

Žiarenie okolo nás - radiačné pozadie

Obyvatelia zemegule sú neustále vystavovaní ionizujúcemu žiareniu, ktoré nazývame **radiačné pozadie**.

Radiačná ekológia

Prírodné ožiarenie



Radiačná ekológia

Definície

- **Prírodné ionizujúce žiarenie** je ionizujúce žiarenie prírodného zemského alebo kozmického pôvodu.
- **Prírodný zdroj** ionizujúceho žiarenia je zdroj ionizujúceho žiarenia prírodného zemského alebo kozmického pôvodu.
- **Umelý zdroj** ionizujúceho žiarenia je zdroj ionizujúceho žiarenia iný ako prírodný zdroj ionizujúceho žiarenia.

Radiačná ekológia

Radiačné pozadie

- **Prírodné** - kozmické žiarenie, kozmogénne žiarenie, prirodzená rádioaktivita hornín, vody a vzduchu, prirodzená rádioaktivita potravín.
- **Umelé** - lekárska diagnostika a terapia, aplikácia zdrojov žiarenia v priemysle, v stavebníctve a v poľnohospodárstve (technogénne pozadie), jadrová energetika, jadrové zbrane - rádioaktívny spad.

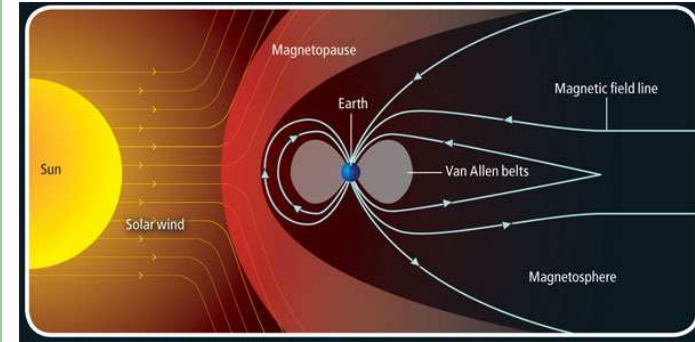
Radiačná ekológia

Kozmické žiarenie

- **Galaktické kozmické žiarenie** - protóny (87%), alfa častice (12%), sekundárne žiarenie: ťažšie ióny, elektróny, fotóny a iné subjadrové častice.
- **Slnčné žiarenie** - protóny, alfa častice a ľahké ióny emitovaných zo Slnka hlavne pri erupciách.
- **Žiarenie zemských radiačných pásov (van Allenových pásov)** - je žiarenie nabitých častíc, zachytených zemným magnetickým poľom. Existujú dva pásy: vonkajší (20 000 km) a vnútorný (3 000 km od Zeme). V oblasti Brazílie je anomália a vnútorný pás sa tam dostáva do vzdialenosti 400 km od Zeme. To môže spôsobovať potiaže pri kozmických letoch.

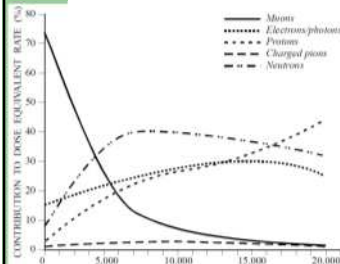
Radiačná ekológia

Magnetické pole Zeme a kozmické žiarenie

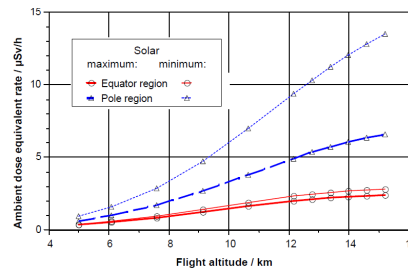


Magnetické pole dokáže odkloniť časť kozmického žiarenia, napr. „nabité častice zo slnečného vetra“ ale časť žiarenia môže v magnetickom poli uviaznuť v podobe van Allenových pásov.

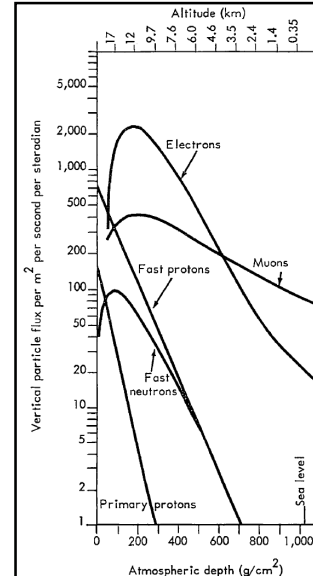
Príspevok jednotlivých typov sekundárneho žiarenia k celkovej dávke závisí od nadmorskej výšky

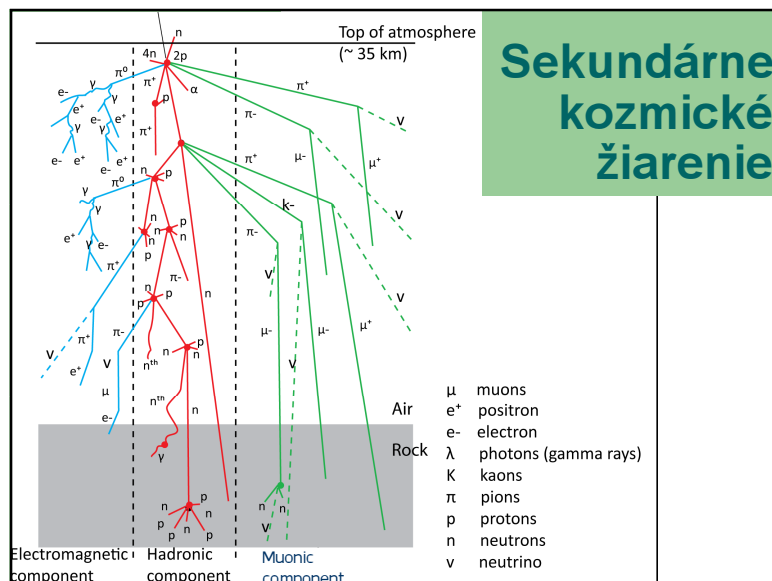


Nadmorská výška (m)



Hustoty toku častíc hlavných zložiek kozmického žiarenia





Secondary cosmic radiation

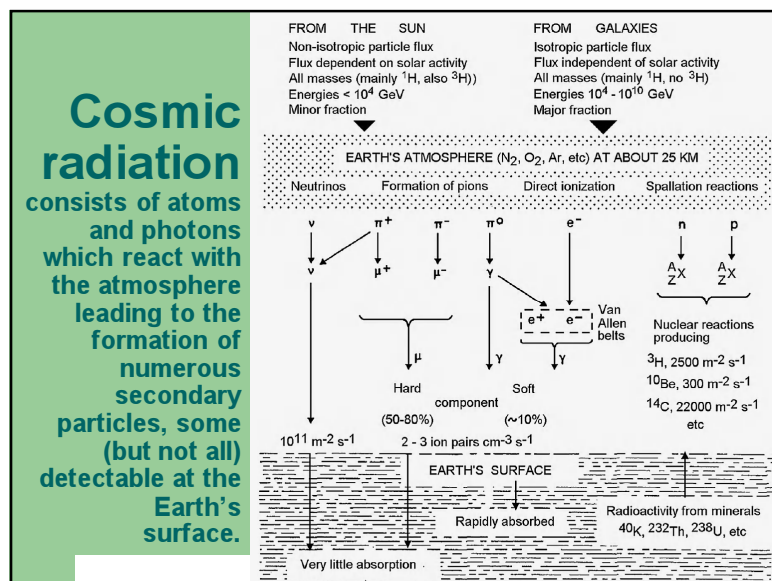
The interaction of this primary cosmic radiation with the nuclei of the atmosphere produces mainly **neutrons, protons and pions** (charged and uncharged). These secondary particles either decay or further react with nuclei in the atmosphere and so on.

This cascade of reactions produces the **secondary cosmic radiation** which has three main components:

- the electromagnetic component (photons and electrons/ positrons),
- the hadronic component (neutrons, protons and charged pions) and
- the muonic component (charged muons, lifetime about 10^{-6} s).

The muons can only reach the surface because their speed is close to the speed of light due to their high energy of up to several GeV.

Radiačná ekológia



Secondary cosmic radiation level

At sea level the secondary cosmic radiation, measured in units of $H^*(10)$, consists of about

- 75% charged particles (muons, electrons and positrons),
- 20% neutrons and
- 5% photons.

Their resulting $H^*(10)$ dose rate is about **40 nSv h⁻¹**.

With increasing height above ground these ratios change a lot. At usual flight altitudes (10 km) the total dose rate is of the order of **5 $\mu\text{Sv h}^{-1}$** , with the **neutron contribution to it being 40% to 60%**.

The secondary cosmic radiation varies not only with height but also with the position on the Earth and the time. This is due to the shielding effect of the magnetic field of the Earth, which is as a first approximation a dipole field. The galactic charged particles approaching the Earth close to the equator are significantly deflected, whereas those aiming at the poles enter the atmosphere almost unaffected. The time variation is mainly due to the 11-year solar cycle which influences the magnetic field of the Earth.

Radiačná ekológia

Kozmické žiarenie pri morskej hladine

Typ žiarenia	Hustota toku častíc ($\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Stredná energia (MeV)
Mióny, pióny	$1,68 \cdot 10^{-6}$	500 - 1000
Elektróny a pozitróny	$0,63 \cdot 10^{-6}$	100
Rýchle protóny	$5,00 \cdot 10^{-8}$	500 - 1000
Protóny	$1,20 \cdot 10^{-8}$	10 - 15
Rýchle neutróny	$1,50 \cdot 10^{-7}$	500 - 1000
neutróny	$1,20 \cdot 10^{-7}$	10 - 15

Radačná ekológia

Efektívna dávka (mSv) u astronautov je zvýšená, ale nie natoľko aby ohrozila ich zdravie

Misia	Dátum	Typ letu	Dĺžka letu	Dávka
APOLLO 7	Aug. 1968	Orbita Zeme	260 hod.	1,2
APOLLO 8	Dec. 1968	Okolo Mesiaca	147 hod.	1,85
APOLLO 9	Feb. 1969	Orbita Zeme	241 hod.	2,1
APOLLO 10	Máj 1969	Okolo Mesiaca	192 hod.	4,7
APOLLO 11	Júl 1969	Pristátie na Mesiaci	182 hod.	2,0
APOLLO 12	Nov. 1969	Pristátie na Mesiaci	236 hod.	~ 2,0
APOLLO 14	Jan. 1971	Pristátie na Mesiaci	286 hod.	~ 5,0
APOLLO 15	Júl 1971	Pristátie na Mesiaci	286 hod.	~ 2,0

Zdroj: NASA

Radačná ekológia

Dávkový ekvivalent pre krvotvorné orgány v kozme

Miesto	Galaktické kozmické žiarenie	Slnéčné erupcie február 1956	Slnéčné erupcie august 1972
Voľný priestor v kozme	600 mSv.r ⁻¹	600 mSv.r ⁻¹	4000 mSv.r ⁻¹
Úkryt na mesiaci 75g.cm ⁻²	120 mSv.r ⁻¹	100 mSv.r ⁻¹	25 mSv.r ⁻¹
Povrch Marsu – riedka atmosféra	120 mSv.r ⁻¹	99 mSv.r ⁻¹	46 mSv.r ⁻¹

Zdroj: NASA

Radačná ekológia

Kozmické žiarenie

- Efektívna dávka od kozmického žiarenia sa odhaduje asi na 0,3 mSv-rok⁻¹ pri morskej hladine.
- So stúpajúcou nadmorskou výškou sa efektívna dávka zvyšuje až na hodnotu 1 mSv-rok⁻¹ vo výške 3000 m.
- Veľkosť kozmického žiarenia je rôzna v rôznych zemepisných šírkach.

Radačná ekológia

Ožiarenie počas letu lietadlom

- Typická dávka získaná počas transatlantického letu (Európa-Severná Amerika) z galaktického kozmického žiarenia je **0,05 mSv**.
- Táto môže byť zvýšená výrazne počas erupcií slnečných energetických častíc (zvýšenia až faktorom **10x** sa odhadovali v prípadoch maximálnych expozícií na erupciu, ale takéto erupcie sú natoľko zriedkavé a krátke, že sa ročná dávka zvyčajne nebude zásadne meniť).

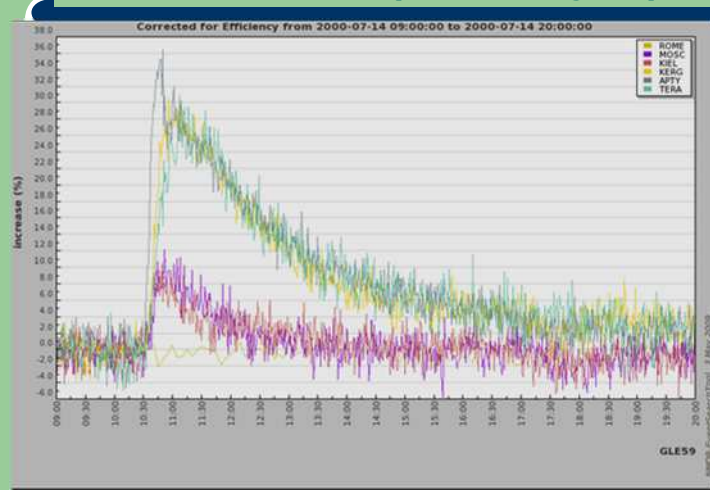
Radačná ekológia

Ožiarenie počas letu lietadlom

- Posádky lietadiel a často lietajúci pasažieri môžu získať ročné dávky **niekoľkých mSv**.
- Letecké spoločnosti už majú uzákonenú povinnosť kontrolovať, či členovia posádok lietadiel nedostávajú, ako aj iní pracovníci, dávky vyššie ako 100 mSv za 5 rokov s maximom 50 mSv za daný rok.
- Tehotné členky leteckej posádky, vzhľadom na vyššiu citlivosť plodu, nesmú dostať viac ako 1 mSv až do konca tehotenstva.

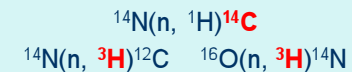
Radačná ekológia

Zvýšenie neutrónového kozmického žiarenia po slnečnej erupcii



Kozmogénne rádionuklidy

- **Kozmogénne rádionuklidy** vznikajú interakciou kozmického žiarenia s jadrami vzduchu, vody a pôdy.
- Typickými predstaviteľmi sú ^3H a ^{14}C :



- **Trícium a uhlík** spôsobujú hlavne vnútorné ožiarenie u obyvateľstva tým, že vstupujú do potravinového reťazca.
- Dusík ^{14}N ako materské jadro tvorí 99,634% podiel dusíka v prírode a je stabilný. Zemská atmosféra obsahuje 78 % dusíka.
- Trícium existuje v prírode hlavne vo forme HTO. Uhlík ^{14}C hlavne vo forme CO_2 .

Radačná ekológia

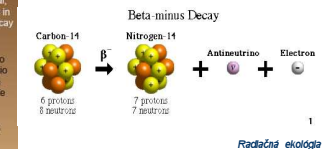
Kozmogénne rádionuklidy

- Produkcia trícia je 2500 atómov za sekundu na meter štvorcový zemského povrchu, spolu cca. **150 PBq/rok**. (iné zdroje hovoria o hodnotách 1000 – 13000 atómov za sekundu na meter štvorcový)
- Globálny inventár trícia je **2,65 kg**, čo zodpovedá 10^5 TBq
- Fosilné palivá produkujú CO_2 s nízkym obsahom ^{14}C a tým zriedňujú jeho obsah v atmosfére. Takto sa za roky 1900-1970 znížila koncentrácia ^{14}C o 3%.
- Atmosferické jadrové testy zvýšili pôvodný obsah ^{14}C v atmosfére v 60-tych rokoch na dvojnásobok (celkom 220 PBq).
- Jadrové elektrárne (hlavne HWR) produkujú ^{14}C v množstve okolo 18 TBq/GWe.
- Množstvo ^{14}C v atmosfére je menej ako 300 TBq/rok.
- S zarátaním všetkých zdrojov rádiouhlíka sa dnešná hodnota hmotnostnej aktivity udáva na $(13,56 \pm 0,07) \text{ dpm/gC} = (226 \pm 12) \text{ Bq/kgC}$.

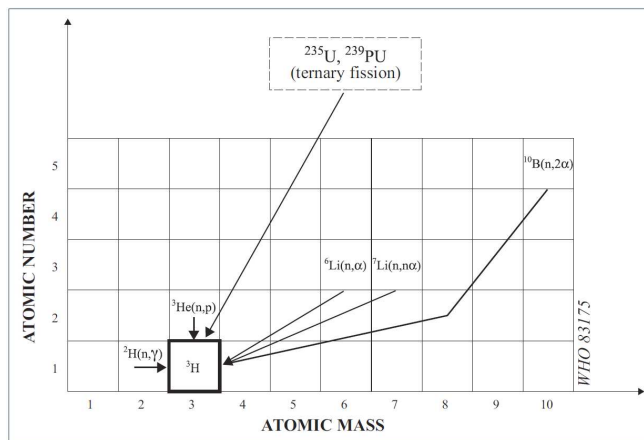
Radiocarbon dating

C-14 disintegrates 100 % by beta-minus transition to the ground state of the stable nuclide N-14.

	Energy keV	Electrons per 100 disint.
$\frac{A_{\text{C-14}}}{A_{\text{C-12}}}$	max: 156,476 (4)	100
	avg: 49,16 (1)	



Reakcie vzniku trícia v reaktore



Trícium z jadrových technológií

Tritium is also a product in the **nuclear energy cycle**, some of which is released to the atmosphere and some to the hydro sphere. The emissions differ between reactor types (usually in the order HWR>PWR>BWR) and is a function of the energy production.

Assuming the annual releases to be **40 TBq/GWe** from an average power plant and 600 TBq/GWe from a typical reprocessing plant.

The annual global injection of tritium in the environment was estimated to $\sim 10 \text{ PBq}$ in 1992. Though this is a small fraction compared to the natural production of $\sim 150 \text{ PBq/y}$, it causes local increases.

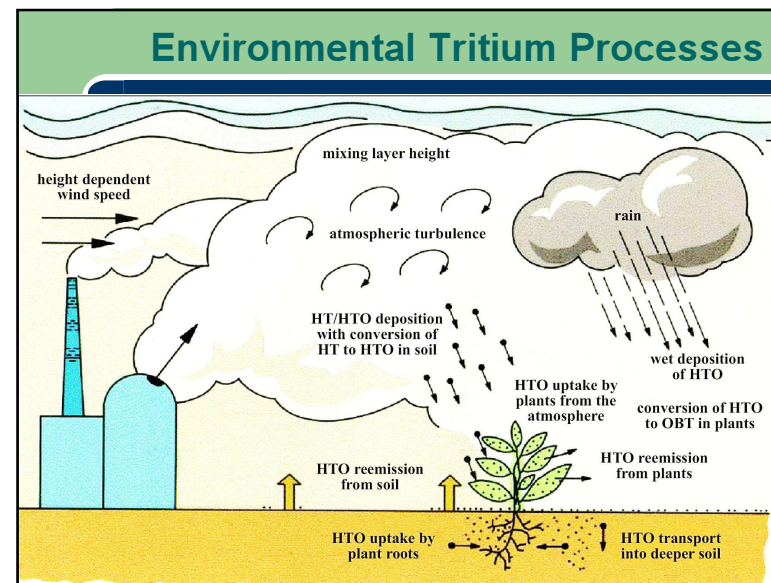
The hydrogen bomb tests conducted in the atmosphere during the decade of the 1950's and early 1960's injected large amounts of tritium into the geosphere; $2,6 \cdot 10^{20} \text{ Bq}$ up to the end of the tests in 1962. This considerably exceeds the natural production inventory.

Before 1952 (first hydrogen bomb tests) the tritium content could be used to date water (i.e. determine when it became isolated from contact with the atmosphere). This was very useful e.g. for determining ice ages. However, due to the much larger content of anthropogenic tritium presently, this is no longer a useful technique for such dating.

Estimated Rates of Generation of Tritium
and of its Release in Effluent Streams for Different Types of Reactors (10^{10} Bq per MW(e))

Rate of Tritium Generation and Release by ^a Reactor Type (10^{10} Bq per MW(e)a)								
	PWR		BWR		HWR		GCR	
Source	Generation	Effluent Stream	Generation	Effluent Stream	Generation	Effluent Stream	Generation	Effluent Stream
Fission	75	< 0.7	75	< 0.7	55	< 0.6	75	< 0.7
Activation								
Deuterium	0.004	0.004	0.04	0.04	2000	^b 75		
Lithium	0.07	0.07					2	0.4
Boron	2.6	2.6		30	0			
Rounded Total	80	3	110	0.5	2000	75	80	1

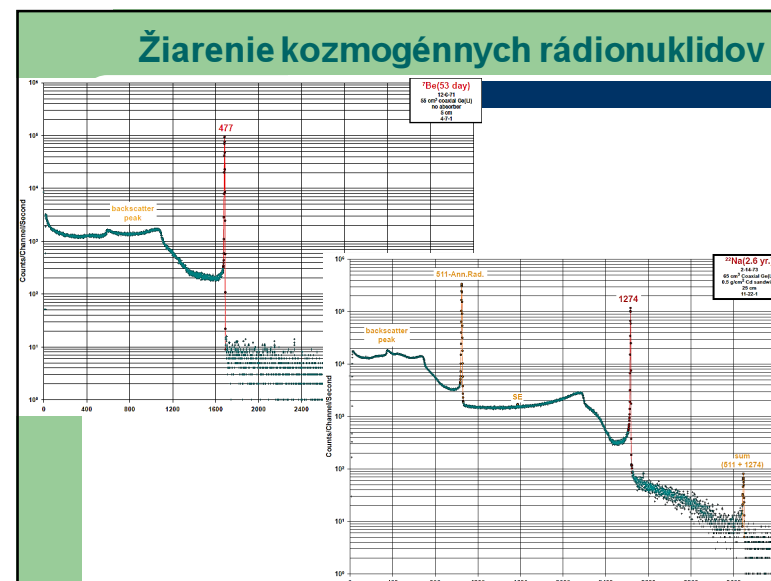
Radačná ekológia



Hlavné kozmogénne rádionuklidy a ich vlastnosti

Nuklid	Polčas premeny $T_{1/2}$	Typ premeny	Energia žiarenia (MeV)	Produkcia ($\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
^3H	12,26 rokov	β^-	0,0186	0,12-1,3
^7Be	53 dni	γ, ϵ	0,477	0,021-0,035
^{10}Be	$2,7 \cdot 10^6$ rokov	β^-	0,56	0,04-0,1
^{14}C	5730 rokov	β^-	0,156	2,0-2,6
^{22}Na	2,58 roka	$\beta^+, \gamma, \epsilon$	0,54	-
^{32}Si	700 rokov	β^-	0,1	$2 \cdot 10^{-4}$
^{32}P	14,3 rokov	β^-	1,71	$1 \cdot 10^{-4}$
^{33}P	25 dni	β^-	0,25	$1 \cdot 10^{-4}$
^{36}S	86,7 dní	β^-	0,168	$2 \cdot 10^{-4}$
^{36}Cl	$3 \cdot 10^5$ rokov	β^-, ϵ	0,71	-
^{39}Cl	55 min	β^-, γ	1,91; 2,18; 3,43	-

Radačná ekológia



Prírodné žiarenie prirodzená rádioaktivita hornín, vody a vzduchu

Pôvodné primordiálne rádionuklidy, ktoré sa nachádzajú na Zemi od jej vzniku. Do tejto skupiny patria v prírode sa vyskytujúce rádionuklidy s polčasom premeny $T_{1/2} > 10^8$ rokov.

Prvky ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th a ^{235}Np sú východzími prvkami tzv. rozpadových radov, v ktorých vznikajú **sekundárne primordiálne rádionuklidy**.

Najrozšírenejším primordiálnym rádionuklidom, ktorý nie je členom rozpadových radov je ^{40}K (v prírodnom draslíku sa nachádza 0,0117% tohto izotopu). Aktivita draslíka sa v rôznych potravinách pohybuje na úrovni desiatok až stoviek $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Polčas premeny ^{40}K je $T_{1/2} = 1,277 \cdot 10^9$ rokov.

Radačná ekológia

Primordiálne rádionuklidy a ich vlastnosti

Nuclide	Isotopic abundance %	Decay mode and particle energy MeV	Half-life (years)
^{40}K	0.0117	β^- EC 1.31	1.26×10^9
^{50}V	0.250	β^- EC (0.601)	$> 1.4 \times 10^{17}$
^{87}Rb	27.83	β^- 0.273	4.88×10^{10}
^{115}In	95.72	β^- 1.0	4.4×10^{14}
^{123}Te	0.905	β^- EC (0.052)	1.3×10^{13}
^{138}La	0.092	β^- EC	1.06×10^{11}
^{144}Nd	23.80	α	2.1×10^{15}
^{147}Sm	15.0	β^- 2.23	1.06×10^{11}
^{148}Sm	11.3	β^- 1.96	7×10^{15}
^{176}Lu	2.59	β^- (1.188)	3.8×10^{10}
^{174}Hf	0.162	α	2×10^{15}
^{187}Re	62.60	β^- 0.0025	4.2×10^{10}
^{190}Pt	0.012	α	6.5×10^{11}

Prírodné žiarenie prirodzená rádioaktivita hornín, vody a vzduchu

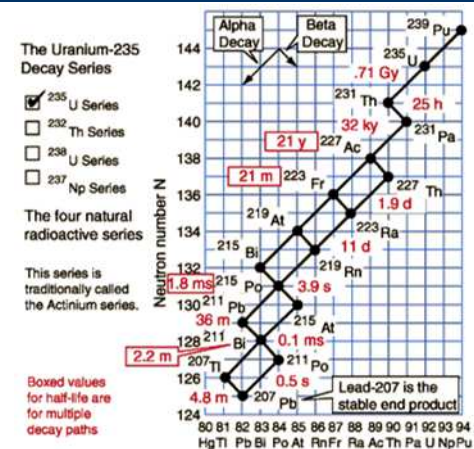
Sekundárne primordiálne rádionuklidy sú rádionuklidy, ktoré patria k tzv. rozpadovým radom. Rozoznávame štyri rozpadové rady, ktoré charakterizuje štartovací prvok:

- ^{238}U začína urán-rádiový rad, $(4n+2)$
- ^{235}U (^{239}Pu) urán-aktíniový rad, $(4n+3)$
- ^{232}Th tóriový rad, $(4n)$
- ^{237}Np neptúniový rad $(4n+1)$

Produktmi rozpadových radov sú rôzne prírodné rádionuklidy, napr.: Bi, Ac, Po, Ra, Pb, Rn, Tl a pod.

Radačná ekológia

Urán - aktíniový rozpadový rad ($4n+3$)

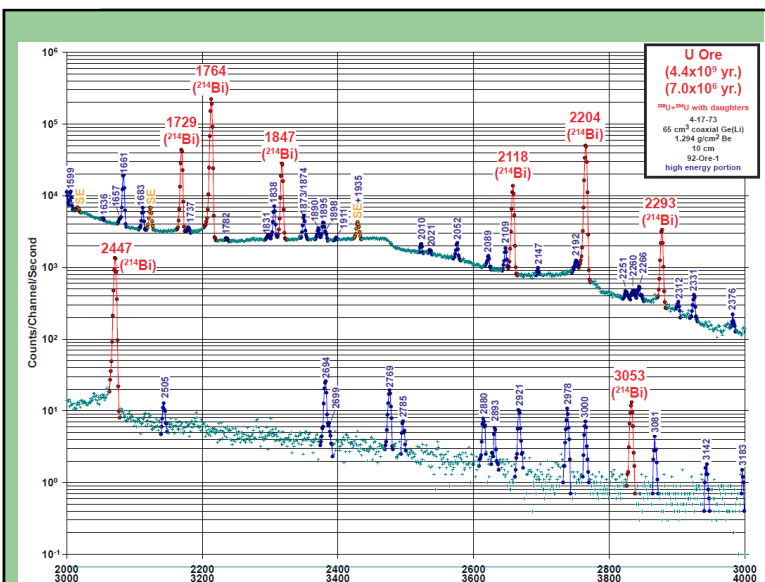
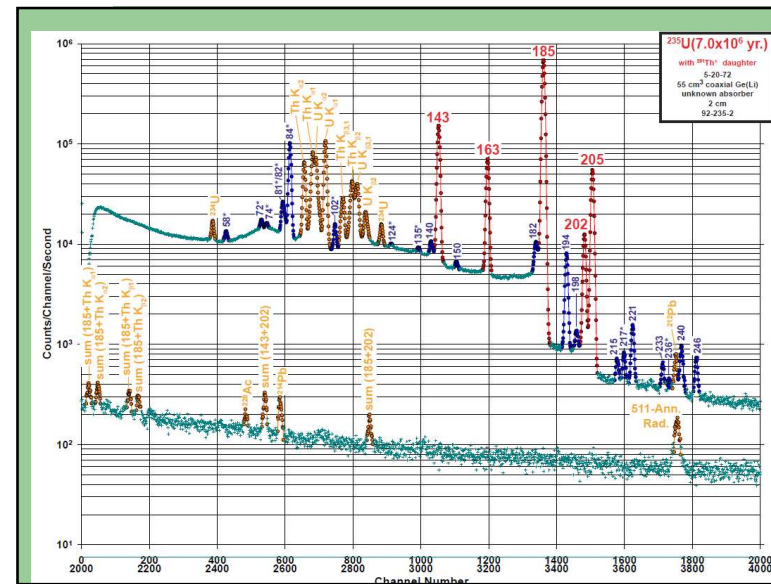


Radačná ekológia

Urán - aktíniový rozpadový rad

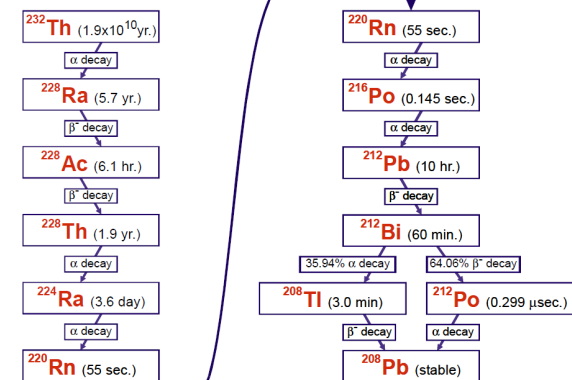
Nuklid	historický názov	typ premeny	doba polpremeny	emisia energie, MeV	produkt premeny
239Pu		α	$2.41 \cdot 10^4$ r	5.244	235U
235U	Actin Uranium	α	$7.04 \cdot 10^8$ r	4.678	231Th
231Th	Uranium Y	β	25.52 h	0.391	231Pa
231Pa		α	32760 r	5.150	227Ac
227Ac	Actinium	β -98.62% α -1.38%	21.772 r	0.045 5.042	227Th 223Fr
227Th	Radioactinium	α	18.68 d	6.147	223Ra
223Fr	Actinium K	β	22.00 min	1.149	223Ra
223Ra	Actinium X	α	11.43 d	5.979	219Rn
219Rn	Actinon	α	3.96 s	6.946	215Po
215Po	Actinium A	α -99.99977% β -0.00023%	1.781 ms	7.527 0.715	211Pb 215At
215At		α	0.1 ms	8.178	211Bi
211Pb	Actinium B	β	36.1 min	1.367	211Bi
211Bi	Actinium C	α -99.724% β -0.276%	2.14 min	6.751 0.575	207Tl 211Po
211Po	Actinium C'	α	516 ms	7.595	207Pb
207Tl	Actinium C''	β	4.77 min	1.418	207Pb
207Pb			stable		

Radačná ekológia

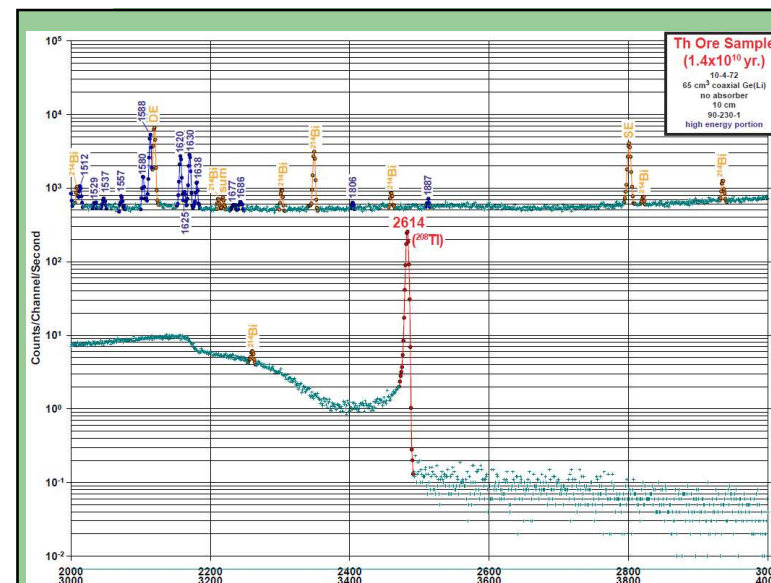
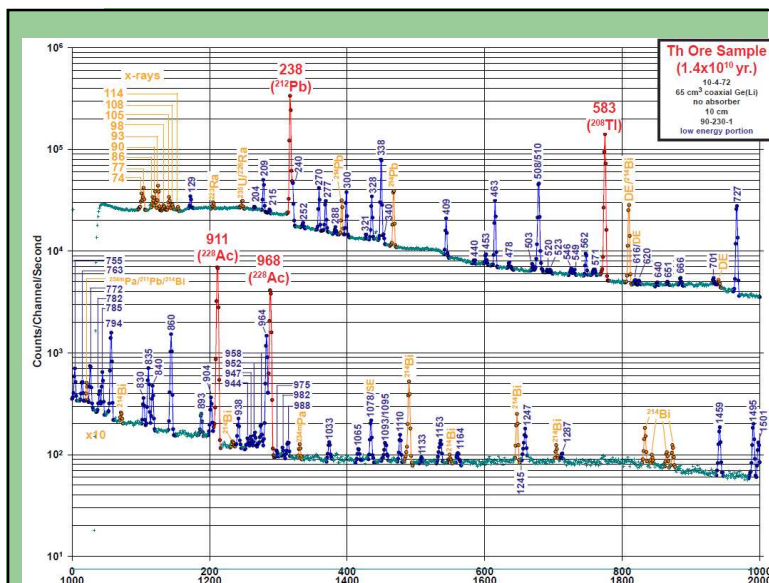


232Th tóriový rad

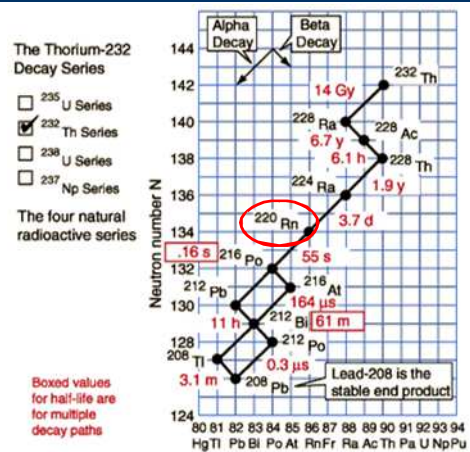
Th Ore Decay Chain



Radačná ekológia

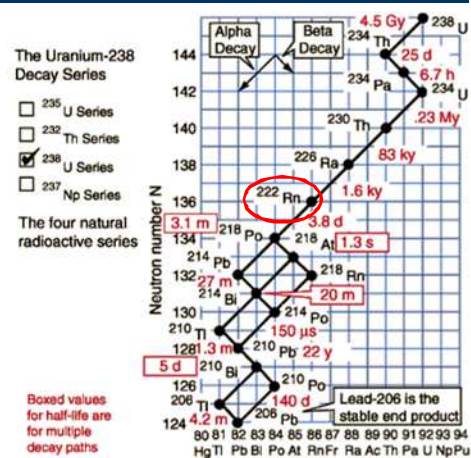


Tórový rozpadový rad (4n)



Nuklid	historický názov	typ premeny	dobu polpřeměny	emisia energie, MeV	produkt premeny
²⁵² Cf		α	2 645 r	6 1181	²⁴⁸ Cm
²⁴⁸ Cm		α	$3.4 \cdot 10^5$ r	6 260	²⁴⁴ Pu
²⁴⁴ Pu		α	$8 \cdot 10^4$ r	4 589	²⁴⁰ U
²⁴⁰ U		β^-	14.1 h	39	²⁴⁰ Np
²⁴⁰ Np		β^-	1 032 h	2.2	²⁴⁰ Pu
²⁴⁴ Cm		α	18 r	5 8048	²⁴⁰ Pu
²⁴⁰ Pu		α	6561 r	5 1683	²³⁶ U
²³⁶ U		α	$2.3 \cdot 10^7$ r	4 494	²³² Th
²³² Th	Thorium	α	$1.405 \cdot 10^{10}$ r	4 081	²²⁸ Ra
²²⁸ Ra	Mesothorium 1	β^-	5.75 r	0 046	²²⁸ Ac
²²⁸ Ac	Mesothorium 2	β^-	6.25 h	2 124	²²⁸ Th
²²⁸ Th	Radiothorium	α	1 9116 r	5 520	²²⁴ Ra
²²⁴ Ra	Thorium X	α	3.6319 d	5 789	²²⁰ Rn
²²⁰ Rn	Thoron	α	55.6 s	6 404	²¹⁶ Po
²¹⁶ Po	Thorium A	α	0.145 s	6 906	²¹² Pb
²¹² Pb	Thorium B	β^-	10.64 h	0.570	²¹² Bi
²¹² Bi	Thorium C	β^- 64.06% α 35.94%	60.55 min	2.252 6.208	²¹² Po ²⁰⁸ Tl
²¹² Po	Thorium C'	α	299 ns	8.955	²⁰⁸ Pb
²⁰⁸ Tl	Thorium C''	β^-	3 053 min	4.999	²⁰⁸ Pb
²⁰⁸ Pb		stable			

Urán - rádiový rozpadový rad (4n+2)



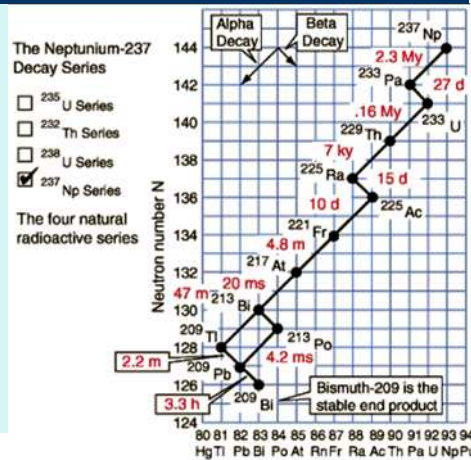
Urán - rádiový rozpadový rad

Nuklid	historický názov	typ premeny	doba polpremeny	emisia energie, MeV	produkt premeny
²³⁸ U	Uranium	α	4.468 · 10 ⁹ r	4.270	²³⁴ Th
²³⁴ Th	Uranium X1	β-	24.10 d	0.273	²³⁴ Pa
²³⁴ Pa	Uranium Z	β-	6.70 h	2.197	²³⁴ U
²³⁴ U	Uranium two	α	245500 r	4.859	²³⁰ Th
²³⁰ Th	Ionium	α	75380 r	4.770	²²⁶ Ra
²²⁶ Ra	Radium	α	1602 r	4.871	²²² Rn
²²² Rn	Radon	α	3.8235 d	5.590	²¹⁸ Po
²¹⁸ Po	Radium A	α 99.98 % β- 0.02 %	3.10 min	6.115 0.265	²¹⁴ Pb
²¹⁸ At		α 99.90 % β- 0.10 %	1.5 s	6.874 2.883	²¹⁴ Bi
²¹⁸ Rn		α	35 ms	7.263	²¹⁴ Po
²¹⁴ Pb	Radium B	β-	26.8 min	1.024	²¹⁴ Bi
²¹⁴ Bi	Radium C	β- 99.98 % α 0.02 %	19.9 min	3.272 5.617	²¹⁴ Po
²¹⁴ Po	Radium C'	α	0.1643 ms	7.883	²¹⁰ Pb
²¹⁰ Tl	Radium C''	β-	1.30 min	5.484	²¹⁰ Pb
²¹⁰ Pb	Radium D	β-	22.3 r	0.064	²¹⁰ Bi
²¹⁰ Bi	Radium E	β- 99.99987 % α 0.00013 %	5.013 d	1.426 5.982	²¹⁰ Po
²¹⁰ Po	Radium F	α	138.376 d	5.407	²⁰⁶ Pb
²⁰⁶ Tl		β-	4.199 min	1.533	²⁰⁶ Pb
²⁰⁶ Pb		-	stable	-	-

Radiační ekológia

Neptúniový rozpadový rad (4n+1)

The neptunium series is composed of nuclides having mass numbers which divided by 4 have a remainder of 1 (the 4n+1 series). The name comes from the longest lived A=4n+1 nuclide heavier than Bi, ²³⁷Np, which is considered as the parent species; it has a half-life of 2,14 · 10⁶ y. In as much as this half-life is considerably shorter than the age of the earth, primordial ²³⁷Np no longer exists on earth, and, therefore, the neptunium series is not found as a natural occurrence. Np found in nature on Earth has now human origin. However, Np has been discovered in the spectrum of some stars.



Neptúniový rozpadový rad

Nuklid	typ premeny	doba polpremeny	emisia energie, MeV	produkt premeny
²⁴⁹ Cf	α	351 r	5.813 ± 388	²⁴⁵ Cm
²⁴⁵ Cm	α	8500 r	5.362 ± 175	²⁴¹ Pu
²⁴¹ Pu	β-	14.4 r	0.021	²⁴¹ Am
²⁴¹ Am	α	432.7 r	5.638	²³⁷ Np
²³⁷ Np	α	2.14 · 10 ⁶ r	4.959	²³³ Pa
²³³ Pa	β-	27.0 d	0.571	²³³ U
²³³ U	α	1.592 · 10 ⁵ r	4.909	²²⁹ Th
²²⁹ Th	α	7.54 · 10 ⁴ r	5.168	²²⁵ Ra
²²⁵ Ra	β-	14.9 d	0.36	²²⁵ Ac
²²⁵ Ac	α	10.0 d	5.935	²²¹ Fr
²²¹ Fr	α	4.8 m	6.3	²¹⁷ At
²¹⁷ At	α	32 ms	7.0	²¹³ Bi
²¹³ Bi	α	46.5 m	5.87	²⁰⁹ Tl
²⁰⁹ Tl	β-	2.2 min	3.99	²⁰⁹ Pb
²⁰⁹ Pb	β-	3.25 h	0.644	²⁰⁹ Bi
²⁰⁹ Bi	α	1.9 · 10 ¹⁹ r	3.14	²⁰⁵ Tl
²⁰⁵ Tl	-	stable	-	-

Radiační ekológia

Prírodné žiarenie prírodná rádioaktivita hornín, vody a vzduchu

Zdrojmi vnútorného ožiarovania človeka sú predovšetkým rádionuklid ^{40}K a rádionuklidy rozpadových radov uránu a tória.

V ľudskom organizme sa nachádzajú v rovnovážnej koncentrácii v dôsledku neprestajného vstupu potravinovým reťazcom, vodou a atmosférickým vzduchom a výstupu vylučovaním resp. vlastným rozpadom.

Veľkosť vonkajšieho ožiarovania, ktoré spôsobujú prírodné rádionuklidy, sa odhaduje na **0,32 mSv-rok⁻¹**, vnútorného na **0,37 mSv-rok⁻¹**. Celkovo teda od prírodného pozadia (aj s kozmickým) dostáva človek ročne približne 1 mSv. Táto hodnota môže byť rapídne zvýšená v oblastiach so zvýšeným výskytom radónu.

Radačná ekológia

Charakteristiky prírodných rádionuklidov vo vode

Nuklid	Poločas	Premena	Výskyt (Bq/l)	KF deti (mSv/Bq)	KF dosp (mSv/Bq)
^{238}U	4,47.10 ⁹ r	alfa	10 ⁻³ – 10 ⁻¹	0,34	0,045
^{234}Th	24,1 d	beta	10 ⁻³ – 10 ⁻¹	0,04	0,003
^{234}U	2,45.10 ⁵ r	alfa	10 ⁻³ – 10 ⁻¹	0,37	0,049
^{230}Th	7,7.10 ⁴ r	alfa	do 10 ⁻²	4,1	0,21
^{226}Ra	1,6.10 ³ r	alfa	10 ⁻³ – 10 ⁻²	4,7	0,28
^{222}Rn	3,82 d	alfa	1 – 100	0,07	0,01
^{210}Po	138 d	alfa	10 ⁻³ – 10 ⁻²	26	1,2
^{210}Pb	22,3 d	alfa	10 ⁻³ – 10 ⁻²	8,4	0,69
^{232}Th	1,4.10 ¹⁰ r	alfa	do 10 ⁻²	4,6	0,23
^{228}Ra	5,75 r	beta	10 ⁻³ – 10 ⁻²	30	0,69
^{228}Th	1,91 r	alfa	do 10 ⁻²	3,7	0,072
^{224}Ra	3,66 d	alfa	10 ⁻³ – 10 ⁻²	2,7	0,065
^{235}U	7,04.10 ⁸ r	alfa	10 ⁻³ – 10 ⁻²	0,35	0,047
^{231}Pa	3,28.10 ⁴ r	alfa	do 10 ⁻³	13	0,71
^{227}Ac	21,8 r	beta	do 10 ⁻³	33	1,1
^{227}Th	18,7 d	alfa	do 10 ⁻³	0,3	0,009
^{223}Ra	11,4 d	alfa	do 10 ⁻²	5,3	0,1

Radačná ekológia

Aktivita Cs-137 v potrave a poľnohospodárskych produktoch (Bq.kg⁻¹, Bq.l⁻¹)

Produkt	Typ	Minimum	Maximum	Priemer
Mlieko	čerstvé	0,003	0,39	0,07
Mäso hovädzie	čerstvé	0,06	4,1	0,43
Mäso bravčové	čerstvé	0,001	1,8	0,15
Mäso divina	čerstvé	-	-	1,1
Mäso hydina	čerstvá	0,003	0,66	0,05
Obilniny	sušina	< 0,04	1,50	-
Zemiaky	sušina	< 0,04	0,22	-
Zelenina	sušina	< 0,02	0,60	-
Ovocie	sušina	0,001	1,2	0,06
Lesné plody	čerstvé	< 0,07	24,0	-
Huby	sušina	4,0	5 300	390

Radačná ekológia

Draslík v minerálkach, (mg/l)

Názov	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Fe ²⁺	NH ⁴⁺
Slatina	620	100	287,4	67,5	2,2	0
Budiš	444,5	50,1	198,7	50	0	0,35
Mattoni	137	17,1	47,6	0	0	0
Turčianka	71,5	72,85	280,2	15	2,1	5,1
Korytnica	18	163,2	584,5	4,1	21,2	0,46
Baldovská	81,3	73,7	269,3	0	0,2	0
Fatra	746,5	0	39,7	19,4	0	33,01
Salvator	245,4	164,1	452,4	37,5	0	0
Santovka	380,5	66,8	215,3	45	0	0
Ondrášovka	43	44	268	2	0	0

Radačná ekológia

Príklad: Akú je hmotnostná aktivita draslíka Bq/g

- Aktivita $A = \lambda \cdot N$ resp. hmotnostná aktivita $a = \lambda \cdot n$
- 1 mól látky obsahuje $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ atómov a má hmotnosť A (hmotnostné číslo) gramov
- 1 g látky obsahuje $n = N_A / A$ atómov
- $a = \lambda \cdot n = \lambda \cdot N_A / A = (\ln 2 \cdot N_A) / (T_{1/2} \cdot A)$
- Prírodný draslík obsahuje 0,0118% izotopu ^{40}K
 - $a_{^{40}\text{K}} = (\ln 2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}) / (1,26 \cdot 10^9 \cdot 3,16 \cdot 10^7 \cdot 41) = 0,000118$
 - **$a_{^{40}\text{K}} = 30 \text{ Bq/g}$**
- Podľa legislatívy je ^{40}K rádioaktívny žiarič keď aktivita prekročí 1 MBq a súčasne hmotnostná aktivita 0,1 MBq/kg teda 100 Bq/g.

Radačná ekológia

Vlastnosti ^{40}K

- V prírode sa vyskytujúci draslík ^{40}K sa rádioaktívne mení
 - na stabilný ^{40}Ar (11.2%) elektrónovým záchyтом alebo emisiou pozitronu β^+
 - alebo na stabilný ^{40}Ca (88.8%) beta- premenou
- Minerálka s obsahom draslíka 50 mg/l (BUDIŠ) má aktivitu $50 \cdot 10^{-3} \text{ g/l} \cdot 30 \text{ Bq/g} = 1,5 \text{ Bq/l}$
- Ľudské telo obsahuje asi 0,2 % hmot. draslíka, potom 70 kg človek bude mať aktivitu draslíka 4200 Bq.
- Porovnateľná je aktivita $^{14}\text{C} = 3800 \text{ Bq}$

Radačná ekológia

Aktivita bežného človeka (70 kg)

Rádionuklid	Aktivita v Bq
Draslík ^{40}K	4 500
Uhlík ^{14}C	3 800
Rubídium ^{87}Rb	650
ŤK ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po	60
Radón ^{220}Rn a prod. rozpadu	30
Trícium ^3H	25
Berýlium ^7Be	25
Radón ^{222}Rn a prod. rozpadu	15
Iné	7
Spolu	9112 (cca. 130 Bq / kg)

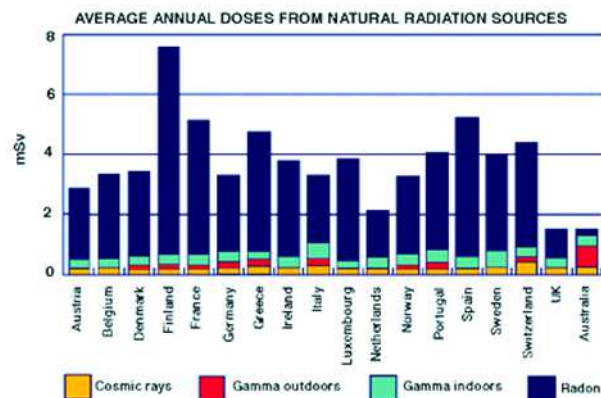
Radačná ekológia

Prírodné žiarenie ^{222}Rn - radón

- Radón je rádioaktívny inertný plyn, ktorý postupuje do budov zo zeme a zo stavebných materiálov.
- Dýchaním postupuje do pľúc, kde ako α žiarič spôsobuje lokálne ožiarenie, ktoré môže spôsobiť rakovinu.
- Podiel radónu na ožiarení obyvateľstva sa v rôznych regiónoch výrazne odlišuje.
- Celosvetovo sa merná aktivita ^{222}Rn vo vzduchu pohybuje priemerne na úrovni $4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Takáto úroveň spôsobí ročnú efektívnu dávku približne $0,25 \text{ mSv}$.
- V pôdnom vzduchu sa nachádza radón na úrovni 1000 Bq/m^3 , v miestnostiach sa potom môže pohybovať na úrovni $10\text{--}100 \text{ Bq/m}^3$.

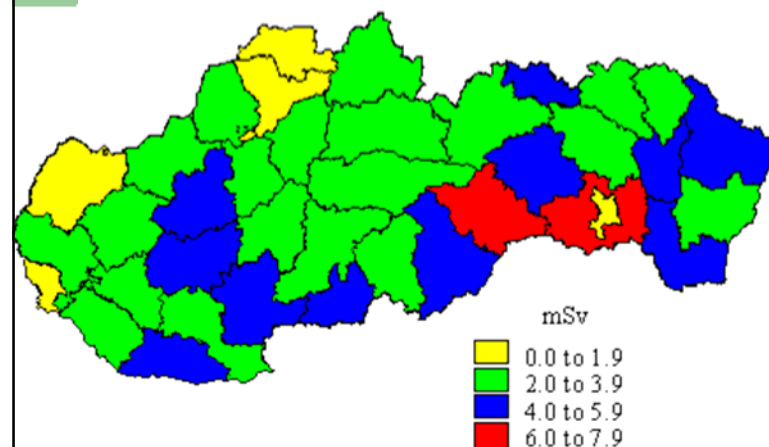
Radačná ekológia

Prehľad priemerných ročných dávok z prírodných zdrojov



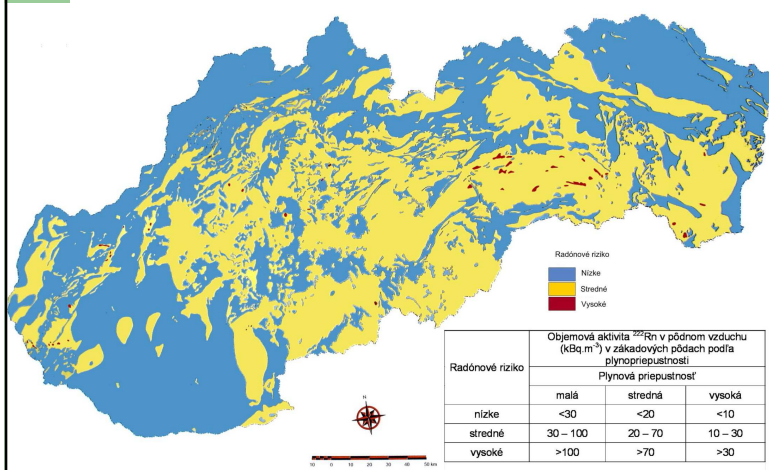
Radažná ekológia

Priemerná celoročná efektívna dávka na obyvateľa z inhalácie radónu a jeho dcérskych produktov v pobytových priestoroch podľa okresov SR



Radažná ekológia

Mapa radónového rizika Slovenska



Radažná ekológia

Mapa radónového rizika Slovenska

- Územie Slovenska zaradené do nízkeho, stredného a vysokého radónového rizika vykazuje pomer 51 : 46 : 3 %.
- Relatívne najvyššie percentuálne podiely plôch zaradených do stredného a vysokého radónového rizika sa vyskytujú v intravilánoch miest Bánovce nad Bebravou, Bytča, Pezinok, Poprad, Púchov, Šaľa, Topoľčany, Zlaté Moravce a Žilina.
- Naopak, najpriaznivejšia situácia sa zdokumentovala v Holiči, Skalici, Vranove nad Topľou, kde 100% referenčných plôch spadlo do kategórie nízkeho radónového rizika.

Radažná ekológia

Sumarizácia výsledkov radónového skríningu ÚPKM z 1 832 bytov na Slovensku

- hodnoty EOAR (ekvivalentná objemová aktivita radónu) v pobytočných priestoroch presahujúce 200 Bq/m^3 (tzv. akčná úroveň) boli prekročené v 205 bytoch (11% z celkového počtu),
- najvyššie priemerné hodnoty EOAR (65 Bq/m^3) boli zistené na území bývalého východoslovenského kraja (Slovensko priemer: 40 Bq/m^3),
- "horúce radónové lokality" podľa starého územnosprávneho členenia SR sa zistili v okresoch Liptovský Mikuláš, Rimavská Sobota, Košice-mesto, Košice-vidiek a Rožňava,
- stredné a vysoké radónové riziko z geologického podlažia bolo zaznamenané aj v územiach, kde merania EOAR v pobytočných priestoroch doposiaľ nezdokumentovali prekročenie akčnej úrovne.

Zdroj: Ústav preventívnej a klinickej medicíny (ÚPKM)

Radiačná ekológia

Požiadavky na obmedzenie ožiarenia z radónu

- **VYHLÁŠKA Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky 528/2007 ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia**
- **Smernou hodnotou** na vykonanie opatrení na obmedzenie ožiarenia v **existujúcich** stavbách s pobytočnými priestormi je objemová aktivita radónu **400 Bq.m^{-3}** v priemere za rok.
- Opatrenia na obmedzenie ožiarenia z radónu sa **pri projektovaní nových stavieb** s pobytočnými priestormi a projektovaní rekonštrukcií stavieb s pobytočnými priestormi navrhujú tak, aby nebola prekročená hodnota objemovej aktivity radónu **200 Bq.m^{-3}** v priemere za rok.

Radiačná ekológia

Smerná hodnota na vykonanie opatrení proti prenikaniu radónu z podlažia stavby

- pri výstavbe stavieb s pobytočnými priestormi je objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu na úrovni základovej ryhy
 - a) 10 kBq.m^{-3} v dobre priepustných základových pôdach,
 - b) 20 kBq.m^{-3} v stredne priepustných základových pôdach,
 - c) 30 kBq.m^{-3} v slabo priepustných základových pôdach.
- Ak je stanovená objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu nižšia ako uvedené hodnoty, radónové riziko sa považuje za nízke.

Radiačná ekológia

Štandardné ♦ a doporučené ■ protiradónové opatrenia

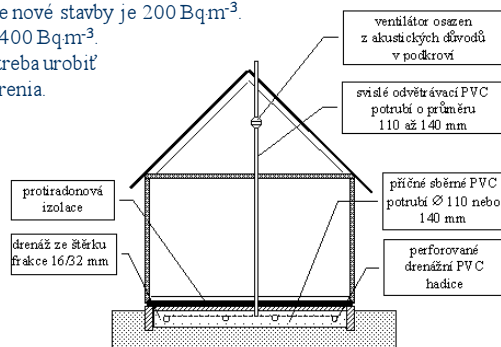
Kategórie rizika	nízke	stredné	vysoké
Opatrenia			
Hydroizolácia	♦	♦	♦
Protiradónová izolácia		■	
Protiradónová izolácia + odvetrávanie podlažia			■
Protiradónová izolácia + Odvetraná vzduchová medzera			■

U vysokého rizika sa odporúča aj kombinácia s autonómnou vzduchotechnikou obývacích priestorov.

Radiačná ekológia

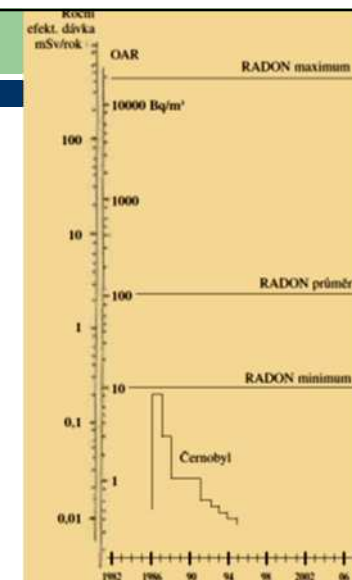
Príklad protiradónových opatrení

V rámci stavebného konania treba zhodnotiť radónové riziko a navrhnuť protiradónové opatrenia (izolácia, odvetrávanie podlažia a pod.)
 Pri kolaudácii zmerať koncentráciu radónu vo vzduchu.
 Smerná hodnota pre nové stavby je $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.
 Pre staršie budovy $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.
 Pri ich prekročení treba urobiť protiradónové opatrenia.



Radónové riziko

- Porovnanie ožiarenia obyvateľstva ČR od radónu v bytoch a od následkov havárie v Černobyle.



Umelé pozadie technogénne zdroje žiarenia

Technogénne radiačné pozadie je spôsobené hlavne stavebnými materiálmi, ďalej umelými hnojivami, ktoré môžu obsahovať zvýšenú hladinu rádionuklidov uránového a tórového radu.

K nim treba prirátat účinok prírodných rádionuklidov (^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{40}K), ktoré sa nachádzajú v úletoch tepelných elektrární, ktoré spaľujú fosílna palivá.

Do technogénneho pozadia patrí aj žiarenie rôznych svietiacich farieb, používaných v ciferníkoch rôznych prístrojoch (rádionuklidy ^{226}Ra , ^{147}Pm , ^3H), štartéry v svietidlách, tyristory (rádionuklidy ^{87}Kr , ^{147}Pm , ^{232}Th), hlásiče požiarov (^{241}Am) a iné.

Radiačná ekológia

Priemerný obsah ^{40}K , ^{226}Ra a ^{232}Th v niektorých stavebných materiáloch

Materiál	$^{40}\text{K}(\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1})$	$^{226}\text{Ra}(\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1})$	$^{232}\text{Th}(\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1})$
Tehla	614	50	50
Betón	419	30	20
Kamene	724	50	35
Cement	248	30	18
Bridlice	632	64	35
Pórobetón	403	130	60
Obklady	380	80	50
Dlažba	730	70	60
Farbivá	141	1220	220
Omietky	160	70	60
Hlina	518	60	50
Popolček	600	130	80

Radiačná ekológia

Požiadavky na obmedzenie ožiarovania z prírodného žiarenia

- VYHLÁŠKA Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky 528/2007 ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na obmedzenie ožiarovania z prírodného žiarenia
- Smernou hodnotou na vykonanie opatrení na zníženie obsahu prírodných rádionuklidov **v stavebných výrobkoch** určených na výstavbu stavieb s pobytovejmi priestormi je hmotnostná aktivita ^{226}Ra v stavebnom výrobku **120 Bq.kg⁻¹**.

Radažná ekológia

Technogénne pozadie - stavebné materiály Vyhláška MZ SR č. 528/2007

- Smernou hodnotou na vykonanie opatrení na obmedzenie vonkajšieho ožiarovania osôb žiarením **gama zo stavebných výrobkov** v stavbách s pobytovejmi priestormi je príkon priestorového dávkového ekvivalentu **0,5 $\mu\text{Sv.h}^{-1}$** , ktorý sa stanovuje meraním vo výške 1 m od podlahy a vo vzdialenosti 0,5 m od stien.
- Smerná hodnota na vykonanie opatrení sa porovnáva s najvyššie nameranou hodnotou príkonu dávkového ekvivalentu.

Radažná ekológia

Technogénne pozadie - stavebné materiály Vyhláška MZ SR č. 528/2007

- V existujúcich stavbách s pobytovejmi priestormi najvyššie prípustné hodnoty sú:
 - a) 4000 Bq.m⁻³ v priemere za rok pre objemovú aktivitu radónu,
 - b) 10 $\mu\text{Sv.h}^{-1}$ pre príkon priestorového dávkového ekvivalentu z prírodných rádionuklidov.

Radažná ekológia

Spôsob stanovovania indexu hmotnostnej aktivity pre obsah prírodných rádionuklidov v stavebných výrobkoch

$$I = \frac{a_{\text{Ra}}}{300} + \frac{a_{\text{Th}}}{200} + \frac{a_{\text{K}}}{3\,000}$$

kde a_{Ra} , a_{Th} , a_{K} sú namerané hmotnostné aktivity ^{226}Ra , ^{232}Th a ^{40}K v stavebnom výrobku.

Ak je obsah niektorého rádionuklidu menší ako najmenšia detegovateľná hmotnostná aktivita, pri výpočte indexu hmotnostnej aktivity sa pre taký rádionuklid použije hodnota najmenšej detegovateľnej aktivity.

Radažná ekológia

NAJVYŠŠIE PRÍPUSTNÉ HODNOTY INDEXU HMOTNOSTNEJ AKTIVITY rovné 1 s frekvenciou merania raz za rok

- Stavebné výrobky určené na výstavbu múrov, podláh a stropov, ako sú:
 - tehly a iné výrobky z hliny,
 - betón a prefabrikované stavebné dielce z betónu,
 - stavebné výrobky z pórobetónu a škvárobetónu,
 - prírodný kameň na murovanie,
 - cementy.
- Vláknocementové a sadrokartónové dosky.

Radiačná ekológia

NAJVYŠŠIE PRÍPUSTNÉ HODNOTY INDEXU HMOTNOSTNEJ AKTIVITY rovné 2 s frekvenciou merania dvakrát za rok

- Stavebné výrobky určené na obklady múrov, podláh a stropov do hrúbky 3 cm, ako sú:
 - keramické a betónové obkladačky a dlaždice,
 - obkladačky a dlažby z prírodného kameňa,
 - malty, suché maltové zmesi a iné pojivá.
- Schodiskové prvky (iné ako z dreva, kovov a plastov).
- Piesok, štrk, kamenivo, popolčeky, škvára, troska, hlušina a kaly na stavebné účely, ak nie sú použité na výstavbu múrov, podláh a stropov.

Radiačná ekológia

Technogénne pozadie - stavebné materiály.

Čím sú stavby budov mohutnejšie, tým je človek viac chránený pred žiarením, pochádzajúcim z pôdy a vzduchu, avšak zvyšuje sa podiel žiarenia, ktoré pochádza zo stavebných materiálov.

Odhaduje sa, že dávka, ktorú spôsobujú prírodné rádionuklidy, je asi o 20 - 30% menšia vo voľnom priestranstve v porovnaní s pobytom v budovách.

Radiačná ekológia

Technogénne pozadie

- Technogénne pozadie prispieva do celkového radiačného pozadia hodnotou asi $1 \text{ mSv} \cdot \text{rok}^{-1}$.
- Zhodnotiť množstvo žiarenia, ktoré emitujú minerálne hnojivá, je obtiažne vzhľadom na rozdielnosť intenzity ich používania. Podľa odhadov je veľkosť nimi spôsobenej dávky asi $7,5 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Radiačná ekológia

Antropogénna rádioaktivita v prírode

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 (Kystym)	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
Fukushima	Japan	2010	2×10^{18}	^{131}I , ^{137}Cs

Three Mile Island power station (TMI), Harrisburg, Pennsylvania.

Radačná ekológia

Globálny rádioaktívny spad Spôsobujú hlavne štiepne produkty ^{90}Sr a ^{137}Cs

Miesta jadrových výbuchov



Aktivita ^{137}Cs v potrave a Poľnohospodárskych produktoch v roku 2009

Produkt	A (Bq/kg)	Produkt	A (Bq/kg)
Mlieko	$0,133 \pm 0,01$	Obilniny	–
Ovocie	$3,4 \pm 0,4$	Hríby	$229,0 \pm 19,0$
Zelenina	$0,025 \pm 0,003$	Ryby	$0,276 \pm 0,14$
Krmoviny	$3,81 \pm 0,28^*$		

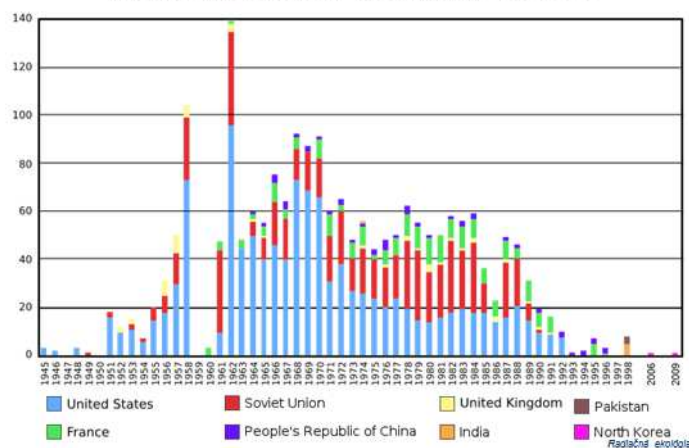
*vzťahnuté na sušinu



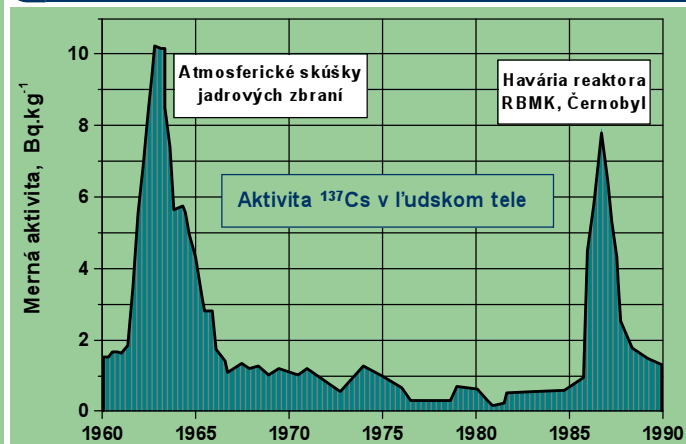
Radačná ekológia

História testov A-bomby vo svete

Worldwide nuclear testing, 1945-2009

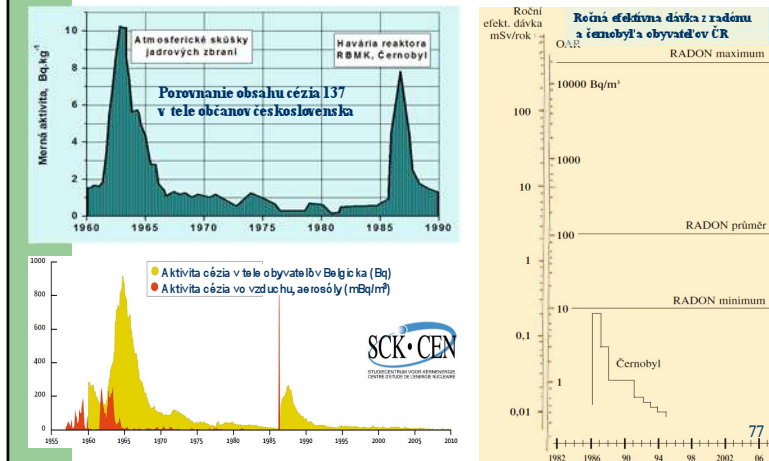


Globálny rádioaktívny spad Spôsobujú hlavne štiepne produkty ^{90}Sr a ^{137}Cs

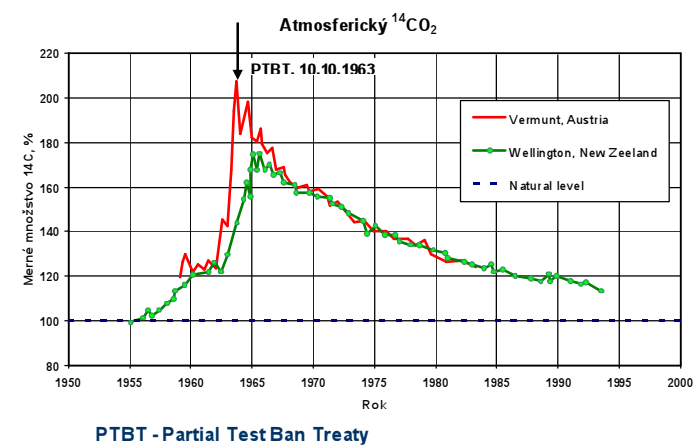


Radačná ekológia

Porovnanie vplyvu černobyľskej havárie s vplyvom atmosférických testov a radónu



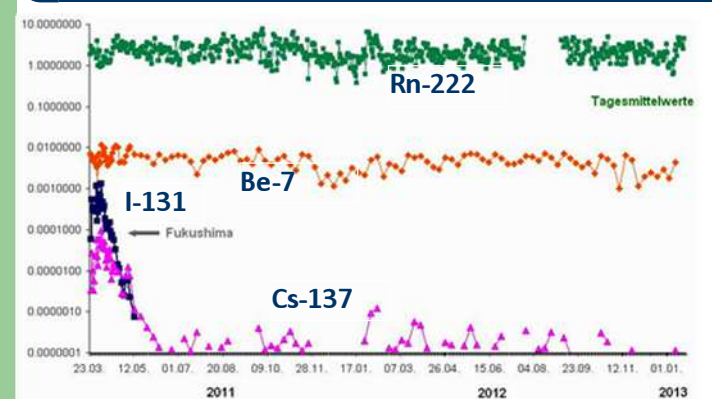
Relatívne množstvo rádioaktívneho ^{14}C v atmosfére v dôsledku atmosférických testov jadrových zbraní



Havária na jadrových elektrárnach – Černobyl Fukushima - Daiichi

- Havária na japonskej jadrovej elektrárni Fukushima spôsobila uvoľnenie do ovzdušia:
 - I-131 na úrovni 511 PBq,
 - Cs-137 okolo 13,6 PBq,
 - Cs-134 okolo 13,6 PBq,
 - vzácne plyny na úrovni 500 PBq
- a uvoľnenie do oceánu rádioaktívneho
 - I-131 na úrovni 11 PBq,
 - Cs-137 okolo 3,6 PBq,
 - Cs-134 okolo 3,5 PBq
- (World Nuclear News, 25. máj 2012).

Údaje monitorovania rádionuklidov v Európe (Freiburg, www.bfs.de)



Ožiaranie v dôsledku medicínskych procedúr.

Podľa odhadov dosahuje efektívna dávka z medicínskych procedúr $1,5 \text{ mSv-rok}^{-1}$.

Používanie rádiofarmaceutických prípravkov túto dávku zvyšuje len nepatrne (výnimku tvorí používanie rádionuklidu ^{131}I).

Na lekárske ožiarenie sa nevzťahuje limitovanie dávok.

Cieľom nádorovej **terapie** je doceliť likvidáciu nádorového ložiska pri zachovaní zdravého okolitého tkaniva.

Ožiarenie pacientov pri jednotlivých **diagnostických** procedúrach nesmie prekročiť tzv. **smerné hodnoty** lekárskeho vyšetrenia.

Radačná ekológia

Smerné hodnoty pre vyšetrenie počítačovou tomografiou (CT)

Vyšetrenie	Dávka (na jedno vyšetrenie) [mGy]
Hlava	50
Bedrová chrbtica	35
Brucho	25

Radačná ekológia

Smerné hodnoty pre röntgenové vyšetrenie

Smerné hodnoty pre röntgenové vyšetrenie

Vyšetrenie	Projekcia	Vstupná povrchová dávka* (na jednu snímku) [mGy]
Bedrová chrbtica	AP - projekcia predozadná	10
	LAT - projekcia bočná	30
	LSJ - projekcia na lumbosakrálnu oblasť	40
Brucho, intravenózna urografia a cholecystografia	AP - projekcia predozadná	10
Panva	AP - projekcia predozadná	10
Bedrový zhyb	AP - projekcia predozadná	10
Hrudník	PA - projekcia zadopredná	0,4
	LAT - projekcia bočná	1,5
Hrudná chrbtica	AP - projekcia predozadná	7
	LAT - projekcia bočná	20
Zuby	panoramatická snímka	7
	AP - projekcia predozadná	5
Lebka	PA - projekcia zadopredná	5
	LAT - projekcia bočná	3

Radačná ekológia

Smerné hodnoty pre iné lekárske vyšetrenie

Smerné hodnoty pre mamografické vyšetrenie

	Priemerná dávka v mliečnej žľaze*) pri kranio-kaudálnej projekcii [mGy]
Bez mriežky	1
S mriežkou	3

Smerné hodnoty pre diagnostické vyšetrenie v nukleárnej medicíne

Vyšetrenie		Rádionuklid	Látka, chemická forma	Aplikovaná aktivita na jedno vyšetrenie [MBq]
Orgán	Druh vyšetrenia, skupina			
Kosti	Scintigrafia (celotelová, trojfázová, SPECT)	Tc-99m	fosfonáty+–	800
Mozog	Scintigrafia dynamická statická SPECT Cisternografia	Tc-99m	TcO ₄ , DTPA	800
		Tc-99m	TcO ₄ , DTPA	600
		Tc-99m	TcO ₄ , DTPA, HM-PAO	800
		In-111	DTPA	40
		Yb-169	EDTA	40
Štitná žľaza	Akumulačný test Scintigrafia statická	I-131	jodid	1
		Tc-99m	TcO ₄	150
		Tc-99m	MIBI, DMSA(V)	400
		I-123	jodid	7
		I-131	jodid	20
		Tl-201	chlorid	80

Radačná ekológia

Diagnostické referenčné úrovne pre röntgenové vyšetrenia podľa 97/43/Euratom

Vyšetrenie	Projekcia	Vstupná povrchová dávka [mGy]
Bedrová chrbtica	AP - predozadná	10
	LAT - bočná	30
	LSJ –bočná	40
Hrudník	PA - zadopredná	0,4
	LAT - bočná	1,5
Zuby	panoramatický snímok	7
	AP - predozadná	5
Panva	AP - predozadná	10
Lebka	PA - zadopredná	5
	LAT - bočná	3

Radačná ekológia

Diagnostické referenčné úrovne pre vyšetrenie počítačovou tomografiou podľa 97/43/Euratom

Vyšetrenie	Dávka [mGy]
Hlava	50
Bedrová chrbtica	35
Brucho	35

Podobne sú definované diagnostické referenčné úrovne

- pre mamografické vyšetrenie,
- skiaskopické vyšetrenie,
- vyšetrenia v nukleárnej medicíne ...

Radačná ekológia

Aplikácia rádiojódu pri terapii štítnej žľazy Liečba rakoviny štítnej žľazy

V zásade lze říci, že léčba zhoubných nádorů štítné žlázy je velmi komplexní a má mnoho možností, jak zasáhnout. Především se jedná o chirurgický zákrok, aplikaci radiojodu, zevní ozáření, hormonální léčbu, intersticiální léčbu a chemoterapii.

Chirurgická léčba většinou spočívá ve výkonu TTE, což je **totální odstranění štítné žlázy**. Celá žláza se musí odstranit v případě, že se nádor nachází ve více místech, což nemusí být vždy zřejmé. Během operace se odstraňují i zvětšené uzliny. Pokud je operační výkon u anaplastického karcinomu možný (to nebývá, lebo rychle metastázuje), musí se postupovat co nejradikálněji.

Léčba radiojodem má smysl pouze u nádorů, které mají zachovalou schopnost akumulovat jód (normální folikulární buňky jód akumulují), tedy jsou dostatečně diferencované. **Radioaktivní jód pak štítnou žlázu likviduje**. Tato léčba se používá k eliminaci zbytků, které mohou zůstat po TTE, dále k léčbě metastáz a někdy také u nádorů, které nelze z nějakých důvodů operovat. Tímto způsobem je nutno zničit zbytky štítné žlázy do dvou měsíců od operace.

Radačná ekológia

Aplikácia rádiojódu pri terapii štítnej žľazy Liečba rakoviny štítnej žľazy

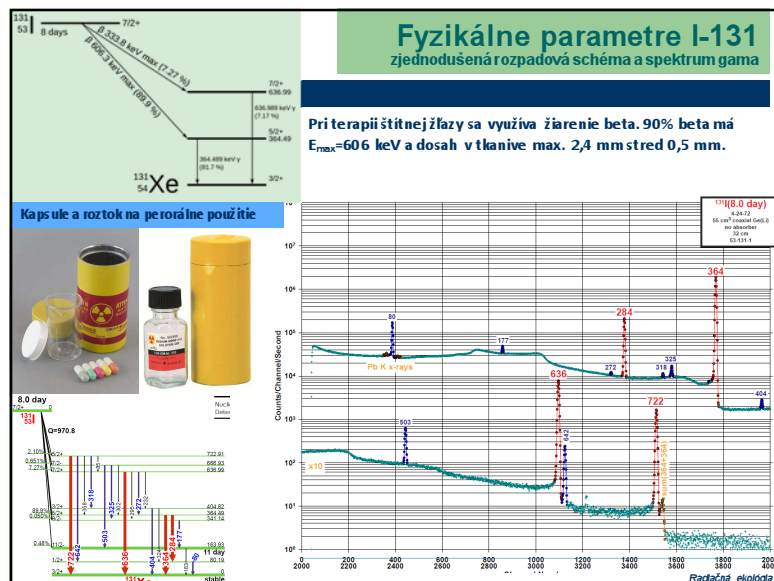
Hormonální léčba je opět účinná pouze u diferencovaných karcinomů. Mechanismus je poměrně jednoduchý. Využívá se faktu, že látka L-thyroxin má schopnost tlumit produkci TSH, což je hormon, který silně stimuluje růst nádoru. Tato léčba se opět podává po operaci, a to u časných diferencovaných karcinomů. Někdy se může kombinovat s podáváním radiojodu.

Zevní ozáření je rovněž velmi důležitou léčebnou modalitou. Má své opodstatnění u nádorů, které neakumulují radiojód. Následuje po radikálních i neradikálních operacích, a také se používá k léčbě neoperatibilních nádorů a metastáz.

Při intersticiální léčbě se do nádorové tkáně aplikují zdroje iridia či radiojodu, které pak likvidují nádorovou tkáň.

Chemoterapie se používá jako doplněk léčby anaplastických karcinomů a při metastatickém postižení. Jako monoterapie (terapie jedním preparátem) se nejlépe osvědčil adriamycin. Dále se používají antracykliny plus cisplatina.

Radačná ekológia



Biokinetika jódu v tele a opatrenia spojené s aplikáciou rádio jódu

- Pri požití sa rádiojódu dostáva z gastrointestinálneho (zažívacieho) traktu do krvi.
- 30% jódu z krvi sa zachytí v štítnej žľaze, ostatný sa vylúči stolicou, močom, potom a odparovaním (perspiráciou).
- Zo štítnej žľazy sa vylučuje viazaný na organické molekuly a rozptýľuje sa do celého tela.
- Konverzný faktor pri požití rádio jódu je $2,2 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ pre dospelého a 10^{-7} Sv/Bq pre 1-2 ročné dieťa. Pre vdychovanie je konverzný faktor $2 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$.
- Pri aplikácii rádio jódu, či už vo forme želatínových kapsúl alebo roztoku, sa kontroluje podávaná aktivita meraním v studnicovej ionizačnej komore. Aplikácia aktivity prevyšujúca o 20% plánovanú aktivitu sa považuje za **radiologickú udalosť**.
- Pracoviská nukleárnej medicíny musia byť vybavené na trase odpadovej vody vymieracími zachytými nádobami.

Radiačná ekológia

Prepúšťanie pacientov po aplikácii rádio jódu I-131

Niektoré zásady osobitného režimu

- pacient sa musí zdržiavať po celý stanovený čas osobitného režimu v čo najväčšej možnej **vzdialenosti** od ostatných osôb v domácnosti, podľa možnosti viac ako 2 metre, minimálne 1 m; čas pobytu osôb v kratšej vzdialenosti od pacienta je nutné obmedziť na nutné minimum;
- pacienti, vrátane mužov, musia používať **toaletu výlučne po sediaci**, genitálie je potrebné do sucha utrieť toaletným papierom a toaletu je nutné po každom použití umyť vodou; ruky je nutné riadne umyť vodou, najlepšie v miestnosti s toaletou, aby sa predišlo kontaminácii kľučiek na dverách v domácnosti a ďalších predmetov;
- dodržiavať zásady prísnej osobnej hygieny, pričom pacient by sa mal minimálne jedenkrát denne **osprchovať**;
- maximálne **obmedziť kontakt s deťmi** v domácnosti, najmä mladšími ako 10 rokov, vzhľadom na vyššie riziko ožiarenia u detí; v prípade veľmi malých detí do 2 rokov úplne vylúčiť kontakt s deťmi;
- priamy telesný kontakt** dvoch partnerov, vrátane sexu, musí byť obmedzený na minimum a nemal by prekročiť 0,5 hodiny za deň;
- atď...

Radiačná ekológia

Lekárske aplikácie

I-131

Diagnostika

Tabuľka 1:
Príkon dávkového ekvivalentu vo vzdialenosti 1 m od pacienta, zodpovedajúca zvyšková aktivita I-131 v tele pacienta a dĺžka obdobia, počas ktorého je potrebné dodržiavať osobitný režim správania

Príkon efektívnej dávky vo vzdialenosti 1 m od pacienta ($\mu\text{Sv/hod}$)	Zodpovedajúca zvyšková aktivita I-131 v tele pacienta (MBq)	Dĺžka obdobia s osobitným režimom správania sa po aplikácii radionuklidu ¹⁾
< 40	< 800	3 týždne
< 20	< 400	2 týždne
< 10	< 200	1 týždeň
< 5	< 100	4 dni
< 3	< 60	24 hodín

Diagnostické referenčné úrovne pre vyšetrenia v nukleárnej medicíne

Diagnostické referenčné úrovne pre vyšetrenia v nukleárnej medicíne					
Vyšetrenie		Radionuklid	Látka, chemická forma	Aplikovaná aktivita [MBq]	
Orgán	druh vyšetrenia, skupina				
Kosti	Statická scintigrafia skeletu (celotelová, 3fázová, SPECT)	Tc-99m	fosfáty a fosforové zlúčeniny	600	
	Zobrazenie vybranej časti skeletu	Tc-99m	fosfáty a fosforové zlúčeniny	800	
Kostná dreň	Scintigrafia kostnej drene (celotelová, SPECT)	Tc-99m	značený koloid	400	
Mozog	Scintigrafia	dynamická	Tc-99m	TeO ₄ , DTPA	600
		statická	Tc-99m	TeO ₄ , DTPA	500
	SPECT	Tc-99m	TeO ₄ , DTPA, HMPAO, ECD	800	
	Akumulácia glukózy	F-18	FDG	400	
	receptory	I-123	Iomazenil, IBZM	200	
	SPECT vyšetrenie regionálneho prietoku krvi mozgom	Tc-99m	HMPAO	500	
		Xe-133	Izotonický roztok NaCl	400	
	Rádionuklidová cystenografia	In-111	DTPA	40	
	Yb-169	EDTA	40		

Jadrové elektrárne a ich palivový cyklus

- Príspevok jadrovej energetiky a s ňou súvisiacich činností je oveľa menej významný ako iných zdrojov žiarenia.
- Pri prevádzke vznikajú v jadrovej elektrárni rádioaktívne látky dvomi spôsobmi: **štiepenie** jadrového paliva a **aktivácia** neutrónmi konštrukčných materiálov, paliva, prímiesí v chladiči, v moderátore, v palive a pod.

Radačná ekológia

Prehľad najvýznamnejších aktivačných produktov v JE

Chladiivo + moderátor - voda		
Vlastná aktivita	$^{16}\text{O}(n, p)^{16}\text{N}$ $T_{1/2}=7,4 \text{ s}$	99,80 %
	$^{17}\text{O}(n, p)^{17}\text{N}$ $T_{1/2}=4,1 \text{ s}$	0,04 %
	$^{18}\text{O}(n, \gamma)^{18}\text{O}$	
	$^2\text{H}(n, \gamma)^3\text{H}$ $T_{1/2}=12,3 \text{ r}$	
Aktivita prímiesí	minerálne soli ^{24}Na , $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$, $^{10}\text{B}(n, 2\alpha)^3\text{H}$ rozpuštené plyny ^{41}Ar , $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ produkty korózie ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{56}Mn , ^{51}Cr ... štiepne produkty Kr, Xe, I	
Konštrukčné materiály		
$^{59}\text{Fe}(T_{1/2}=45 \text{ d})$, $^{60}\text{Co}(T_{1/2}=5,3 \text{ r})$, $^{54}\text{Mn}(T_{1/2}=312 \text{ d})$, $^{51}\text{Cr}(T_{1/2}=28 \text{ d})$, $^{58}\text{Co}(T_{1/2}=71 \text{ d})$ $^{65}\text{Zn}(T_{1/2}=244 \text{ d})$, $^{95}\text{Nb}(T_{1/2}=35 \text{ d})$, $^{85}\text{Zr}(T_{1/2}=64 \text{ d})$, $^{110}\text{Ag}(T_{1/2}=250 \text{ d})$, $^{14}\text{C}(T_{1/2}=5730 \text{ r})$		
Palivo		
Transuránové prvky	^{237}Np , $^{238-242}\text{Pu}$, $^{241, 243}\text{Am}$, $^{242, 244}\text{Cm}$	

Radačná ekológia

Prehľad najvýznamnejších štiepných produktov v JE

Vzácne plyny	^{85}Kr	$T_{1/2}=10,8\text{ r}$	^{133}Xe	$T_{1/2}=5,3\text{ d}$
	^{87}Kr	$T_{1/2}=1,3\text{ h}$	^{135}Xe	$T_{1/2}=9,2\text{ h}$
	^{88}Kr	$T_{1/2}=2,8\text{ h}$		
Prchavé látky	^{129}I	$T_{1/2}=1,6 \cdot 10^7\text{ r}$	^{135}I	$T_{1/2}=6,7\text{ h}$
	^{131}I	$T_{1/2}=8\text{ d}$	^{134}Cs	$T_{1/2}=2,1\text{ r}$
	^{133}I	$T_{1/2}=21\text{ h}$	^{137}Cs	$T_{1/2}=30\text{ r}$
Trícium	^3H	$T_{1/2}=12,3\text{ r}$		
Neprchavé látky	^{140}La	$T_{1/2}=40,2\text{ h}$	^{91}Y	$T_{1/2}=58\text{ d}$
	^{89}Sr	$T_{1/2}=50\text{ d}$	^{95}Nb	$T_{1/2}=35\text{ d}$
	^{90}Sr	$T_{1/2}=28,5\text{ r}$	^{103}Ru	$T_{1/2}=40\text{ d}$
	^{140}Ba	$T_{1/2}=12,8\text{ d}$	^{106}Ru	$T_{1/2}=1\text{ r}$

Radačná ekológia

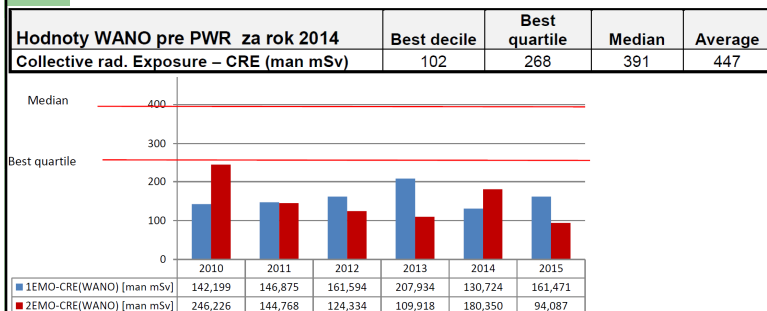
Systém radiačnej kontroly JE

Správa o stave bezpečnosti
SE-EMO 2015

doc. Ing. Róbert Hinca, PhD.

Kolektívna efektívna dávka

Kolektívna efektívna dávka je celková externá a interná celotelová dávka, prijatá všetkým personálom jadrového zariadenia (elektrárne), vlastnými zamestnancami ako i zamestnancami dodávateľov, v priebehu sledovaného obdobia, meraná základnými filmovými dozimetrami a prepočtami interných dávok, udávaná v man milisievertoch.

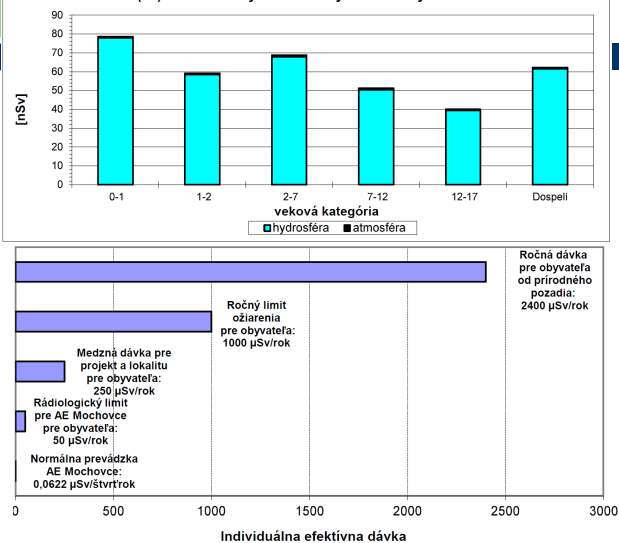


Maximálna individuálna efektívna dávka v roku 2015

Mesiac	FD [mSv]	TLD(n) [mSv]	FD+TLD(n) [mSv]	EPD(g,n) [mSv]	EPD(g) [mSv]	EPD(n) [mSv]
Január	0,239	0	0,239	0,234	0,234	0
Február	0,408	0,425	0,568	0,268	0,268	0
Marec	0	0	0	1,173	1,173	0
Apríl	1,643	0	1,643	1,131	1,131	0
Máj	0,543	0,385	0,543	0,527	0,527	0
Jún	0,143	0	0,143	0,205	0,140	0
Júl	0,422	0	0,422	0,443	0,443	0
August	0,316	0	0,316	0,309	0,309	0
September	0,413	0,447	0,447	0,370	0,370	0,222
Október	1,639	0	1,639	1,645	1,645	0
November	0,303	0	0,303	0,241	0,241	0
December	0,118	0	0,118	0,124	0,117	0
Rok	2,620	0,447	2,620	2,723	2,723	0,313

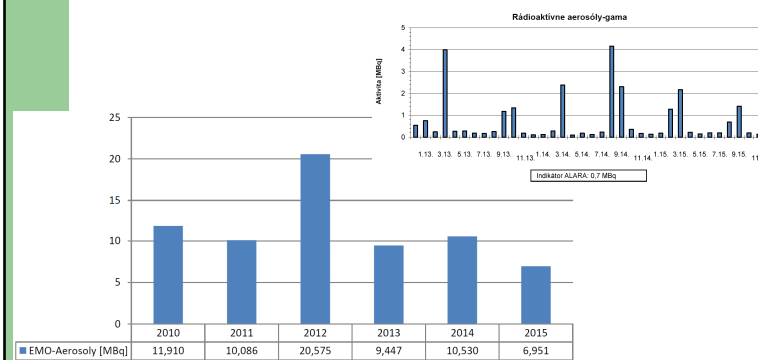
Radažná ekológia

50(70)-ročné úväzky individuálnych efektívnych dávok v zóne 64



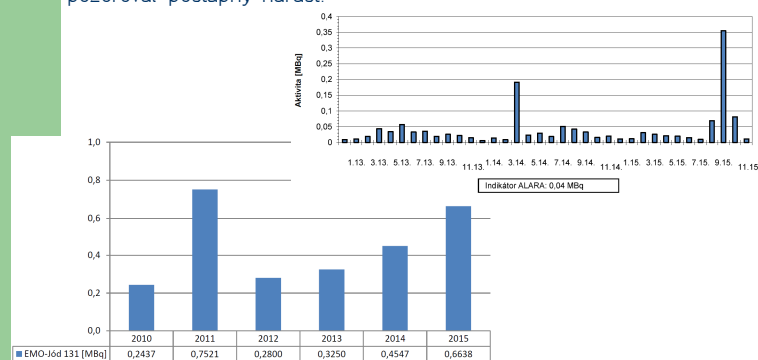
Výpuste do atmosféry - Aerosóly

Ukazovateľ vyjadruje celkovú aktivitu aerosólov vypustených do atmosféry za sledované obdobie. Hodnota predstavuje 0,0041 % čerpania ročnej smernej hodnoty (170 000 MBq).



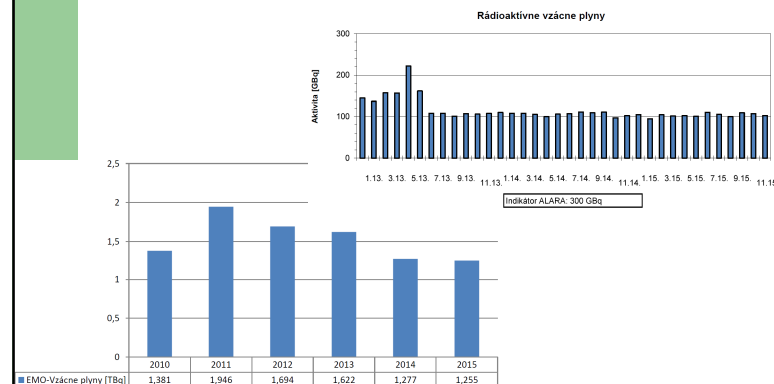
Výpuste do atmosféry - Jód

Ukazovateľ vyjadruje celkovú aktivitu Jódu 131 vypusteného do atmosféry za sledované obdobie. Hodnota predstavuje 0,0001 % čerpania ročnej smernej hodnoty (67 000 MBq). Od roku 2012 je možné pozorovať postupný nárast.

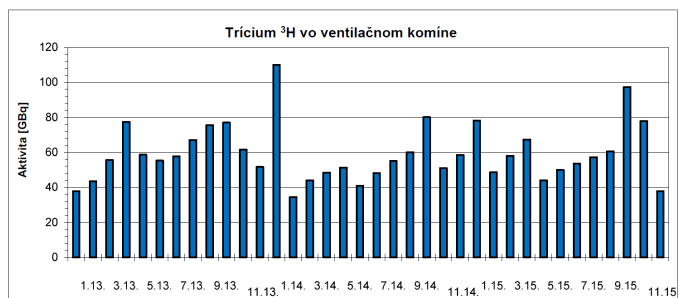


Výpuste do atmosféry - Vzácne plyny

Ukazovateľ vyjadruje celkovú aktivitu vzácnych plynov vypustených do atmosféry za sledované obdobie. Hodnota predstavuje 0,031 % čerpania ročnej smernej hodnoty (4100 TBq).



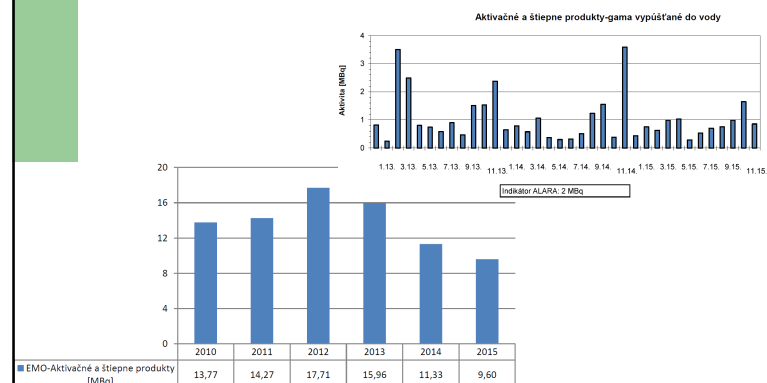
Výpuste do atmosféry - trícium



Radiačná ekológia

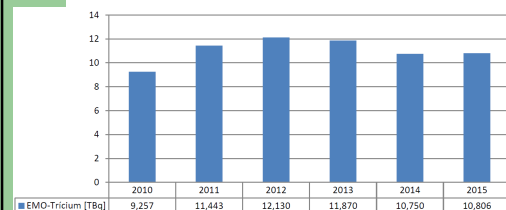
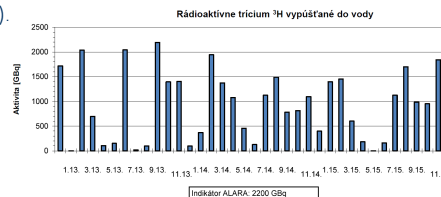
Výpuste do hydrosféry Aktivačné a štiepne produkty

Ukazovateľ vyjadruje celkovú aktivitu aktivačných a štiepných produktov vypustených do hydrosféry za sledované obdobie. Hodnota predstavuje 0,87 % čerpania ročnej smernej hodnoty (1100 MBq).



Výpuste do hydrosféry - Trícium

Ukazovateľ vyjadruje celkovú aktivitu trícia vypusteného do hydrosféry za sledované obdobie. Hodnota predstavuje 90 % čerpania ročnej smernej hodnoty (12 TBq).



Monitorovanie trícia v podzemných vodách

Analýza	Druh vzorky	Lokalita	Obdobie	VÚ	Nameraná hodnota	MJ
^3H	VODA_VRTY	EM-27 / Starý Tekov	08.10.2015	35	62,1 ± 5,6	Bq/dm ³
^3H	VODA_POVRCHOVÁ	Jama pri ihrisku / Nový Tekov	09.10.2015	35	42,7 ± 5,1	Bq/dm ³
^3H	VODA_POVRCHOVÁ	OK - I.č. 2 / Nový Tekov	09.10.2015	35	110,0 ± 13,2	Bq/dm ³
^3H	VODA_POVRCHOVÁ	OK - I.č. 3 / Nový Tekov	09.10.2015	35	105,4 ± 12,7	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	PS-1 / Nový Tekov	09.10.2015	35	37,8 ± 4,5	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	PS-2 / Nový Tekov	09.10.2015	35	65,3 ± 7,8	Bq/dm ³
^3H	VODA_POVRCHOVÁ	Rybník / Starý Tekov	09.10.2015	35	70,7 ± 8,5	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	EM-27 / Starý Tekov	22.10.2015	35	76,5 ± 6,9	Bq/dm ³
^3H	VODA_POVRCHOVÁ	Jama pri ihrisku / Nový Tekov	22.10.2015	35	49,2 ± 5,9	Bq/dm ³
^3H	VODA_POVRCHOVÁ	OK - I.č. 2 / Nový Tekov	22.10.2015	35	35,1 ± 4,2	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	PS-1 / Nový Tekov	22.10.2015	35	64,3 ± 7,7	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	PS-2 / Nový Tekov	22.10.2015	35	67,9 ± 8,1	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	EM-22 / Nový Tekov	02.11.2015	35	73,7 ± 6,6	Bq/dm ³
^3H	VODA_POVRCHOVÁ	Jama pri ihrisku / Nový Tekov	09.11.2015	35	52,0 ± 6,2	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	PS-1 / Nový Tekov	09.11.2015	35	54,7 ± 6,6	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	PS-3 / Nový Tekov	09.11.2015	35	38,6 ± 4,6	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	PS-3 / Nový Tekov	23.11.2015	35	36,2 ± 4,3	Bq/dm ³
^3H	VODA_POVRCHOVÁ	Jama pri ihrisku / Nový Tekov	07.12.2015	35	38,6 ± 4,6	Bq/dm ³
^3H	VODA_VRTY	PS-3 / Nový Tekov	07.12.2015	35	49,7 ± 6,0	Bq/dm ³

Prevýšenia boli zaznamenané len v povrchovej vode a vo vrtoch bezprostredne ovplyvnených vodou Hrona. **Prevýšenia neboli zaznamenané v studniach rodinných domov v obci Nový Tekov.**

Radačná ekológia

Tvorba a spracovanie kvapalných RAO

Tvorba KRAO	Koncentráty (m ³)	Ionexy (m ³)	Spolu (m ³)
I.Q 2015	2,040	3,600	5,640
II.Q 2015	3,956	0	3,956
III.Q 2015	2,736	0	2,736
IV.Q 2015	2,782	11,950	14,732
SPOLU	11,514	15,55	27,064

Spracovanie KRAO	Koncentráty (m ³)	Ionexy (m ³)	Spolu (m ³)
I.Q 2015	14,840	5,991	20,831
II.Q 2015	0	1,343	1,343
III.Q 2015	32,160	8,830	40,990
IV.Q 2015	1,336	10,047	11,383
SPOLU	48,336	26,211	74,547

Tvorba a spracovanie PRAO

Tvorba PRAO	Lisovateľné (kg)	Kovové (kg)	Spáliteľné (kg)	Ostatné (kg)	Spolu (kg)
I.Q 2015	526,1	0,0	2083,2	0,0	2609,3
II.Q 2015	1618,4	1,1	2787,6	0,0	4407,1
III.Q 2015	1290,8	0	1565,8	0	2856,6
IV.Q 2015	2622,6	0	2843,5	0	5466,1
SPOLU	6057,9	1,1	9280,1	0	15339,1

Spracovanie PRAO	Lisovateľné (kg)	Kovové (kg)	Spáliteľné (kg)	Ostatné (kg)	Spolu (kg)
I.Q 2015	4686	0	3821	0	8507
II.Q 2015	0	0	4994	0	4994
III.Q 2015	5038	0	2476	0	7514
IV.Q 2015	0	0	4845	0	4845
SPOLU	9724	0	16136	0	25860

Uvoľnenie neaktívnych odpadov z KP do životného prostredia (kg)	
I.Q 2015	107157
II.Q 2015	13976
III.Q 2015	6381
IV.Q 2015	8316
SPOLU	135830

TVORBA, NAKLADANIE A PREPRAVA VJP

Množstvo VJP k 31.12.2015

blok	vyvezené z reaktora	v bazéne skladu	v medzisklade vyhor. paliva
1.	1235	371	864
2.	1133	365	768
spolu	2368	736	1632

Uvoľňovanie nízkokontaminovaných materiálov z KP do ŽP

Bilančné tabuľky na povolenie OOPZ/4859/2011 (maximálne 150 ton ročne) hodnotené kvartálne:

Uvoľňovanie predmetov ISOCs-om	1Q 2015	2Q 2015	3Q 2015	4Q 2015	2015
Uvoľnená hmotnosť v kg	78945,0	30815,0	1996,0	24278,0	136034,0
Celková uvoľnená aktivita v kBq do ŽP	0,0	6007,5	1589,3	34026,9	41623,7

Uvoľňovanie predmetov WM2110	1Q 2015	2Q 2015	3Q 2015	4Q 2015	2015
Uvoľnená hmotnosť v kg	819,4	205,3	0,0	0,0	1024,7
Celková uvoľnená aktivita v kBq do ŽP	138,0	160,0	0,0	0,0	298,0

Uvoľňovanie predmetov TK159	1Q 2015	2Q 2015	3Q 2015	4Q 2015	2015
Uvoľnená hmotnosť v kg	2305,6	2677,7	754,0	190,0	5927,3
Celková uvoľnená aktivita v kBq do ŽP	121,0	118,8	17,5	12,1	269,4

Uvoľňovanie predmetov kontaminátom FHT 111	1Q 2015	2Q 2015	3Q 2015	4Q 2015	2015
Uvoľnená hmotnosť v kg	2345,0	1670,0	606,0	741,0	5362,0

Uvoľňovanie predmetov CRONOS	1Q 2015	2Q 2015	3Q 2015	4Q 2015	2015
Uvoľnená hmotnosť v kg	11217,0	7893,0	3025,0	6227,0	28362,0
Celková uvoľnená aktivita v kBq do ŽP			12227,4	30,8	12258,2

Uvoľňovanie predmetov celkovo všetkými monitormi	1Q 2015	2Q 2015	3Q 2015	4Q 2015	2015
Uvoľnená hmotnosť v kg	95632,0	43261,0	6381,0	31436,0	176710,0
Celková uvoľnená aktivita v kBq do ŽP	259,0	6286,3	13834,2	34069,8	54449,3

Zvlášť povolenie OOPZ/9344/2008 na kalové polia so zvýšenými uvoľňovacími úrovňami

a na rozhodnutí OOPZ/2045/2014 platné od 25.02.2014 (maximálne 20 m³ ročne) hodnotené kvartálne:

Uvoľňovanie predmetov ISOCs-om	1Q 2015	2Q 2015	3Q 2015	4Q 2015	2015
Uvoľnená hmotnosť v kg	0,0	40000,0	0,0	0,0	40000,0
Uvoľnený objem v m ³	0,0	20,0	0,0	0,0	20,0
Celková uvoľnená aktivita v kBq do ŽP	0,0	11292,4	0,0	0,0	11292,4

Radiačná ekológia

Výpuste EMO a ich vplyv na obyvateľstvo za rok 2015

Z analýzy výpustí rádioaktívnych látok z AE Mochovce za celý rok 2015 vyplýva, že najvyššia hodnota 50(70)-ročného **úvazku efektívnej dávky** bola vypočítaná v JV sektore č. 64 s trvalým osídlením s obcou Nový Tekov a dosiahla hodnoty pre dojča **188 nSv** a pre dospelých **152 nSv**.

Hodnota **úvazku kolektívnej efektívnej dávky** pre všetkých obyvateľov regiónu (počet obyvateľov približne 1,13 milión) dosiahla hodnotu **10,8 manmSv**.

Za celý rok 2015 bola **kolektívna efektívna dávka 255 manmSv**, čo je rekordne najmenšia KED v histórii EMO.

Maximálna osobná dávka bola 2,62 mSv za rok.

V roku 2015 sa nevyskytla žiadna vnútorná kontaminácia ani dekontaminácia kože na ZZS.

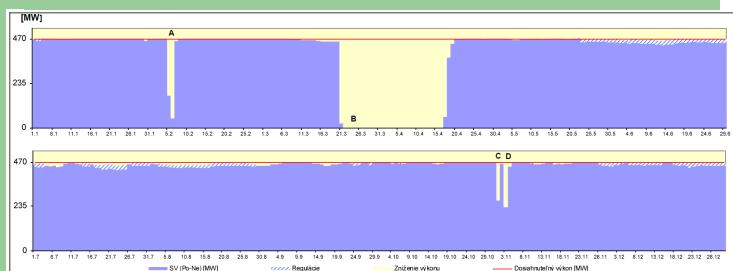
Radiačná ekológia

Porovnanie s limitmi

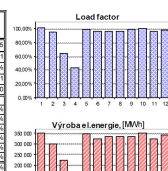
Z hľadiska ochrany zdravia obyvateľstva možno konštatovať, že vypočítaná maximálna hodnota 50(70)-ročného úvazku individuálnej efektívnej dávky pre reprezentatívnu osobu (0,1844 μ Sv) je zanedbateľná v porovnaní s ročným limitom pre jednotlivca z obyvateľstva (1 mSv) resp. medznou dávkou pre kritickú skupinu obyvateľov z výpustí rádioaktívnych látok z jadrových zariadení, ktorá je stanovená pre projektovanie a výstavbu jadrových zariadení (250 μ Sv) t. j. hodnotami stanovenými Nariadením vlády Slovenskej republiky č. 345/2006 Z. z., ako aj v porovnaní s úradom stanoveným rádiologickým limitom pre vypúšťanie rádioaktívnych látok z AE Mochovce (50 μ Sv). Táto hodnota je taktiež mnohonásobne nižšia, ako je radiačná záťaž obyvateľstva spôsobená prirodzeným pozadím. Podľa správy publikovanej organizáciou UNSCEAR v roku 2008 je priemerná hodnota dávky z prírodného pozadia 2,4 mSv.rok-1 pre obyvateľa svetovej populácie.

Radiačná ekológia

HISTOGRAM PREVÁDZKY PRE 1. BLOK ZA ROK 2015



Mesiac	Výroba el. energie [MWh]	Load factor [%]	ZÁKLADNÉ ÚDAJE:
Január	349 764	100.74%	Výroba tepla z reaktora od zač. r. [GJ]
Február	298 008	65.07%	Dostávka tepla na teplofakciu Čiep [GJ]
Marec	220 918	64.30%	Podiel technol. v spotrebe el. energie [%]
Apríl	143 201	42.13%	Merná spotreba tepla na výrobu el. en. [GJ/MWh]
Máj	346 141	89.48%	Podiel pláničenia AGI
Jún	320 534	93.58%	Výrobný výstupy
Júl	334 302	95.93%	CO ₂ BO
Augusť	334 407	95.76%	Poruchy
September	334 264	95.41%	Elektrická záťaž
Oktober	349 433	100.31%	Regulácie
November	320 326	85.17%	Dostávka tepla
December	336 385	97.83%	Trhový vývoj
Rok 2015	3 753 385	80.27%	Spolu



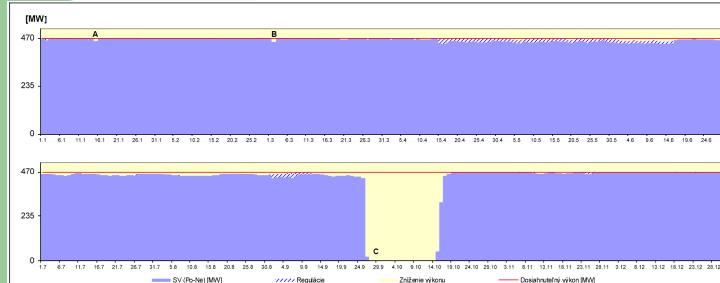
LEGENDA K VÝPADKOM VÝROBY:
 A - HAZR v dôsledku hasenia transformátora 1BA701 bez reálneho horenia
 B - Generátora oprava bloku s výmenou paliva
 C - Očistená TO1 i oprava netečnosti na TLBO5BR002
 D - Prechod bloku do RZ v dôsledku poruchy termočlánku na meraní teploty na výstupe z AZ

Prvé pripojenie k elektrickej sieti
 Dosiahnutelný výkon kipo 30.9.2008
 Súčiniteľ pohotovosti bloku na ťubovom výkone (OP) 2015

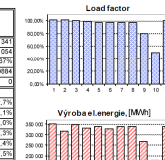
4. júla 1998
 440 MW / 470 MW
 92,13%

SE a.s. BMOZ.
 rok 2015, blok č. 1
 Vignovcová: Ing. Mästrová
 Schválil: Ing. Pritssová
 26. január 2016

HISTOGRAM PREVÁDZKY PRE 2. BLOK ZA ROK 2015



Mesiac	Výroba el. energie [MWh]	Load factor [%]	ZÁKLADNÉ ÚDAJE:
Január	349 764	100.74%	Výroba tepla z reaktora od zač. r. [GJ]
Február	298 008	65.07%	Dostávka tepla na teplofakciu Čiep [GJ]
Marec	220 918	64.30%	Podiel technol. v spotrebe el. energie [%]
Apríl	143 201	42.13%	Merná spotreba tepla na výrobu el. en. [GJ/MWh]
Máj	346 141	89.48%	Podiel pláničenia AGI
Jún	320 534	93.58%	Výrobný výstupy
Júl	334 302	95.93%	CO ₂ BO
Augusť	334 407	95.76%	Poruchy
September	334 264	95.41%	Elektrická záťaž
Oktober	349 433	100.31%	Regulácie
November	320 326	85.17%	Dostávka tepla
December	336 385	97.83%	Trhový vývoj
Rok 2015	3 753 385	80.27%	Spolu



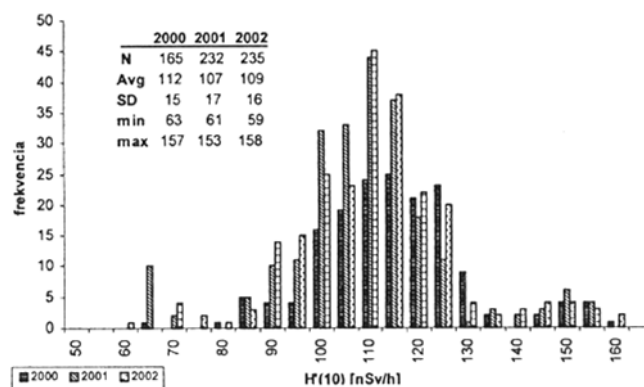
LEGENDA K VÝPADKOM VÝROBY:
 A - Rekonštrukcia SRV
 B - Zníženie výkonu T022 z dôvodu zanesenia filtra CCHV
 C - Generátora oprava bloku s výmenou paliva

Prvé pripojenie k elektrickej sieti
 Dosiahnutelný výkon kipo 30.11.2008
 Súčiniteľ pohotovosti bloku na ťubovom výkone (OP) 2015

20. decembra 1999
 440 MW / 470 MW
 94,73%

SE a.s. BMOZ.
 rok 2015, blok č. 2
 Vignovcová: Ing. Mästrová
 Schválil: Ing. Pritssová
 26. január 2016

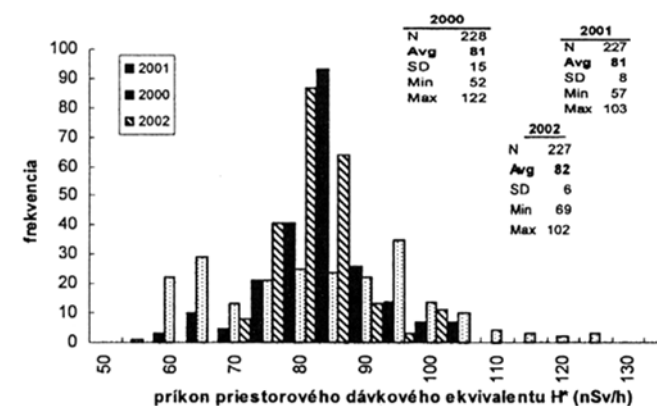
Distribúcia príkonu priestorového dávkového ekvivalentu fotónového žiarenia na Slovensku v rokoch 2000-2002



Údaje boli publikované orgánmi SÚRMS – Slovenské ústredie radiačnej monitorovacej siete, ktorú tvoria zložky MZ SR, MV SR, MO SR, MŽP SR, MH SR (EBO a EMO)

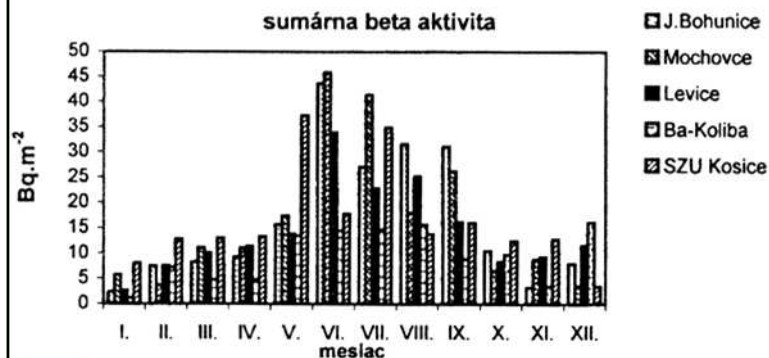
Radiačná ekológia

Distribúcia príkonu priestorového dávkového ekvivalentu fotónového žiarenia v okolí JE EBO v rokoch 2000-2002



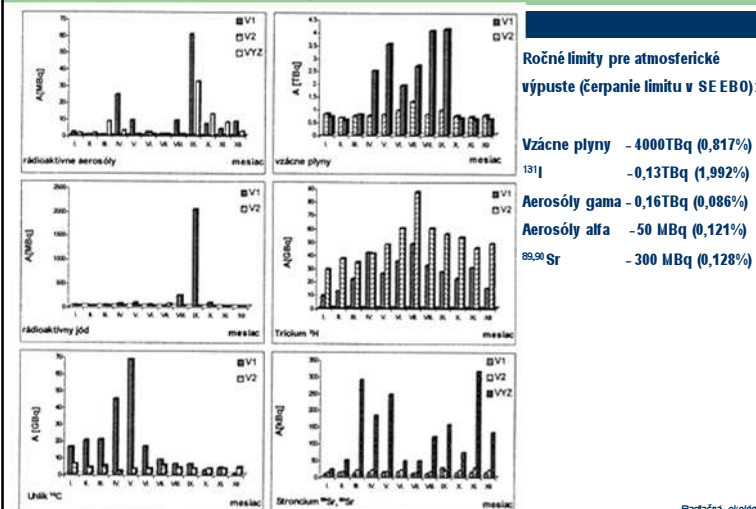
Radiačná ekológia

Distribúcia sumárnej beta aktivity spadu vo vybraných lokalitách na Slovensku v roku 2002



Radažná ekológia

Prehľad mesačných rádioaktívnych výpustí do atmosféry z ventilačných komínov V-1, V-2 a SE VYZ 2002



Radažná ekológia

Detektory typu GammaTracer od firmy Genitron - SRN



Technický popis zariadenia

Typ detektoru: 2 GeigerMuellerove trubice
 Rozsah citlivosti: a: 20 nSv/h - 10 mSv/h
 b: 1 mSv/h - 10 Sv/h
 Energetický rozsah: 48 keV - 1.25 MeV
 Puždro sondy: hermeticky uzavreté



24-h priemery príkonu dávkového ekvivalentu gama žiarenia

Názov stanice	nSv/h
Hurbanovo	68
Kamenica nad Cirochou	82
Žilina	82.4
Bratislava Koliba	85.3
Štrbské Pleso	87.3
Nitra	94.3
Mochovce	97.3
Lučenec	100.7
Košice	102.4
Telgárt	102.8
Poprad - Gánovce	107
Prievidza	107.9
Stropkov	111.3
Liesek	116.5
Piešťany	119.1
Malý Javorník	126.3
Jaslovské Bohunice	138.5
Kojšovská Hoľa	139
Lomnický štít	142.5
Dudince	155.5

Prevzaté zo stránky
www.shmu.sk
 2.2.2009

Radažná ekológia

Monitorovanie radiačnej situácie v SR sa zabezpečuje prostredníctvom:

- **Teritoriálnu sieť meračov príkonu efektívnej dávky v ovzduší** zabezpečuje integrovaný radiačný monitorovací systém MŽP SR, varovný systém MV SR a varovný systém MO SR,
- **Teritoriálna sieť meračov integrálnej efektívnej dávky v ovzduší** je vybudovaná na báze integrálnych termoluminiscenčných dozimetrov (MZ SR),
- **Lokálne siete v okolí JE EBO Jaslovské Bohunice** tvorí monitorovanie výpustí z JE (on-line systém), telemetrický systém na území JE a jej okolí (on-line systém), sieť termoluminiscenčných dozimetrov v okolí JE,
- **Lokálne siete v okolí JE EMO Mochovce** tvorí monitorovanie výpustí z JE (on-line systém) a sieť termoluminiscenčných dozimetrov v okolí JE,
- **Podporné laboratória.** K týmto zariadeniam patria najmä Laboratória hygienickej a veterinárnej služby MV SR, sekcie CO a laboratória vonkajšej dozimetrie JE Jaslovské Bohunice a JE Mochovce.
- Údaje o radiačnej situácii na území Slovenskej republiky sú zhromažďované a vyhodnocované v Slovenskom ústredí radiačnej monitorovacej siete (SÚRMS).

Radiačná ekológia

Radiačná záťaž jednotlivca na Slovensku z prírodných rádionuklidov v roku 2009 podľa Správy o stave ŽP v roku 2009

Zdroj ožiarenia	Radiačná záťaž jednotlivca	
	(mSv)	(%)
kozmičné žiarenie	0,39	16,4
terestriálne žiarenie gama	0,46	19,3
rádionuklidy v tele	0,23	9,7
radón a produkty premeny	1,3	54,6
prírodné pozadie spolu	2,38	100,0
lekárska diagnostika	1,7	-

Radiačná ekológia

Radiačná situácia na Slovensku (rok 2000)

- Príkon dávkového ekvivalentu vo vzduchu nevykazoval štatisticky významné odchýlky od dlhodobého priemeru. Jeho priemerná hodnota za celé územie SR dosiahla **123 nSv.h⁻¹**. Priemerná ročná efektívna dávka na území SR dosiahla v roku 2000 hodnotu **815 μSv**.
- Koncentrácia rádionuklidu ¹³⁷Cs, ktorý má svoj pôvod v horných vrstvách atmosféry v dôsledku rozptylu pri skúškach jadrových zbraní a havárii Černobyľu, sa pohybovala na území SR pod úrovňou minimálnej detekovateľnej aktivity (MDA = **3 μBq.m⁻³**).
- Plošná aktivita spadla bola meraná vo vzorkách zhromažďovaných po dobu jedného mesiaca. Koncentrácia ¹³⁷Cs v analyzovaných vzorkách dosiahla v priemere **380 mBq.m⁻²**.
- Kontaminácia pôdy rádionuklidom ¹³⁷Cs dosiahla priemernú hodnotu **16 Bq.kg⁻¹** - identickú s rokom 1999.
- Kontaminácia povrchových a pitných vôd rádionuklidom ¹³⁷Cs tak ako v predošlých rokoch bola vo všetkých prípadoch nižšia ako **0,02 Bq.l⁻¹**.
- Povrchové a pitné vody boli opätovne kontaminované trícium, pričom však hodnoty objemovej aktivity ³H nevykázali žiadny významný rozdiel vzhľadom k predchádzajúcim rokom. Priemerná objemová aktivita ³H v povrchových a pitných vodách SR dosahuje **14 Bq.l⁻¹**.

Radiačná ekológia

Meranie prírodného pozadia gama spektrometrom s koaxiálnym detektorom HPGE

- **Píky pozadia sú spôsobené:**
 - **technogénnymi rádionuklidmi** v pozadí okolia (napr. ¹³⁷Cs),
 - **členmi prírodných premenových reťazcov** (napr. ²¹⁴Bi)
 - a píkmí pochádzajúcimi z interakcie neutrónov z generovaných časticami **kozmičného žiarenia** s rozličnými materiálmi **detektora** (napr. ⁷¹Ge), oloveným tienením (napr. ²⁰⁶Pb (n,g) ²⁰⁶Pb, kde hviezdička predstavuje vzbudený stav), **vzorkou** alebo obklopujúcimi **materiálmi** (napr. ²⁷Al (n,g) ²⁸Al).
- Toto spektrum bolo namerané v laboratóriu s nadmorskou výškou približne 1500 m.

Radiačná ekológia

TENORM

Radium and radon are the principal radionuclides used to measure NORM and TENORM in the environment.

The radionuclide Radium-226, a decay product of uranium with a radiation decay half-life of 1600 years. Radium -220 (thoron) is a decay product of thorium with a radiation decay half-life of 55,6 s.

Other activities, such as flying at high altitudes, expose us to elevated levels of NORM (increased radiation from outer space).

Material	U-238 (pCi/g)	Ra-226 (pCi/g)	Th-232 (pCi/g)	K-40 (pCi/g)
Soil (Average) ^a	0.95	1.1	0.95	10
Soil (Minimum) ^a	0.11	0.22	0.11	2.7
Soil (Maximum) ^a	3.8	4.3	3.5	19

Radiačná ekológia

NORM identified using gamma spectroscopy:

Ra-226	Direct Energy Line	186 keV
Ra-228	Inferred Energy Line	911 keV (Ac-228)
U-235	Direct Energy Line	143 keV
Ac-228	Direct Energy Line	911 keV
Th-232	Inferred Energy Line	911 keV (Ac-228)
U-238	Inferred Energy Line	63.3 keV (Th-234)
Pb-212	Direct Energy Line	238 keV
Pb-214	Direct Energy Line	351 keV
Bi-212	Direct Energy Line	727 keV
Bi-214	Direct Energy Line	609 keV
K-40	Direct Energy Line	1460 keV

Radiačná ekológia

Radium-226 Quantification by Gamma Spectroscopy

Radium-226 may be measured directly by detection of its **186.2 keV** energy line, 3.28 percent yield. For liquid samples and sludge/filter cake samples that do not contain U, this yields an accurate Ra-226 result.

However, in soil and drill cutting samples, the presence of **U-235** causes interference with direct Ra-226 detection because one of its gamma lines is of similar energy, **185.7 keV** at 54 percent yield.

In solid samples where natural U including U-238 and Ra-226 are at equal activity and U-235 is at 1/22 the activity of U-238, the theoretical overestimation of Ra-226 was quantified assuming the gamma peaks for Ra-226 and U-235 completely overlap.

Radiačná ekológia

Radium-226 Quantification by Gamma Spectroscopy

The short-lived equilibrium progeny of Ra, Pb-214 and Bi-214, may be used to infer Ra-226 concentrations in soil or drill cuttings when U-235 is present in the sample.

The parent of these progeny, Rn-222, is a gas and has a half-life of 3.8 days. When the soil or drill cuttings sample is collected, some of the Rn gas escapes the solid matrix. Therefore, samples are **sealed** to allow the Rn gas to develop **for three weeks** of progeny ingrowth to reestablish **equilibrium** after the sample has been sealed.

Radiačná ekológia

Limitovanie NORM/TENORM

US Environmental Protection Agency US EPA and each state EPA have some interest in NORM/TENORM because they have regulations limiting disposal of radium-226 and radium-228 at permitted landfills to less than **5 pCi/g (185 Bq/kg)**.

Some states have landfill regulations that require each facility to have a **portal monitoring** system.

As an example, some facilities scan all incoming trucks to look for dose rates that are 10 microrem or more above background.

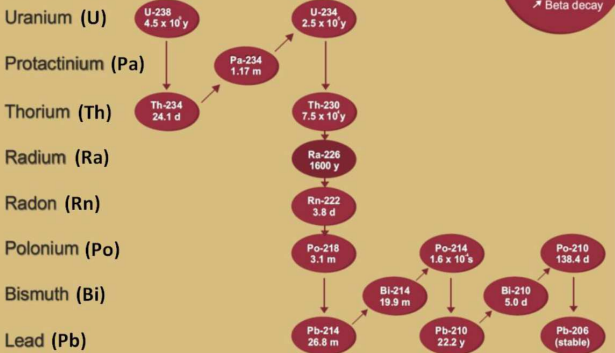


As a comparison to background levels, radium 226 concentrations in soils of the U.S. are shown at the top of the table.

TENORM Material	Range of Radioactivity Concentrations, Radium 226		
	Low	Average	High
Soils of the United States ¹	0.2	1.1	4.2
Uranium Mining Overburden ²	3		low hundreds
Uranium In-Situ Leach Evaporation Pond Solids ³	300	-	3,000
Phosphate Ore (Florida) ⁴	7	17.3-39.5	6.2-53.5
Phosphogypsum ⁵		11.7-24.5	36.7
Phosphate Fertilizer ⁶		5.7	21
Cool Ash ⁷ -Bottom Ash	1.6	3.5-4.6	7.7
Fly Ash	2	5.8	9.7
Petroleum (oil and gas)	0.1 pCi/l	-	9000 pCi/l
Produced Water ⁸	<0.25 pCi/g	<200 pCi/g	>100,000 pCi/g
Pipe/Tank Scale ⁹			
Water Treatment Sludge ¹⁰	1.3 pCi/l	11 pCi/l	11,686 pCi/l
Treatment Plant Filters ¹¹	-	40,000 pCi/g	-
Rare Earths ¹²	5.7	-	3,244
Monazite			
Xenotime			
Bastnaesite			
Titanium Ores ¹³	3.9	8.0	24.5
Rutile	-	19.7	-
Ilmenite	-	5.7	-
Wastes	-	12	-
Zircon ¹⁴	-	68	-
Wastes	87	-	1300
Aluminum ¹⁵ (Bauxite) Ores	4.4	-	7.4
Product	-	0.23	-
Wastes	-	3.9-5.6	-
Copper Wastes ¹⁶	0.7	12	82.6
Geothermal Energy Waste Scales ¹⁷	10	132	

Uranium-238 Decay Chain

U-238~98% by wt, ~50% of radioactivity
Radionuclide (half-life)



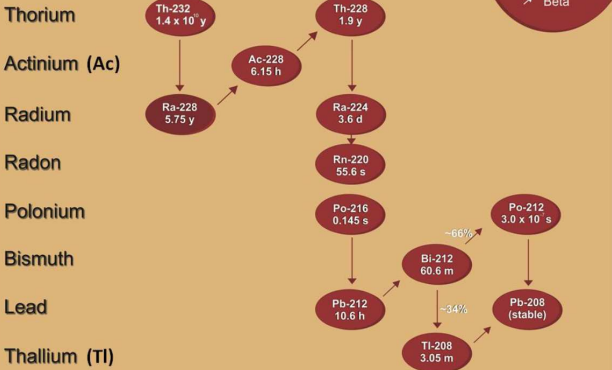
Explanation

↓ Alpha decay
↗ Beta decay

Thorium-232 Decay Chain

Decay Mode

↓ Alpha
↗ Beta



Industries operating within the European Union EC Radiation protection 135 report (2003)

- Fossil fuel power stations;
 - Oil and gas extraction;
 - Metal processing - iron and steel production in particular and also tantalum and niobium;
 - Phosphate industry;
 - Titanium oxide pigment production;
 - Zirconium and rare earth processes - refractory products and brick manufacture;
 - Cement production.
- The water industry, that is **waterworks** and water purification. The report concluded that wastes from surface water treatment are of no concern.

Radačná ekológia

NORM industries in Europe

Industry or work activity	Potentially significant solid residues?	Potentially significant liquid discharges?	Potentially significant aerial discharge?	Is such a facility present in EU Member State?															
				B	DK	D	EL	E	F	IRL	I	L	NL	A	P	FIN	S	UK	
Onshore oil/gas	Yes, sludges, scales	Yes, if discharged but no if liquids are re-injected.	No	-	Yes	Yes	-	-	Yes	-	Yes	No	Yes	Yes	-	-	No	Yes	
Offshore oil/gas	Yes, sludges, scales	Yes, produced water, scales	No	-	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes	-	No	-	No	Yes	
Phosphoric acid	Yes, if phosphogypsum is stockpiled	Yes, if phosphogypsum is discharged	No	Yes	-	-	Yes	Yes	Yes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Phosphate fertiliser	Yes/no, depending on process	Yes/no, depending on process	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	-	Yes	-	Yes	-	Yes	Yes	Yes	Yes	
Thermal phosphorus	Yes, calcined dust and slag	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yes	-	-	-	-	-	
TiO ₂ pigment	Yes, solids from liquid waste treatment	Yes/no depending on process	No	-	-	Yes	-	Yes	Yes	-	Yes	-	Yes	-	-	Yes	-	Yes	
Steel	Yes, blast furnace and sinter dust	Yes/no depending on waste water treatment	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	-	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
Cement	No	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
Coal fuelled power plants	Bottom and fly ash	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
Bricks and roofing tiles	No	No	Yes, ²¹⁰ Po	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
Tin smelters (closed down)	Slag, slag wool, historical	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Metal extraction from tin slag	Yes, slag	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	-	-	Yes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Lead/Zinc smelter	Yes, cobalt-cake	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	Yes	-	Yes	Yes	Yes	-	Yes	-	Yes	-	Yes	-	Yes	Yes	Yes	
Copper smelter	NK	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	Yes	-	Yes	-	Yes	Yes	-	-	-	-	-	-	-	Yes	Yes	

Radačná ekológia

Typical values of natural radioactivity in fossil fuels Concentrations of radionuclides in certain ash (Bq kg⁻¹)

	^{238}U series (Bq kg ⁻¹)	^{232}Th series (Bq kg ⁻¹)
Coal (global av.) [1]	20	22
Natural gas [2]	340 Bq m ⁻³ (^{222}Rn)	
Peat (global av.) [3]	40	

	^{238}U	^{232}Th	^{228}Th	^{228}Ra	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{40}K
Escaping fly ash (coal) [1]	200	70	110	130	240	930	1700	265
Bottom ash/ fly ash (coal) [2]	240/200	240/200			240/200	151/220	138/220	653/670
Peat fly ash [3]	268-1048				<215			<1480

Radačná ekológia

Coal combustion products (CCP) production in EU 15 in 1999 (kt)

	Fly Ash	Bottom Ash	Boiler Slag	FBC Ashes	Other	SDA-Product	FGD-Gypsum	Total	Total %
CCP Production	37 144	5 622	2 417	985	240	520	7 574	54 502	na
Utilization	18 169	2 500	2 417	445	240	471	6 622	30 864	55.6
Landfill, Reclamation, Restoration	15 425	2 070	0	393	0	37	424	18 349	33
Temporary Stockpile	717	31	0	0	0	0	445	1 193	2.1
Disposal	3 806	1 057	0	147	0	12	94	5 116	9.2

Annual emissions (GBq) by 'typical' coal and gas-fired power stations

	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra	^{222}Rn	^{210}Pb	^{210}Po
Coal-fired power plant (600 MW e)	0.16	0.08	0.11	34	0.4	0.8
Gas-fired power plant (400 MW e)	-	-	-	230	-	-

Radačná ekológia

Range of reported specific activity from scales and sludge samples

	Specific Activity (Bq g ⁻¹) (dry)			
	²²⁸ Th	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb
Scale from Norwegian offshore gas or oil platforms	-	5 - 30	8 - 100	0 - 6 ¹
Sludge from Dutch onshore and offshore oil and gas production installations	0 - 60 ¹	0 - 500	1 - 800	0 - 300
Scale from Dutch onshore and offshore oil and gas production installations	0 - 200 ¹	0 - 400	0 - 900	6 - 2500
Scale from German onshore oil and gas production installations	40 - 200	40 - 200	100 - 500	20 - 600
Scale from UK offshore oil or gas production platforms	-	20 - 300	20 - 400	-

Radažná ekológia

Natural Gas Radon Sampling Location



Radažná ekológia

Typical values of natural radioactivity in ores (Bq kg⁻¹)

	²³⁸ Usec	²³² Thsec
Bauxite (aluminium) [1]	37 - 530	41 - 527
Iron ore [2]	<50	<50
Pyrochlore (ferro-niobium) [3]	6 000 - 10 000	7 000 - 80 000
Tin ore [3]	1 000	300

Radažná ekológia

Activity concentrations in process materials and residues

Material	Activity Concentration (Bq kg ⁻¹)	Radionuclides
Tin smelting		
Slag wool ¹ [1] (produced from tin slag)	4 000	²³⁸ Usec
	11 000	²³² Thsec
Black slag [2]	5 000 - 6 200	²³⁸ U
	12 100 - 14 700	²³² Th
Iron/steel production		
Sinter plant stack gas emissions [3]	1	²¹⁰ Pb
	2.8	²¹⁰ Po
Sinter dust [3]	11 300	²¹⁰ Pb
	99 800	²¹⁰ Po
Blast furnace slag [4]	150 to 160	²³⁸ U and ²³² Th decay chain (²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb depleted see below)
	1	²¹⁰ Po
	10	²¹⁰ Pb
Blast furnace off-gas dusts [3]	8 000	²¹⁰ Pb (dry weight)
	2 800	²¹⁰ Po (dry weight)
Aluminium		
Red Sludge [5]	260 - 537	²³⁸ U
	250 - 496	²³² Th
	122 - 335	²²⁶ Ra

Radažná ekológia

Activity concentrations in process materials and residues

Lead		
Furnace Slag [6]	36	²³² Th
	265	²²⁶ Ra
Zinc		
Electrolysis waste [7]	<6	²³⁸ U
	8	²³² Th
	8	²²⁶ Ra
	96	²¹⁰ Pb
	-	²¹⁰ Po
Slag [7]	33	²³⁸ U
	30	²²⁶ Ra
	44	²¹⁰ Pb
	-	²¹⁰ Po

Radiačná ekológia

Indicative activity concentration in ore and waste products of the phosphate industry

Material	Activity Concentration Bq kg ⁻¹	Radionuclide
Ore ¹ [1]	1 400	²³⁸ U+
	160	²³² Th
	1 400	²²⁶ Ra+
	1 400	²¹⁰ Pb+
SULPHURIC ACID PROCESS		
Phosphogypsum [1]	200	²³⁸ U+
	17	²³² Th
	850	²²⁶ Ra+
	200	²¹⁰ Pb+
HYDROCHLORIC ACID PROCESS		
Calcium Fluoride (solid) with radium sulphate precipitate (from BaCl ₂ precipitate step) [2]	8 000 – 10 000	²²⁶ Ra
Calcium Chloride (effluent) [2]	2 Bq l ⁻¹	²²⁶ Ra
NITRIC ACID PROCESS		
Calcium carbonate (recycled)	NK	NK
THERMAL PROCESS		
Calcium Silicate Slag [1]	2 700	²³⁸ U+
	310	²³² Th
	2 300	²²⁶ Ra+
	270	²¹⁰ Pb+
	1 600 000	²¹⁰ Po+
Calcined dust [1]		

Činná ekológia

Typical liquid discharge data based on Dutch HAR plant at Vlaardingen Discharges to air and water from the Thermphos plant

Year	Phosphogypsum (kt)	²²⁶ Ra (GBq)	²¹⁰ Pb (GBq)	²¹⁰ Po (GBq)
1993	563	257	279	235
1994	649	377	328	363
1995	682	361	336	299
1996	671	315	314	288
1997	670	313	315	293
1998	660	283	242	284

Year	²¹⁰ Po to air (GBq)	²¹⁰ Pb to air (GBq)	²¹⁰ Po to water (GBq)	²¹⁰ Pb to water (GBq)
1987	538	50	73	69
1988	843	98	95	40
1989	634	50	99	34
1990	381	34	107	24
1991	687	32	91	21
1992	490	66	166	24
1993	616	52	96	24
1994	506	33	82	29
1995	503	48	76	23
1996	390	95	58	36
1997	306	106	29	21

2

Typical discharges of ²²⁸Ra, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, and ²¹⁰Po in acidic liquid effluent from TiO₂ pigment plant with an annual production of 90 000 t using the chloride process.

Nuclide	GBq y ⁻¹
²²⁸ Ra	38
²²⁶ Ra	22
²¹⁰ Pb	9
²¹⁰ Po	3

NB Average concentration in the rutile 0.4 and 0.6 Bq kg⁻¹ for ²³⁸U sec and ²³²Th sec.

Titanium dioxide industry in the European Union for 2000/2001

Country	Site	Company	Process	Capacity (10 ⁶ t y ⁻¹)
Belgium	Langerbrugge	KRONOS	chloride	69
	Antwerp	Kerr-McGee	sulphate	NK
Germany	Uerdingen	Kerr-McGee	sulphate	130
	Leverkusen	KRONOS	sulphate	30
	Leverkusen	KRONOS	chloride	100
	Nordenham	KRONOS	sulphate	62
France	Duisburg	Sachtleben	sulphate	100
	Le Havre	Millennium	sulphate	110
	Thann	Millennium	sulphate	28
Italy	Calais	Huntsman TiOxide	sulphate	100
	Scarlino	Huntsman TiOxide	sulphate	80
Netherlands	Rotterdam	Kerr-McGee	chloride	80
	Portl	Kemira Pigments	sulphate	130
United Kingdom	Greatham	Huntsman TiOxide	chloride	80
	Grimshy	Huntsman TiOxide	sulphate	80
	Grimshy	Millennium	sulphate (?)	150

Zirconium ore processing in Europe

Country	Quantity (kt y ⁻¹)
Belgium/Luxembourg	3
Germany	45
Greece	
Spain	52
France	40
Italy	98
Netherlands	
Austria	
Finland	
EU-15	238

Radioactivity content of zircon in Bq kg⁻¹

	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra
Average	6 800	11 000	8 300

Radioactivity content of baddleyite in Bq kg⁻¹

	²³⁸ U	²³² Th	²²⁸ Th	²²⁸ Ra
Baddleyite	7 000	300	200	6 000

Radiačná ekológia

²³²Th and ⁴⁰K activity concentrations (Bq kg⁻¹) measured on raw materials, residues and finished products in tile working

Samples	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
Raw materials	26-58	38-73	422-1 286
Zircon silicate (<5µm)	2 334	880	na
Zircon silicate (<45µm)	2 084	858	na
Sludges	68-354	30-119	266-427
White porcelain stoneware	118-247	40-89	528-1 000
Red porcelain stoneware	42	42	625
Black porcelain stoneware	39	41	768
Other tiles	27-88	42-69	544-977

Radiačná ekológia

Annual aerial discharges for a 'typical' cement plant with a 2000 kt y⁻¹ output of different types of cement

Nuclides	GBq
²³⁸ U	0.2
²²⁸ Th	0.05
²²⁶ Ra	0.2
²²² Rn	157
²¹⁰ Pb	0.2
²¹⁰ Po	78
⁴⁰ K	0.4

Country	Cement produced 10 ³ t
Belgium	8 000
Denmark	2 528
Germany	36 610
Greece	15 000
Spain	27 943
France	19 500
Ireland	2 000
Italy	35 000
Luxembourg	650
Netherlands	3 200
Austria	3 850
Portugal	9 500
Finland	903
Sweden	2 105
United Kingdom	12 409
EU-15	179 198

2

Rounded general clearance levels in Bq g⁻¹

Nuclides	All Materials	Wet Sludge from oil and gas industry
U _{nat}	5	100
²³⁸ Usec	0.5	5
²³⁵ Usec	1	10
²³⁵ U+	5	50
²³² Thsec	0.5	5
²³² Th	5	100
²³¹ Pa	5	50
²³⁰ Th	10	100
²²⁸ Th+	0.5	5
²²⁸ Ra+	1	10
²²⁶ Ra+	0.5	5
²²⁷ Ac+	1	10
²¹⁰ Pb+	5	100
²¹⁰ Po	5	100
⁴⁰ K	5	100

Radiačná ekológia

The decay chains of ²³⁸U, ²³⁵U and ²³²Th

²³⁸ U series		²³⁵ U series		²³² Th series	
Nuclide	Half-life	Nuclide	Half-life	Nuclide	Half-life
²³⁸ U	4.5 10 ⁹ y	²³⁵ U	7.1 10 ⁸ y	²³² Th	1.41 10 ¹⁰ y
²³⁴ Th	24.1 d	²³¹ Th	25.6 h	²²⁸ Ra	5.76 y
^{234m} Pa (99.99%)	1.17 min	²³¹ Pa	3.4 10 ⁴ y	²²⁸ Ac	6.13 h
²³⁴ U	2.47 10 ⁴ y	²²⁷ Ac	21.6 y	²²⁸ Th	1.913 y
²³⁰ Th	8.0 10 ⁴ y	²²⁷ Th (98.8%)	18.6 d	²²⁴ Ra	3.66 d
²²⁶ Ra	1602 y	²²³ Ra	11.7 d	²²⁰ Rn	55.6 s
²²² Rn	3.82 d	²¹⁹ Rn	3.9 s	²¹⁶ Po	0.15 s
²¹⁸ Po	3.05 min	²¹⁵ Po	1.78 10 ⁻³ s	²¹² Pb (100%)	10.64 h
²¹⁴ Pb (99.96%)	26.8 min	²¹¹ Pb	36.1 min	²¹⁶ At (0.01%)	0.3 10 ⁻³ s
²¹⁴ Bi	19.7 min	²¹¹ Bi	2.2 min	²¹² Bi	60.6 min
²¹⁴ Po	0.16 10 ⁻³ s	²¹¹ Pb (0.3%)	0.516 s	²¹² Pb (66.3%)	30 10 ⁻⁶ s
²¹⁰ Pb	22.3 y	²⁰⁷ Tl (99.7%)	4.77 min	²⁰⁸ Tl (33.7%)	3.05 m
²¹⁰ Bi	5.01 d	²⁰⁷ Pb	Stable	²⁰⁸ Pb	Stable
²¹⁰ Po	138.4 d				
²⁰⁶ Pb	Stable				

Radická ekológia

Dose coefficients for intake by ingestion and inhalation

Nuclide	Branching	Lung class	Half-life year	Committed effective dose per unit intake (Sv Bq ⁻¹)			Ingestion		
				Inhalation Infant - 1 y	Child - 10 y	Adult	Infant - 1 y	Child - 10 y	Adult
¹⁻²³⁸	1	M	4.47 E+09	9.40 E-06	4.00 E-06	2.90 E-06	1.20 E-07	6.80 E-08	4.50 E-08
^{Th-234}	1	S	6.60 E-02	3.10 E-08	1.10 E-08	7.70 E-09	2.50 E-08	7.40 E-09	3.40 E-09
^{Pa-234m}	0.998	*	2.23 E-06	0	0	0	0	0	0
^{Pa-234}	0.002	*	7.65 E-04	2.00 E-09	6.80 E-10	4.00 E-10	3.20 E-09	1.00 E-09	5.10 E-10
^{U-234}	1	M	2.45 E+05	1.10 E-05	4.80 E-06	3.50 E-06	1.30 E-07	7.40 E-08	4.90 E-08
^{Th-230}	1	S	7.70 E+04	3.50 E-05	1.60 E-05	1.40 E-05	4.10 E-07	2.40 E-07	2.10 E-07
^{Ra-226}	1	M	1.60 E+03	1.10 E-05	4.90 E-06	3.50 E-06	9.60 E-07	8.00 E-07	2.80 E-07
^{Rn-222}	1	*	1.05 E-02	0	0	0	0	0	0
^{Po-218}	1	M	5.80 E-06	0	0	0	0	0	0
^{Pb-214}	0.9998	M	5.10 E-05	4.60 E-08	1.90 E-08	1.40 E-08	1.00 E-09	3.10 E-10	1.40 E-10
^{Ac-218}	0.0002	*	6.34 E-08	0	0	0	0	0	0
^{Bi-214}	1	*	3.79 E-05	6.10 E-08	2.20 E-08	1.40 E-08	7.40 E-10	2.10 E-10	1.10 E-10
^{Po-214}	1	M	5.21 E-12	0	0	0	0	0	0
^{Pb-210}	1	M	2.23 E+01	3.70 E-06	1.50 E-06	1.10 E-06	3.60 E-06	1.90 E-06	6.90 E-07
^{Bi-210}	1	*	1.37 E-03	3.00 E-07	1.30 E-07	9.30 E-08	9.70 E-09	2.90 E-09	1.30 E-09
^{Po-210}	1	M	3.79 E-01	1.10 E-05	4.60 E-06	3.30 E-06	8.80 E-06	2.60 E-06	1.20 E-06
^{Th-232}	1	S	1.41 E+10	5.00 E-05	2.60 E-05	2.50 E-05	4.50 E-07	2.90 E-07	2.30 E-07
^{Ra-228}	1	M	5.75 E+00	1.00 E-05	4.60 E-06	2.60 E-06	5.70 E-06	3.90 E-06	6.90 E-07
^{Ac-228}	1	*	7.00 E-04	1.60 E-07	5.70 E-08	2.50 E-08	2.80 E-09	8.70 E-10	4.30 E-10
^{Th-228}	1	S	1.91 E+00	1.30 E-04	5.50 E-05	4.00 E-05	3.70 E-07	1.50 E-07	7.20 E-08
^{Ra-224}	1	M	1.00 E-02	8.20 E-06	3.90 E-06	3.00 E-06	6.60 E-07	2.60 E-07	6.50 E-08
^{Rn-220}	1	*	1.76 E-06	0	0	0	0	0	0
^{Po-216}	1	M	4.76 E-09	0	0	0	0	0	0
^{Pb-212}	1	M	1.22 E-03	4.60 E-07	2.20 E-07	1.70 E-07	6.30 E-08	2.00 E-08	6.00 E-09
^{Bi-212}	1	*	1.15 E-04	1.10 E-07	4.40 E-08	3.10 E-08	1.80 E-09	5.00 E-10	2.60 E-10
^{Po-212}	0.641	M	9.67 E-15	0	0	0	0	0	0
^{Tl-208}	0.359	*	5.84 E-06	0	0	0	0	0	0

Radická ekológia

Dose coefficients for intake by ingestion and inhalation

Nuclide	Branching	Lung class	Half-life year	Committed effective dose per unit intake (Sv Bq ⁻¹)					
				Inhalation			Ingestion		
				Infant - 1 y	Child - 10 y	Adult	Infant - 1 y	Child - 10 y	Adult
^{U-235}	1	M	7.04 E+08	1.00 E-05	4.30 E-06	3.10 E-06	1.30 E-07	7.10 E-08	4.70 E-08
^{Th-231}	1	S	2.91 E+03	1.70 E-09	5.20 E-10	3.30 E-10	2.50 E-09	7.40 E-10	3.40 E-10
^{Pa-231}	1	*	3.28 E+04	2.30 E-04	1.50 E-04	1.40 E-04	1.30 E-06	9.20 E-07	7.10 E-07
^{Ac-227}	1	*	2.18 E+01	1.60 E-03	7.20 E-04	5.50 E-04	3.10 E-06	1.50 E-06	1.10 E-06
^{Th-227}	0.9862	S	5.13 E+02	3.00 E-05	1.40 E-05	1.00 E-05	7.00 E-08	2.30 E-08	8.80 E-09
^{Fr-223}	0.0138	*	4.15 E+05	7.30 E-09	1.90 E-09	8.90 E-10	1.70 E-08	5.00 E-09	2.40 E-09
^{Ra-223}	1	M	3.13 E+02	2.10 E-05	9.90 E-06	7.40 E-06	1.10 E-06	4.50 E-07	1.00 E-07
^{Rn-219}	1	*	1.26 E-07	0	0	0	0	0	0
^{Po-215}	1	M	5.65 E-11	0	0	0	0	0	0
^{Pb-211}	1	M	6.87 E+05	4.50 E-08	1.90 E-08	1.10 E-08	1.40 E-09	4.10 E-10	1.80 E-10
^{Bi-211}	1	*	4.10 E+06	0	0	0	0	0	0
^{Tl-207}	0.9972	*	9.07 E+06	0	0	0	0	0	0
^{Po-211}	0.0028	M	1.64 E+08	0	0	0	0	0	0

Composite dose coefficients for chain segment in secular equilibrium

Committed effective dose per unit intake (Sv Bq ⁻¹)						
Chain segment	Inhalation			Ingestion		
	Infant - 1 years	Child - 10 years	Adult	Infant - 1 years	Child - 10 years	Adult
²³⁸ U _{sec}	9.43 E-08	4.91 E-06	2.91 E-06	1.42 E-07	7.54 E-08	4.81 E-08
²³⁵ U _{sec}	1.90 E-05	4.30 E-06	3.10 E-06	1.33 E-07	7.17 E-08	4.73 E-08
²³² Th _{sec}	1.10 E-05	4.80 E-06	3.50 E-06	1.30 E-07	7.40 E-08	4.90 E-08
²³² Th ₁	3.00 E-05	2.60 E-05	2.50 E-05	4.50 E-07	2.90 E-07	2.30 E-07
²³² Th ₂	3.50 E-05	1.60 E-05	1.40 E-05	4.10 E-07	2.40 E-07	2.10 E-07
²³² Th ₃	1.39 E-04	5.92 E-05	4.12 E-05	1.09 E-06	4.33 E-07	1.43 E-07
²³² Th ₄	2.30 E-04	1.20 E-04	1.40 E-04	1.50 E-06	9.20 E-07	7.10 E-07
²³² Ra _{sec}	1.02 E-05	4.66 E-06	2.63 E-06	5.70 E-06	3.90 E-06	6.90 E-07
²³² Ra ₁	1.11 E-05	4.94 E-06	3.53 E-06	9.62 E-07	8.01 E-07	2.80 E-07
²³² Ac _{sec}	1.65 E-03	7.44 E-04	5.67 E-04	4.27 E-06	1.97 E-06	1.21 E-06
²³² Pb _{sec}	4.00 E-06	1.63 E-06	1.19 E-06	3.61 E-06	1.90 E-06	6.91 E-07
²³² Pb ₁	1.10 E-05	4.80 E-06	3.30 E-06	8.80 E-06	2.60 E-06	1.20 E-06