehát a mérések elvégzése eleve csak a természetes háttérsugárzási szintnél lényegesen alacsonyabb szintű sugárzási térben látszott lehetségesnek.

Hazánkban az első konkrét igények rádiumot és tóriumot inkorporált személyeknél az 1950-es években merültek fel. Az irodalomból ekkor már ismeretes volt, hogy vegyészek csontjaiban talált néhány mikrogramm rádium már halálos kimenetelű sugárkárosodást okozott. A mi esetünkben először világító festékekkel rádiumot inkorporált személyekről volt szó. A méréseket saját készítésű Geiger-Müller számlálócsöves készülékünkkel az MTA Központi Fizikai Kutató Intézetének 30 méter mélyen a csillebérci sziklákban kialakított laboratóriumában próbáltuk meg elvégezni, sajnos sikertelenül. A háttérsugárzás csak 50%-kal volt kisebb a mélyben, mint a felszínen és így a feltehetően tized mikrogramm nagyságrendű, csontokba beépült rádiumnak sokkal kisebb intenzitású sugárzása nem volt mérhető.

Évtizedeken át világszerte folyó sok-sok munkára, új fizikai jelenségek felismerésére, a szcintillációs mérés technika kidolgozására volt szükség, míg végül is sikerült a rendkívül nehéz mérési feladat elvégzésére alkalmas úgynevezett *egésztestszámlálós mérőberendezéseket* kifejleszteni.





**5. ábra.** Az Országos Onkológiai Intézetben 1962-ben épített HY 1.1 egészségtesztzámláló. 1: plasztikszcintillátor, 2: elektronsokszorozó, 3: 20 cm vastag vasburkolat ólom és réz abszorbenslemezzel, 4: kézi csörlővel nyitható 3 tonnás ajtó, 5: szűrt levegő befújása, 6: hangszóró, 7: fekvőszék

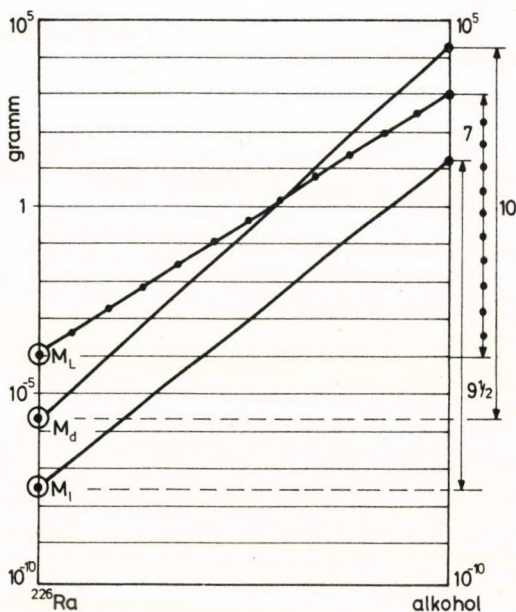
Hazánkban az első ilyen készüléket az Országos Onkológiai Intézetben építettük fel 1962—63-ban. A félig földbe süllyesztett árnyékoló kamrát (5. ábra) 20 cm vastag vasfalakkal építettük fel ólom- és vörösrézlemez borítással. Az azonos felépítésű ajtó kézi csörlővel síneken könnyen elmozdítható. Az ajtóval együtt a hozzáerősített kényelmes fekvőszék a kamrából automatikusan kigördül és lehetővé teszi a ki-be szállást. A nagy érzékenységű gamma-sugárzás mérést a kamra mennyezetéhez erősített nagyméretű — 30 cm átmérőjű és 27 cm

hosszú, henger alakú — plasztik szcintillátor (készült a budapesti Gamma Művekben) teszi lehetővé.

Az elektromos impulzusokká átalakított fényfelvillanásokat különböző egy-, majd többsatornás impulzusanalizátorok regisztrálták. A minél alacsonyabb háttérsugárzás biztosítása céljából a kamrán folyamatosan szűrt, a radon radioaktív bomlás-termékeiktől megszabadított levegő áramlik keresztül, a bezártságtól való félelem (claustrophobia) elkerülése céljából a 30–40 percig bent fekvő beteg figyelmét magnószalagra felvett muzsika és beszéd köti le.

A nemzetközi nyilvántartásban HY 1.1 jelzést kapott berendezés lehetővé tette a csontokba beépült összesen  $10 \text{ ng } (10^{-8} \text{ g})$   $^{226}\text{Ra}$  megbízható mérését és ezáltal a rádium testből történő kiürülésének vizsgálatát különböző inkorporálási feltételek mellett. A berendezés természetesen lehetőséget nyújtott egyben a nyitott izotópokkal dolgozó egészségügyi alkalmazottak rutinszerű ellenőrző vizsgálatára és tudományos kutatások végzésére is.

A rádiumnál — mint ismeretes —  $1 \text{ g}$  tömegnek  $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$  aktivitás felel meg. A  $^{226}\text{Ra}$  1620 éves bomlási félidejénél nagyságrendekkel rövidebb felezési idejű izotópokra nézve a még sugárzása révén mérhető tömeg is nagyságrendekkel kisebb. A 6. ábra egyrészt az



**6. ábra.** Bal oldalon a  $^{226}\text{Ra}$ -ra vonatkozó évenként inkorporálható összes tömeg sugaras dolgozókra  $M_d$  és a lakosságra  $M_e$ , valamint az esetek 50%-ában 30 napon belül halált okozó inkorporált tömeg  $M_L$ . Jobb oldalon az alkoholra vonatkozó hasonló adatok

évenként inkorporálható  $^{226}\text{Ra}$  összes tömegét tünteti fel a *sugaras munkakörben dolgozókra és a lakosságra nézve*, valamint az egy alkalommal inkorporált és az esetek 50%-ában halált okozó rádium tömegét, másrészt összehasonlítás céljából, például az *alkoholra* vonatkozó hasonló adatokat.

Mint látható, az évenként testbe jutó rádium megengedhető maximális tömege 10 nagyságrenddel, számos izotópé 11, 12 nagyságrenddel kisebb, mint például az alkoholra nézve megállapítható tapasztalati értékek. Az ivóvízben, élelmiszerekben, levegőben, a munkaterületeken és környezetünkben megengedhető radioaktív szennyező anyag koncentrációk mérésénél természetesen még sokkal kisebb tömegek meghatározására van szükség.

Ezeknek a szemmel nem látható, de mégis a legsúlyosabb egészségkárosodást létrehozó anyagoknak a mérése, kezelése, lényegesen nehezebb feladatokat jelent, mint más mérgekkel, általában a különböző vegyületekkel kapcsolatos jól ismert kémiai műveletek. A külső sugárzások kis dózisainak mérése és a sugárvédelem technikai eszközeinek, módszereinek a kifejlesztése mellett ez az a harmadik terület, amely szükségessé tette a „health physics” megalapozását és a sugárvédelem szerteágazó kérdéseinek megoldásába való intenzív bekapcsolását.

Mielőtt rátérnék a sugárvédelem gyakorlati megvalósítása terén elért néhány kiemelkedő eredményünk bemutatására, szeretném még a következőket hangsúlyozni: az emberek között, a sugárvédelemhez való hozzáállásuk tekintetében is igen nagy különbségek mutatkoznak. Egy részük első pillanattól kezdve

belátja a sugárvédelem szükségességét, kicsit fél is az ionizáló sugárzásoktól és a védő felszerelést saját érdekében folyamatosan használja.

Egy másik részük viszont mit sem törődve a saját maga és munkatársai érdekével, egészségüknek csak később észrevehető károsodásával, a pillanatnyilag egyszerűbb utat választja és nem veszi igénybe pl. a távfogókat, gumikesztyűt, ólomvértet stb. Tehát itt is érvényesül a más munkaterületeken, közlekedésben stb. is gyakran tapasztalható felelőtlenség, értelmetlen kockázatvállalás.

Ez szükségszerűen oda vezetett, hogy írásba kellett foglalni az egyes munkahelyekre vonatkozó legelemibb munkavédelmi előírásokat és *kötelezni kell a dolgozókat* azok szigorú betartására, mert hiszen a sugárkárosodás folyamatai, akár külső besugárzásról, akár radioaktív anyag inkorporálásáról van is szó, általában irreverzibilis, jóvátehetetlen folyamatok.

Ez az egyáltalában nem megnyugtató tényállás viszont egy újabb követelményt támaszt a sugárvédelem gyakorlati megvalósítása iránt: a sugárvédelmi berendezés, felszerelés – ha csak lehetséges – olyan legyen, hogy a munkavégzés csak a *sugárvédelmi rendszer igénybevételevel*, illetve működtetésével legyen lehetséges.

Ezek után rátérek *néhány*, intézetünkben kifejlesztett, de országosan, sőt külföldön is

átvett, az ALARA-elvnek messzemenően eleget tevő és *lényeges kollektív dóziscsökkenést* eredményező sugárvédelmi konstrukciónk bemutatására.

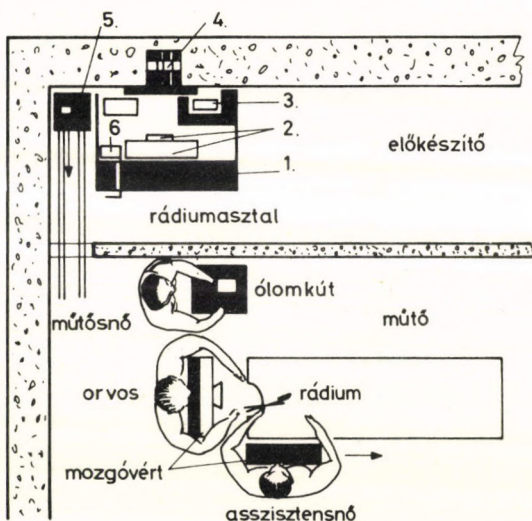
Első példaként a hazánkban is több, mint fél évszázada folyó és igen szép eredményeket hozó rádiumos nőgyógyászati üregi kezelések sugárvédelmének kidolgozását mutatom be. Ezeket a kezeléseket ugyanis világszerte, így hazánkban is kezdettől fogva minden számottevő sugárvédelem nélkül végezték. Egyedül a nagy értékű rádium tubusok tárolására építettek valahol, többnyire egy alagsori épületrészben egy többszörösen lezárható bunkert vagy páncélszekrényt. A sugárforrások ide-oda szállítása, a kezelésekhöz való előkészítése, a betegekbe történő behelyezése, majd a berádiumozott betegek szállítása a rádiumos műtőből a kórtermekbe stb. semmiféle, vagy csak nevetségesen kismérvű védelem alkalmazásával történt.

Az orvosok és műtős személyzet sugárterhelése sokszorosa volt a jelenleg nemzetközileg elfogadott megengedhető maximális dózisnak. Még a legkiválóbb külföldi orvosprofesszorok súlyos sugársérülése, a kezujjak nem gyógyuló kifelégyesedése is napirenden volt. Az intézetünkben 1952—62 során kidolgozott, az orvosi szempontokat messzemenően figyelembe vevő, de sugárvédelmi szempontból is haté-

kony rendszer legfontosabb elemei (7. ábra):

– kettős tükörrendszerrel ellátott, és így a munkaterületnek fordításmentes szemlélését lehetővé tevő, a kezek kivételével tetőtől talpig 14 cm vastag ólomárnyékolást nyújtó munkaasztal, kívülről kezelhető automatikus, zárt tubusmosó dobozzal és sterilizálóval,

— közvetlenül az asztal mögötti, fiókos rendszerű fali rádium tároló szekrény,



7. ábra. A rádiumos műtőben és előkészítőben létesített sugárvédelmi berendezések. 1: ólom mellvért, 2: tükör, 3: sterilizátor, 4: fiókos rendszerű fali tároló, 5: ólmokút, 6: zárt mosódoboz

— közvetlenül az asztal mellett sínen gördülő, vastag ólomfalú szállító kocsi a sterilizált tubusoknak az előkészítőből a műtőbe való sugárvédett továbbításához

— a műtőasztal előtt dolgozó orvos védelmére a rádium behelyezés idejére lábpedállal begördíthető 300 kg-os ólom pajzs reflektorral, dűrzendobozzal és könyöktámaszokkal,

— a műtősnő előtt 12 cm vastag falú ólomkút a rádiumtubusok számára.

— a kampózó nővér és beteg közé betolható vastag ólom pajzs,

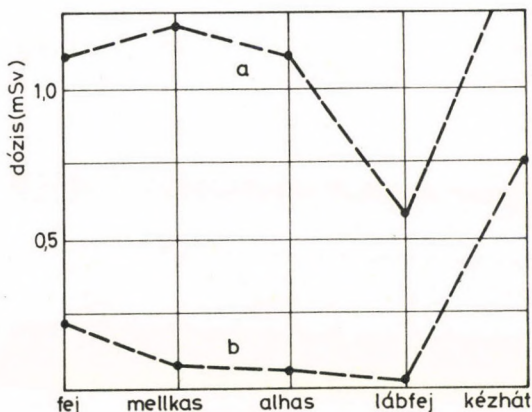
— a betegágytól kivett rádiumtubusok speciális visszaszállításához készített hosszú nyelű ólomkocsi.

A fenti technológiai rendszer, végső formájának kialakulása utáni, dóziscsökkentő hatását az egyes testrészekre, a 8. ábra szemlélteti.

Továbbra is igen jelentős maradt a berádiomozott betegeket emelgető betegszállító egésztest-besugárzása, valamint az orvos és asszisztencia kezének, alkarjának, a kórtermi viziteket, betegápolást és takarítást végző személyeknek a sugárvédelme. Ennek számottevő csökkentése az üregi kezelések 80 éves technikájának fenntartása mellett megoldhatatlan feladatnak látszott.

Ezért egy új eljárásnak, az *utántöltős technikának* hazai megvalósítását tűztük ki célul. A feladatot itt is először az orvosi követelmények-

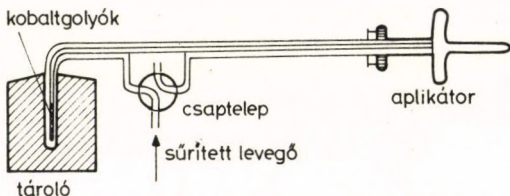




**8. ábra.** 1 gramm rádium behelyezésénél az orvoson mért dózisosok: *a* a szokásos eljárásnál, *b* az új ólomvédelemnél

nek és a fizikai lehetőségeknek az egyeztetése, összehangolása képezte.

Az eljárás lényege a következő (9. ábra): az orvos a műtőben egy megfelelő belső csőrendszerrel ellátott üres aplikátort helyez be a betegbe. A már ágyába visszavitt beteg aplikátorába a sugárforrásokat az ágy melletti ólomkonténerből hajlékony kettős műanyag csövön keresztül sűrített levegővel, távirányítással a folyosóról lövi be az orvos, illetve küldi vissza a konténerbe. Így a sugárzó beteg és a kiszedett sugárforrások szállítása is teljesen elesik és valamennyi orvos, műtős- és takarító személyzet sugárterhelése zérusra csökkenthető.



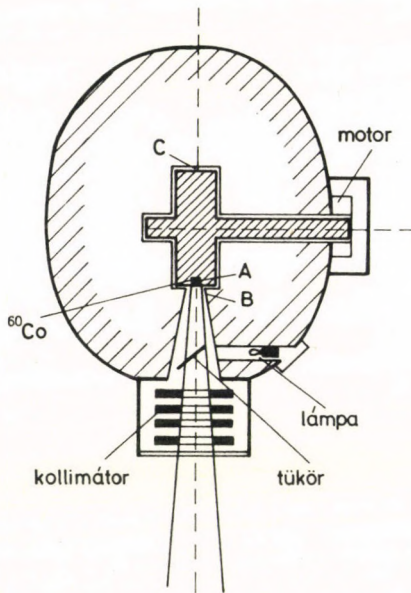
9. ábra. Pneumatikus rendszerű utántöltős berendezésünk az Országos Onkológiai Intézetben  $^{60}\text{Co}$  töltetű acélgolyócskákkal

Egy speciális vákuumcsappal vezérelhető és egy elektropneumatikus rendszerű típus került kidolgozásra a rádiumtubusoknál nagyobb aktivitású  $^{60}\text{Co}$ -al töltött acélgolyócskákkal és így a 23 órás rádiumos kezelési idők helyett 6—12 órás kezelési időekkel. Az elektropneumatikus típust a kifejlesztésében részt vevő Közpon-ti Fizikai Kutató Intézet gyártásba vette és ma már 5 nagy városunkban működnek ilyen készülékek.

A nőgyógyászati üregi sugárkezelések rádiumos és radiokobaltos metodikáira kifejlesztett fent vázolt sugárvédelmi berendezések hazánkban ma 10 egészségügyi intézményben összesen több mint 100 egészségügyi dolgozót érintenek, és pedig valamennyi izotóp alkalmazási terület közül éppen azon a területen, ahol a dolgozók sugárterhelése kezdettől fogva a legmagasabb volt. Alkalmazásukkal eddig összesen mintegy

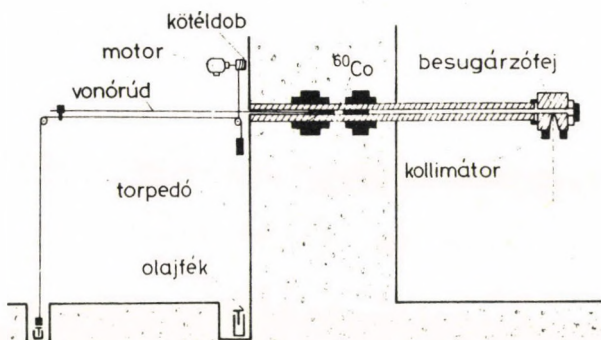
70 Sv-nyi egésztest-besugárzás — elsősorban genetikai károsító hatásának kiváltását tették lehetővé, ami összevetve pl. a 100 lakosra nézve évenként összesen megengedhető maximum néhány tized Sv-nyi dózisterheléssel, igen jelentős eredménynek tűnik.

Egy második példaként említem az intézetünkben kifejlesztett kéttank-rendszerű kobaltágyúkat, amelyek a világszerte gyártott egytank-rendszerű kobaltágyúkkal ellentétben, a kezelő orvos és az asszisztens részére teljes sugárvédelmet biztosítanak. Amíg ugyanis az egytank-rendszerű készülékeknél (10. ábra) „kikapcsolt” állapotban is a nagy aktivitású sugárforrás (A) a besugárzófejben marad, és csupán a maximális sugárnyaláb keresztmetszetét meghatározó nyílás belső végétől (B) pl. egy vízszintes tengely körül  $180^\circ$ -kal elfordulva a legtöbbször ólomból készült besugárzófej belsőjébe (C) kerül, addig a kéttank-rendszerű Gravicert-típusú, bel- és külföldön egyaránt szabadalmakat kapott készülékemnél kikapcsoláskor a töltet elhagyja a besugárzófejet, sőt a besugárzó helyiséget is egy másfél méter vastag betonfalban kialakított tárolóhelyre (11. ábra) csúszik, ahol a távolság és betonvédelem felhasználásával és minimális ólomvédelemmel úgy leárnyékolható, hogy már a betonfal felületén is csak a természetes háttérsugárzás mérhető.



**10. ábra.** Az egytank-rendszerű kobaltágyú besugárzófeje. Az A sugárforrás „bekapcsolt” pozíciója (B) és „kikapcsolt” pozíciója (C)

Ezzel szemben az egytank-rendszerű készülékeknél a kikapcsolt állapotban egyben tárolóhelyül is szolgáló besugárzófej méretei több szempontból korlátozottak, és így a sugárforrás teljes leárnyékolására nincsen meg a lehetőségünk. Kikapcsolt állapotban tehát a besugárzófejből a burkolaton át minden irányban kisebb-nagyobb intenzitású gamma-sugár-



**11. ábra.** A gravitációs erővel működő és teljes sugárvédelmet biztosító kéttank-rendszerű Gravicert kobaltágyúnk (25 éve működik)

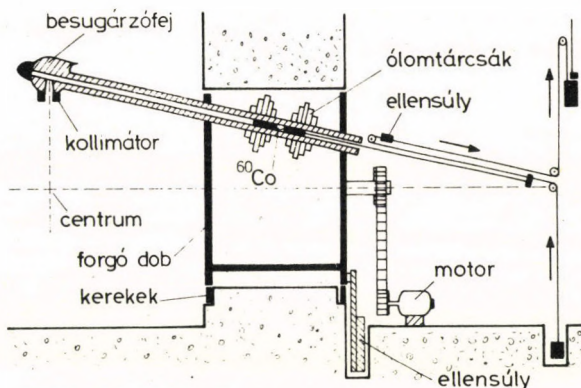
zás (0,02–1,4 mSv/h) lép ki. A betegek beállítását végző orvos és asszisztens tehát elkerülhetetlenül egészségtest-besugárzásnak van kitéve.

Sugárvédelmi szempontból egy másik hátránya ezeknek a készülékeknek, hogy a természetes kopás, elektromos hibák, berágódás stb. következtében a töltetet hordozó nehéz, sugárnyelő anyagból készült tárcsa megszorulhat és így a készülék „kikapcsolása”, illetve a töltet kiszerezése csak sokszor tragikus sugárkárosodás elszívása árán végezhető el. Az irodalomban több ilyen eset leírása olvasható, magam is láttam pl. egy ilyen kényszerki-

szerezést, ahol a súlyosan sugársérült jobb kar amputálása vált szükségessé.

Kéttank-rendszerű készülékeinknél ilyen egészségkárosodásokhoz vezető hibák nem fordulhatnak elő, legrosszabb esetben a töltet egy seprünyével bármikor áttolható a besugárzófejből fali tárolóhelyére. A hazánkban és külföldön üzemeltetett Gravicert kobalt-ágyúknál sugárbaletet eddig még egyáltalában nem fordult elő.

A rotációs besugárzások elterjedésével 1965-ben üzemelni kezdett Intézetünkben az ugyancsak gravicert elv alapján tervezett (gravitációs erővel hajtott és teljes sugárvédelmet biztosító), de mozgó besugárzások végzésére is alkalmas Rotacert készülékünk (12. ábra). A sugárforrás tárolóhelye ez esetben a vastag betonfalban elhelyezett, egy virtuális vízszintes tengely körül kerekeken forgatható vasdobban van ólom korongokból kialakítva úgy, hogy a besugárzó helyiségben csak a háttérsugárzás legyen mérhető. A besugárzófej és a tároló közti úgynevezett torpedó vezető cső a virtuális vízszintes tengellyel mintegy  $12^\circ$ -os szöget zár be és így a sugárforrás egy 75 cm sugarú köríven tetszés szerinti sebességgel elmozdulva, a forgásközéppontra beállított daganatot környezetének nagyfokú védelme mellett tudja a daganatpusztító dózissal besugározni. A biztonságot növelő automatikus



**12. ábra.** Kéttank-rendszerű, teljes sugárvédelmet biztosító, mozgómezős Rotacert kobaltágyúnk

ajtózárra, a fény- és hangjelzésekre, az automatikus fotocellás kikapcsolókra stb. itt nem térnek ki.

Az I. táblázat a hazánkban működő Gravi-cert típusú kobaltágyú telephelyét, telepítési idejét és a vele dolgozók létszámát tünteti fel. Ez a kollektíva az elmondottak alapján az eddigi, összesen 124 üzemév alatt munkahelyén gamma-sugárzást egyáltalában nem kapott. Ha bárhol külföldön gyártott kobaltágyúkkal dolgoztak volna — ami egyébként legalább három-négyszer akkora és devizában jelentkező beruházást tett volna szükségessé —, ugyanennek a kollektívának ugyanennyi beteg besugárzása esetén összes sugárterhelése a 25 év

### I. táblázat

#### A HAZÁNKBAN MŰKÖDŐ 6 DB KÉTTANK- RENDSZERŰ KOBALTÁGYÚ TELEPÍTÉSI HELYE, IDEJE, ÜZEMÉVEINEK ÉS A VELE DOLGOZÓK LÉTSZÁMÁNAK ADATAI

Kobaltágyúk	Indulás	Üzemidő	Létszám
001 Gravicert	1958	25 év	18 fő
001 Rotacert	1965	18 év	12 fő
Uzsoki u. Gr.	1961	21 év	15 fő
Debrecen, Gr.	1963	20 év	19 fő
Pécs, Gr.	1967	16 év	14 fő
Szombathely, Gr.	1968	15 év	12 fő
Összesen: 6 db		125 év	90 fő

25 év alatt a megtakarítás kb. 14 Sv kollektív dózis

alatt fejmagasságban mintegy 60 Sv, a genitális szervek táján 15 Sv-re becsülhető. Ez utóbbi genetikai kollektív dózis megtakarítás annál is inkább figyelemre méltó, mert ebben a kollektívában nagy számban egészen fiatalok dolgoznak.

Ez az eset a fentiek szerint példa arra, hogy lényegesen, sőt sokkal jobb sugárvédelmet nemcsak az optimalizálásnál vázolt nagyobb, sokszor igen nagy többletköltséggel, hanem bizonyos esetekben egy jó ötlettel is lehet biztosítani.



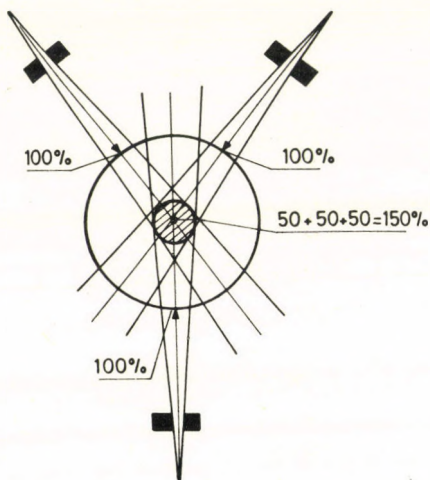
Ennél a tankpéldánknál az ALARA-elven túlmenően nagymértékben érvényesült az a követelmény is, hogy az előírt munka — jelen esetben a betegbesugárzás — csak a sugárvédelmi berendezés igénybevételével legyen elvégezhető. A dolgozóknak sem okuk, sem lehetőségük nincsen a kéttank-rendszer kiiktatására. Más kérdés természetesen az, hogy szándékosan bárki kárt tehet önmagában, például saját magát nagy dózissal besugározhatja, de az ilyen jellegű károsodásokat, netán öngyilkosságot megakadályozni, miként más területeken, úgy itt sem lehetséges.

Végül harmadik példaként említem a hazánkban évenként mélyterápiás besugárzásra kerülő *sok ezer beteg fokozott sugárvédelmét*, ami azok sugárkárosodásának jelentős csökkentése mellett egyben gyógyulási esélyük nagy mérvű emelkedését is jelentette.

A mélyenfekvő daganatokra az elpusztításukhoz szükséges elnyelt sugárzási energia (gócdózis) lejuttatása nem könnyű feladat. Még a  $^{60}\text{Co}$  izotópból, mint az ilyen terápiás besugárzásokra legalkalmasabb radioizotópból kirepülő 1,25 MeV energiával rendelkező gamma fotonok is jelentősen nagyobb mértékben nyelődnek el a daganat előtti testszövetekben, mint a mélyenfekvő daganatban, ahova már általában a fotonoknak 50% alatti része jut csak el. A daganatpusztító gócdózis leadása

esetén a daganat előtti testszöveteket feltétlenül elégetnénk. Ezért vagy több irányból kell megcéloznunk a gócot (13. ábra), vagy a góc közepe, mint középpont körüli köríven mozgó sugárforrással kell a besugárzást elvégeznünk.

A terápiás szempontból megkívánt követelmény: a góc egyenletes besugárzása mellett, fontos – a terápia eredményét is befolyásoló – sugárvédelmi követelmény, hogy ti. a gócon kívüli testszövetekben a dózisterhelés minél gyorsabban csökkenjék.



**13. ábra.** Hárommezős besugárzással a mélyenfekvő daganatra a felületi dózis 50%-a helyett 150% is lejuttatható

Ennek megvalósításában a besugárzó készülék fizikai paramétereit, mint például a sugárforrás méreteit, a kollimátor kiképzése és távolsága a sugárforrástól, a forrás-bőr távolság stb. mellett döntő szerepet játszik, a gondos besugárzástervezés, azaz annak meghatározása, hogy milyen besugárzási paraméterek mellett, például a besugárzási mezők száma, nagysága, helye, a besugárzási irányok, ékszűrők, súlyfaktorok stb. valósulhat meg a testben az optimális dóziseloszlás és mekkora besugárzási időkre van szükség a kívánt gócdózis eléréséhez.

Ezeknek a számításoknak az elvégzése, figyelembe véve a testben levő inhomogenitásokat (csontok, tüdő), a különböző szóródási feltételeket, félárnyékot stb., igen hosszú időt és gyakorlatot igénylő munka volt és így csupán a betegek kis részénél volt elvégezhető.

A számítástechnika térhódítása e téren is merőben új lehetőségeket tárt fel: módunkban van a kérdéses kobaltágyúra vonatkozó mérési adatokból, továbbá a betegre vonatkozó testkeresztmetszeti és a daganatelhelyezkedést leíró geometriai adatokból — a sugárzás és anyag közti fizikai kölcsönhatások felhasználásával — számítógéppel kiszámítani az egyes pontokra jutó összdózist, majd ennek alapján felrajzoltatni az egyes testkeresztmetszetekben megvalósuló dóziseloszlást. Bár az elvégzendő szá-

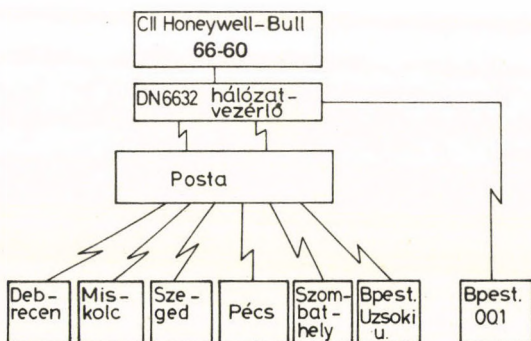
mítások mennyisége így nagyságrendekkel megnő, a számítógép a több napos emberi munkát másodpercek alatt elvégzi, és így lehetőséget ad a dózistérképeknek valamennyi erre rászoruló betegnél való elkészítésére.

Régi barátunk, van de Geijn holland fizikus nagylelkűen rendelkezésünkre bocsátotta EXT-DOS nevű nagy értékű besugárzástervezési programját, melyet ma, mint az egyik legjobban bevált eljárást számos országban használnak szerte a világon. A bonyolult program (igénye 96 kbyte) természetesen csak nagy számítógépen futtatható. Így a gazdag országokban sok helyen látható eljárás, hogy a sugárterápiás centrumok saját számítógéppel és a kiszámított dóziseloszlási térképeket képernyőn megjelenítő egységgel rendelkeznek, nem látszott megvalósíthatónak.

Ezért lényegesen olcsóbb megoldást, nevezetesen olyan *országos hálózat* létrehozását tűztem ki feladatul, melynél az egyes sugárterápiás centrumok csupán egy-egy terminállal rendelkeznek és a számításokat az Államigazgatási Számítógépes Szolgálat nagy teljesítményű Honeywell-Bull 66/60 számítógépe végzi. A gép telefon-összeköttetésben áll az egyenletes országos eloszlást mutató 7 sugárterápiás centrummal (Budapesten 2, Debrecenben, Pécsen, Szegeden, Szombathelyen és Miskolcon 1–1) és több felhasználójú

rendszert alkotva, kapacitásának egy kicsiny töredékével képes valamennyi besugárzástervezési igényt kielégíteni (14. ábra).

A Számítógépes Országos Besugárzástervezési Hálózat felállítását nagymértékben elősegítette a bécsi Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA), melynek sugárterápiával és dozimetriai, sugárvédelmi kérdésekkel foglalkozó osztályához régi személyi kapcsolatok fűznek. Az IAEA igazgatói tanácsa 1977-ben 100 000 dolláros támogatást szavazott meg a kért terminálok beszerzésére, amelyek (5 db HwB Terminet és 1 VIP képernyős terminál) sok adminisztrációs nehézség leküzdése után végre 1 évi késéssel meg is érkeztek Budapestre.



14. ábra. A Számítógépes Országos Besugárzástervezési Hálózat blokkdiagramja

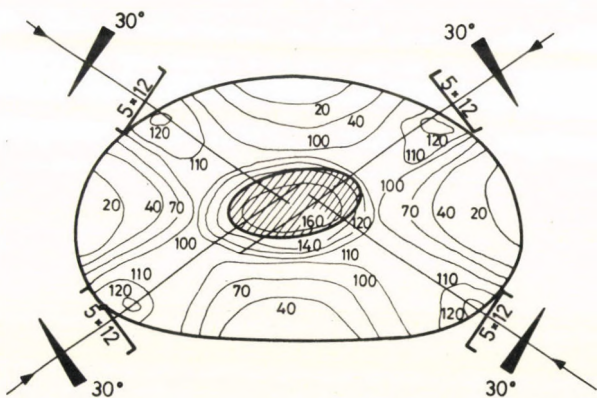
Ekkor kezdhették el a többi előfeltétel biztosítását, mint például a testkeresztmetszet rajzoló készülékek, állványok és egyéb segéd-eszközök legyártását, megfelelő számú orvosi és fizikusi állások, szakemberek, telefonvonalak stb. megszerzését.

A hálózat egy kéthetes tanfolyam befejezése után 1978. október 16-án kezdte meg működését és azóta folyamatosan dolgozik mintegy 50 szakember közreműködésével a következő módon:

A betegről a daganaton áthaladó pontos testkeresztmetszeti rajz készül, melybe az orvos berajzolja a besugarazandó gócot és inhomogenitási területeket. A fizikus meghatározza a görbék polár-koordinátáit, valamint az adatlapon feltüntetett egyéb besugárzási feltételeket és ezeket reggelenként terminálján keresztül közli az ÁSZSZ számítógépével, melyben valamennyi kobaltágyúra vonatkozó fix adatok, mint a sugárforrás aktivitása és betöltési ideje, az egyes kollimátorokhoz tartozó, intézetünk által egységes módon kimért dóziseloszlási adatok stb. folyamatosan tárolva vannak. Intézetünk, mint az országos hálózat tevékenységét irányító, ellenőrző, továbbfejlesztő intézmény a délelőtt folyamán az adatok beérkezésének ellenőrzése után elindítja a számítógépet, majd valamennyi kiszámított dóziseloszlási térképet és a hozzájuk tartozó

besugárzási időket lekérdezi, azaz kinyomtattatja. Ellenőrzésük, a netán szükséges javítások elvégzése után megadja a számítógépnek az engedélyt az eredményeknek a beküldő állomásokkal való közlésére. Az állomások a délután folyamán lekérdezik eredményeiket, azaz sornyomtatójukon kinyomtattatják dóziseloszlási térképeiket, azokat kiértékelik, a jónak minősülő terveket a kobaltágyús üzemekbe juttatják, a nem elfogadhatók helyett, kissé módosított paraméterekkel újat készítenek.

A 15. ábrán példaként bemutatott dóziseloszlási térképen jól látható, hogy a pontos



**15. ábra.** Az EXTDOS programmal kiszámított dóziseloszlási térkép 4 mezővel és ékszűrővel végzett kobaltágyús besugárzásnál

célzási lehetőség folytán jogosan alkalmazott minimális nyaláb szélesség következtében a besugárzott góc körül sűrűn egymás mellé sorakoznak az izodózis görbék, azaz a dózisterhelés rohamosan lecsökken, ami csak kissé szélesebb mezők alkalmazásánál is már nem következik be. A daganat elpusztítása szempontjából teljesen felesleges, sőt sugárvédelmi szempontból erősen káros térfogatdózis értéke tehát a korszerű számítógépes besugárzástervezéssel nagymértékben csökkenthető.

Arra a kérdésre, hogy a besugárzott betegeknél megfigyelhető — egyes külföldi szerzők által talán túlságosan szépnek, bizonyos daganatféleségeknél kétszeres, sőt háromszorosnak talált — gyógyulási arányoknál mennyiben játszik szerepet a gócnak a besugárzás tervezéssel biztosított, teljes egészében egyenletes és megfelelő nagyságú dózissal történt besugárzása, és mennyiben a daganat körüli és attól távolabb fekvő szervek, testszövetek igen jelentős sugárvédelme, ma még nem lehet pontos választ adni. De az, hogy magának a betegnek jelentősen fokozott sugárvédelme nagy szerepet játszik, az sugárbiológiai ismereteink gyarapodásával egyre nyilvánvalóbbá válik.

Befejezésül szeretném megállapítani, hogy miként az elmondottakból is kitűnik, a sugárvédelem területén még számos elvi és gyakorlati kérdés vár tisztázásra. Ezek közül a



saját további vizsgálataim szempontjából egyrészt a mindig egy-egy pontra vonatkozó jól definiált, jól mérhető és számítható fizikai dózis fogalomra, másrészt az egésztest-besugárzások biológiai hatásának jellemzésére szolgáló régebben használt térfogat- vagy integráldózis, illetve az újabban ajánlott effektív dózis fogalomnak — különösen külső sugárzások esetén távolról sem kielégítő, se nem mérhető, se nem számítható —, tehát gyakorlatilag használhatatlan voltára és az e téren való előrelépés fontosságára szeretnék rámutatni.

Végezetül szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik munkám során jelentős segítséget nyújtottak, külön kiemelve közülük Toperczer Johanna, Lehoczky Győző, Kaczmarsky Anna és Lipták István munkatársaimnak több évtizeden át végzett nagy értékű, lelkiismeretes munkáját.

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó és Nyomda főigazgatója

Felelős szerkesztő: Klaniczay Júlia

A tipográfia és a kötésterv Löblin Judit munkája

Műszaki szerkesztő: Érdi Júlia

Terjedelem: 2,37 (A/5) ív – AK 1629 k 8487

HU ISSN 0236–6258

13079 Akadémiai Kiadó és Nyomda, Budapest

Felelős kiadó: Hazai György



Ára: 17,- Ft