

RADIOAKTIVITÁS A KÖRNYEZETBEN

A környezetben előforduló radioaktivitás felosztása:

1. Természetes eredetű radioaktivitás
2. Mesterséges, ember által generált radioaktivitás

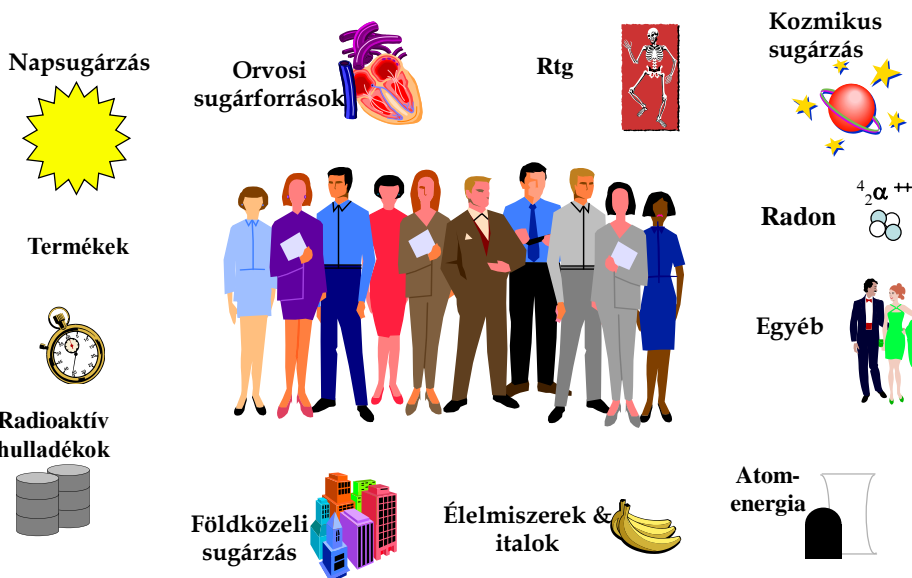
TÉTEL: A TERMÉSZETES RADIOAKTIVITÁS A KÖRNYEZET RÉSZE

Radioaktivitás található a levegőben, a vizekben, a talajokban, az emberekben, a szikláknban, az élelmiszerekben, a termékekben.

I.A természetes eredetű radioaktivitás a környezetben

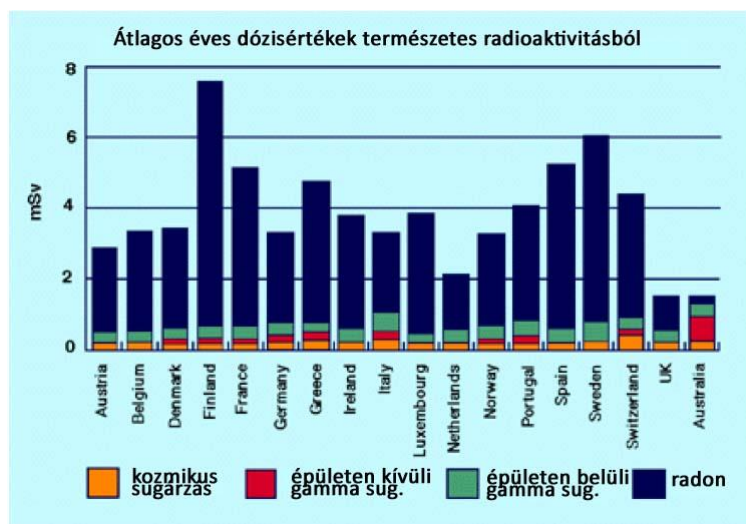
- Kozmikus sugárzás és kozmogén radionuklidok (fent a magas légkörben keletkezik folyamatosan)
- Primordiális radionuklidok (ősi, a föld keletkezésekor jöttek létre)

RADIOAKTIVITÁS FORRÁSAI

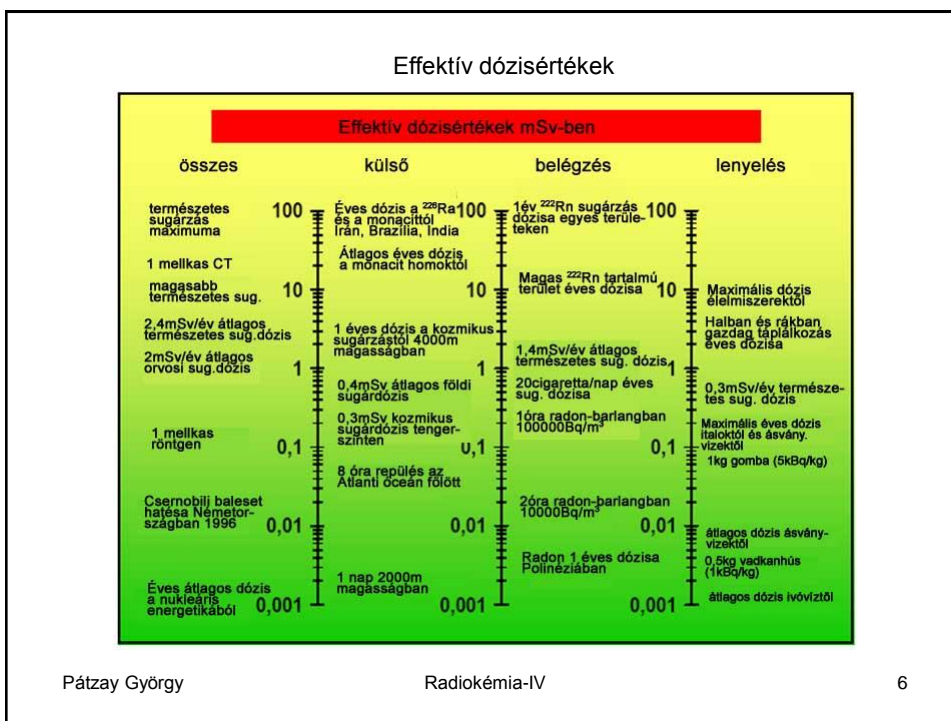
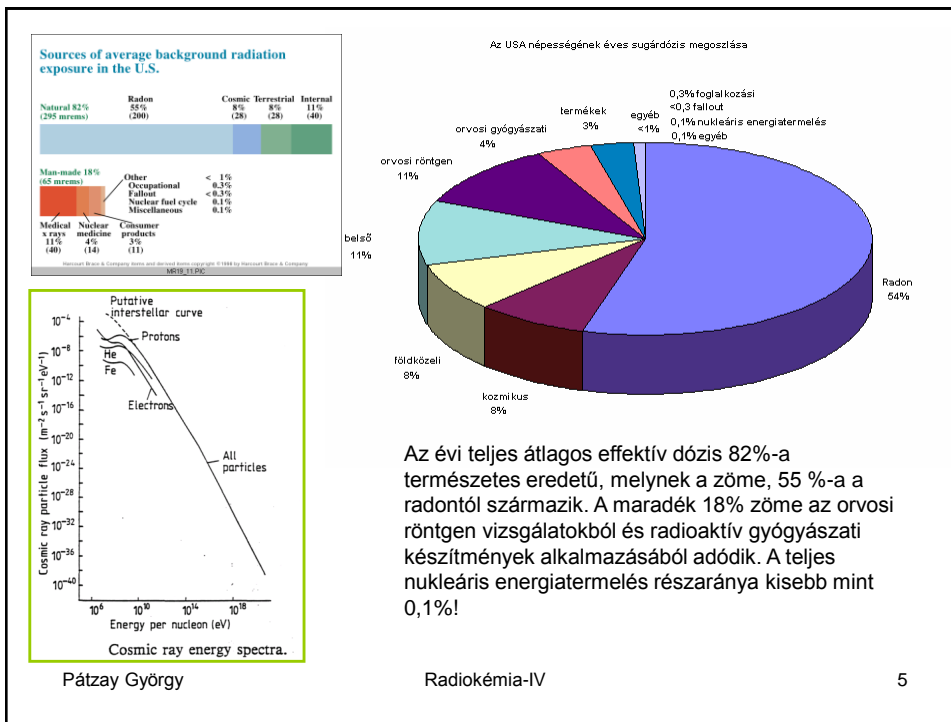


2002-ben az USA lakosságának átlagos effektív dózisa

Forrás	Átlagos éves effektív dózis	
	(μSv)	(mrem)
Belélegzett radon és bomlástermékei	2000	200
Más szervezetben előforduló radionuklid	390	39
Földközeli külső sugárzás	280	28
Kozmikus sugárzás	270	27
Kozmogén radionuklidok	10	1
Összes természetes eredetű sugárzás	3000	300
Összes mesterséges eredetű sugárzás	600	60
Összesen	3600	360



Természetes eredetű átlagos éves dózisek



Calculated cosmic ray doses to a person flying in subsonic and supersonic aircraft under normal solar conditions

Route	Subsonic flight at 36,000 ft (11 km)			Supersonic flight at 62,000 (19 km)		
	Flight duration (hrs)	Dose per round trip		Flight duration (hrs)	Dose per round trip	
		(mrad)	(μ Gy)		(mrad)	(μ Gy)
Los Angeles-Paris	11.1	4.8	48	3.8	3.7	37
Chicago-Paris	8.3	3.6	36	2.8	2.6	26
New York-Paris	7.4	3.1	31	2.6	2.4	24
New York-London	7.0	2.9	29	2.4	2.2	22
Los Angeles-New York	5.2	1.9	19	1.9	1.3	13
Sydney-Acapulco	17.4	4.4	44	6.2	2.1	21

Pátzay György

Radiokémia-IV

7

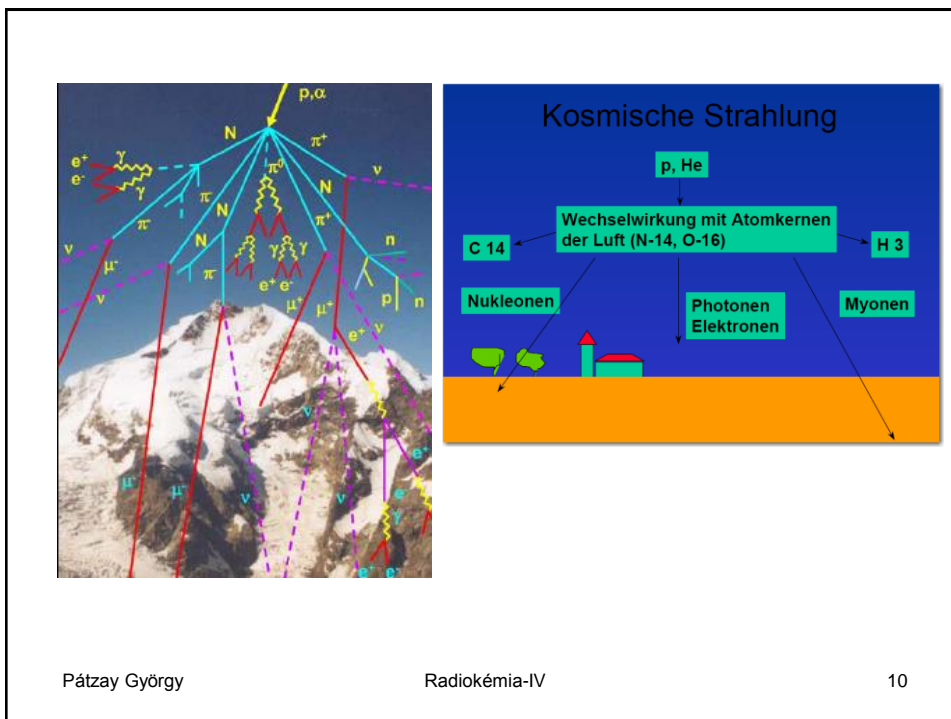
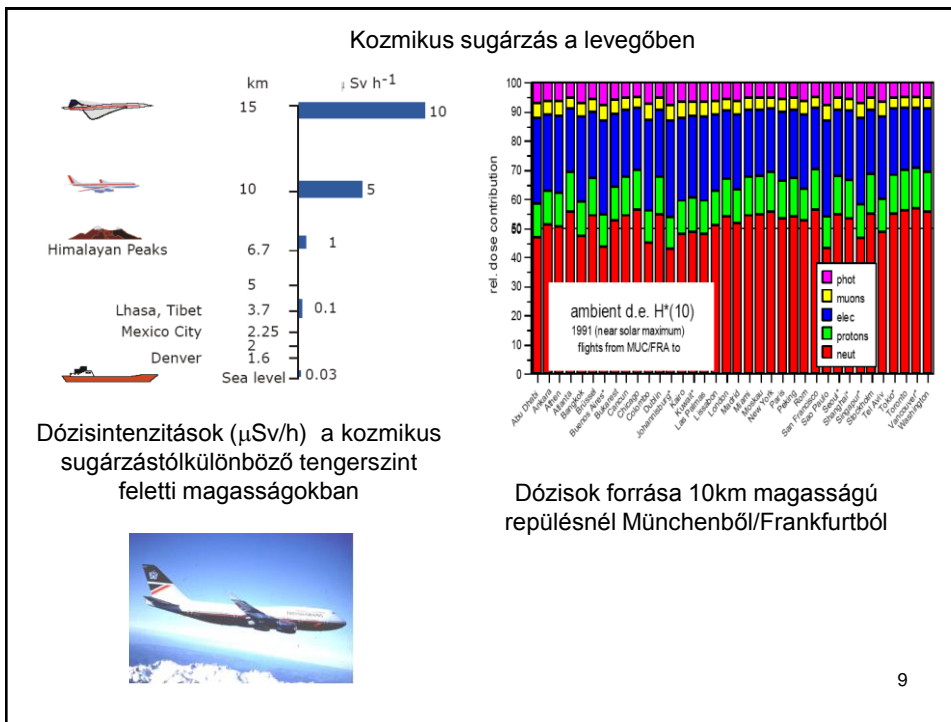
•Kozmikus sugárzás

Főbb összetétele:

- **Primer sugárzás**
- **90% proton**
- 9% α (He^{2+})
- 1% elektron és egyéb ion
- **Szekunder sugárzás**
- gamma és röntgen sugárzás
- neutronok
- **Naperedetű kozmikus sugárzás**
- **Naptvékenység**
- 11éves ciklusok
- flare, korona, ...
- **Galaktikus kozmikus sugárzás**

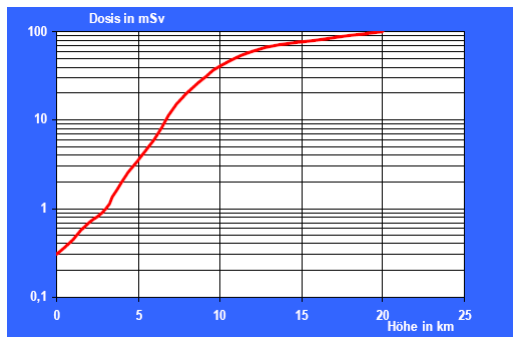
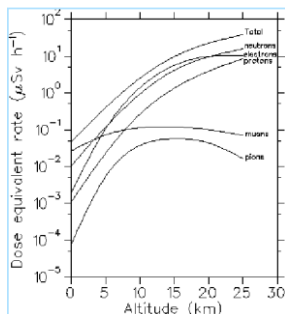
A kozmikus sugarak nagyenergiájú **töltött részecskék**, amelyek az űrből származnak, és közel fénysebességgel haladva minden irányból bombázzák a Földet. Általában a Tejútrendszerből származó részecskékre gondolunk (**galaktikus kozmikus sugárzás**), bár az általános kozmikus sugárzás megjelölés magában foglalja a Napból származó és a bolygóközi térben nagy sebességre felgyorsított töltött részecskéket is. A kozmikus sugárzás kb. 89%-át **protonok** alkotják 10% **hélium-atommag (alfa-részecske)** és kb. 1% **nehezebb elem** mellett. A leggyakoribb nehezebb elemek (**C,N,O**), a ritka, **könnyű elemek** (Li, Be, B, ^{22}Ne) jóval nagyobb gyakorisággal találhatók meg benne, ami arra utal, hogy a kozmikus sugárzás részecskéihez más jellegű nukleoszintézis tartozik. Az **elektronok** csak kb. 1%-át alkotják a kozmikus sugárzásnak

8



Kozmikus sugárzás

Az űrhajósok komoly kozmikus sugárdózist szenvednek el, a Holdra szálló Apolló űrhajó utasai kb. 300 mrem dózist kaptak. A repülőgépek utasai 1500 m-ként megduplázódott dózist kaptak, 10 km magasságban a tengerszinti 100-szorosa ~320 $\mu\text{rem}/\text{óra}$ a dózisintenzitás.



Példa: Mekkora egy transzatlanti repülőút során az ekvivalens dózis? A dózisintenzitás $13,2 \cdot 10^{-4}$ rem/h, repülési idő 10 óra.

Így egy odaút 3,2 rem ekvivalens dózist jelent. Évi 5 transzatlanti repülőút esetén az éves 27 rem földközeli dózishoz 31,5 rem dózis adódik hozzá és az éves dózis közel megduplázódik!



Páztay György

Radiokémia-IV



11

Table 11. Average annual exposures to cosmic rays (UNSCEAR 1993)

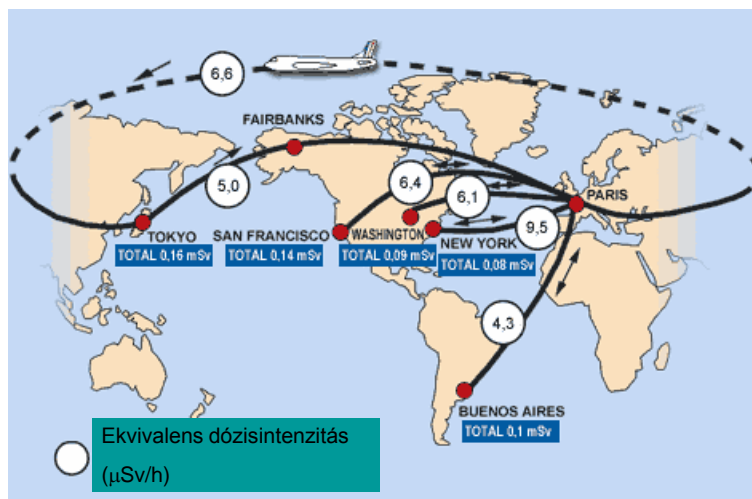
Location	Population (millions)	Altitude (m)	Annual effective dose (μSv)		
			Ionizing	Neutron	Total
High-altitude cities					
La Paz, Bolivia	1.0	3,900	1,120	900	2,020
Lhasa, China	0.3	3,600	970	740	1,710
Quito, Ecuador	11.0	2,840	690	440	1,130
Mexico City, Mexico	17.3	2,240	530	290	820
Nairobi, Kenya	1.2	1,600	410	170	580
Denver, United States	1.6	1,610	400	170	570
Tehran, Iran	7.5	1,180	330	110	440
Sea level			240	30	270
World average			300	80	380

Páztay György

Radiokémia-IV

12

Repülőgép útvonalak ekvivalens dózis értékei (Párizsi indulással)



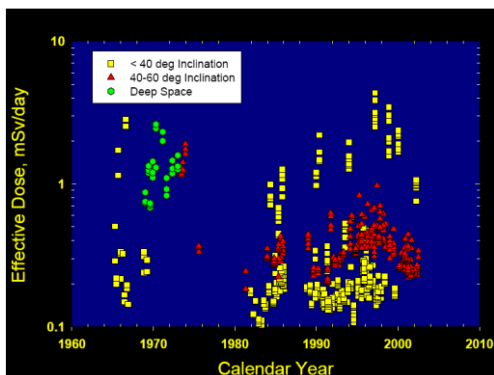
900 repült óra/év ~ 1 mSv ekvivalens dózis!

Pátzay György

Radiokémia-IV

13

Kozmikus sugárzás a Föld körül az űrben



Effektív dózisok (mSv/nap) Földkörüli és Holdutazások során

14

Űrutazások dózis szintjei

Program	Átlagos magasság km	Személyzet	Dózisintenzitás mSv/nap	Összes dózis mSv
Gemini	454 (1370)	20	0.87 (4.7)	0.53 (4.7)
Apollo		33	1.3 (3.9)	12.2 (33)
Skylab	381 (435)	9	1.2 (2.1)	72 (170)
Mir	341(355)	4	0.72 (1.0)	100 (140)
ISS	360 (450)	280	0.5 (1.0)	80 (180)
Mars		4 (8)	1.5 (2.0)	400 (1200)

Mért vagy becsült dózis értékek az űrutazás során (maximum értékek zárójelben). Ref.: M. Durante "Radiation protection in space", La Rivista del Nuovo Cimento, 25-4-8 (2002).

15

Kozmikus sugárzás által kiváltott dózis intenzitások egy 12 szintes házban New Yorkban (Miller, Beck 1984)

Szint	Dózis intenzitás (nGy/óra)	Transzmissziós faktor
tető	31,4	1
12	20,2	0,64
10	20,2	0,64
8	18,1	0,58
5	17,4	0,55
4	13,7	0,44
2	11,5	0,37
alagsor	8,6	0,27

Pátzay György

Radiokémia-IV

16

•Kozmogén radionuklidok

A világűrben kozmikus részecskezépor éri a földet (nagy sebességű nehéz részecskék, protonok, fotonok, müonok). A légkör felső része kölcsönhatásba lép a kozmikus sugárzással és radioaktív nuklidok jönnek létre. Ez a jelenség FOLYAMATOS!

Mennyiségük a környezetben közel állandó (folytonosan keletkeznek és elbomlanak).

Kozmogén könnyű radionuklidok az esővízben

Nuklid	Bomlási mód	Keletkezési sebesség az atmoszférában Atom/(m ² .s)	Nuklid	Bomlási mód	Keletkezési sebesség az atmoszférában Atom/(m ² .s)
³ H	β, 12,35y	2500	³² P	β, 13,3d	-
⁷ Be	EC, 53,4d	81	³³ P	β, 25,3d	-
¹⁰ Be	β, 1,6.10 ⁶ y	360	³⁵ S	β, 87,5 d	14
¹⁴ C	β, 5746y	22000	³⁸ S	β, 2,82h	-
²² Na	β ⁺ , 2,6y	0,6	^{34m} Cl	γ, β ⁺ , 32min	-
²⁴ Na	β, 15h	-	³⁶ Cl	β, 3.10 ⁵ y	11
²⁸ Mg	β, 21,1	-	³⁸ Cl	β, 37,2min	-
²⁶ Al	β ⁺ , 7,16.10 ⁶ y	1,7	³⁹ Cl	β, 56min	16
³¹ Si	β, 2,62h	-	³⁹ Ar	β, 269y	-
³² Si	β, 280y	-	-	-	-

Páztay György

Radiokémia-IV

17

Kozmikus sugárzás hatására keletkezett radionuklidok

Radionuklid	Felezési idő	Elsődleges keletkezés	Keletkezési sebesség (atom/(cm ² .s))	Előfordulása
¹⁰ Be	2,7.10 ⁶ y	Spalláció	4,5.10 ⁻²	Mélytengeri üledék
³⁶ Cl	3,1.10 ⁵ y	³⁵ Cl(n,γ) ³⁶ Cl	1,1.10 ⁻³	Sziklák, eső
¹⁴ C	5568 y	¹⁴ N(n,p) ¹⁴ C	1,8	CO ₂ , szerves anyagok~(0,22 Bq/g)
³² Si	500 y	spalláció	1,5.10 ⁻⁴	Tengeri szivacsok,tengervíz
³ H	12,3 y	Spalláció ¹⁴ N(n, ³ H) ¹² C	0,25	Víz, levegő ~1,2 mBq/kg
²² Na	2,6 y	Spalláció	5,6.10 ⁻⁵	Eső, levegő, szerves anyagok
³⁵ S	88 d	Spalláció	1,4.10 ⁻³	Eső, levegő, szerves anyagok
⁷ Be	53 d	Spalláció	8,1.10 ⁻²	Eső, levegő
³³ P	25 d	Spalláció	6,8.10 ⁻⁴	Eső, levegő, szerves anyagok
³² P	14,3 d	Spalláció	8,1.10 ⁻⁴	Eső, levegő, szerves anyagok
²⁷ Na	15,1 h	Spalláció	-	Eső
³⁸ S	2,9 h	Spalláció	-	Eső
³⁹ Cl	55 min	⁴⁰ Au(μ, n) ³⁹ Cl	1,6.10 ⁻³	Eső
³⁸ Cl	37 min	spalláció	-	eső

Páztay György

Radiokémia-IV

18

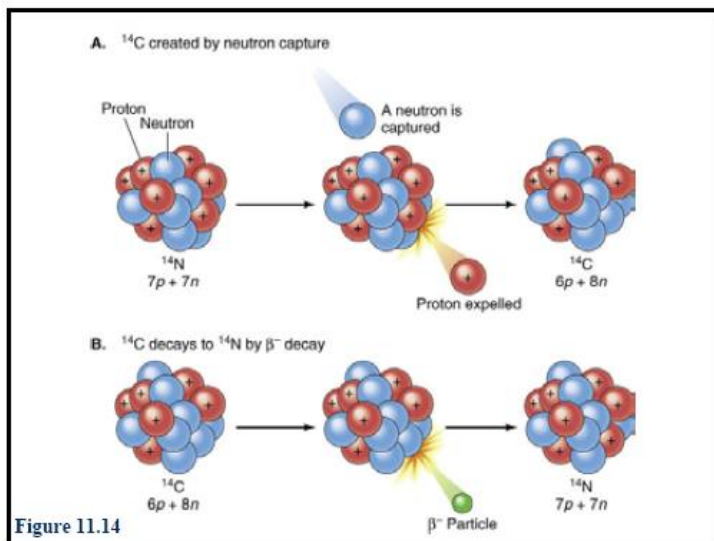
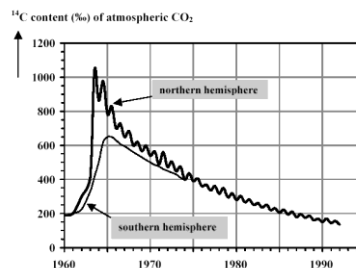
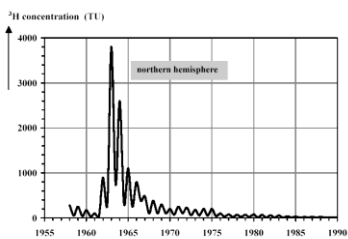
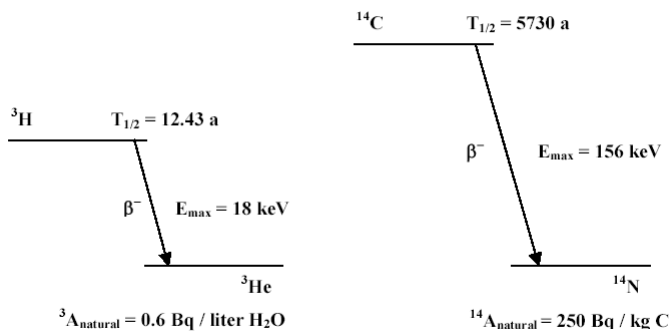
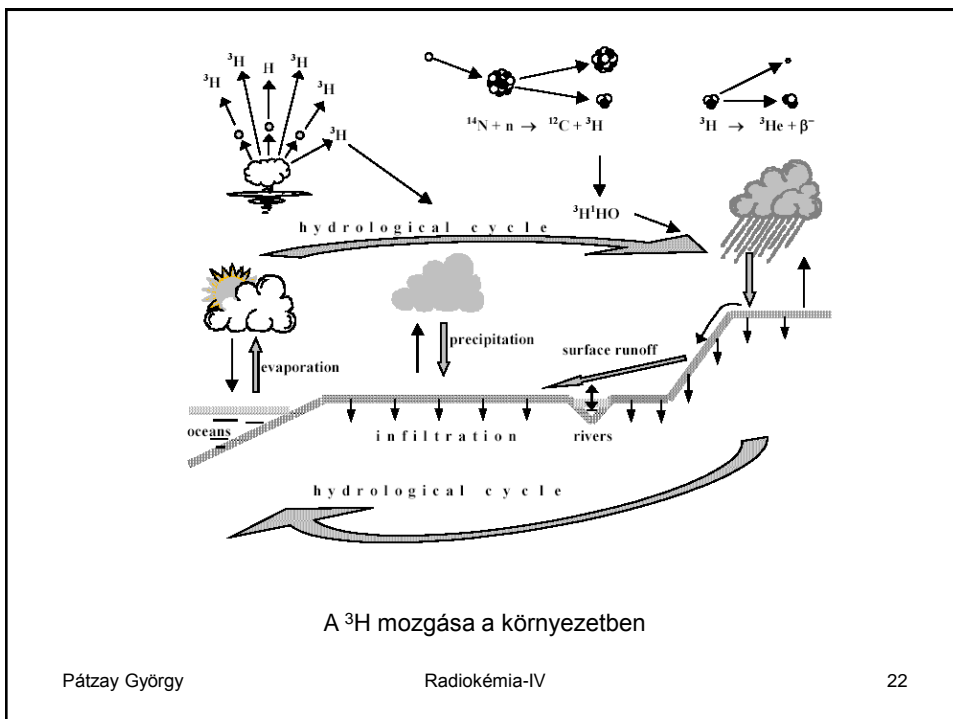
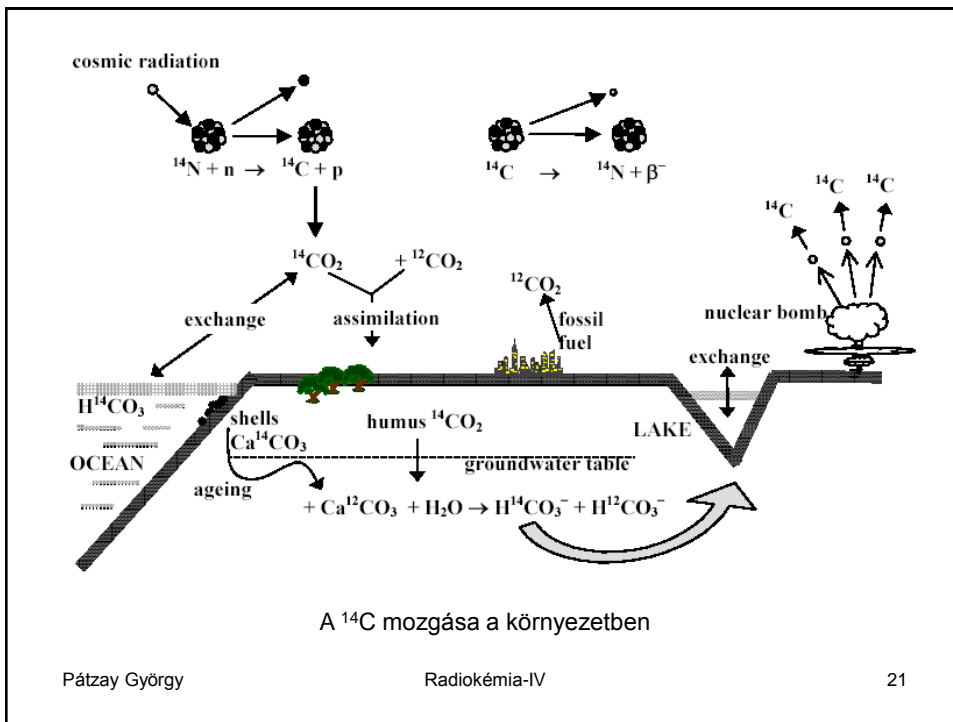


Figure 11.14





•Primordiális (ősi) nuklidok

•A föld keletkezésekor jöttek létre. Az eltelt néhány milliárd év miatt már csak a föld életkorával összevethető felezési idejű primordiális nuklidok vannak jelen. Ezért a környezeti radioaktivitásnak ezen része (ha igen lassan is) CSÖKKEN.

1. Bomlási sorok (U, Th)
2. Szóló radionuklidok (^{40}K stb)
3. Stabil magok

^{209}Bi , ^{113}Cd , ^{142}Ce , ^{152}Gd , ^{174}Hf ,
 ^{115}In , ^{138}La , ^{144}Nd , ^{176}Lu , ^{190}Pt , ^{192}Pt ,
 ^{187}Re , ^{87}Rb , ^{147}Sm , ^{123}Te , ^{50}V , ^{40}K

Fontosabb primordiális egyszerű bomlású radionuklidok

Nuklid	Előfordulás az izotópok között (%)	Bomlási mód	Felezési idő
^{40}K	0,0119	β^- ; EC	$1,3 \cdot 10^9$ y
^{50}V	0,24	EC	$6 \cdot 10^{15}$ y
^{87}Rb	27,85	β^-	$4,7 \cdot 10^{10}$ y
^{113}Cd	12,3	β^-	$9 \cdot 10^{10}$ y
^{115}In	95,72	β^-	$6 \cdot 10^{14}$ y
^{123}Te	0,87	EC	$1,24 \cdot 10^{13}$ y
^{138}La	0,089	β^- ; EC	$1,3 \cdot 10^{11}$ y
^{144}Nd	23,85	α	$2,1 \cdot 10^{15}$ y
^{147}Sm	15,0	α	$1,1 \cdot 10^{11}$ y
^{148}Sm	11,2	α	$7 \cdot 10^{15}$ y
^{152}Gd	0,20	α	$1,1 \cdot 10^{14}$ y
^{156}Dy	0,06	α	$2 \cdot 10^{14}$ y
^{176}Lu	2,6	β^-	$3 \cdot 10^{10}$ y
^{174}Hf	0,18	α	$2 \cdot 10^{15}$ y
^{187}Re	62,6	β^-	$5 \cdot 10^{10}$ y
^{186}Os	1,6	α	$2 \cdot 10^{15}$ y
^{190}Pt	0,0127	α	$6 \cdot 10^{11}$ y

Pátzay György

Radiokémia-IV

23

I HOSSZÚ FELEZÉSI IDEJŰ TERMÉSZETES RADIONUKLIDOK

$T_{1/2} > 10^6$ év vagy stabil?!
 Keletkezés csillagok képződésekor
 Föld kora $\sim 4,5 \times 10^9$ év

koncentráció

éves effektív dózis

^{40}K 2 g K/kg testsúly
 55 Bq/kg testsúly

180 $\mu\text{Sv/y}$

^{87}Rb 8.5 Bq/kg testsúly

6 $\mu\text{Sv/y}$

eltérések kor és nem szerint

Pátzay György

Radiokémia-IV

24

Bomlási sorok

A	Bomlási sor	Anyaelem	$T_{1/2}$ [a]	Végtermék
4n	Tórium	^{232}Th	$1,40 \cdot 10^{10}$	^{208}Pb
4n+1	Neptúnium	^{237}Np	$2,14 \cdot 10^6$	^{209}Bi
4n+2	Urán-rádium	^{238}U	$4,47 \cdot 10^9$	^{206}Pb
4n+3	Aktínium	^{235}U	$7,04 \cdot 10^8$	^{207}Pb

Bomlási sor	Kezdő	$T_{1/2}$	Vég	Gáz ($T_{1/2}$)
Tórium	^{232}Th	1.4×10^{10} év	^{208}Pb	^{220}Rn (55.6 sec) toron
Uránium	^{238}U	4.5×10^9 év	^{206}Pb	^{222}Rn (3.8 days) radon
Aktínium	^{235}U	7.1×10^8 év	^{207}Pb	^{219}Rn (4.0 sec) aktinon

25
25

Négy bomlási sor ismert:

- Uran sor: $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb}$
- Actinium sor : $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{207}_{82}\text{Pb}$
- Thorium sor : $^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{208}_{82}\text{Pb}$
- Neptunium sor : $^{241}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{209}_{82}\text{Pb}$

BOMLÁSI SOROK FONTOSABB PRIMORDIÁLIS TAGJAI

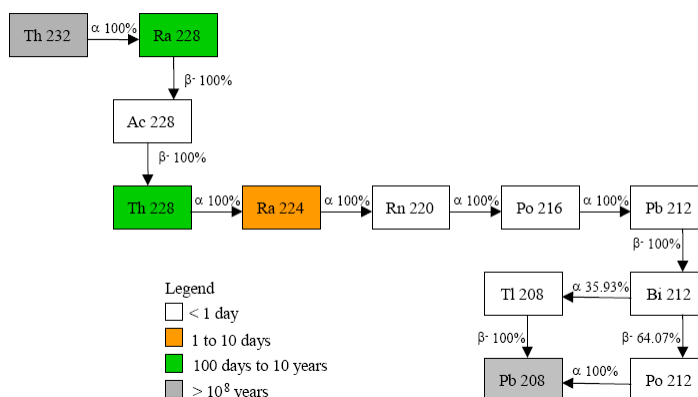
Nuklid	Jele	Felezési ideje	természetes aktivitás
Urán-235	^{235}U	7.04×10^8 yr	0.72% az összes természetes uránon belül
Urán-238	^{238}U	4.47×10^9 yr	99.2745% az összes természetes uránon belül; 0.5 - 4.7 ppm az összes urán tartalom a főbb szikla anyagokban
Tórium-232	^{232}Th	1.41×10^{10} yr	1.6- 20 ppm a főbb szikla anyagokban (átlagosan 10.7 ppm)
Rádium-226	^{226}Ra	1.60×10^3 yr	0.42 pCi/g (16 Bq/kg) mészkőben 1.3 pCi/g (48 Bq/kg) vulkáni kőzetben
Radon-222	^{222}Rn	3.82 days	Nemesgáz.; éves átlagos levegő koncentráció az USA-ban 0.016 pCi/L (0.6 Bq/m ³) és 0.75 pCi/L (28 Bq/m ³) között
*Kálium-40	^{40}K	1.28×10^9 yr	talajban - 1-30 pCi/g (0.037-1.1 Bq/g)

* NEM BOMLÁSI SOR TAGJA

Pátzay György

Radiokémia-IV

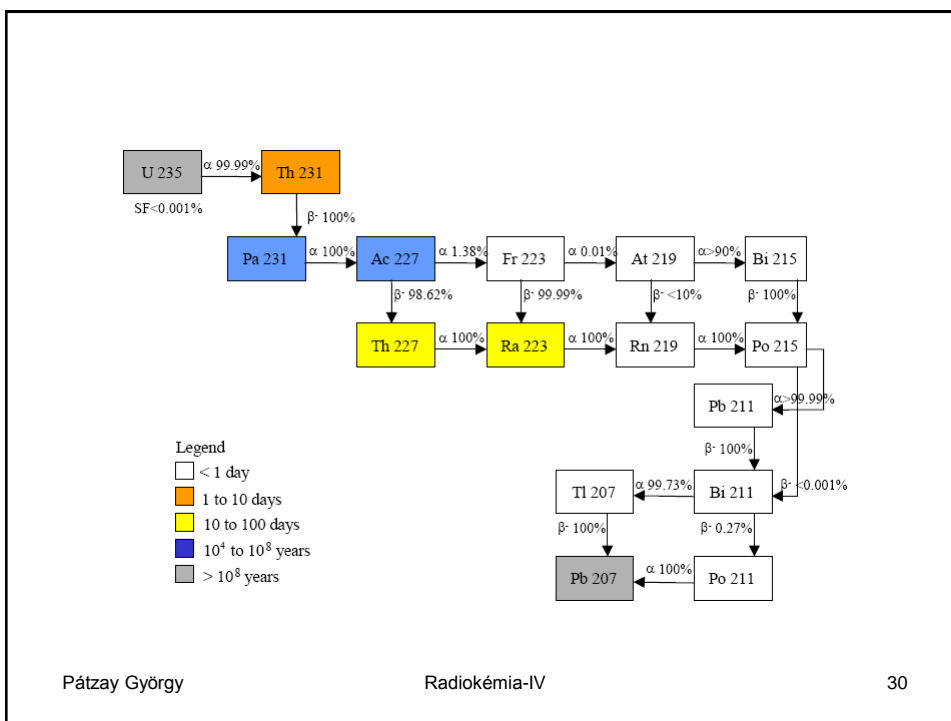
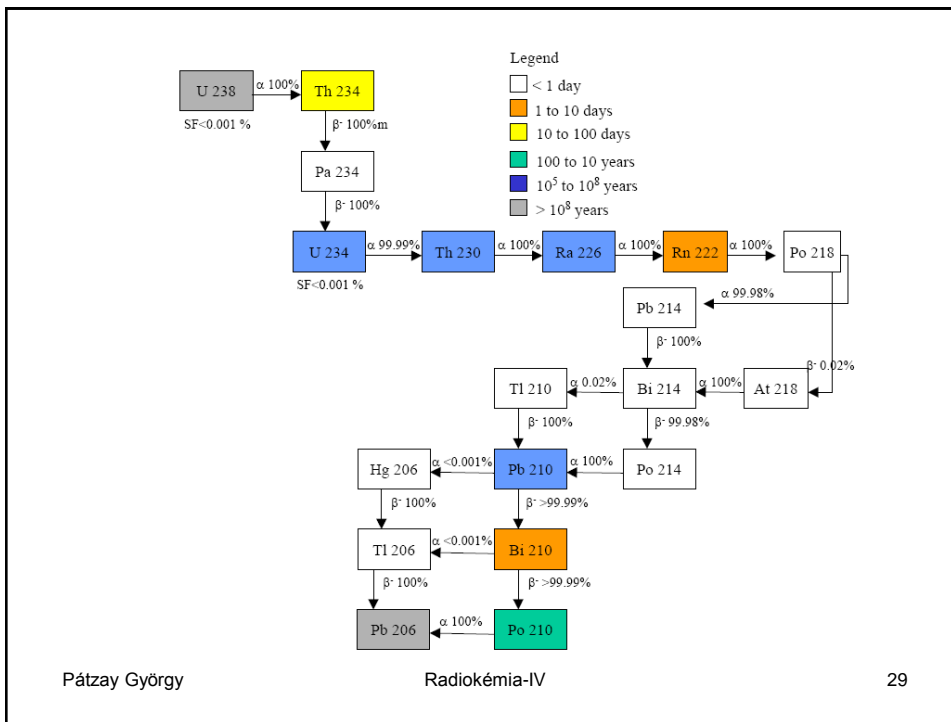
27



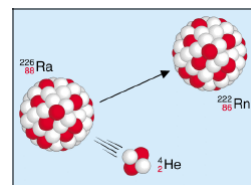
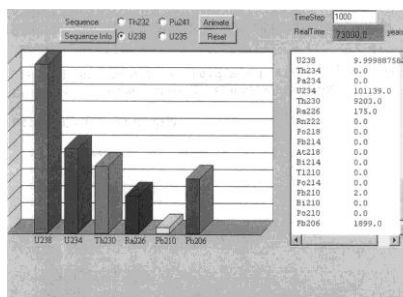
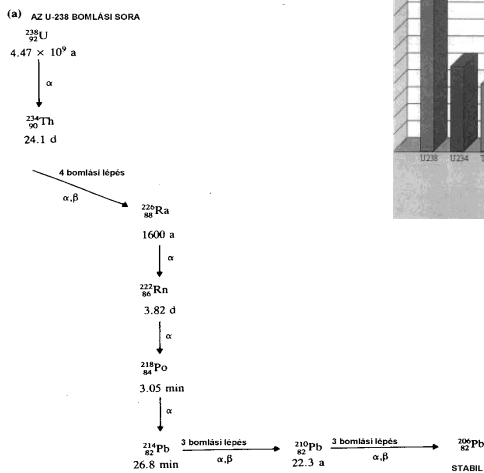
Pátzay György

Radiokémia-IV

28



Az U-238 bomlási sora (4n+2)

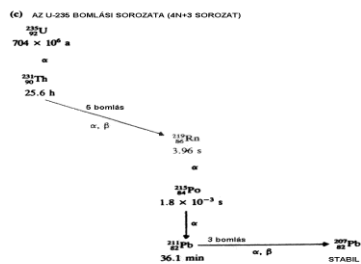
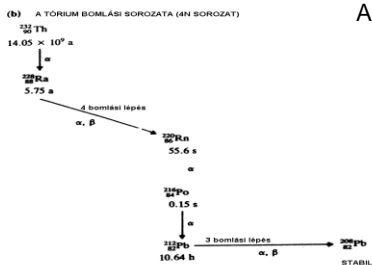


Pátzay György

Radiokémia-IV

31

A Th-232 bomlási sora (4n)



A TÓRIUM-232 ÉS AZ U-235 BOMLÁSI SORAI

Az U-235 bomlási sora (4n+3)

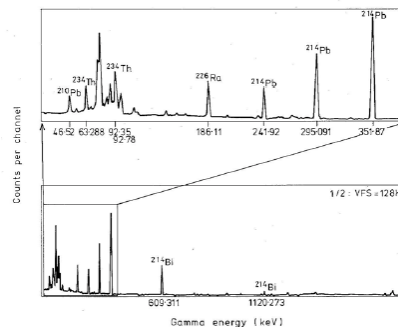
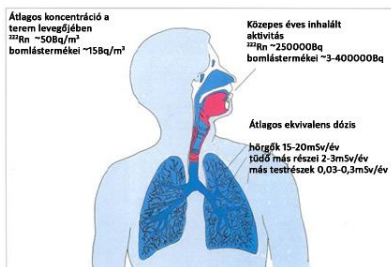
Pátzay György

Radiokémia-IV

32

^{222}Rn és bomlástermékeinek tipikus koncentrációja a levegőben

Nuklid	Koncentráció (Bq/m ³)	E _α (MeV)
^{222}Rn	120	5,5
^{218}Po	93	13,7
^{214}Po	90	7,7
^{214}Bi	76	7,7
^{214}Pb	907,7	



^{222}Rn és bomlástermékeinek gamma-spektruma

^{222}Rn és bomlástermékeinek éves dózismegoszlása a légzőszervekben

Pátzay György

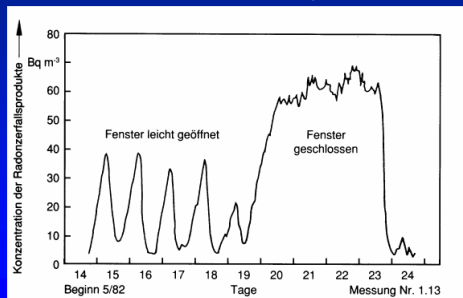
Radiokémia-IV

35

Radon

- Átlagos környezeti koncentráció: 5-15 Bq/m³
- Átlagos beltéri koncentráció: 39 Bq/m³
- Beavatkozási szint: 200-400 Bq/m³ (Ausztrália 200)
- A tüdőrák kockázatnövekedése 16% per 100 Bq/m³ radon koncentráció növekedés
- A függvény lineáris, küszöbérték nélkül
- A dohányzás szinergikusan növeli a kockázatot
- Az enyhe dohányzás is növeli a kockázatot a kis dózisok tartományában

Schwankungen der Konzentration der Radonzerfallsprodukte in einer Wohnung



Eigenschaften von Rn-222 und seinen kurzlebigen Folgeprodukten

Nuklid	Halbwertszeit	Zerfallskonstante λ^{-1}	Anzahl der Atome pro 1 Bq
Rn-222 (α)	3,82 d	0,00755	476 000
Po-218 (α)	3,05 min	13,6	260
Pb-214 (β)	26,8 min	1,55	2 300
Bi-214 (β)	19,7 min	2,11	1 700
Po-214 (α)	164 μ s	1,52E7	2,4E-4

Pátzay György

Radiokémia-IV

37

Radon

1000 tüdőrák esetből a radon által okozott kockázat 75évig

	Nemdohányzó	Dohányzó
0 Bq/m ³	4	100
100 Bq/m ³	5	120
400 Bq/m ³	7	160

WHO Factsheet 291 June 2005

A radon elszívó a ház alatti talajból elszívja a radont és a levegőbe engedi

Elszívó ventilátor és szellőző téglák

radon is discharged well away from doors and windows - preferably above eaves level

A fan and airbrick ventilation system

tetőcserép helyén
könyök
rejtett csővezeték
tömítés
feltöltött törmelék vádór méretű ülepítőakna
altalaj
Belső ülepítőakna (zsomp)

törmelék feltöltés
altalaj
granulált töltet zsomp betonból, vagy műanyagból
Előregyártott ülepítőakna (zsomp)

An air brick installed in a wall

Pátzay György Radiokémia-IV 39

Radon

U-238
4.5 milliárd év

↓

Ra-226
1600 év

↓

Rn-222
3,825 nap

Po-218
3.1 min. (RaA)

Po-214
163.7 us (RaC')

Bi-214
19.9 min (RaC)

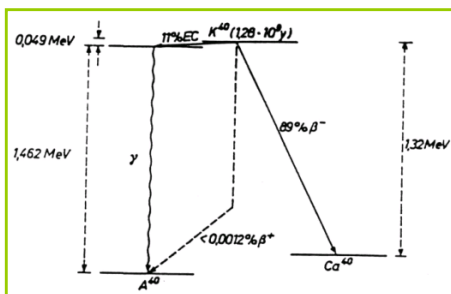
Pb-214
27 min. (RaB)

Pb-210
22.3 y (RaD)

Radiokémia-IV

Pátzay György 40

A természetes háttér második legfontosabb forrása a hosszú élettartamú ^{40}K radioaktív izotóp.



Felezési ideje $t_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ év.

Izotóp előfordulása 0.0118 %.

β^- -bomlással $E_{\beta} \leq 1.3$ MeV (89%) és γ -bomlással, $E_{\gamma} = 1.46$ MeV (11 %) bomlik,

Ez a radionuklid fontos forrása a külső és belső természetes radioaktivitásnak, mert a kálium a szervezet fontos természetes eleme, jelen van a szövetekben, izmokban, csontokban. Fontos szerepet játszik a sejtek anyagcseréjében, az idegsejtek információátadásában. Gyakori a természetben, növényekben, kőzetekben, talajokban stb.

Az emberi test radioaktivitásában a ^{40}K fontos:

$A(^{40}\text{K}) = \lambda \cdot N = 5.4 \cdot 10^{-10}$ [1/év] $N \approx 0.03\%$ a testben lévő, ~25 g káliumból).

Így az emberi testben lévő ^{40}K :

$N \approx 0.000118 \cdot 0.0003 \cdot 80 \text{ kg} = 0.00294 \text{ g}$.

$40 \text{ g} = 6.022 \cdot 10^{23}$ atom

$N \approx 4.44 \cdot 10^{19}$ ^{40}K atom \Rightarrow a teljes testben: $A \approx 2.44 \cdot 10^{10}$ decays/év

A teljes testben így az aktivitása $A \approx 764$ Bq

Feltételezve, hogy a teljes kibocsátott sugárzás a testben elnyelődik, a teljes test belső dózisa: $ER \approx (A \cdot 0.8 \text{ MeV}) / 80 \text{ kg} = 4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-15} \text{ J/kg} = 3.8 \cdot 10^{-5} \text{ J/(kg} \cdot \text{év)} = 3.80 \cdot 10^{-5} \text{ Gy/év} = 38 \text{ mrad/év}$

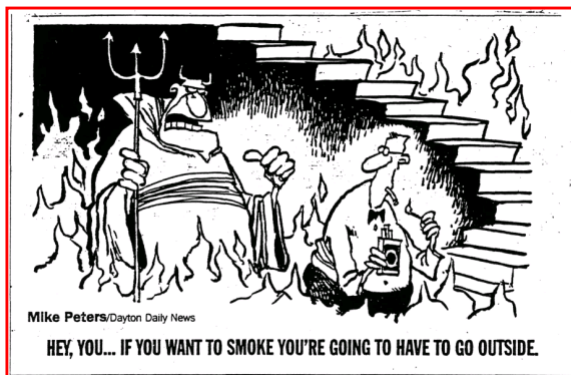
$Q \approx 1$ minőségi faktoral számolva az ekvivalens dózis a teljes testre DR :

$DR \approx 38 \text{ mrem/év}$

^{40}K -től származó külső dózis hasonló nagyságrendű $\approx 28 \text{ mrem/év}$

Jelentős dózist szenvedünk el a különféle termékektől is!

Ezek közül valószínűleg a legjelentősebb a dohány, melyben radioaktív ^{210}Po izotópok vannak és 5.3 MeV α részecskéket sugároz bomlása során, $T_{1/2}=138.4$ nap felezési idővel.



A pokolban: Ha dohányozni akar, ki kell mennie!

Pátzay György

Radiokémia-IV

45

Dohányzás során ^{210}Po abszorbeálódik a bronchialis rendszerben



Ez a tüdőt α -sugárzással bombázza!

Becslések szerint a dohányosok ilymódon $\text{HR}_T=16$ rem/év = 160 mSv/év ekvivalens többlet dózist szenvednek el!

A tüdőszövetek súlyfaktora $\omega_T=0.12$, így az összes effektív dózis-intenzitás $\text{HR}_e=1.9$ rem/év = 19 mSv/év

Az USA teljes dohányzó és nemdohányzó lakosságára átlagolva ez évente 280 mrem = 2.8 mSv effektív dózist jelent!

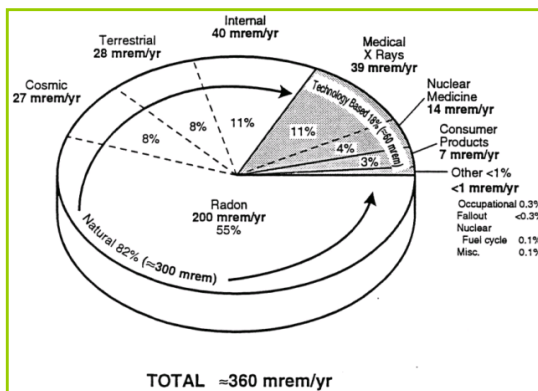
Pátzay György

Radiokémia-IV

46

Egyéb jelentős dózisforrások::

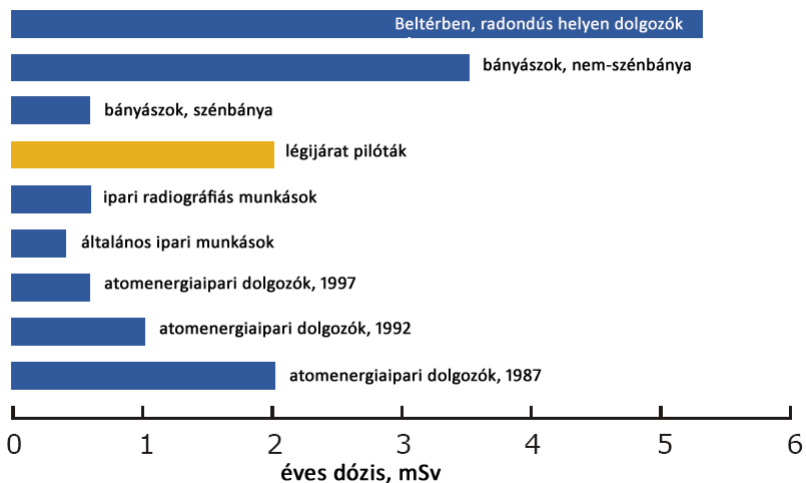
- kihullás (fallout) az 1945 - 1980 közötti nukleáris robbantásokból (≈1mrem/év)
- atomerőművek és laboratóriumok kibocsátásai (~ 0.05 mrem/év)
- dohányfüsttel radioaktív izotópok belégzése (≈ 200 - 300 mrem/év átlagosan)



Páztay György

47

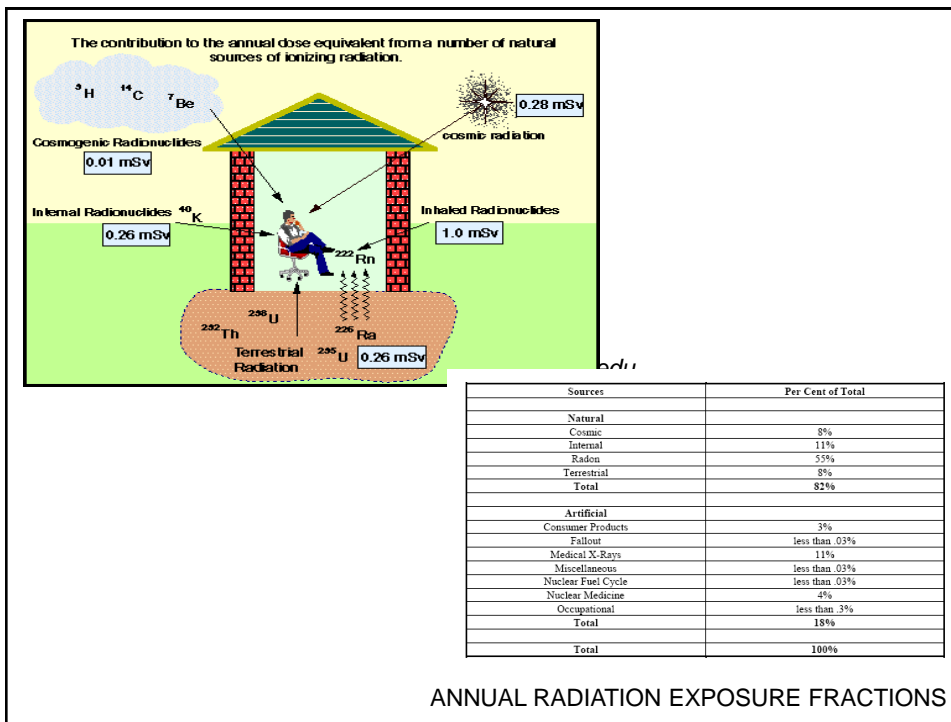
Átlagos éves dózisértékek (mSv)



Páztay György

Radiokémia-IV

48



Becsült összes effektív dózisintenzitások az USA-ban különböző természetes háttérsugárzás hatására

Source	Type of Exposure; Tissue Exposed	Effective Dose Rate mrem/yr*	~ % of Total
Primordial Radionuclides	Inhaled Radionuclides (primarily Rn-222 and daughter products)	200	68
	Ingested Radionuclides (primarily K-40)	40	13
	Exposure from external terrestrial radionuclides	28	9
	Cosmic rays	27	9
	Cosmogenic radionuclides	<1	<1
TOTAL		~300	100

*Adapted from NCRP Report No. 94.
 †Divide mrem/yr by 100 to obtain mSv/yr.

Average Annual Occupational Effective Dose in the United States*

Occupational Category	Average Annual Total Effective Dose (mrem) [†]
1. Uranium miners	2,300 [‡]
2. Nuclear Power Operations	550 [‡]
3. Radiotherapy [§]	250
4. Airline Crews	170
5. Diagnostic Radiology & Nuclear Medicine	100
6. Radiology Special Procedures	1,800 [†]
7. Cardiologist (Cardiac Catheterization)	1,600 [†]

*Adapted from NCRP Report No. 101.
 †Divide mrem by 100 to obtain mSv.
 ‡Includes 1,000 mrem from high LET (α) radiation.
 §Includes ~50 mrem from high LET (α) radiation.
 ¶Mostly from sealed implant therapy called "brachytherapy."
 †Personnel wear ≥0.25 mm lead equivalent aprons which attenuate >90% of scattered radiation; thus these exposures are primarily to the extremities, head and neck.

Tipikus aktivitás mennyiségek és dózisértékek

1 felnőtt ember (100 Bq/kg)	7,000 Bq
1 kg kávé	1,000 Bq
1 kg szuperfoszfát műtrágya	5,000 Bq
1 háztartási füstdetektor (²⁴¹ Am)	30, 000 Bq
Radioizotópok orvosi diagnosztikában	70 millió Bq
Radioizotópok orvosi terápiában	100, 000, 000 millió Bq
1 kg 50-éves üvegesített nagy-aktivitású nukleáris hulladék	10, 000, 000 millió Bq
1 világlító „Kijárat” jelzés (1970-es évek)	1, 000, 000 millió Bq
1 kg urán	25 millió Bq
1 kg uránérc (Kanadai, 15%)	25 millió Bq
1 kg kis-aktivitású radioaktív hulladék	1 millió Bq
1 kg szénsalak	2,000 Bq
1 kg gránit kőzet	1,000 Bq

Watching TV 2 hours per day for one year:	2 mrem
One roundtrip, coast-to-coast jet flight:	5 mrem
One chest or dental X-ray:	10 mrem
One lumbar spine X-ray:	130 mrem
One lower GI tract X-ray:	400 mrem
Annual dose from medical examinations:	50 mrem
Airline jet crew per year:	500 mrem
Smoking 1 pack/day of cigarettes per year	8000 mrem

Source: "Radiation and Life", Uranium Information Centre website; <http://www.uic.com.au/ral.htm>.

Páztay György

Radiokémia-IV

51

Természetes radioaktivitás a környezeti elemekben:

•Talaj

Egy $7,9 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ -es talajrétegben (1609mx1609mx0,3m) átlagosan az alábbi radioaktív izotóp mennyiségek fordulnak elő:

Radionuklid	Fajlagos aktivitás	A radionuklid mennyisége	Az adott talajréteg összaktivitása
Urán	0.7 pCi/g (25 Bq/kg)	2,200 kg	0.8 Ci (31 GBq)
Tórium	1.1 pCi/g (40 Bq/kg)	12,000 kg	1.4 Ci (52 GBq)
K-40	11 pCi/g (400 Bq/kg)	2000 kg	13 Ci (500 GBq)
Rádium	1.3 pCi/g (48 Bq/kg)	1.7 g	1.7 Ci (63 GBq)
Radon	0.17 pCi/g (10 kBq/m ³) talaj	11 μg	0.2 Ci (7.4 GBq)
		Összesen:	>17 Ci (>653 GBq)

Páztay György

Radiokémia-IV

52

A fontosabb kőzetek radioaktivitása (Bq/kg)

	⁴⁰ K	⁸⁷ Rb	²³² Th	²³⁸ U
Vulkáni kőzet				
bazalt (átlagos)	300	30	10-15	7-10
máfiikus	70-400	1-40	7-10	7-10
szálikus	1100-1500	150-180	60-80	50-60
gránit (átlagos)	>1000	150-180	70	40
Üledékes kőzet				
agyagos homokkő	800	110	50	40
tiszta kvarc	<300	<40	<8	<10
szennyezett kvarc	400?	80?	10-25?	40?
arkóza	600-900	80	<8	10-25?
parti homok	<300	<40	25	40
karbonátos kőzet	70	8	8	25
Kontinentális köpeny				
átlagos	850	100	44	36
talaj	400	50	37	66

Páztay György

Radiokémia-IV

53

•Levegő

Természetes radioaktív izotópok koncentrációja levegőben és a dózis intenzitások (UNSCEAR 1993)

Table 5. Concentrations of natural radionuclides and absorbed dose rates in air (UNSCEAR 1993).

Radionuclide	Concentration (Bq/kg)		Dose Coefficient (nGy/h per Bq/kg)	Dose rate (nGy/h)	
	Mean	Range		Mean	Range
China					
K-40	580 ± 200	12 - 2190	0.0414	24	0.5 - 90
Th-232 series	40 ± 28	1.5 - 440	0.623	31	0.9 - 270
U-238 series	40 ± 34	1.8 - 520	--	See Ra subseries	--
Ra-226 subseries	37 ± 22	2.4 - 430	0.461	17	1.1 - 200
Total				72	2 - 560
United States					
K-40	370	100 - 700	0.0414	15	4 - 29
Th-232 series	35	4 - 130	0.623	22	2 - 81
U-238 series	35	4 - 140	--	See Ra subseries	
Ra-226 subseries	40	8 - 160	0.461	18	4 - 74
Total				55	10 - 200

Páztay György

Radiokémia-IV

54

•Óceánok

az óceánok becslt térfogata $1,3 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$. A vízükben lévő radioaktív izotópok becslt mennyisége:

Óceánok becslt természetes radioaktivitása

Radionuklid	Fajlagos aktivitás	Összaktivitás az óceánban		
		Csendes ó.	Atlanti ó.	Összes ó.
Urán	0.9 pCi/L (33 mBq/L)	$6 \times 10^8 \text{ Ci}$ (22 EBq)	$3 \times 10^8 \text{ Ci}$ (11 EBq)	$1.1 \times 10^9 \text{ Ci}$ (41 EBq)
K-40	300 pCi/L (11 Bq/L)	$2 \times 10^{11} \text{ Ci}$ (7400 EBq)	$9 \times 10^{10} \text{ Ci}$ (3300 EBq)	$3.8 \times 10^{11} \text{ Ci}$ (14000 EBq)
H-3	0.016 pCi/L (0.6 mBq/L)	$1 \times 10^7 \text{ Ci}$ (370 PBq)	$5 \times 10^6 \text{ Ci}$ (190 PBq)	$2 \times 10^7 \text{ Ci}$ (740 PBq)
C-14	0.135 pCi/L (5 mBq/L)	$8 \times 10^7 \text{ Ci}$ (3 EBq)	$4 \times 10^7 \text{ Ci}$ (1.5 EBq)	$1.8 \times 10^8 \text{ Ci}$ (6.7 EBq)
Rb-87	28 pCi/L (1.1 Bq/L)	$1.9 \times 10^{10} \text{ Ci}$ (700 EBq)	$9 \times 10^9 \text{ Ci}$ (330 EBq)	$3.6 \times 10^{10} \text{ Ci}$ (1300 EBq)

Natural Levels of Radioactivity in Surface Seawater

Radionuclide	Concentration (Bq/L)
Potassium-40	11.84
Tritium (^3H)	0.022 - 0.11
Rubidium-87	1.07
Uranium-234	0.05
Uranium-238	0.04
Carbon-14	0.007
Radium-228	0.037 to 3.7×10^{-3}
Lead-210	0.37 to 2.5×10^{-3}
Uranium-235	1.8×10^{-3}
Radium-226	1.5 to 1.7×10^{-3}
Polonium-210	0.22 to 1.5×10^{-3}
Radon-222	0.7×10^{-3}
Thorium-228	0.07 to 1.1×10^{-4}
Thorium-230	0.22 to 0.5×10^{-5}
Thorium-232	0.04 to 2.9×10^{-5}

•Élelmiszerek

Minden élelmiszerben van több kevesebb radioaktív izotóp, így ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U és ezek bomlástermékei.

Élelmiszerek természetes radioaktivitása

Élelmiszer	^{40}K pCi/kg	^{226}Ra pCi/kg
Banán	3,520	1
Paradió	5,600	1,000-7,000
Sárgarépa	3,400	0.6-2
Burgonya	3,400	1-2.5
Sör	390	---
Vörös húskok	3,000	0.5
Nagy hüvelyű zöldbab	4,640	2-5
Ivóvíz	---	0-0.17

Minta	Aktivitás, mBq/g szárazanyag			Fémionfrakció: össz- β %
	össz- β	^{40}K	fémionfrakció	
Alma	266	229	26	10
Körte	259	226	19	7
Eper	625	514	48	8
Szőlő	448	437	4	1
Málna	348	289	11	3
Szürke tölcsérgomba	1528	1321	130	9
Uborka	78	70	4	5
Paprika	1003	895	81	8
Sárgarépa	607	411	26	4
Káposzta	818	792	19	2
Borsó	278	215	11	4

Növényi eredetű élelmiszerek átlagos radioaktivitása

•**Emberi test**

Belégzéssel, étkezéssel, ivással jutnak be a szervezetünkbe. Egy 70 kg-os átlagos emberi testben átlagosan az alábbi radionuklidok vannak jelen:

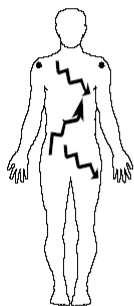
Egy átlagos (70 kg) emberi test radioaktivitása

Radionuklid	A testben található összes mennyiség	A testben található összes aktivitás	Napi nuklid felvétel
Urán	90 μg	30 pCi (1.1 Bq)	1.9 μg
Tórium	30 μg	3 pCi (0.11 Bq)	3 μg
K-40	17 mg	120 nCi (4.4 kBq)	0.39 mg
Rádium	31 pg	30 pCi (1.1 Bq)	2.3 pg
C-14	95 μg	0.4 μCi (15 kBq)	1.8 μg
H-3	0.06 pg	0.6 nCi (23 Bq)	0.003 pg
Polónium	0.2 pg	1 nCi (37 Bq)	~0.6 μg

Mittlerer Gehalt natürlicher radioaktiver Stoffe im Menschen

Radionuklid	Aktivität in Bq
K-40	4400
C-14	4000
Rb-87	300
H-3	20
Pb-210	14
Po-210	12
U-238	1,1
Ra-226	1,7
Sonstige	1

Természetes radioaktivitás a testben:



Élelmiszertől: 15 mrem/év

Természetes radioaktív izotóptoktól:

Kálium (^{40}K)	17 mrem/év
Polónium (^{210}Po)	3 mrem/év
Radon (^{222}Rn)	3 mrem/év
Szén (^{14}C)	1 mrem/év
Rubídium (^{87}Rb)	0.6 mrem/év

Összes radioaktivitás a testben: 40 mrem/év

Pátzay György

Radiokémia-IV

61

•Építőanyagok

Építőanyagok becsült átlagos radioaktív anyag tartalmát az alábbi táblázatban mutatjuk be:

Építőanyagok radioaktivitása

Építőanyag	Urán		Tórium		K-40	
	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)
Gránit	4.7	63 (1.7)	2	8 (0.22)	4.0	1184 (32)
Homokkő	0.4 5	6 (0.2)	1.7	7 (0.19)	1.4	414 (11.2)
Cement	3.4	46 (1.2)	5.1	21 (0.57)	0.8	237 (6.4)
Mészke (tömörített)	2.3	31 (0.8)	2.1	8.5 (0.23)	0.3	89 (2.4)
Homokkő (tömörített)	0.8	11 (0.3)	2.1	8.5 (0.23)	1.3	385 (10.4)
Száraz farostlemez	1.0	14 (0.4)	3	12 (0.32)	0.3	89 (2.4)
Gipsz melléktermék	13.7	186 (5.0)	16.1	66 (1.78)	0.02	5.9 (0.2)
Természetes gipsz	1.1	15 (0.4)	1.8	7.4 (0.2)	0.5	148 (4)
Fa	-	-	-	-	11.3	3330 (90)
Vályogtégla	8.2	111 (3)	10.8	44 (1.2)	2.3	666 (18)

Pátzay György

Radiokémia-IV

62

Építőanyag	Átlagos radon aktivitáskonzentráció [Bq · m ⁻³]	[mSv · év ⁻¹]
összes ház	55,2	2,2
vályog	87,4	3,5
tégla	46,5	1,8
tégla - földszint	50,7	2,0
tégla - első emelet	29,3	1,2

Épületek átlagos ²²²Rn tartalma

A lakáslevegő radon tartalmát az előzőekben említettek mellett, a szellőzés befolyásolja. A lakások zárt ajtók és ablakok mellett is rendelkeznek egy természetes szellőzési sebességgel. Ez a mennyiség azt mutatja meg, hogy időegységenként (óránként) hányszor cserélődik ki a lakás levegője. Permanens állapotot feltételezve a lakás levegőjének radon tartalma:

$$C = \frac{q}{\lambda + V}$$

ahol:

q - a lakás egységnyi térfogatára vonatkoztatott forráserősség, (Bq · m⁻³ · s⁻¹),

λ - a radon bomlási állandója,

V - a szellőztetési sebesség (értéke 0,1-1,5 h⁻¹ közé esik).

Zárt ajtók és ablakok esetén az előzőeken kívül az időjárás paraméterek befolyásolják a lakáslevegő radon tartalmát

Pátzay György

Radiokémia-IV

63

RADIOAKTIVITÁS AZ ENERGIATERMELÉSBEN

1. Nem-nukleáris energiatermelés (fosszilis, megújuló stb)
2. Nukleáris energiatermelés (hasadási és fúziós)
3. Egyéb radioaktivitást alkalmazó energiatermelési formák

1. Radioaktivitás a nukleáris energiatermelésben

Szénerőművek



A szenek radioaktivitása

A legtöbb szénfajta uránt és tóriumot tartalmaz ezek bomlástermékeivel (^{226}Ra , ^{222}Rn stb.) együtt, valamint ^{40}K ősi radionuklidot. Ezek mennyisége nem túl magas, általában a környezetben lévő kőzetekben lévő radioaktivitás szintjén van. Megnövekedett radioaktivitás a szenekben más nehéz elemek és a kén megnövekedett mennyiségével hozható kapcsolatba. A Föld köpenyében az átlagos fajlagos radioaktivitás 11400 Bq/kg, melynek több mint a felét a ^{40}K nuklid szolgáltatja.

Country	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-232	Ra-228	K-40
Australia	8.5-47	19-24	20-33	16-28	11-69	11-64	23-140
Brazil	72	72	72		62	62	
Germany		10-145, av 32			10-63, av 21		10-700, av 225
(lignite)		0-58			0-58		4-220
Greece (lignite)	117-390	44-206	59-205			9-41	
Hungary	20-480					12-97	30-384
Poland	Up to 159, av 18					Up to 123, av 11	Up to 785
Romania	Up to 415, av 80	Up to 557, av 126	Up to 510, av 210	Up to 580, av 262	Up to 170, av 62		
UK	7-19	8-22			7-19		55-314
USA	6-73	8.9-59	12-78	3-52	4-21		

source: IAEA Tech Report 419, p.24.

Az 1-4 oszlopokban a szenek urán(14-ből 4), az 5-6. oszlopokban a tórium (10-ből 2), az utolsó oszlopban a kálium tartalom látható. Az összaktivitást a $^{238}\text{U}/14+^{232}\text{Th}/10+^{40}\text{K}$ aktivitások összegeként kapjuk meg.

A szeneket a szénerőművekben elégetik. Például Ausztráliában évente 65millió tonna barnaszén (1,5mg/kg urán, 3-3,5mg/kg tórium tartalommal) égetnek el és ennek során ~100tonna urán és 200t tórium kerül lerakásra a keletkezett salakban. A német szenek urántartalma elérheti a 13 mg/kg, a brazil és kínai szeneké a 20mg/kg értéket is. A tórium mennyisége gyakran az urántartalom háromszorosa.

Tüzelés során a radionuklidok visszamaradnak és felhalmozódnak a pernyében és salakban, az előbbiben magasabb koncentrációval. A pernyében és a salakban az urán és tórium koncentrációja a szénben lévő mennyiséghez képest 10-szeres is lehet, míg egyes radionuklidok (^{210}Pb , ^{40}K) koncentrációja a pernyében ennél is magasabb lehet. A modern szénerőművekben a pernye 99%-át leválasztják és temetik, illetve az építőiparban jelenlévő radi

	Uranium series, Ra-226	Thorium series	K-40
Hungary	200-2000	20-300	300-800
USA	100-600	30-300	100-1200
Germany ash	6-166	3-120	125-742
Germany slag	68-245	76-170	337-1240
Australia (U av 0.9 ppm, Th av 2.6 ppm)		Total: 2630	
Australia: NSW		Total: 3200	

és salakjaiban

Ausztrália 2009-ben 263 millió tonna szenet exportált, ezzel együtt (0,9mg/kg urán és 2,6mg/kg tórium tartalom mellett) 240tonna uránt és 681tonna tóriumot is kaptak a vevők.

Az USA 2009-ben 850 tonna szenet égetett el a villamos erőműveiben (1,3mg/kg urán és 3,2mg/kg tórium tartalommal) és a salakban és hamuban 1100 tonna urán és 2700 tonna tórium halmozódott fel.

(1mgU/kgszén esetén az uránban lévő nukleáris energia több mint az 1kg szénben lévő kémiai energia, ha az ^{238}U magot is elhasítjuk) Magas urán és tóriumtartalmú (0,06-0,1%) szenek esetén gazdaságos lehet a hasadóanyag elválasztása és felhasználása.

Radioaktivitás az olaj és gázkitermelésben

A kőolaj és gázmezők elemzése azt mutatta, hogy a hosszú élettartamú **urán és tórium** izotópok nem távoznak el jelentős mennyiségben a tároló kőzetéből, de a **bomlástermékeik**, ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{228}Ra és a ^{210}Pb mobilizálódnak és döntően a kitermelt vizes fázisban jelennek meg. Ezen radioaktív izotópok és bomlástermékeik a vizes oldatokból kicsapódhatnak **szulfát és karbonát formájában vízkő és iszap** válhat ki a csővezetékekben és egyéb berendezésben. A ^{226}Ra bomlásterméke a ^{222}Rn **gáz** a gázfázisban is megjelenik és ^{210}Pb bomlásterméke vékony filmet képezhet a gázextrakciós berendezésekben.

Az olaj és gázmezőkből termelt energiahordozók radioaktivitása függ a rezervoár kőzetének és a jelenlévő sós vizes fázis radioaktivitásától. Magasabb sótartalom magasabb mobilizálható NORM radioaktivitást is jelent általában. Ahogy a kutak öregsznek, rendszerint nő a víz sótartalma és így az öregebb kutak NORM radioaktivitása is növekszik. A következő táblázat mutatja a tipikus NORM értékeket Bq/kg egységben.

NORM értékek a kőolaj és földgáz kitermelésben Bq/kg egységben.

Radionuclide	Natural gas Bq/m ³	Produced water Bq/L	Hard scale Bq/kg	Sludge Bq/kg
U-238		trace	1 - 500	5 - 10
Ra-226		0.002 - 1200	100 - 15 million	50 - 800,000
Po-210	0.002 - 0.08		20 - 1500	4 - 160,000
Pb-210	0.005 - 0.02	0.05 - 190	20 - 75,000	10 - 1.3 million
Rn-222	5 - 200,000			
Th-232		trace	1 - 2	2 - 10
Ra-228		0.3 - 180	50 - 2.8 million	500 - 50,000
Ra-224		0.05 - 40		

Source: IAEA 2003, Safety Report Series 34.

Ausztrál szabályok szerint, ha a kivált radioaktív vízkő fajlagos aktivitása 30kBq/kg vízkőértéket meghaladja szennyezettnek tekinthető. (Ez azt jelenti, hogy a ²²⁶Ra vízkő (9 bomlás követi) fajlagos aktivitása 3300Bq/kg vízkő (9x3300=30000). A ²¹⁰Pb esetén (2 bomlás követi) ez 10000Bq/kg vízkő aktivitáskoncentrációt jelent.

Tengervizes injektálással üzemelő kutak esetén további NORM növekedéssel kell számolni, mert a biofilm üledékek további uránt kötnek meg a tengervízből. Hidraulikus repesztéssel járó földgáztermelés esetén további NORM jelenhet meg a fúrási törmelékben és a vízben.

A palaközetek repesztése során főleg a rádium koncentráció növekszik a folyékony fázisokban.

A kőolaj és gáziparban a NORM jelenléte a dolgozókra veszélyt jelent a karbantartások, a hulladékkezelés és felszámolás során. A ²¹⁰Pb üledékek és filmek béta-sugárzása a csővezetékek belsejében érvényesül és általában a külső besugárzási veszély kicsi. A higiéniai szabályok betartásával a belső besugárzási veszély minimalizálható.

NORM mentességi határértékek

Radionuclide	Exemption level (Bq/g)	Exemption level (pCi/g)
²²⁶ Ra	1.1	30
²²⁸ Ra	1.1	30
²¹⁰ Pb	0.2	5
²¹⁰ Po	0.2	5
²³⁸ U	5.5	150
Uranium (nat)	3.0	80

- **Vízkeletípusok**
 - Szulfátok: SrSO_4 and BaSO_4 (RaSO_4)
 - Karbonátok: CaCO_3 (RaCO_3)
- Különbözö vízkeveredése
- Nyomás/hömeérsékletváltás
- Vízke felhalmozódás: **termelőcsövekben, kútfejnél, szelepeknél, szivattyúknál**
- Vízkegátló inhbitorok

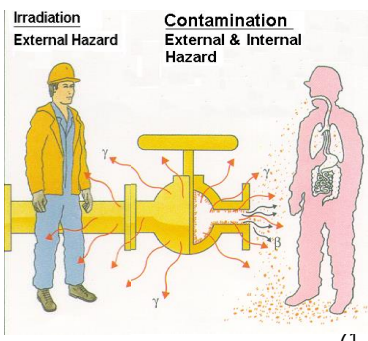


Nuklid	Fajlagos aktivitás (pCi/g)		
	Vízke	Iszap	Rozsda
Ra-226	2.7 - 405000	1.4 - 21600	0.3 - 2000
Pb-210	0.5 - 2025	2.7 - 35100	1.4 - 1350
Po-210	0.5 - 41	0.1 - 4320	2.7 - 108

	Urán ppm	Tórium ppm
mészke	0.03 - 27	0 - 11
homokke	0.1 - 62	0.7 - 227

Pátzay György

Radiokémia-IV



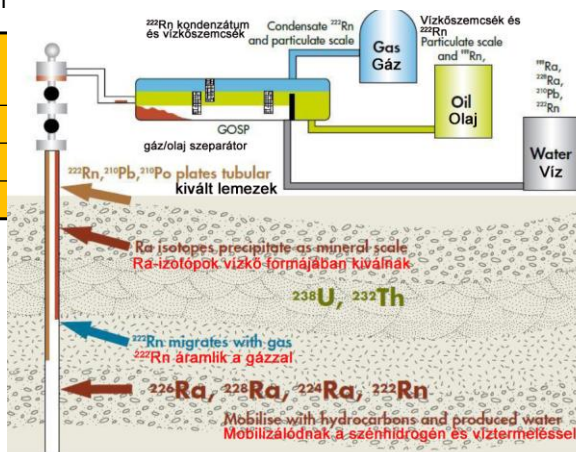
17

NORM a földgázban

Közeg	Fajlagos aktivitás pCi/liter
Földgáz	0.14 - 5400
NGL	0.27 - 40500
Propán	0.27 - 113400



Pátzay György



NORM útja a gáz/olajtermelésben

Radiokémia-IV

72

**IAEA Exempt Activity Levels for NORM Isotopes
NAÜ felszabadítási szintek néhány izotópra**

ISOTOPE	DIFFUSE NORM Concentration (Bq/g)	DISCRETE NORM Activity (Bq/item)
Uranium-238	10	10,000
Radium-226	10	10,000
Lead-210	10	10,000
Radium-228	10	100,000
Uranium (natural)	1	1,000
Thorium-228	1	10,000

**Guidelines for Classification of Discrete NORM as radioactive
Egyes NORM radioaktivitási küszöb dózisintenzitások**

Radiation Type	Threshold Level
Gamma	> 10 $\mu\text{Sv/h}$ at 0.5 m
Beta surface activity	> 10 Bq/cm^2 , as averaged over 300 cm^2
Alpha surface activity	< 1 Bq/cm^2 , as averaged over 300 cm^2

Radioaktivitás mértéke a kőolajban

Radionuklid	Aktivitás konc.(Bq/g)
^{238}U	0.0000001 – 0.01
^{226}Ra	0.0001 – 0.04
^{210}Po	0 – 0.01
^{232}Th	0.00003 – 0.002

Radionuklidok kemény vízkövekben Radionuklidok lágy és félkemény vízkövekben

Radionuklid konc.(Bq/g)	Aktivitás	Radionuklid	Aktivitás konc.(Bq/g)
^{238}U	0.001 – 0.5	^{238}U	0.001 – 0.05
^{226}Ra	0.1 – 15,000	^{226}Ra	0.8 – 400
^{210}Pb	0.02 – 75	^{210}Pb	0.05 – 2,000
^{210}Po	0.02 – 1.5	^{232}Th	0.001 – 0.07
^{232}Th	0.001 –	^{228}Ra	0.05 – 300
0.002			

Radionuklidok iszapokban		Radionuklidok kaparékban	
Radionuklid konc.(Bq/g)	Aktivitás	Radionuklid konc.(Bq/g)	Aktivitás
^{238}U	0.005 – 0.01	^{226}Ra	0.01 – 75
^{226}Ra	0.05 – 800	^{210}Pb	0.05 – 50
^{210}Pb	0.1 – 1,300	^{210}Po	0.1 – 4
^{210}Po	0.004 – 160	^{228}Ra	0.01 – 10
^{232}Th	0.002 – 0.01		
^{228}Ra	0.5 – 50		
Radionuklidok földgázokban		Radionuklidok NGL-ben és kondenzátumokban	
Radionuklid konc.(Bq/m ³)	Aktivitás	Radionuklid konc.(Bq/dm ³)	Aktivitás
^{222}Rn	5 – 200,000	^{222}Rn (NGL)	0.01 – 1,500
^{210}Pb	0.005 – 0.02	^{222}Rn (C3 -liq)	0.01 – 4,200
^{210}Po	0.002 – 0.08	^{210}Pb	0.3 – 230
		^{210}Po	0.3 – 100

TENORM

TECHNOLÓGIA RÉVÉN MÓDOSÍTOTT TERMÉSZETES RADIOAKTIVITÁS



1. Szén tüzelésű erőművek
2. Geotermikus energia termelés
3. Foszfát műtrágya gyártás - foszfát ércek feldolgozása
4. Megnövekedett beltéri radioaktivitás
5. Megnövekedett kozmikus radioaktivitás
6. Fogyasztási termékek (kerámiák, üvegárúk, radiolumineszcens festékek....)

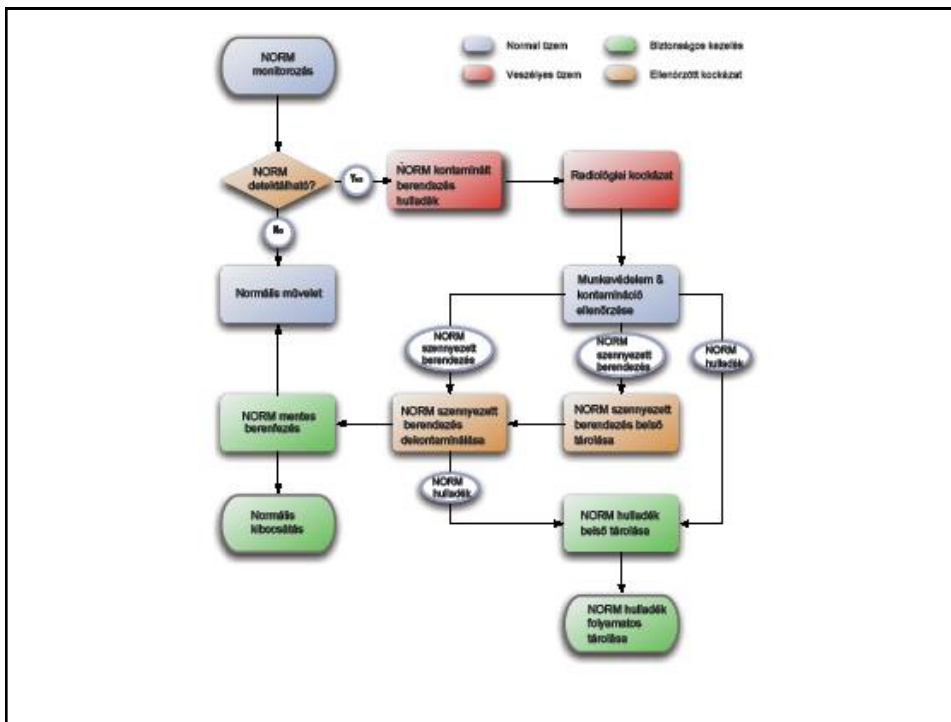
Egyebek

Az emberi beavatkozás révén:

Dózisnövekedés ↔ Dóziscsökkenés

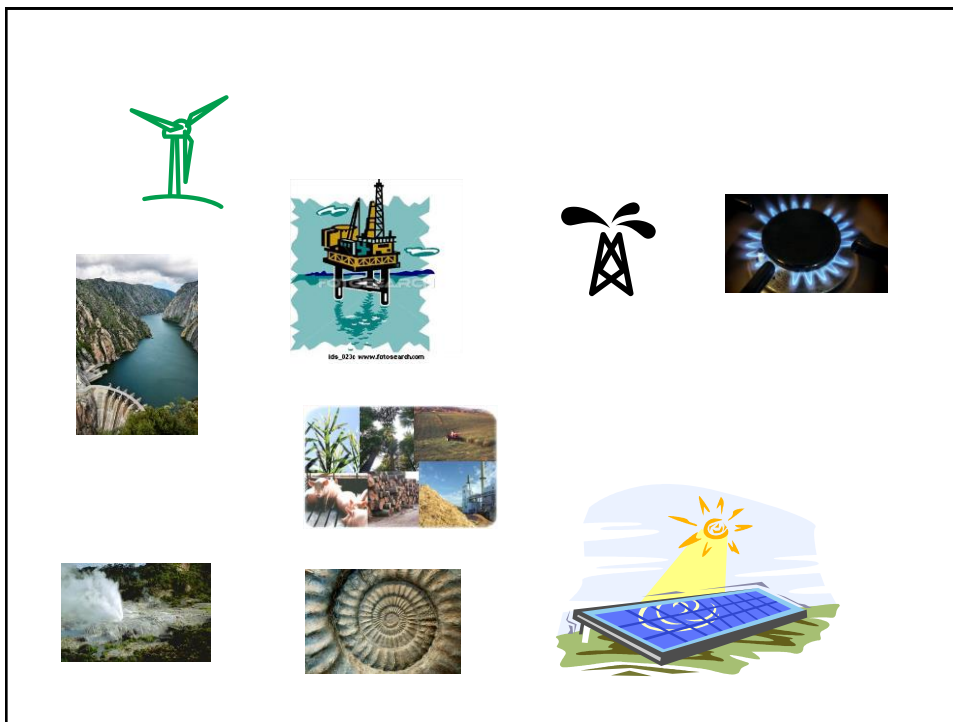
pl.
 ^{238}U hamuban

^{14}C hamuban



NORM mérése

Sugárzás	Mérőberendezés	Megjegyzés
Alfa detektorhoz.	Nemkompenzált GM cső	A minta közel kell, hogy legyen a Az alfa-sugárzás nedves felületen abszorbeálódhat. NORM radionuklidok bomlása alfa gyakran gamma sugárzással jár.
mellett		
Béta detektorhoz	Nemkompenzált GM cső	A minta közel kell, hogy legyen a
Gamma (szűrés) gamma-	Nal(Tl)	Nagyon érzékeny gamma detek a gyors felderítéshez. Általában felülbecsli a dózisintenzitás értékét.
Gamma ad a (mérés)	kompenzált GM cső	Lassabb mérés de pontosabb eredményt gamma dózisintenzitásra.



Tipikus radioaktivitás a környezetben

● Levegő (por)

- Összes-béta: 0.004 - 0.04 pCi/m³
- Be-7: 0.02 - 0.2 pCi/m³

● Levegő jód

- Nem detektálható

● Talaj

- Sr-90: 0.02 - 0.2 pCi/g
- Cs-137: 0.1 - 1.0 pCi/g
- K-40: 5 - 20 pCi/g
- Ra-226: 10 - 50 pCi/g



Tipikus radioaktivitás a környezetben

● Csapadék

- Összes-béta: 1 - 4 pCi/L
- H-3: 75 - 200 pCi/L
- Be-7: 40 - 100 pCi/L



● Víz

- Összes-béta: 0.5 - 5.0 pCi/L
- H-3: 75 - 200 pCi/L
- I-131: 0.25 - 1.0 pCi/L (kórházi kibocsátás)

● Üledék

- Cs-137: 0.1 - 1.0 pCi/g

Pátzay György

Radiokémia-IV

81

Tipikus radioaktivitás a környezetben

● Hal

- Sr-90: 0.002 - 0.02 pCi/g
- Cs-137: 0.01 - 0.02 pCi/g



● Tej

- I-131: nem mérhető
- Cs-137: 1 - 10 pCi/L
- K-40: 1000 - 2300 pCi/L
- Sr-90: 0.5 - 5.0 pCi/L



● Élelmiszer termékek

- K-40: 0.5 - 5.0 pCi/g
- Sr-90: 0.002 - 0.02 pCi/g



Pátzay György

Radiokémia-IV

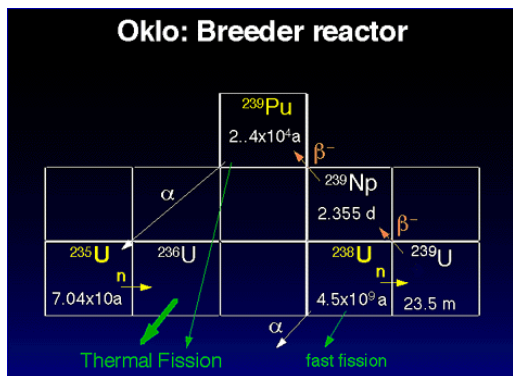
82

Hasadási reakció a földkéregben



2 milliárd évvel ezelőtt Gabonban (Afrika), az uránérc üledék természetes reaktorként üzemelt!

- Magas U-koncentráció
- Neutronabszorbensek hiánya
- Moderátor (neutronlassító) anyagok (víz) jelenléte.
- Eredmény : $^{235}\text{U} < 0,71\%$!!



For details of the 1972 discovery, see:
<http://www.curtin.edu.au/curtin/centre/waisrc/OKLO/index.shtml>

Pátzay György

Radiokémia-IV

83

II. Mesterséges, ember által generált radioaktivitás

Körülbelül 80 éve tud az ember mesterséges radioaktív izotópokat előállítani. A környezetbe kerülő mesterséges radioaktív izotópok zöme eleinte a katonai légköri, földközeli, földalatti és víz alatti atombomba és hidrogén-bomba robbantási kísérletek során került a levegőbe, talajba, vízbe, biológiai szervezetekbe. Később az 1970-es évektől kezdve kibocsátóként egyre inkább az energetikai céllal használt atomerőművek és radioaktív hulladék feldolgozó művek (reprocesszáló művek) jelentkeztek. A környezetbe jutott mesterséges radioaktív izotópok mennyisége kicsi a természetes radioizotópok mennyiségéhez képest és az élettartamuk is rövidebb, mert kisebbek a felezési ideik. Néhány fontosabb környezetbe jutott mesterséges radioaktív izotóp jellemzőit a következő táblázatban foglaltuk össze:

Number of Nuclear Tests

Nukleáris
robbantások száma

US (1945-92)	1030
SU/R (1949-90)	715
UK (1952-91)	45
Fr (1960-96)	210
C (1964-96)	45
India (1974-98)	2-6
Pakistan (1998)	2-6

Total (1945-98): 2,049 = 528 (atmos.) + 1,521 (under ground)

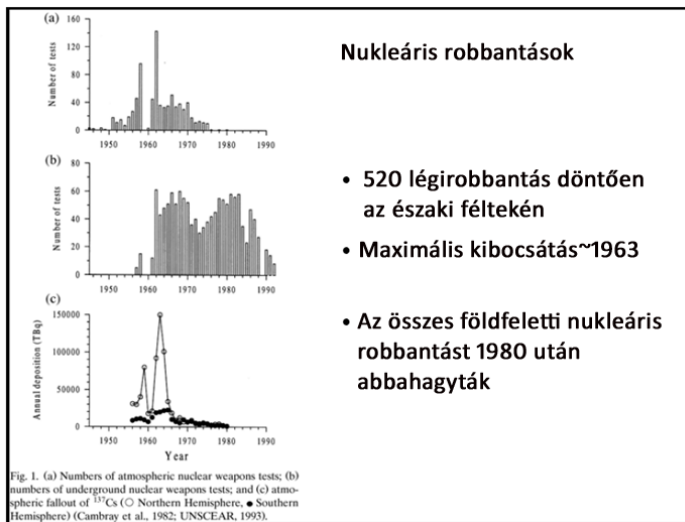
Pátzay György

© 2002 Jeremiah D. Sullivan, Lec. 27 (042402) 27

84

•Atomrobbantások, balesetek

Az atomrobbantások igen jelentősen megemelték a mesterséges radioaktivitást a környezetben.

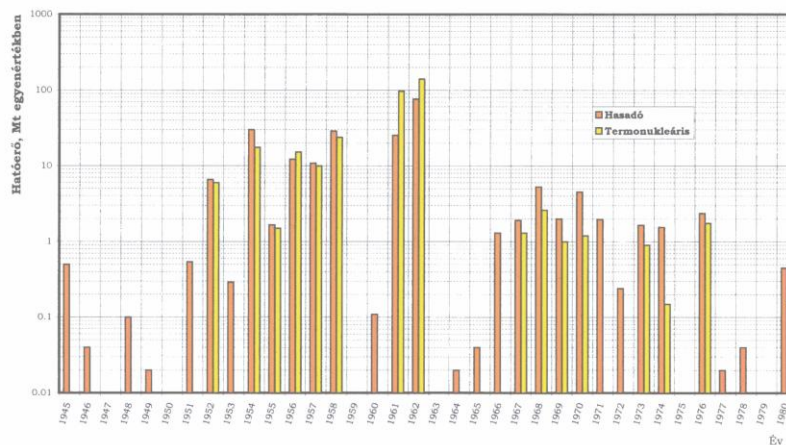


Pátzay György

Radiokémia-IV

85

Légköri atomfegyverkísérletek



Pátzay György

Radiokémia-IV

86

Nukleáris robbantások helyszínei

- **Franciaország**
Mururoa és Fantataufa atollok a Dél-Csendes Óceánon
200 robbantás 1966-1996
- **USA**
Marshall szigetek (Eniwetok és Bikini atollok)
Amchitka sziget, Bering szoros, Alaszka (3 földalatti)
- **Oroszország**
Novaja Zemlja sziget (Jeges tenger)
- **Anglia**
Karácsony szigetek (Indiai óceán)
Ausztrália

Year	Location	Name of accident	Total deaths	Estimated dose
1959	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
1986	USA	Three Mile Island (USA) - 3000 MW	0	1000 Sv
1987	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
1992	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
1993	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
1994	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
1995	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
1996	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
1997	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
1998	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
1999	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2000	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2001	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2002	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2003	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2004	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2005	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2006	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2007	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2008	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2009	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2010	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2011	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2012	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2013	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2014	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2015	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2016	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv
2017	USA	Chernobyl (USSR) - 2300 MW	0	1000 Sv

18

Nuclear Accidents

33
From: MacKenzie (2009)

Pátzay György
Radiokémia-IV
87

Kibocsátott radioaktivitások Hiroshimában, a nukleáris robbantások során, Csernobilban és Windscale-ben

Radioactivity released (PBq)^a

Nuclide	Hiroshima	Weapon tests	Chernobyl	Windscale
¹³⁷ Cs	0.1	1500	89	0.044
¹³⁴ Cs ^b	—	—	48	0.0011
⁹⁰ Sr	0.085	1300	7.4	0.00022
¹³³ Xe	140	210 000	4400	14
¹³¹ I	52	780 000	1300	0.59

^a Decay corrected to 3 days after shutdown or detonation.
^b ¹³⁴Cs is produced in reactors by neutron activation.
 Gudiksen *et al.*, 1989; reproduced by permission of the Health Physics Society.

Járhásdózis in Mikrosievert

Éves dózis (Közép-Európa)

Strontium-90 deposition (mCi per square kilometer per year)

Year

Pátzay György
Radiokémia-IV
88

Kibocsátott radioaktivitások

Source	Country	Time	Radioactivity Bq	Important nuclides
Hiroshima & Nagasaki	Japan	1945	4×10^{16}	Fiss. prod. Actinides
Atmospheric weapons tests	USA USSR	-1963	2×10^{20}	Fiss. prod. Actinides
Windscale	UK	1957	1×10^{15}	^{131}I
Chelyabinsk (Kyshtym)	USSR	1957	8×10^{16}	Fiss. Prod. ^{90}Sr , ^{137}Cs
Harrisburg	USA	1979	1×10^{12}	Noble gases, ^{131}I
Chernobyl	USSR	1986	2×10^{18}	^{137}Cs

Nuclide	Weapons tests	SNAP-9A	Chernobyl accident	References
	PBq	PBq	PBq	
Pu-238	0.28 - 0.36	0.5 - 0.63	0.025 - 0.035	1,2,3,4,5,6
Pu-239,240	11 - 15	-	0.055 - 0.072	1,2,4,5,6, 10
Pu-241	140 - 360	-	5 - 6.2	2,4,5,6,7
Am-241	12*	-	0.006	7
Cm-242	minor	-	0.6 - 0.78	5,6,8
Cm-243,244	minor - 0.33	-	0.006	4,5,9

(* when Pu-241 has totally decayed)

(References: 1. Hardy et al. 1973, 2. UNSCEAR 1982, 3. Perkins and Thomas 1980, 4. UNSCEAR 2000, 5. WHO 1989,

6. USSR 1986, 7. Allard et al. 1984, 8. Holm and Persson 1978, 9. Beasley and Ball 1980, 10. Harley 1980)

Páztay György

Radiokémia-IV

89

Kibocsátott radioaktivitások

Table 2
Summary of main radionuclides released (EBq) from atmospheric testing of nuclear weapons, the Chernobyl accident and Sellafield low level liquid effluent discharges, 1952–1997 (UNSCEAR, 1993; Choppin et al., 1995; Gray et al., 1995; MAFF, 1976–1995; MAFF/SEPA, 1996–1998)

Nuclide	Half life	Weapons tests	Chernobyl	Sellafield
^3H	12.32 years	240		0.060
^{14}C	5730 years	0.22		
^{54}Mn	312.5 days	5.2		
^{59}Fe	2.74 years	2		
^{85}Kr	10.7 years		0.033	
^{87}Sr	50.55 days	91.4	0.094	
^{90}Sr	28.6 years	0.604	0.0081	0.0063
^{91}Y	58.5 days	116		
^{95}Zr	64.0 days	143	0.16	0.024
^{103}Ru	39.3 days	238	0.14	
^{106}Ru	371.6 days	11.8	0.059	0.034
^{125}Sb	2.73 years	0.524		
^{131}I	8.0 days	651	0.67	
^{133}Xe	5.24 days		1.7	
^{134}Cs	2.07 years		0.019	0.058
^{137}Cs	30 years	0.912	0.037	0.041
^{140}Ba	12.8 days	732	0.28	
^{141}Ce	32.5 days	254	0.13	
^{144}Ce	284.9 days	29.6	0.088	0.062
^{239}Np	2.36 days		0.97	
^{238}Pu	87.7 years		3.0×10^{-5}	0.000125
^{239}Pu	2.41×10^4 years	0.00652	2.6×10^{-5}	0.00061
^{240}Pu	6.56×10^3 years	0.00435	3.7×10^{-5}	0.00061
^{241}Pu	14.4 years	0.142		0.022
^{241}Am	432.7 years	0.0038*		

* Estimated ingrowth from decay of ^{241}Pu during the period 1963–2000. 1 EBq = 10^{18} Bq. From: MacKenzie (2000)

Páztay György

Radiokémia-IV

90

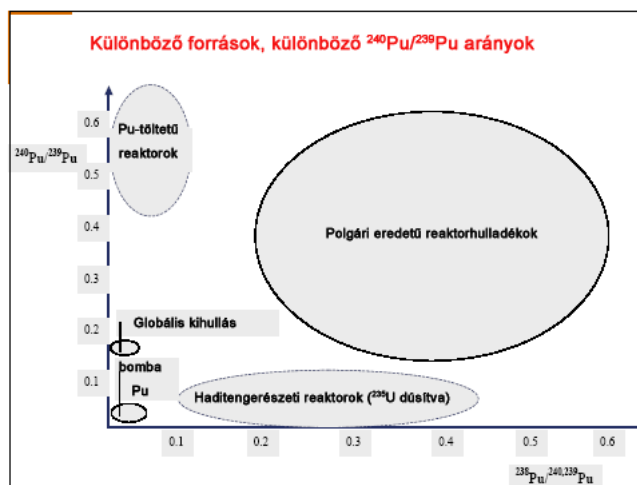
**Nukleáris robbantások,
nukleáris fegyver
gyártások, radioaktív
izotópok gyártásai és
balesetek**

[UNSCEAR 2000; Salbu, 2001, Eisenbud, 1997].

Source
Nuclear weapon tests
Maralinga (Australia), 1953-1963
Marshall Islands, 1946-1958
Mururoa (French Polynesia), 1966-1996
Nevada test site (USA), 1952-1962
Semipalatinsk (Kazakhstan), 1949-1989
Novaya Zemlya (Russia), 1957-1980
Nuclear weapons fabrication
Nuclear fuel cycle
Mining and milling
Fuel enrichment
Fabrication
Reactor operation
Spent fuel storages
Reprocessing facilities
Waste storage
Radioisotope production and uses
Accidents
Windscale (UK), 1957
SNAP 9A (Mozambique), 1964
Palomares (Spain), 1966
Thule (Greenland), 1968
Rocky Flats Plant (USA), 1969
Cosmos 954 (Canada), 1978
Three Mile Island (USA), 1979
Chernobyl (Ukraine), 1986
Tokaimura (Japan), 1999

Pátzay György

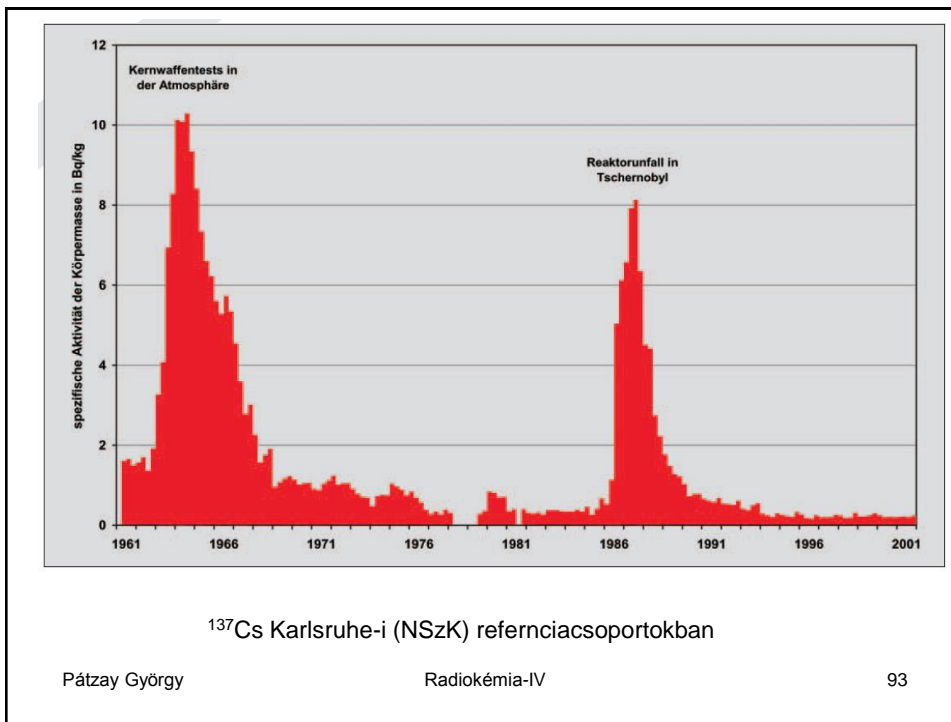
91



Pátzay György

Radiokémia-IV

92



„Piszkos bombákhoz” felhasználható radioaktív izotópok

Some important radionuclides of concern in connection with 'dirty bombs'

Radionuclide	Typical physicochemical form of large existing sources	Existing strong sources and their strengths
^{60}Co	Metal (can be dissolved in acid - liquid)	Sterilisation irradiator (up to 400,000 TBq). Teletherapy source (up to 1000 TBq)
^{90}Sr	Ceramic (SrTiO_3) - insoluble, brittle, soft (Mohs hardness: 5.5), can be powdered	Radioisotope thermoelectric generator (1000-10,000 TBq)
^{137}Cs	Salt (CsCl) (can be dissolved - liquid)	Sterilisation irradiator (up to 400,000 TBq). Teletherapy source (up to 1000 TBq)
^{192}Ir	Metal - soft - Mohs hardness 6.5 (can be powdered), insoluble in water	Industrial radiography source (up to 50 TBq)
^{226}Ra	Salt (RaSO_4) (can be powdered), very low solubility	Old therapy source (up to 5 TBq)
^{238}Pu	Ceramic (PuO_2) - insoluble, can be powdered	Radioisotope thermoelectric generator (up to 5,000 TBq)
^{241}Am	Pressed ceramic powder (AmO_2)	Well logging source (up to 1 TBq)
^{252}Cf	Ceramic (Cf_2O_3) - insoluble	Well logging source (up to 0.1 TBq)

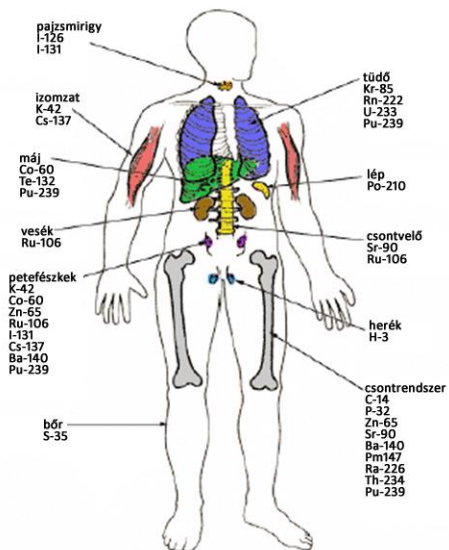
(see, e.g., Harper et al., 2007; Ferguson et al., 2003; Argonne, 2005)

**Csökkenés a szervezetben:
Effektív felezési idő**

$$T_{effektív} = \frac{T_{1/2} * T_{1/2b}}{T_{1/2} + T_{1/2b}}$$

$T_{1/2}$ -felezési idő

$T_{1/2b}$ -biológiai felezési idő



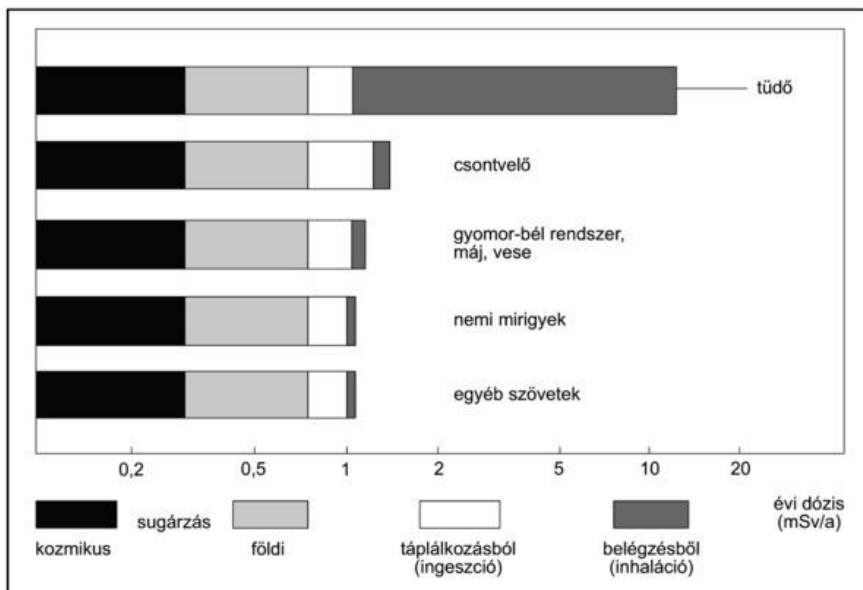
Radioaktív izotópok felhalmozódása az emberi testben

Dr. Pátzay György

Radiokémia-I

95

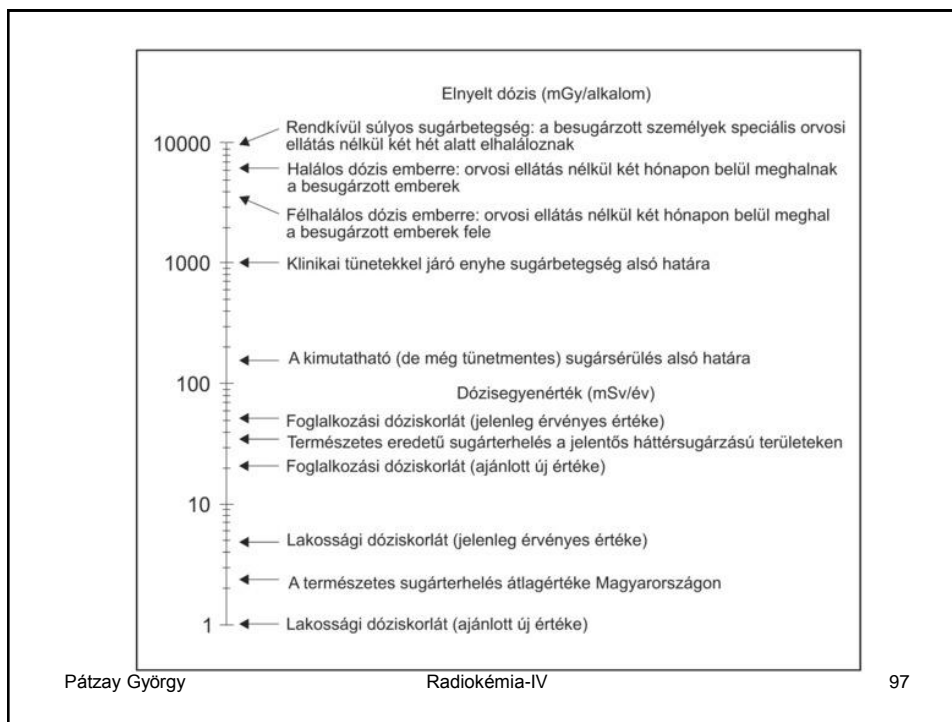
Radioaktív sugárzás dózisa az egyes szervekben



Pátzay György

Radiokémia-IV

96

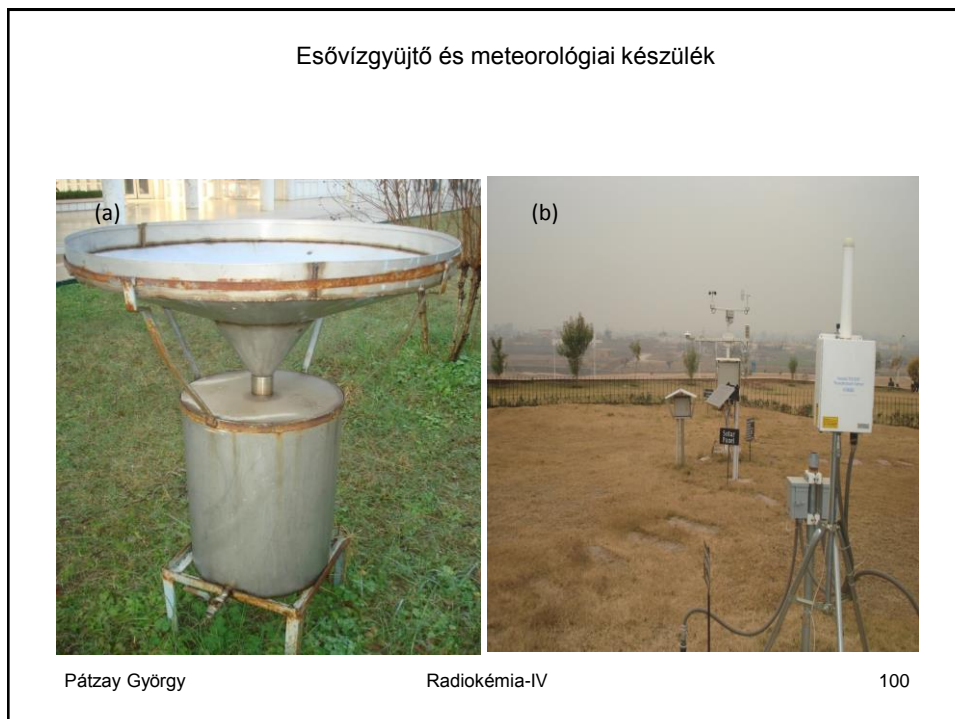
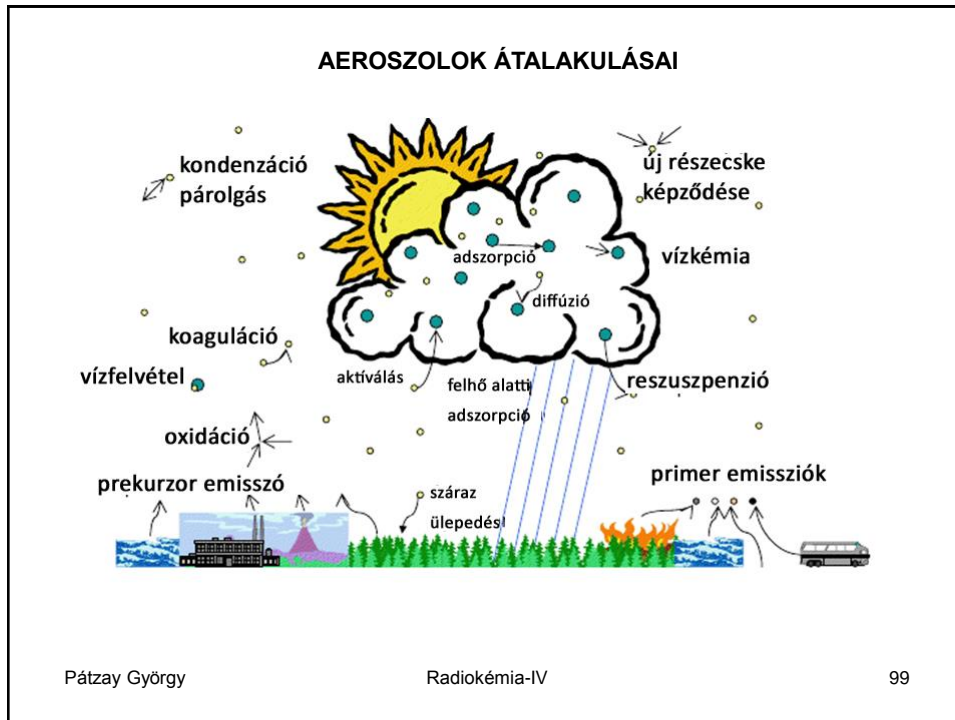


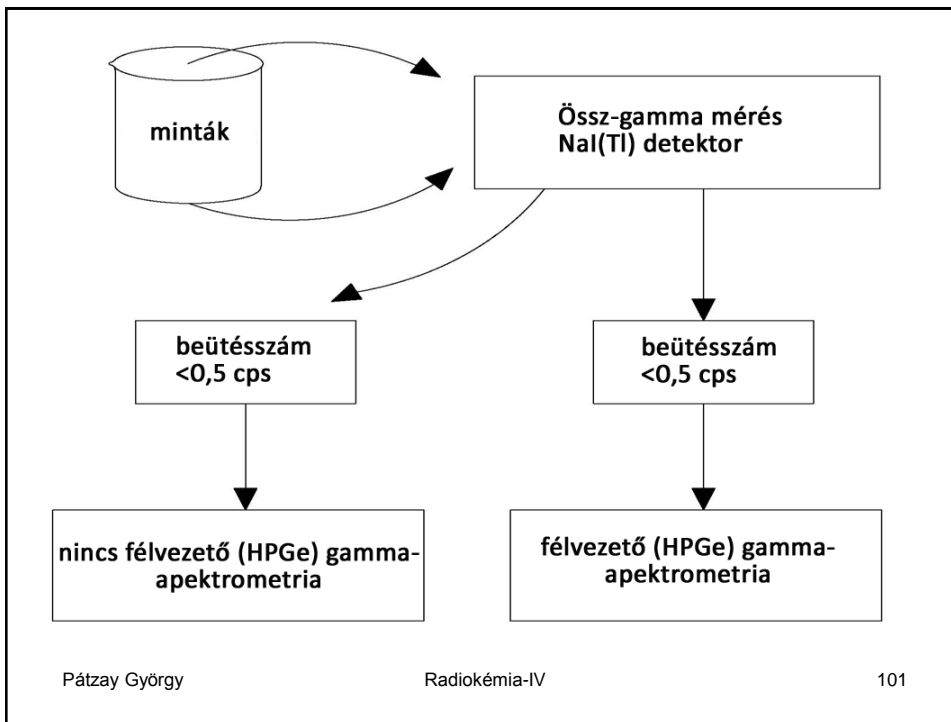
ÖSSZEFOGLALÁS

Az emberiséget ért sugárterhelésről

	manSv
NUKLEÁRIS ROBBANTÁSOK	3×10^7
NUKLEÁRIS ENERGIA	2×10^6
FŐBB BALESETEK	6×10^5
NUKLEÁRIS MEDICINA	$3,3 \times 10^6$
FOGLALKOZÁSI ÁRTALOM	6×10^5
TERMÉSZETES HÁTTÉR	$6,5 \times 10^8$

Pátzay György Radiokémia-IV 98

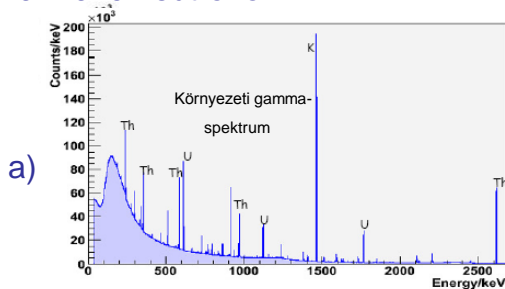




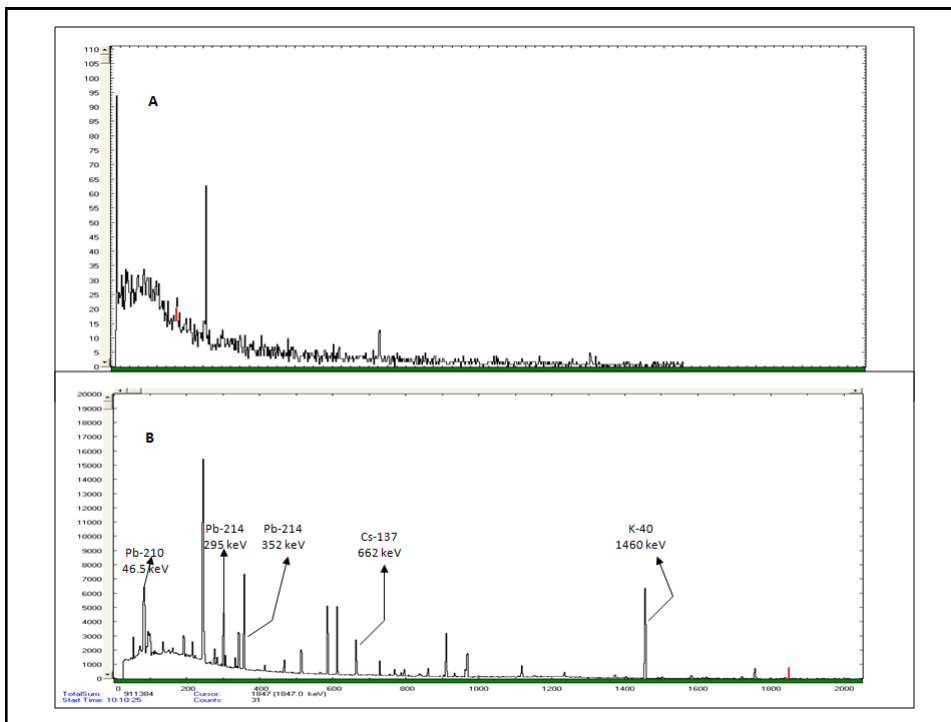
A háttér forrásai

- Földközeli sugárzás
- Radioaktív szennyezések a detektor rendszerben:
primordiális, antropogén, kozmogén
- Rn és bomlástermékei
- Másodlagos kozmikus sugárzás:
müonok, neutronok
- Természetes hasadásból és (α, n) reakcióból
származó neutronok

HPGe-
spektrum



koncentráció [Bq/kg]			
kőzet	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
gránit	60	80	1000
mészkö	30	7	90



Aktinoidák detektálási lehetőségei

elem	izotóp	detektálás	nyomjelző	megjegyzés
U	^{238}U , ^{235}U	ICP-MS, TIMS; α specs	^{236}U ; ^{232}U	^{228}Th elválasztás
	^{234}U , ^{233}U	α specs; TIMS, ICP-MS	^{232}U ; ^{236}U	^{228}Th elválasztás
Th	^{232}Th	ICP-MS	^{230}Th	
	^{228}Th	α specs	^{230}Th	
Pu	$^{239/240}\text{Pu}$	TIMS, ICP-MS; α specs	^{242}Pu , ^{244}Pu ; ^{242}Pu , ^{236}Pu	
	^{238}Pu	α specs	^{242}Pu , ^{236}Pu	
Am/Cm	^{241}Am , ^{244}Cm , ^{242}Cm	α specs	^{243}Am	^{239}Pu leány
Np	^{237}Np	ICP-MS; α specs	^{236}Np ?; ^{239}Np ?	lehetséges? rövid T(1/2) gamma

Fontosabb radionuklidok nukleáris hulladékokban

- **Gamma-sugárzók**

^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{106}Ru , $^{152,154,155}\text{Eu}$,
 ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{59}Fe , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{94}Nb .

- **Béta-sugárzók**

^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{55}Fe , $^{63,59}\text{Ni}$, ^{93}Zr , ^{93}Mo , ^{90}Sr ,
 ^{99}Tc , ^{129}I .

- **Alfa-sugárzók (transzuránok)**

$^{238-241}\text{Pu}$, ^{241}Am , $^{243,244}\text{Cm}$, ^{237}Np

Leszerelésre kerülő atomerőművek kritikus radionuklidjai

- **Grafit**

- ^3H , ^{14}C , ^{55}Fe , $^{63,59}\text{Ni}$, ^{60}Co , ^{152}Eu

- **Beton**

- ^{41}Ca , ^{60}Co , ^{55}Fe , $^{63,59}\text{Ni}$, ^{133}Ba , ^{152}Eu

- **Acél/rozsdamentes acél**

- ^{55}Fe , $^{63,59}\text{Ni}$, ^{36}Cl , ^{93}Zr , ^{93}Mo , ^{94}Nb , ^{60}Co , ^{152}Eu , **transzuránok**

- **Alumínium**

- ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{55}Fe , ^{36}Cl

- **Ólom**

- ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{55}Fe

- **Víz**

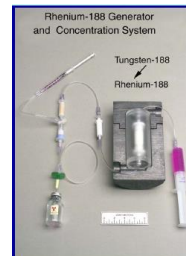
- ^3H , ^{14}C , ^{63}Ni , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{137}Cs , **transzuránok**

- **Ioncserélő gyanta**

- ^{55}Fe , $^{63,59}\text{Ni}$, ^{14}C , ^{99}Tc , ^{36}Cl , ^{93}Zr , ^{93}Mo , ^{94}Nb , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{137}Cs , ^{60}Co ,
 ^{135}Cs , **transzuránok**

Radioaktív izotópok alkalmazása

- Orvosi, gyógyászati alkalmazások
 - orvosi, gyógyászati termékek sterilizése
 - orvosi diagnosztika
 - gyógyszerek vizsgálata
 - terápia



- Mezőgazdasági alkalmazások
 - élelmiszerek sterilizése
 - műtrágya és vízszükséglet csökkentése
 - szaporítás gyorsítása
 - húsállatok tömegnövelése, vakcinák



- Ipari alkalmazások
 - nyomjelzés (folyás, korrózió stb)
 - vastagságmérés, szintmérés, sűrűségmérés
 - roncsolásmentes anyagvizsgálat
 - füstdetektorok
 - világítás
 - gumibroncsgyártás
 - sztatikus elektromosság csökkentése



Pátzay György

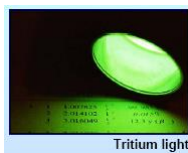
Radiokémia-IV

107

- Környezetvédelmi alkalmazások
 - környezetszennyezés megállapítása
 - légszennyezés, klímaváltozás nyomonkövetése
 - vízszennyezés nyomonkövetése
 - talajszennyezés nyomonkövetése



- Biztonságtechnika
 - csomagvizsgálat
 - fegyver keresés
 - kifutópályák világítása
 - kormeghatározás



Californium based explosion detection system

- Űrkutatás
 - radioaktív-termoelektromos áramforrás (^{238}Pu)
 - dinamikus izotóp hőforrás
 - nagyávolságú űrkutatás



Pátzay György

Radiokémia-IV

108

Fontosabb mesterséges radionuklidok a környezetben

Radionuklid	Jele	Felezési ideje	Forrása
Trícium	^3H	12.3 yr	Atomfegyver kísérletek, hasadási reaktorok, reprocesszáló üzemek, atomfegyver gyártás
Jód-131	^{131}I	8.04 days	Hasadási termék atomfegyver kísérletből, hasadási reaktorból, orvosi (pajzsmirigy) kezeléskből
Jód-129	^{129}I	1.57×10^7 yr	Hasadási termék atomfegyver kísérletekből és hasadási reaktorokból
Cézium-137	^{137}Cs	30.17 yr	Hasadási termék atomfegyver kísérletekből és hasadási reaktorokból
Stroncium-90	^{90}Sr	28.78 yr	Hasadási termék atomfegyver kísérletekből és hasadási reaktorokból
Technécium-99	^{99}Tc	2.11×10^5 yr	Az orvosi kísérletekben használt ^{99}Mo , bomlástermék
Plutónium-239	^{239}Pu	2.41×10^4 yr	Az ^{238}U neutronnal való besugárzásával keletkezik atomfegyver kísérletekben és hasadási reaktorokban ($^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + \beta \rightarrow ^{239}\text{Pu} + \beta$)

Páztay György

Radiokémia-IV

109

- Am-241 Füstdetektorokban, festett felületek ólomtartalmának meghatározásánál, papír és acélgyártásnál a hengerelt termék vastagságának szabályozásánál, olajkutak fúrási helyének kijelölésénél alkalmazzák.
- Cd-109 Hulladékvas szortírozásnál, alkatrészek ellenőrzésénél alkalmazzák.
- Ca-47 Emlősök sejtműködésének és csontképződésének kutatásánál alkalmazzák.
- Cf-252 Légi szállításnál csomagok ellenőrzésénél, útépítésnél és építkezéseknél a talajnedvesség meghatározásánál, silókban tárolt anyagok nedvesség-tartalmának meghatározásánál alkalmazzák.
- C-14 Új hatóanyagok metabolizmusánál alkalmazzák annak ellenőrzésére, hogy nem keletkeznek mérgező melléktermékek.
- Cs-137 Rákos daganatok kezelésénél, radioaktív gyógyszerkészítmények pontos dózisének meghatározásánál, olajvezetékekben a folyadék áramlásának mérésére és ellenőrzésére, olajkutak homokos eltömődésének kimutatására, élelmiszerek, hatóanyagok és egyéb termékek töltési szintjének mérésére alkalmazzák.
- Cr-51 A vörös vértetek károsodásainak vizsgálatánál alkalmazzák.
- Co-57 A nukleáris gyógyászatban a diagnózisban és a veszélyes vérszegénység diagnózisánál alkalmazzák.

Páztay György

Radiokémia-IV

110

- Co-60 Sebészeti műszerek sterilizálásánál, ipari olajégők biztonsági vizsgálatánál, tartósításnál alkalmazzák.
- Cu-67 Rákos betegekbe monoclonális antitestekkel együtt bejuttatva, elősegíti az antitestek tumoros sejtekhez való kötődését és a sejt roncsolását.
- Cm-244 A bányászokban a fúrású iszap elemzésénél alkalmazzák.
- I-123 Pajzsmirigy rendellenességek megállapításánál alkalmazzák.
- I-129 In vitro diagnosztikai laboratóriumok detektáló készülékeinek ellenőrzésénél alkalmazzák.
- I-131 Pajzsmirigy rendellenességek diagnosztikájánál és kezelésénél alkalmazzák (pl. idősebb George Bush-t és feleségét kezelték).
- Ir-192 Csővezetékek, kazánok és repülőgépek alkatrészeinek hegesztési varratainak ellenőrzésénél alkalmazzák.
- Fe-55 Galvanizáló oldatok elemzésénél alkalmazzák.
- Kr-85 Mosógépek és szárítók, sztereo rádiók és kávéfőzők indikátor lámpáiban, vékony műanyag, fém, textil, gumi, papír lemezek vastagságának mérésénél, por és szennyezőanyagok mérésénél alkalmazzák.

Páztay György

Radiokémia-IV

111

- Ni-63 Robbanóanyagok kimutatásánál, feszültség szabályozóknál, áramingadozás elleni védelemben alkalmazzák.
- P-32 Molekuláris biológiában és genetikai kutatásoknál alkalmazzák.
- Pu-238 Legalább 20 NASA űreszköz (pl. holdjáró) tápegységében alkalmazták.
- Po-210 Sztatikus töltések csökkentésére alkalmazzák lemezjátszók lemezeinek, fotofilmelek gyártásánál.
- Pm-147 elektromos védőtermosztátoknál, vékony műanyag, fém, gumi, textil és papír lemezek vastagságának mérésénél alkalmazzák.
- Ra-226 Villámhárítók hatásosságának növelésére alkalmazzák.
- Se-75 Protein elemzésénél alkalmazzák.
- Na-24 Ipari csővezetékek szivárgásainak megállapításánál, olajkutak vizsgálatánál alkalmazzák.
- Sr-85 Csontképződés és metabolizmus vizsgálatánál alkalmazzák.
- Tc-99m A nukleáris orvosi diagnosztika leggyakrabban alkalmazott izotópja. Agy, csont, máj, lép, és vese vizsgálatánál és a véráram tanulmányozásánál alkalmazzák különböző kémiai formáit.

Páztay György

Radiokémia-IV

112

- TI-204 Szűrőpapíron por és szennyezőanyag mennyiségének meghatározásánál, műanyag, fém, gumi, textil és papírlamezek vastagságának mérésénél alkalmazzák.
- Th+W ívhegesztő pálcákban a repülőgép gyártásban, kőolajipari gépgyártásban, élelmiszeripari gépgyártásban alkalmazzák. Könnyebb a hegesztés megkezdése, stabilabb az ív és kisebb a fémszennyezés.
- Th-229 Fluoreszcens fények élettartamát növeli.
- Th-230 Színes üvegeknél színezzék és a fluoreszcenciát biztosítja.
- H-3 Élettani folyamatok és metabolizmusok vizsgálatánál, önvilágító repülőgépekben, vékony műanyag, fém, gumi, textil és papírlamezek vastagságának mérésénél alkalmazzák