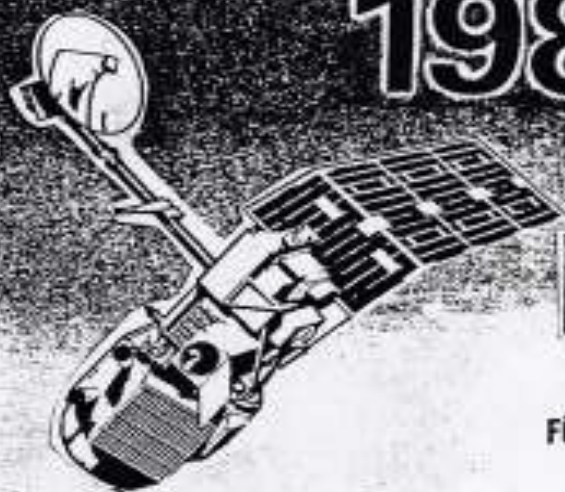


1989 5.



műhely

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
FÖLDRAJZTUDOMÁNYI KUTATÓ INTÉZET
BUDAPEST

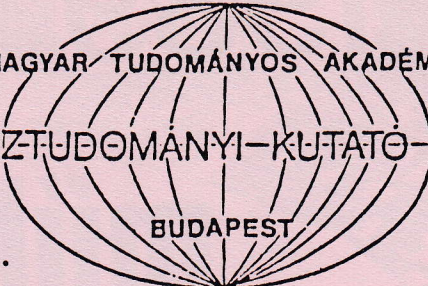
A KÖRNYEZETMINŐSÍTŐ ÉS SZÁMÍTÁSTECHNIKAI
OSZTÁLY TANULMÁNSOROZATA



Tózsza István

**Az atomerőművekből származó sugárzó
anyagok és felhalmozódásuk a
bioszférában**

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
FÖLDRAJZTUDOMÁNYI-KUTATÓ-INTÉZET
BUDAPEST



CÍM: BUDAPEST VI.
NÉPKÖZTÁRSASÁG
ÚTJA 62.
1388 PF.64

TELEFON: 116-838
TELEX : (22) 6413

IGAZGATÓ

DR. PÉCSI MÁRTON

AZ MTA RENDES TAGJA

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

DR. GALAMBOS JÓZSEF

DR. KOVÁCS ZOLTÁN

DR. TÓZSA ISTVÁN

TECHNIKAI SZERKESZTŐ

SZABÓ JENŐNÉ

AZ ATOMERŐMŰVEKBŐL SZÁRMAZÓ SUGÁRZÓ ANYAGOK ÉS FELHALMOZÓDÁSUK
A BIOSZFÉRÁBAN
("ad usum delphini"¹)

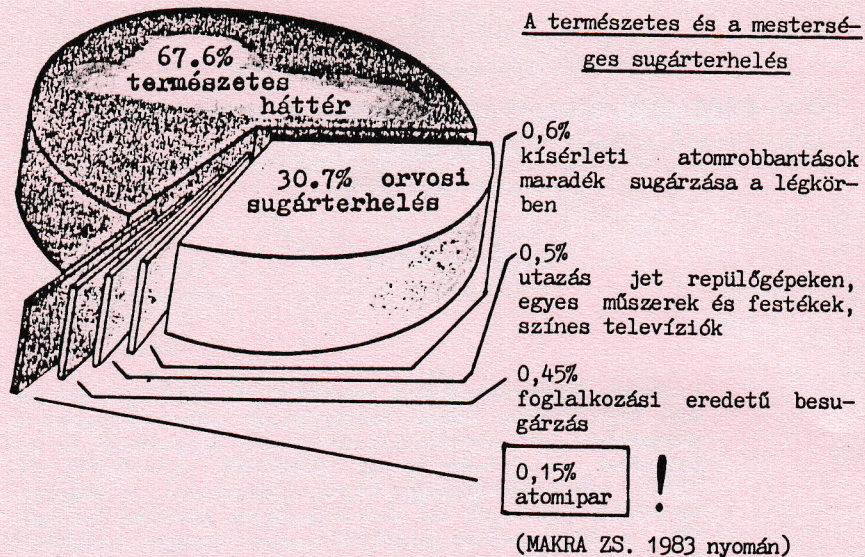
Dr. Tózsza István

A hazai, környezetvédelmi orientációjú, földrajzi kutató-sok tervezéséhez kíván hozzájárulni jelen tanulmány az atomenergia ipar potenciális környezeti ártalmainak és veszélyének a felvázolásával GLASSTONE, S.—JORDAN, W. (1981) részletes forrásmunkájára támaszkodva. Az ismeretterjesztés szintjén szó esik a sugárzás élettani hatásairól, a környezetben jelenlévő sugárzó anyagok eredetéről és az atomenergia termeléssel kapcsolatos radioaktív anyagoknak a környezetben történő felhalmozódásáról, hatásairól.

PROBLÉMAFELVETÉS

A gazdasági fejlődés motorja az ipar. Fejlődése a társadalomnak, mindannyiunknak általános érdeke. Az ipar ugyanakkor környezetszennyezésével a világ fejlett térségeiben mára lerombolta a természetes ökoszisztémákat, megmérgezte a levegőt, a vizeket, a talajt; az új, halálos kimenetelű népbetegségek nagy része az ipari környezeti ártalmakra vezethető vissza.

Sarkított párhuzamot lehet vonni egy ősi, szamuráj szokásjoggal, mely értelmében "a japán harcművészek joga volt hozzá, hogy valahányszor ki kellett próbálnia egy-egy új kardot, levágjon (vagyis inkább ketté szeljen) egy-egy közönséges utazót. Az államnak ugyanis sokkal kevésbé volt fontos egy-egy földműves elvesztése, mint annak a kockázata, hogy egyik másik szamurájának eltörjön a pengéje a csata hevében. Mindez valószínűleg a lekaszabolt, szerencsétlen japán parasztok általános érdekében történt."² Korunk ipari és atomipari, a társadalom egyes egyedeire vetített kockázatát ebben a megvilágításban is értelmezhetjük; bár az atomenergia ipar okozta környezet- és ezen keresztül az emberi egészség károsodása - az esetleges katasztrófáktól eltekintve - a sugárártalmak között az egyik legkisebb rizikó faktort jelenti.



CÉL

Ebben a tanulmányban az atomerőművekből származó sugárzó anyagok bioszférában történő felhalmozódását a kapcsolatok körvonalazásának a szintjén - külföldi szakirodalom kivonatolásával - ismertetem. Céлом az, hogy ezzel koncepcionális szinten hozzájáruljak a környezetvédelmi szemléletű, komplex földrajzi kutatásokhoz - amennyiben a hazai atomerőmű(ek)kel (is) kapcsolatos feladat megoldását tűzik ki célul.

A SUGÁRZÁS HATÁSA AZ EMBERRE

A sugárzás elnyelődésének mértékegysége a dózis (D),

$$D = \frac{dwe}{dm}$$

ahol dwe az elnyelt energia, dm a sugárzásnak kitett anyag tömege.

A dózist J/kg-ban gray (Gy)-el jelöljük, régebben röntgen (R)-rel. (1 Gy = 100 R).

A sugárzás élő szövetre kifejtett hatását dózisegyenértékben fejezik ki (H).

$H = D \times Q$, ahol D a dózis, Q a sugárzás fajtájának a tényezője.

Q = 1 röntgen és gamma sugárzás esetén

Q = 3-10 neutron sugárzás esetén

Q = 1 béta sugárzás esetén

Q = 20 alfa sugárzás esetén

A dózisegyenérték mértékegysége a sievert (Sv), vagy a rem. $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.

REM = Roentgen Equivalent in Man (röntgen ekvivalens az emberben)

Az effektív dózisegyenérték (H_e)

$$H_e = \sum W_T \times H_T$$

ahol W_T = súlytényező; H_T = általános dózisegyenérték; T = testszövetben.

A betegségek egy bizonyos, tartós besugárzási szint felett nagy valószínűséggel, ill. bármilyen kis besugárzás mellett is, véletlenszerűen alakulhatnak ki. Ezért a küszöbértékek csak a betegség valószínű bekövetkezésére utalhatnak.

Pl.:

15 rem - emlőrák (valószínűsége fennáll, ha ilyen mértékű a besugárzás)

12 rem - tüdőrák

12 rem - leukémia

3 rem - csontrák, pajzsmirigyrák

30 rem - bármelyik szervben daganat

25 rem - ivarszervek rákja

Egyszeri, gyors, nagydózisú besugárzások után:

100 rem alatt nem halálos kimenetelű sugárbetegség,

200 rem felett halálos kimenetelű sugárbetegség,

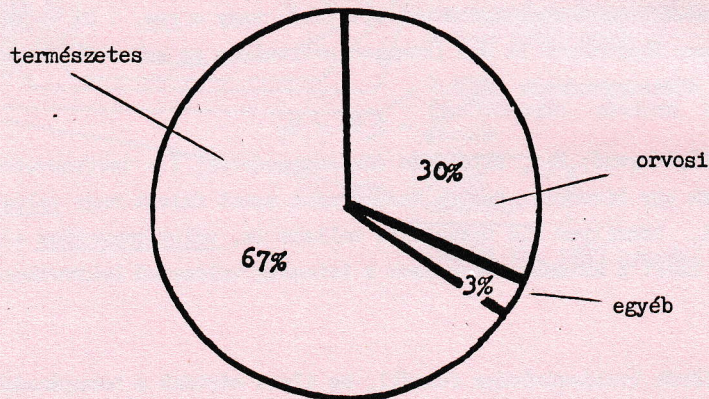
450 rem esetén 30 napon belül halálos sugárbetegség,

700 rem esetén azonnali halálos sugárfertőzés következik be.

A természetes és az orvosi eredetű sugárterhelésen felül egy személy éves sugárterhelése (veszélyes munkahelyeken) 5 rem lehet, (átlagos munkahelyeken) 0,5 rem. (Ebbe kell, hogy tartozzon az atomerőművekből származó sugárterhelés is). Az egyes szervek összesített sugárterhelése 50 rem lehet, kivéve a szemlencsét (15 rem). (Az összesített sugárterhelés értelemszerűen az évek során akkumulálva értendő.)

A KÖRNYEZETBEN JELEN LÉVŐ SUGÁRZÓ ANYAGOK ÉS EREDETŰK

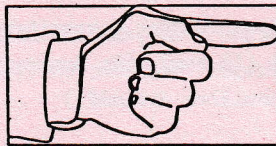
A társadalom földrajzi környezetében természetes eredetű, és egyes emberi tevékenységek által gerjesztett, mesterséges, vagy indukált radioaktív sugárzás hat. Ez utóbbin belül megkülönböztetünk orvosi diagnosztikával és kezeléssel kapcsolatos sugárzást, és egyéb források és helyzetek okozta sugárzást. Ezek nagyságrendi megoszlása az alábbi:

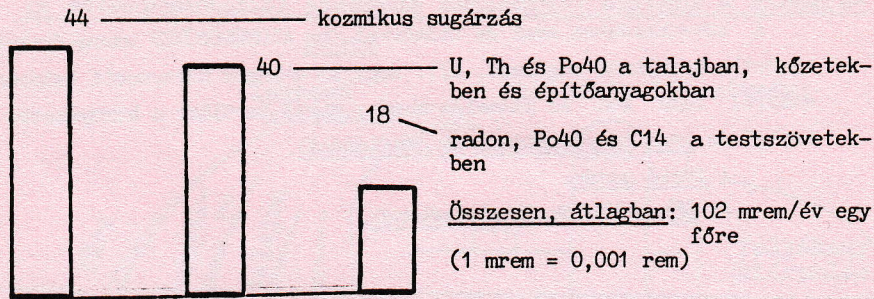


A természetes sugárzást külső és belső eredetűre oszthatjuk. A külső sugárzás forrásai: kozmikus sugárzás, napsugárzás egy része, kőzetek (az uránium, thórium és a foszfor radioaktív izotópjai) sugárzása

A belső sugárzás forrásai: a táplálékláncban mindenütt jelenlévő foszfor 40; a Th_{232} és az U_{238} bomlásterméke, a légkörben mindenütt jelenlévő radon 220 és 222 (ez belégzéssel jut a tüdőbe, innen a vérbe és a testszövetekbe). A légkörben és a táplálékláncban egyaránt megtalálható szénizotóp, a C_{14} .

A külső és belső forrású sugárforrások éves, átlagos sugárterhelése egy emberre a következő:





Az ember által indukált sugárzások felosztása az alábbi:

Orvosi röntgen sugárzás, átlagosan 70 mrem/év/fő (0,7 rem)

Atomfegyver-tesztetek okozta sugárzás (ennek maximuma 1962-ben volt, azóta csökken). Ez a következőképpen alakult:

	1963	1965	1969
külsőleg cézium137	5,9	1,8	0,9
belsőleg stroncium90	0,9	1,9	2,1
cézium137	4,3	2,3	0,4
szén14	0,3	0,7	0,6
összesen	13,0	6,7	4,0
mrem/év/fő			

Egyéb források: repülőgépeken utazva (10 km magasságban) átlagban egy fő + 5 mrem sugárzás terhelést kap; ez a népességre vetítve: 1 mrem/év/fő.

Színes TV nézésekor átlagosan 0,1 mrem/év/fő.

Radon, trícium, prométheum147 tartalmú, egyes festékanyagok és digitális műszerek kijelzői átlagosan kb. 1,5 mrem/év/fő sugárdózist jelentenek.

Foglalkozási ártalomként (röntgengépekkel pl.) egy fő átlagban + 210 mrem/év sugárzási többletet kap, vagyis 0,21 rem-et évente.

Végül az indukált sugárzások egyéb formáiba sorolandó az atomerőművek üzemelése folytán a környezetbe kerülő sugárzás, ill. sugárzó anyagok. Ez az összeg, ha nem tekintjük az esetlegesen bekövetkező erőművi katasztrófákat, nagyságrendekkel kisebb, mint az ember által keltett más, indukált sugárzások, mint pl. az orvosi diagnosztika és kezelés során, vagy az atomfegyverek tesztelése során a környezetbe kerülő sugárzás.

A következőkben csak ez utóbbival, az ATOMERŐMŰVEK üzemelésekor a környezetbe kerülhető sugárzás, ill. sugárzó anyagok környezeti hatásmechanizmusáról lesz szó. Az üzemelés során, mikor kerülhet a környezetbe sugárzó anyag? Az urán bányászatánál és dúsitásánál.

A fúzió során.

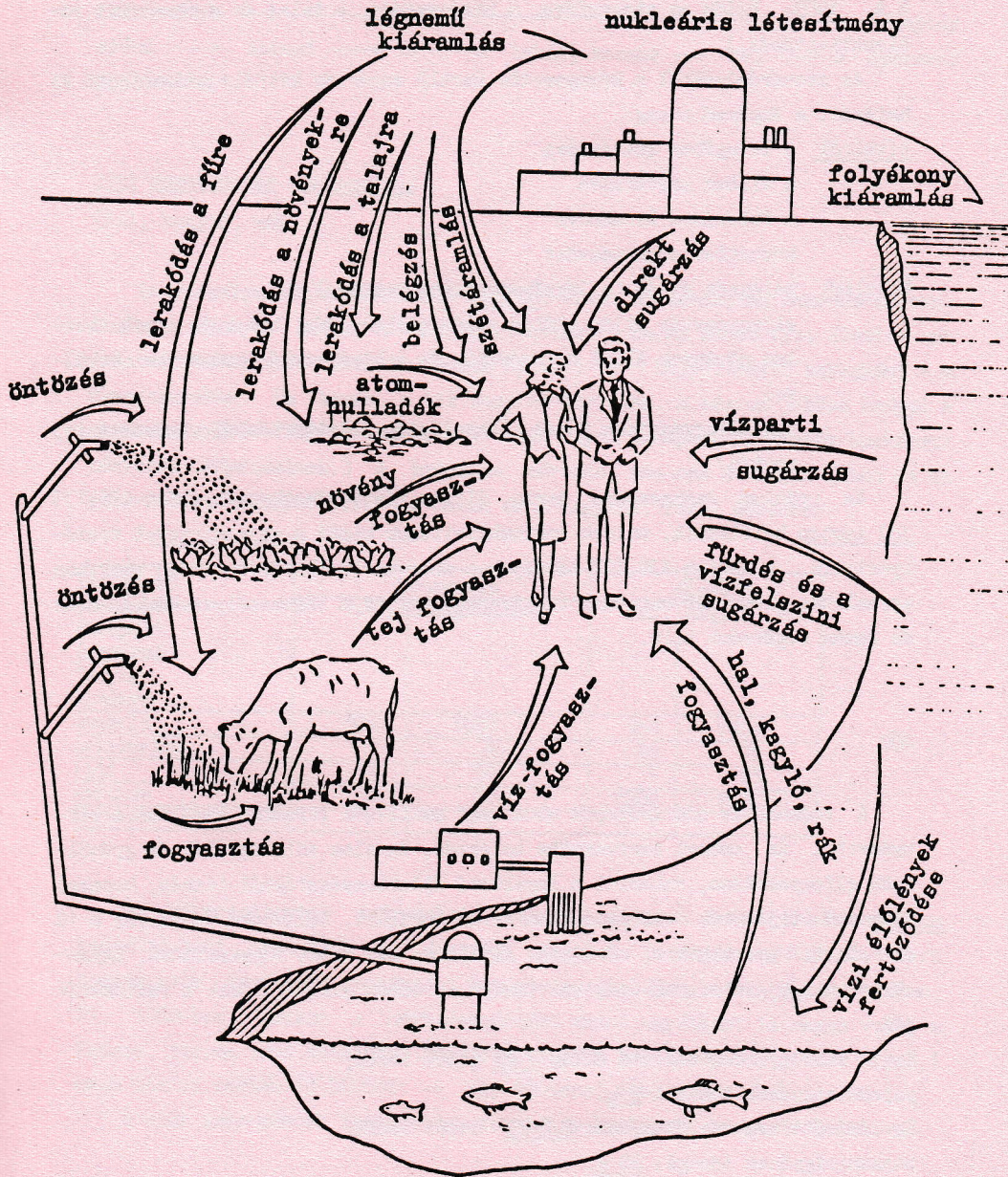
Az atomhulladék elhelyezésénél.

AZ ATOMENERGIA TERMELÉSSSEL KAPCSOLATOS RADIOAKTÍV ANYAGOK A KÖRNYEZETBEN ÉS HATÁSUK, FELHALMOZÓDÁSUK

Milyen anyag, hogyan, milyen úton kerül a bioszférába és a táplálkozási lánc végén álló ember mely szervét veszélyeztetheti leginkább?

radioizotóp	közvetítő közeg hal-mazállapota	út	szerv
jód	légnemű	belégzés lerakódás a talajra fű—tehén—tej leveles zöldségek	pajzsmirigy egész test pajzsmirigy pajzsmirigy
	folyékony	vízfogyasztás hal, rák, kagyló fogyasztás	pajzsmirigy pajzsmirigy
trícium	légnemű	levegőben elkeveredve belélegezve	bőr egész test
	folyékony	vízfogyasztás útján étkezés (mert a vízzel beépül az élelmiszerekbe)	egész test egész test egész test
cézium	légnemű	lerakódás talajra fű—tehén—tej fű—szarvasmarha—hús belégzés	egész test egész test egész test egész test
	folyékony	lerakódás talajra vízfogyasztás hal fogyasztás	egész test egész test egész test
fémek (vas, kobalt, cink, nikkel, mangán)	folyékony	víz- és halfogyasztás	emésztő szervek
direkt sugárzás		külsőleg	egész test

Az atomerőművekből származó radioaktív anyagok a bioszférában



(adapted from WASH-1209, U.S. Atomic Energy Commission, Washington, D.C. [1973]).

(A bioszféra egyes elemeinek radioaktivitását részletezve elemzi Szabó S.A. 1985. Külön az atmoszféra, a hidroszféra, a talaj és a növényzet radioaktivitását.)

Az atomerőművekből a környezetbe kerülő sugárzás kétféle módon fejti ki hatását; a sugárzó anyag:

kívülről a levegőben szétáradva

a vízben szétáradva

a felszínre lerakódva

közvetlen sugárzásként

belülről belégzés útján (a légzőrendszerbe kerülve)

elfogyasztás útján (főleg zöldségfélék, víz, halak és egyéb leveles növények által az emésztő- és a kiválasztó rendszerbe kerülve)

tej elfogyasztása útján (legeltető állattartásból származó tej esetén)

Az uránium maghasadása során, ill. a fúzió következményeként $^{131},^{133}$ jód izotóp keletkezik, melyek radioaktivitásuk miatt a pajzsmirigyet veszélyeztetik. A cézium $^{134},^{137}$ izotópok a szervezetbe kerülve minden szervben egyenletes eloszlást mutatnak (az ivarszervekben a legveszélyesebbek), béta és gamma sugárzást kelt.

JÓD

A radioaktív jód izotópok atom vagy metil-jód formában kerülnek a környezetbe. Az emberi szervezetbe belégzés, leveles zöldségfélék és gyümölcsök elfogyasztása, valamint a legeltető állattenyésztésből (tehén, kecske) származó tejtermék elfogyasztása révén kerülhet. Különösen veszélyes a 10 év alatti gyermekekre, mert azok általában sok tejet fogyasztanak, ugyanakkor a pajzsmirigyük még kis tömegű, s ebben akkumulálódik a radioaktív jód.

Egy 4 éves gyermek naponta átlag 7 dl tejet iszik, pajzsmirigyének tömege: 3 g.

Egy felnőtt naponta átlagosan 2,3 dl tejet iszik, pajzsmirigyének tömege: 20 g.

A radioaktív jód útja:
(detektálás céljára)

kibocsátás —————> receptor
erőmű —> levegő —> fű —> tehén, kecske —> tej —> gyermeki
pajzsmirigy

VÍZI SZERVEZETEK FOGYASZTÁSA

(hal, kagyló, rák)

Legveszélyesebb a radioaktív cézium. Mivel ez kémiailag hasonló a foszforhoz, könnyen beépül a vízi szervezetekbe. Ha az adott vízi élettér sok foszfort tartalmaz, kevesebb cézium épülhet be - helyettesítő anyagként - a szervezetekbe. Ha kevés a víz foszfor tartalma, a cézium jobban beépül a szervezetekbe. (Vagyis az eutróf vizek ilyen szempontból kisebb kockázati tényezőt képviselnek.) A beépülés mértéke más-más a tengervízben és az édesvízben, valamint eltérő a halak és a kagylók, rákok esetében.

Az ehetséges részekbe beépült sugárzó anyag indexe	tengervíz		édesvíz	
	hal,	kagyló, rák	hal,	kagyló, rák
kobalt	500	1000	500	1500
stroncium	1	6	40	70
jód	10	50	1	25
cézium	30	20	1000	1000
trícium	1	1	1	1

Az atomreaktorból származható sugárzó anyagok közül tehát a cézium veszélyezteteti leginkább az édesvízi halakat. De az ilyen úton az emberi szervezetbe kerülhető sugárzási mennyiség általában kicsi, jelentéktelen. Pl. 1962-ben, amikor a háttérsugárzási szint egyébként is magas volt, a Hudson folyón lévő atomerőmű közeléből fogott hal húzában (1 év/20 kg) 0,1 mrem dózist mértek (0,0000001 — egy tizedes rész).

A vízi szervezetek fogyasztása tehát kis kockázati tényezőt jelent.

DIREKT SUGÁRZÁS

Az atomerőműből a sugárzásvédelem (több m vastag grafit bélés) következtében csekély sugárzás juthat ki. Az atomhulladék szállításánál nitrogén 16 radioizotóp keletkezik ugyan, gamma sugárzással, de lévén 7 mp a felezési ideje, nem veszélyes a környezetben való akkumulálódás szempontjából.

Szabályos sugárvédelmi berendezések esetében az erőmű 1-3 km-es körzetén belül az erőműből származó sugárszint nem haladhatja meg az 1-2 mrem/év szintet (0,001-0,0002 rem/év). Kivéve természetesen a baleseteket. A nemzetközi határérték: 5 mrem/év külső sugárzás.

Egy átlagos erőmű évi külső-belső, összes sugárdózisa a népesség egyeire a távolság függvényében a következő:

távolság mérőföld	dózis mrem/év/fő
1	0,16
2	0,086
5	0,028
10	0,0075
30	0,0016
50 (80 km)	0,00066

Az erőműtől 80 km-re egy év alatt csak 0,6 milliommód rem/fő

Tehát az erőműből származó direkt sugárzás is alacsony kockázati szintet jelent.

URÁNBÁNYÁK ÉS DÚSÍTÓK

Az uránbányákból származó veszélyes anyagok a radon 222 gáz, valamint az urán 238 (és ennek bomlástermékei, a thórium 230 és a rádium 226) tartalmú por. Egy közepes méretű bányából négyszer annyi sugárzó anyag kerül a környezetbe, mint egy közepes méretű dúsítóból; de több a bánya, kevesebb a dúsító, a dúsítók ezért nagyobb kapacitásúak, több uránércet dolgoznak fel, tehát mégis nagyobb sugárveszélyt jelentenek, legalábbis az USA-ban.

Külső forrás: gáz alakban a levegőbe keveredik a radon
por alakban a levegőbe keveredik az urán (és bomlástermékei)
a levegőből kiülepedik az urán tartalmú por.

Belső forrás: radon gáz és uránium tartalmú por belégzése a tüdőben hat, uránium tartalmú porral szennyezett élelmiszerek elfogyasztása elsősorban a csontszövetben hat.

Egy 1800 t/nap kapacitású dúsító esetében:

távolság km	a sugárzás mrem/év/fő		
	egész test	csont	tüdő
0,8	25	250	90
1,6	5	50	18

A fenti összefüggést a szélviszonyok és a csapadék jelentős mértékben módosíthatja.

A radon felezési ideje 3,8 nap, így ez a széllel nem jut el nagyon nagy távolságokra.

A meddőhányók a bánya vagy a dúsító bezárása után is, több ezer éven át sugárforrások maradnak.

ATOMHULLADÉK

Külső forrásai: levegőbe keveredés (krypton)
kiülepedett részecskék sugárzása (cézium, jód)

Belső forrás: belélegzés (trícium)
élelmiszer, tejfogyasztás (jód, stroncium, cézium, ruthénium)

Egy 1500 t/év kapacitású, átlagos atomhulladék temetőből származó sugárzás

távolság (km)	egész test	mrem/év		
		gyermek pajzsmirigy	csont	emésztő szervek
0,8	4,4	90	12	56
2,4	2,9	65	7,5	36

Ezek becsült adatok; naponta 1 liter tej elfogyasztásával számolva.

AKKUMULÁLÓDÁS A KÖRNYEZETBEN

A veszélyes anyagok: az uránbányákból kikerülhető urán 238, ennek a bomlástermékei, a thórium 230 és a rádium 226, ez utóbbi bomlásterméke a radon 222.

Az atomerőművekből - jóval a megengedett határértékek alatt - a trícium, a krypton 85, a xenon, a jód 129, a szén 14 kerülhet ki. Ezek közül három, a 12,3 év felezési idejű trícium, a 10,8 év felezési idejű krypton és az 5730 év felezési idejű szén 14 akkumulálódhat a bioszférában; vagyis a hosszú felezési idejű radioizotópok. A trícium oxidálódik és víz vagy gőz formájában az atmoszférából előbb-utóbb az óceánokba kerül, ill. a vízzel beépül az élő szervezetekbe. A krypton - lévén nemesgáz - nem keveredik semmivel, az atmoszférában halmozódik fel. A C 14 szénhidrogén összetevők vagy szén-dioxid formájában beépül az élő szervezetekbe, ill. felhalmozódik a hidroszférában, kisebb mértékben az atmoszférában.

Az Environmental Radiation Ambient Monitoring System ERAMS

az alábbi radioizotópok koncentrációját méri rendszeresen a bioszférában:

- trícium (esővízben, felszíni vizekben, ivóvízben, tejben)
- krypton 85 (levegőben)
- szén (C)14 (tejben)
- stroncium 90 (vízben, tejben, csontszövetben)
- uránium izotópok (levegőben)
- plutónium izotópok (levegőben)

A radioaktív anyagok keltette sugárzás élettani hatásai lehetnek biológiaiak (rákos daganatok) és genetikaiak (mutációk). A hatások bekövetkezési valószínűsége igen nagy 50-150 rem/év dózis esetén. (Egyébként a kockázati szint véletlenszerű, vagyis kisebb dózisok esetében nincs küszöbérték.)

A következőkben a radioaktív hidrogénizotóp (trícium), a radioaktív krypton és a C 14 bioszférában való felhalmozódása kerül bemutatásra.

TRICIUM

Ezt a radioaktív hidrogénizotópot a kozmikus sugárzás is gerjeszti a légkörben. A trícium 10%-a marad az atmoszférában, ahol diffúzió során beépül a vízbe, csapadék formájában kihull a légkörből, s a vízzel növények, állatok és az emberek szervezetébe kerül. 90%-a az óceánokba kerül. 1954 óta, az atomfegyver-tesztek óta koncentrációja megnőtt a légkörben és a csapadéokban. Eredetileg 50 MCi (megacurie) mennyiség volt jelen; 1963-ban, az atomkísérletek betiltásakor érte el a maximumát: 1700 MCi; 2000-re 300 MCi várható mennyisége.

Egyetlen 1000 Mw/év
teljesítményű nukleáris
reaktor üzemelésekor keletkezik

→ 24 kCi trícium, ha uránium a fűtőanyag;

38 kCi trícium, ha plutónium a fűtőanyag.

2000-re az atomerőművekből származó trícium mennyiség 450 MCi lesz a bioszférában. Ez az össz. trícium 70%-a lesz.

A vízben, a növényekben, a tejben és az emberi szervezetben, a hidroszférában koncentrálódó trícium mennyiségével arányos mennyiségű trícium koncentrálódik.

Az éves trícium dózis: D (mrem/év) = 90 000 · T

ahol T = μ Ci trícium/ml víz.

Ez az É-i szélesség 30-50° között (ahol a nukleáris, atomerőművekből származó trícium koncentrálódik a hidroszférában) 0,015 mrem/év/fő dózist jelent. (1964-ben, összehasonlításképpen, az atomfegyver-tesztek miatt ez az érték 0,06 volt.) A kozmikus eredetű háttérsugárzás a trícium esetében évente 100 mrem, ebből a testen belüli sugárzás 18 mrem/év.

A trícium biológiai hatása

Hidrogénként, a testszövetbe a vízzel lép be és ott arányosan eloszlik. A trícium bomlása során béta részecskéket sugároz, bomlásterméke a hélium³, amely már nem radioaktív. A testben 10^{17} -tel több normális hidrogén atom található, mint trícium. A trícium egyenlő eséllyel bármilyen testszövetbe beépülhet, és - mivel a trícium valamivel lassabban lép kémiai reakciókba mint a normális hidrogén - felhalmozódhat. Ezért lehet veszélyes.

A trícium genetikai hatása

Amikor a trícium a dezoxiribonukleinsavba, a DNS-be épül be, a sugárzása mutációkat okozhat, amelyek kromoszóma rendellenességben nyilvánulnak meg. Ez vetélésekhez, ill. életképtelen utódok világrajöttéhez vezethet. Mindazonáltal, a trícium genetikai hatása a C 14 hatásához képest elenyésző, ill. esetleges. Míg a C 14 sugárzása a DNS-ben 1-2 mrem/év lehet, a tríciumé ennek csak egy töredéke.

KRYPTON 85

Egy 1000 Mw/év teljesítményű atomreaktor működése során \longrightarrow 500 kCi/év Krypton 85-öt hoz létre.

A krypton bomlása során béta részecskéket és egy kevés gamma sugárzást indukál. A krypton az atmoszférában gyűl össze, koncentrációja az atomerőtől való távolsággal csökken. Mivel nemes gáz, vízben nehezen oldódik, más elemekkel szemben közömbös, ezért nem épül be az élő szövetekbe. Csak a tüdőbe kerülhet, így a tüdőt éri belső sugárzás a krypton által. A bőrt pedig külső, a levegőben elkeveredett krypton által létrehozott sugárzás éri. A krypton által kibocsátott béta sugárzás azonban nem képes áthatolni a hámszöveten, erre csupán a krypton gamma sugárzása képes, ez viszont a bomlástermékének csak 0,4%-át teszi ki.

A krypton 85

sugárzás átlagosan	a bőrre	a tüdőre	az egész testre
1980-ban:	0,07	0,004	0,002 mrem/év
1990-ben:	0,20	0,012	0,006 mrem/év
2000-ben:	0,90	0,050	0,025 mrem/év

Az erőműveknél gumi membránnal, vagy freon oldattal lehet(ne) elnyeletni. Lehűtve, desztillálással is el lehet(ne) különíteni, és faszénben elnyelve tárolni.

SZÉN 14

Egy 1000 Mw/év teljesítményű reaktorban \longrightarrow 60 Ci/év mennyiségű C 14 keletkezik (a grafit égésekor). Ennek a mennyiségnek nagy része az atmoszférába, annak is alsóbb rétegeibe, a troposzférába kerül.

A C 14 szén-dioxid formájában kerül a bioszférába. Egy része a hidroszférában oldódik, más részét a zöld növényzet köti meg. A C 14 béta részecskéket bocsát ki bomlása során (a veszélyesebb gamma sugárzás nem keletkezik). A testszövetbe beépülve jelentős sugárforrást jelent. Az élő szervezetekbe a C 14 ugyanolyan arányban épül be, ahogyan az atmoszférában van jelen, tehát egyenletes eloszlást mutat. Mivel a C 14 természetes úton, a kozmikus sugárzás által gerjesztve is létre jön és jelen van az atmoszférában, az atomerőművek működésével kapcsolatos koncentrációjuk az egyensúlyi helyzet megbomlásával a C 14 szint lassú növekedéséhez vezetett - a krypton és a trícium koncentrációhoz hasonlóan.

Az atomerőművekből származó C 14 évi 1-2 mrem többlet sugárterhelést jelent átlagosan egy főre.

Biológiai és genetikai hatása viszonylag a C 14-nek a legerősebb - a szénatomok élő szervezetekben való szerepe és jelentősége miatt.

Az atomerőművekben keletkező C 14-et alacsony hőmérsékleten desztillálva CaCO_3 -ban lehet elnyeletni és tárolni.

A SZILÁRD ATOMHULLADÉK TÁROLÁSA

A mai atomenergia iparban ennek a feladatnak a megoldása jelenti a legnagyobb gondot és találkozik a lakosság legnagyobb ellenállásával. A tárolást úgy kell megoldani, hogy a hulladék sugárzása ne juthasson a környezetbe hosszú távon sem; vagyis gyakorlatilag végtelen időtartamra (több ezer év) kellene megoldani.

A szilárd halmazállapotú atomhulladékok	felezési ideje év	sugárzása
a fúzió melléktermékei		
stroncium 90	28	béta
technetium 99	2,1 millió	béta
cézium 137	30	béta és gamma
transzurán elemek		
plutónium 238	89	alfa
plutónium 239	24 000	alfa
plutónium 240	6 600	alfa és neutron

americium 241	460 év	alfa sugárzás
americium 243	8000	alfa
curium 244	18	alfa és neutron

A világűrben, ill. a tengerfenéken történő tárolás költséges, ill. túl kockázatos, ezért az évmilliók óta stabil geológiai képződmények a legmegfelelőbbek erre a célra.

- Kritériumok: 1. a talaj- és rétegvíz áramlásaitól való teljes elszigeteltség;
2. vízzáró rétegek jelenléte;
 3. szeizmikus nyugalom;
 4. töréses szerkezetek hiánya;
 5. víz és szél által okozott felszíni lepusztulás hiánya;
 6. felszíni vizektől, vezetékektől való távolság;
 7. későbbi, ásvány- és nyersanyagkutatásra való alkalmatlanság.

A fenti kritériumok figyelembevételével az alábbi geológiai képződmények felelnek meg atomhulladék tárolására; megfelelőségi sorrendben:

1. Sórétegek, sódómok, sóbányák (garanciát jelentenek arra, hogy évmillióig nem járta a talaj- vagy rétegvíz, törések, repedések a só szerkezete miatt nem keletkeznek, ill. nem maradnak meg benne, könnyű kivájni).
2. Kemény, kristályos kőzetek (pl. a gránitban vájt üregek, de meg kell, hogy feleljenek a fenti 7 kritériumnak).
3. Összesült agyagpala (ez is csak a fenti 7 kritériumnak történő megfelelése esetén; az USA tárolóinak nagy részét ilyen geológiai képződményben alakították ki).
4. Mész- és dolomit (csak olyan rétegek jöhetnek szóba, melyekben képződésük óta nincs nyoma töréseknek, mállásnak és erózióknak).
5. Összesült tufa (csak ha a fenti 7 kritériumnak megfelel).



JEGYZETEK

¹ Latinul - "a dauphin használatára", francia eredetű szólás. (Egy-egy műnek, témának a megszeliidített, laikusok számára egyszerűsített változata.)

² A hasonlat M. Clark "Towards criteria for planning" c. előadásában található. Elhangzott: az IBG által szervezett, European Year of Environment c. konferencián, a hollandiai Groningen egyetemén 1987. szeptember 23-án.

IRODALOM

- CLARK, M. 1987. Towards criteria for planning - Lancashire Polytechnic 14 p
GLASSTONE, S.—JORDAN, W.H. 1981. Nuclear Power and its environmental effects - American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois 395 p.
MAKRA ZS. 1983. Sugárözönben élünk - Gondolat, Bp. 125 p.
RÓSA G. 1986. Sugárvédelmi alapfogalmak - Magyar Villamosművek Tröszt Közleményei 23. 6. pp. 10—15.
SZABÓ S.A. 1985. Radioökológia és környezetvédelem - Mezőgazdasági Kiadó, Bp. 237 p.

SUMMARY

This study aims to contribute to the planning of Hungarian geographical researches with environmental protection goals, as far as the potential environmental danger of nuclear power industry is concerned. The description of the possible environmental effects is taken from Glasstone, S. and Jordan, W. (1981). It includes the introduction of the physiological effects of radiation, its sources and the accumulation of radioactive materials, emitted by nuclear industry, in the biosphere.

