

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.

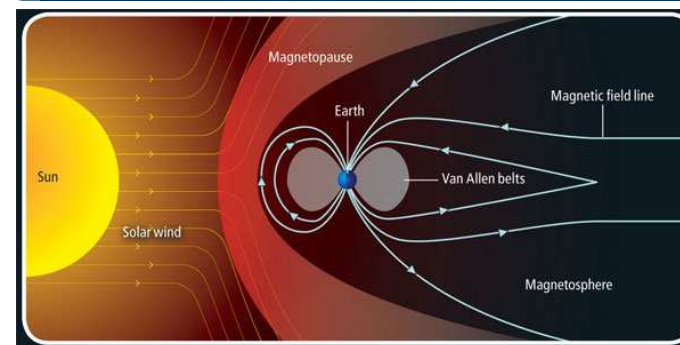
Radiačná ekológia

Kozmické žiarenie

- **Galaktické kozmické žiarenie (GCR)** - 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

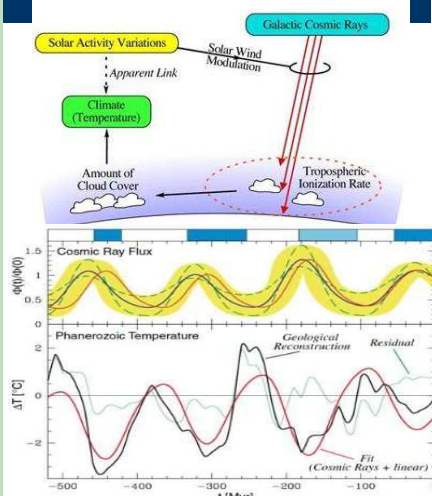
Magnetické pole Zeme a kozmické žiarenie



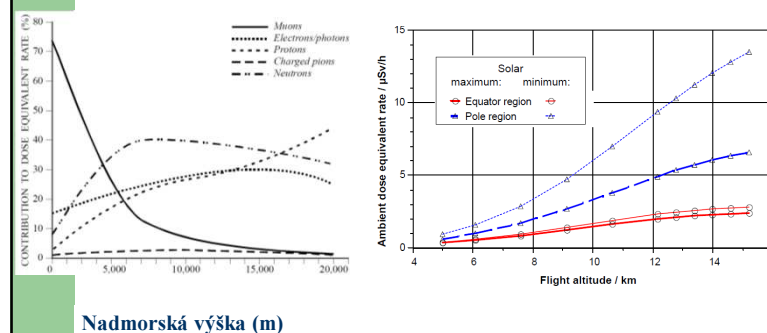
Magnetické pole dokáže odkloniť časť kozmického žiarenia, napr. „nabité častice zo slnečného vetra“ ale časť žiarenia môže v magnetickom poli uviaznuť v podobe van Allenových pásov. Slnčný vietor dokáže odkloniť a tým znížiť galaktickú zložku žiarenia.

The cosmic ray link between solar activity and the terrestrial climate. The changing solar activity is responsible for a varying solar wind strength. **A stronger wind will reduce the flux of cosmic ray reaching Earth (GCR)**, since a larger amount of energy is lost as they propagate up the solar wind. The cosmic rays themselves come from outside the solar system. Since cosmic rays dominate the troposphere ionization, an increased solar activity will translate into a reduced ionization, and empirically, also to a reduced low altitude cloud cover. Since low altitude clouds have a net cooling effect (their "whiteness" is more important than their "blanket" effect), **increased solar activity implies a warmer climate.**

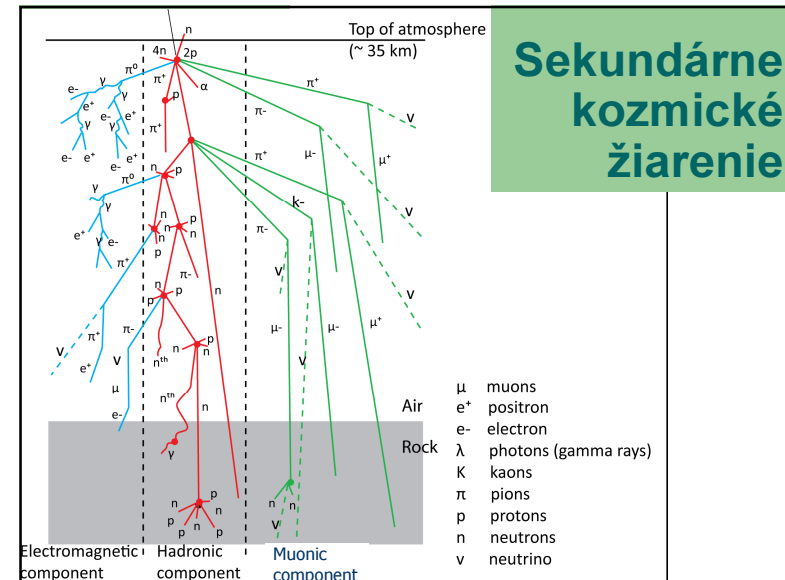
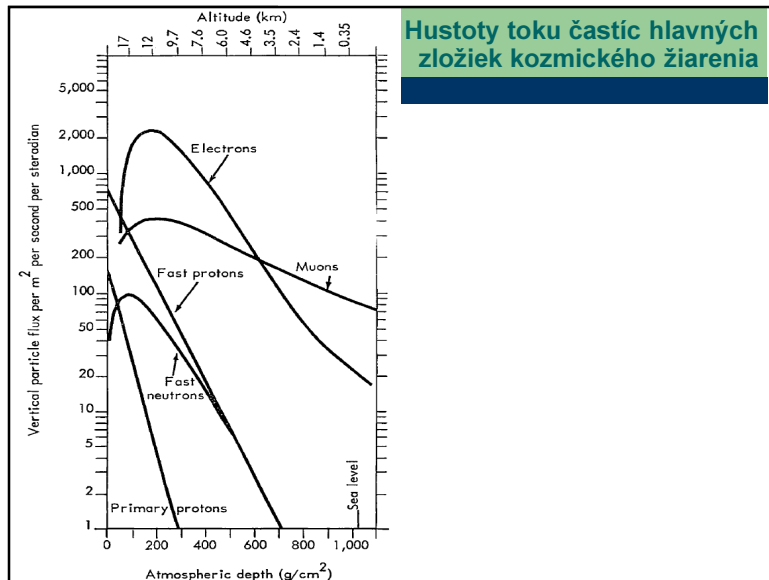
Vplyv slnečnej aktivity na GCR a klimatické zmeny



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



Nadmorská výška (m)



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:

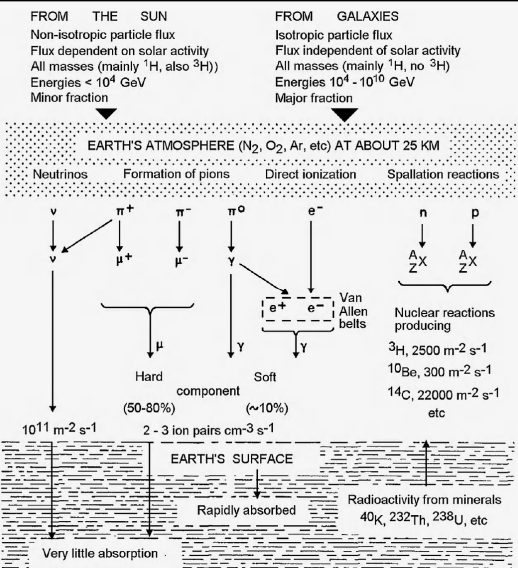
- the electromagnetic component (photons and electrons/ positrons),
- the hadronic component (neutrons, protons and charged pions) and
- the muonic component (charged muons, lifetime about 10^{-6} s).

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.

Radičná ekológia

Cosmic radiation

consists of atoms and photons which react with the atmosphere leading to the formation of numerous secondary particles, some (but not all) detectable at the Earth's surface.



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 μ 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.

Radičná ekológia

Kozmické žiarenie pri morskej hladine

Typ žiarenia	Hustota toku častíc (m ⁻² s ⁻¹)	Stredná energia (MeV)
Mióny, pióny	1,68.10 ⁻⁶	500 - 1000
Elektróny a pozitrony	0,63.10 ⁻⁶	100
Rýchle protóny	5,00.10 ⁻⁸	500 - 1000
Protóny	1,20.10 ⁻⁸	10 - 15
Rýchle neutróny	1,50.10 ⁻⁷	500 - 1000
neutróny	1,20.10 ⁻⁷	10 - 15

Radičná 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

Radičná 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

Radičná ekológia

Kozmické žiarenie

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

Radičná ekológia

Ožiarenie počas letu lietadlom

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

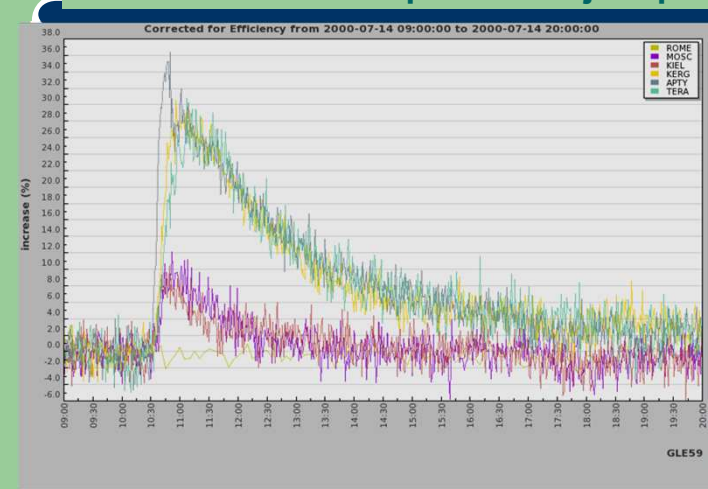
Radičná ekológia

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 20 mSv za rok.
- Tehotné členky leteckej posádky, vzhľadom na vyššiu citlivosť plodu, nesmú dostať viac ako 1 mSv až do konca tehotenstva.

Radičná ekológia

Zvýšenie neutrónového kozmického žiarenia po slnečnej erupcii



Kozmogénne rádionuklidy

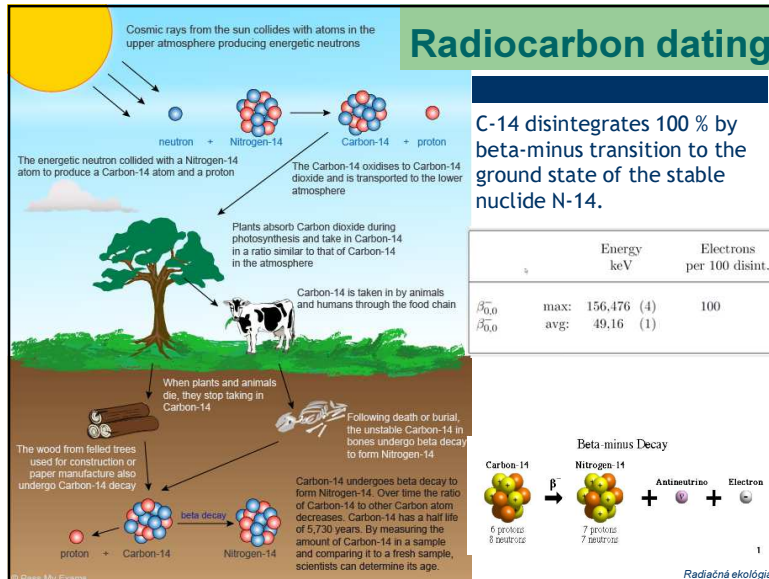
- Kozmogénne rádionuklidy** vznikajú interakciou kozmického žiarenia s jadrami vzduchu, vody a pôdy.
- Typickými predstaviteľmi sú ^3H a ^{14}C :

$$^{14}\text{N}(\text{n}, ^1\text{H})^{14}\text{C}$$

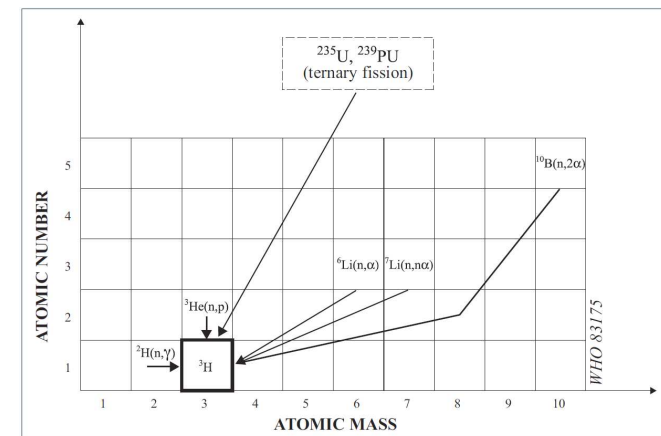
$$^{14}\text{N}(\text{n}, ^3\text{H})^{12}\text{C} \quad ^{16}\text{O}(\text{n}, ^3\text{H})^{14}\text{N}$$
- Trícium a uhlík** spôsobujú hlavne vnútorné ožiarenie u obyvateľstva tým, že vstupujú do potravinového reťazca.
- Dusík ^{14}N ako materské jadro tvorí 99,634% podiel dusíka v prírode a je stabilný. Zemská atmosféra obsahuje 78 % dusíka.
- Trícium existuje v prírode hlavne vo forme HTO. Uhlík ^{14}C hlavne vo forme CO_2 .

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
- Fosílna 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 vypúšťaného do atmosféry je menej ako 300 TBq/rok.
- So zarátaním všetkých zdrojov rádiouhlíka sa dnešná hodnota hmotnostnej aktivity udáva na $(13,56 \pm 0,07) \text{ dpm/gC} = (226 \pm 12) \text{ Bq/kgC}$.
 - dpm – disintegrations per minute



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 ~10 PBq in 1992. Though this is a small fraction compared to the natural production of ~150 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; $2,6 \cdot 10^{20}$ 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.

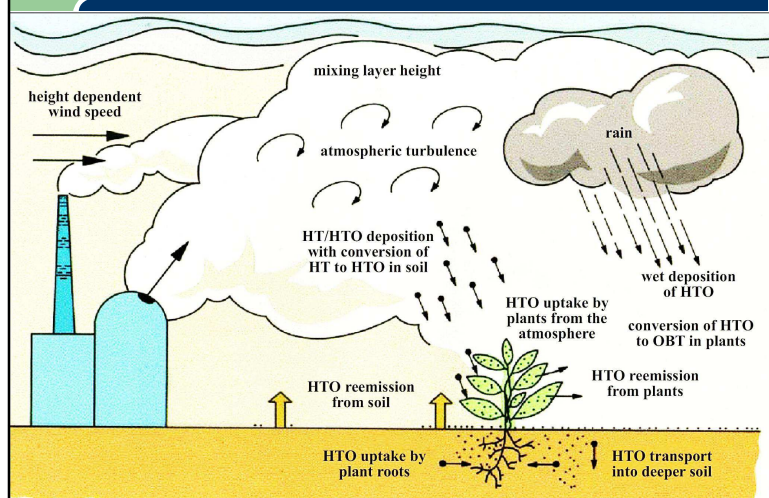
Radičná ekológia

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 * 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

Radičná ekológia

Environmental Tritium Processes

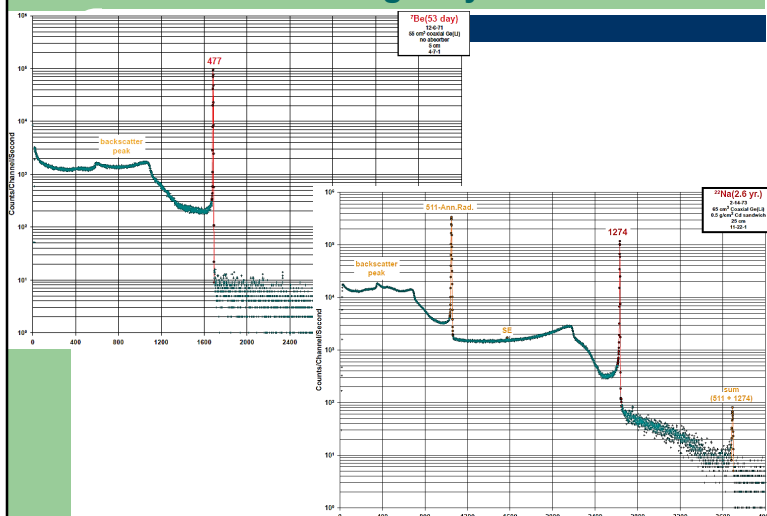


Hlavné kozmogénne rádionuklidy a ich vlastnosti

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 dní	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 dní	β^-	0,25	$1 \cdot 10^{-4}$
^{35}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	-

Radičná ekológia

Žiarenie kozmogénnych rádionuklidov



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.

Radičná 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

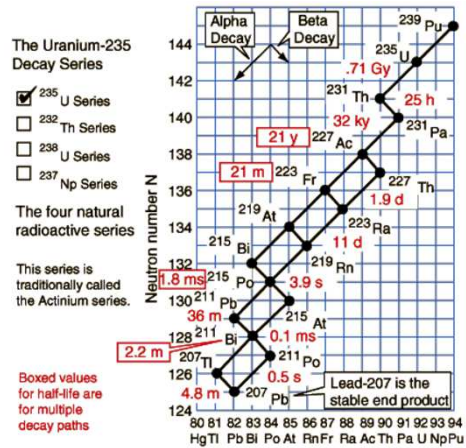
Sekundárne primordiálne rádionuklidy: sú rádionuklidy, ktoré patria k tzv. rozpadovým radom. Rozoznávame štyri rozpadové rady, ktoré charakterizuje štartovací prvok:

- ^{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.

Radičná ekológia

Urán - aktíniový rozpadový rad (4n+3)

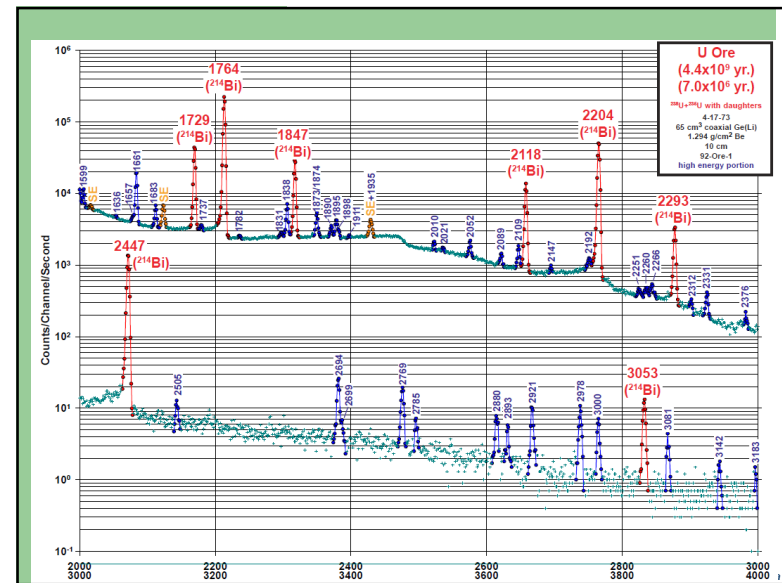
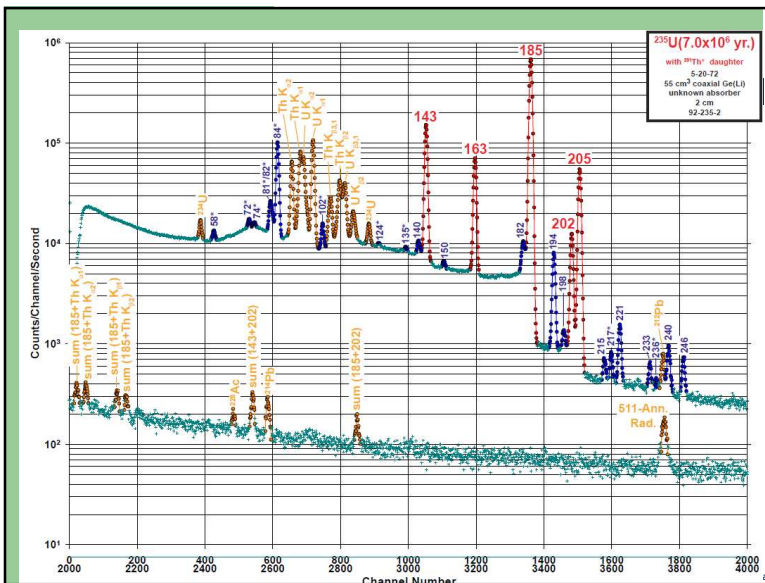


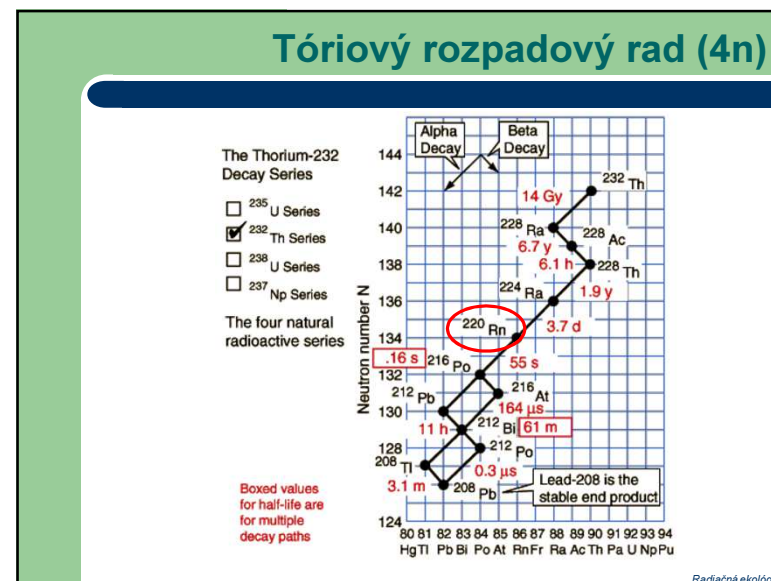
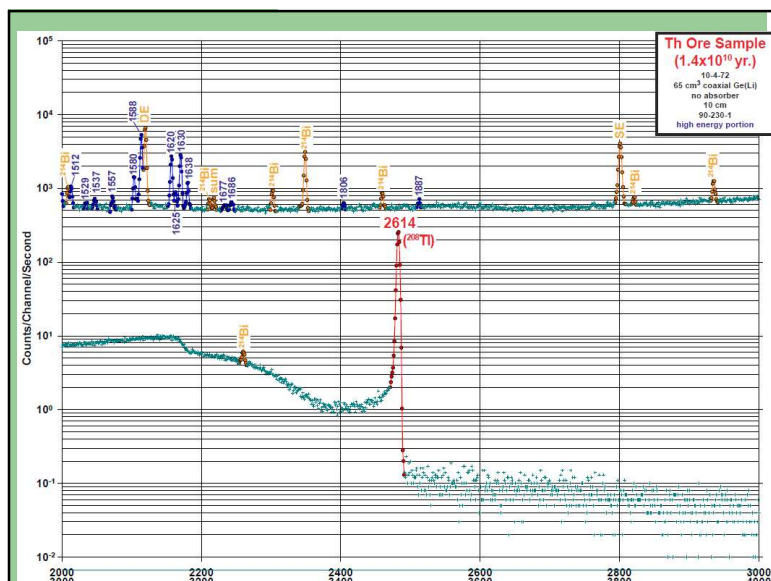
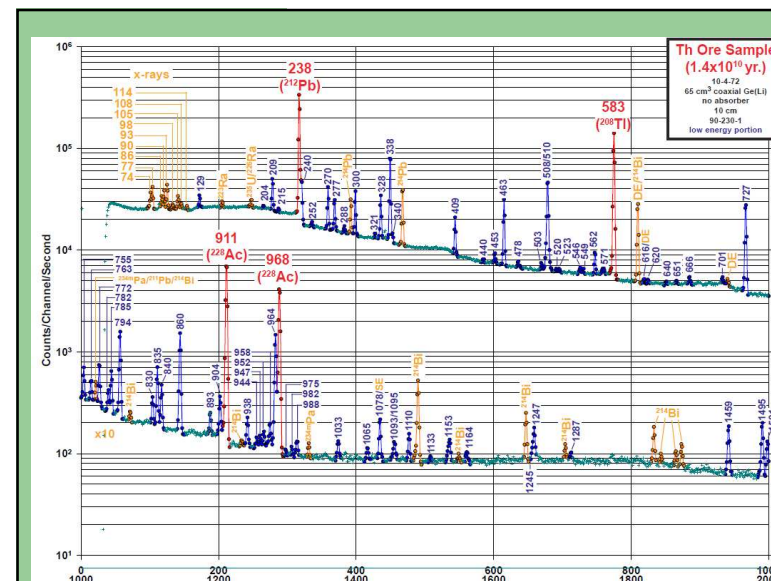
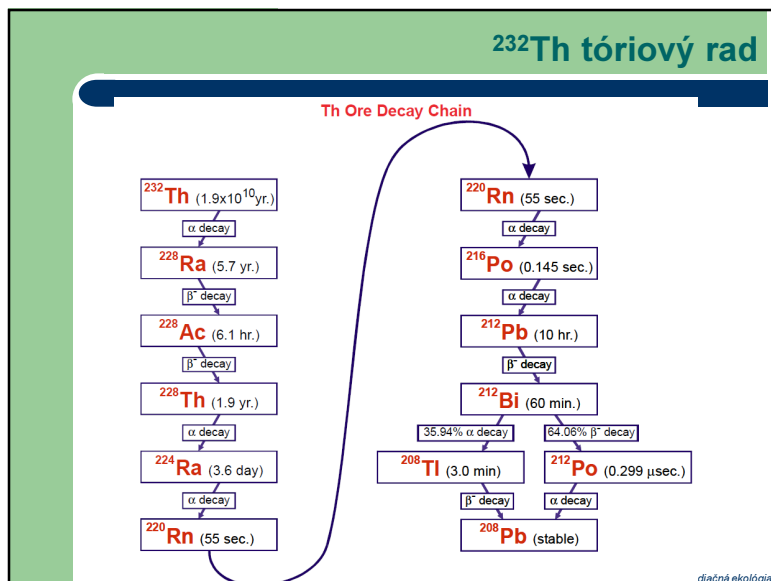
Radičná ekológia

Urán - aktíniový rozpadový rad

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

Radičná ekológia



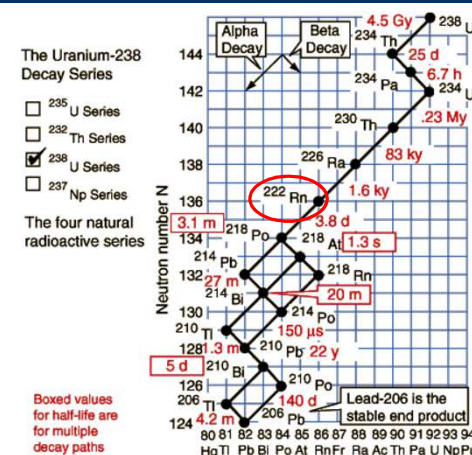


Tóriový rozpadový rad

Nuklid	historický názov	typ premeny	dobu polpremeny	emisná energia, MeV	produkt premeny
252Cf		α	2.645 r	6.1181	248Cm
248Cm		α	3.4×10^5 r	6.260	244Pu
244Pu		α	8×10^4 r	4.589	240U
240U		β^-	14.1 h	.39	240Np
240Np		β^-	1.032 h	2.2	240Pu
244Cm		α	18 r	5.8048	240Pu
240Pu		α	6561 r	5.1683	236U
236U		α	$2.3 \cdot 10^7$ r	4.494	232Th
232Th	Thorium	α	$1.405 \cdot 10^{10}$ r	4.081	228Ra
228Ra	Mesothorium 1	β^-	5.75 r	0.046	228Ac
228Ac	Mesothorium 2	β^-	6.25 h	2.124	228Th
228Th	Radiothorium	α	1.9116 r	5.520	224Ra
224Ra	Thorium X	α	3.6319 d	5.789	220Rn
220Rn	Thoron	α	55.6 s	6.404	216Po
216Po	Thorium A	α	0.145 s	6.906	212Pb
212Pb	Thorium B	β^-	10.64 h	0.570	212Bi
212Bi	Thorium C	β^- 64.06% α 35.94%	60.55 min	2.252 6.208	212Po 208Tl
212Po	Thorium C'	α	299 ns	8.955	208Pb
208Tl	Thorium C''	β^-	3.053 min	4.999	208Pb
208Pb		stable			

Radičná ekológia

Urán - rádiovy rozpadový rad (4n+2)



Radičná ekológia

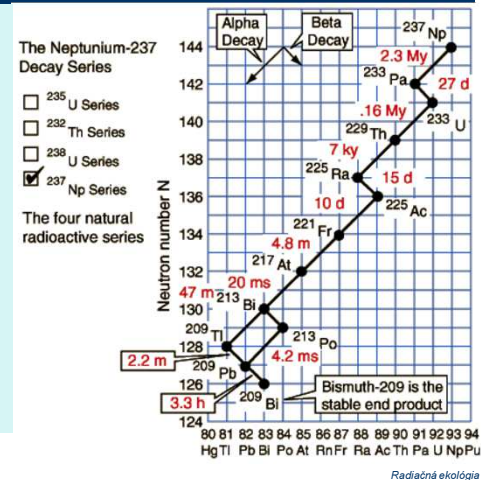
Urán - rádiovy rozpadový rad

Nuklid	historický názov	typ premeny	dobu polpremeny	emisná energia, MeV	produkt premeny
238U	Uranium	α	$4.468 \cdot 10^8$ r	4.270	234Th
234Th	Uranium X1	β^-	24.10 d	0.273	234Pa
234Pa	Uranium Z	β^-	6.70 h	2.197	234U
234U	Uranium two	α	245500 r	4.859	230Th
230Th	Ionium	α	75380 r	4.770	226Ra
226Ra	Radium	α	1602 r	4.871	222Rn
222Rn	Radon	α	3.8235 d	5.590	218Po
218Po	Radium A	α 99.98% β^- 0.02%	3.10 min	6.115 0.265	214Pb 218At
218At		α 99.90% β^- 0.10%	1.5 s	6.874 2.883	214Bi 218Rn
218Rn		α	35 ms	7.263	214Po
214Pb	Radium B	β^-	26.8 min	1.024	214Bi
214Bi	Radium C	β^- 99.98% α 0.02%	19.9 min	3.272 5.617	214Po 210Tl
214Po	Radium C'	α	0.1643 ms	7.883	210Pb
210Tl	Radium C''	β^-	1.30 min	5.484	210Pb
210Pb	Radium D	β^-	22.3 r	0.064	210Bi
210Bi	Radium E	β^- 99.99987% α 0.00013%	5.013 d	1.426 5.982	210Po 206Tl
210Po	Radium F	α	138.376 d	5.407	206Pb
206Tl		β^-	4.199 min	1.533	206Pb
206Pb		-	stable	-	-

Radičná 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, ^{237}Np , which is considered as the parent species; it has a half-life of $2.14 \cdot 10^6$ y. In as much as this half-life is considerably shorter than the age of the earth, primordial ^{237}Np 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.



Radičná ekológia

Neptúniový rozpadový rad

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

Prírodné žiarenie prirodzená 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.

Radičná ekológia

Charakteristiky prírodných rádionuklidov vo vode

Nuklid	Polčas	Premena	Výskyt (Bq/l)	KF deti (mSv/Bq)	KF dosp (mSv/Bq)
238U	$4,47 \cdot 10^9$ r	alfa	$10^{-3} - 10^{-1}$	0,34	0,045
234Th	24,1 d	beta	$10^{-3} - 10^{-1}$	0,04	0,003
234U	$2,45 \cdot 10^5$ r	alfa	$10^{-3} - 10^{-1}$	0,37	0,049
230Th	$7,7 \cdot 10^4$ r	alfa	do 10^{-2}	4,1	0,21
226Ra	$1,6 \cdot 10^3$ r	alfa	$10^{-3} - 10^{-2}$	4,7	0,28
222Rn	3,82 d	alfa	1 - 100	0,07	0,01
210Po	138 d	alfa	$10^{-3} - 10^{-2}$	26	1,2
210Pb	22,3 d	alfa	$10^{-3} - 10^{-2}$	8,4	0,69
232Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ r	alfa	do 10^{-2}	4,6	0,23
228Ra	5,75 r	beta	$10^{-3} - 10^{-2}$	30	0,69
228Th	1,91 r	alfa	do 10^{-2}	3,7	0,072
224Ra	3,66 d	alfa	$10^{-3} - 10^{-2}$	2,7	0,065
235U	$7,04 \cdot 10^8$ r	alfa	$10^{-3} - 10^{-2}$	0,35	0,047
231Pa	$3,28 \cdot 10^4$ r	alfa	do 10^{-3}	13	0,71
227Ac	21,8 r	beta	do 10^{-3}	33	1,1
227Th	18,7 d	alfa	do 10^{-3}	0,3	0,009
223Ra	11,4 d	alfa	do 10^{-2}	5,3	0,1

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

Radičná 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

Radičná 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 1MBq a súčasne hmotnostná aktivita 0,1 MBq/kg teda 100 Bq/g.

Radičná 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 $^{14}\text{C} = 3800 \text{ Bq}$

Radičná 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)

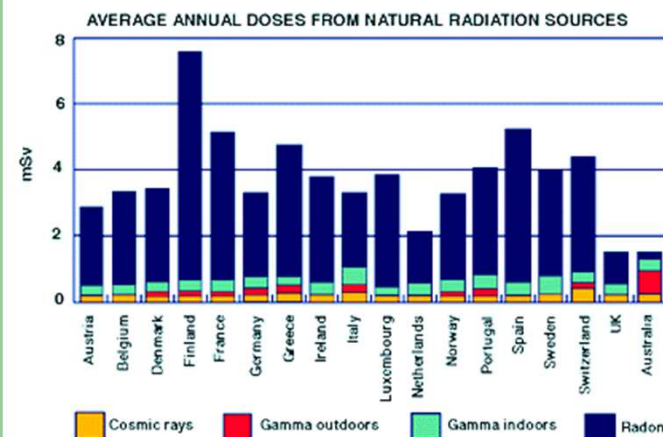
Radičná ekológia

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 $10\text{-}100 \text{ Bq/m}^3$.

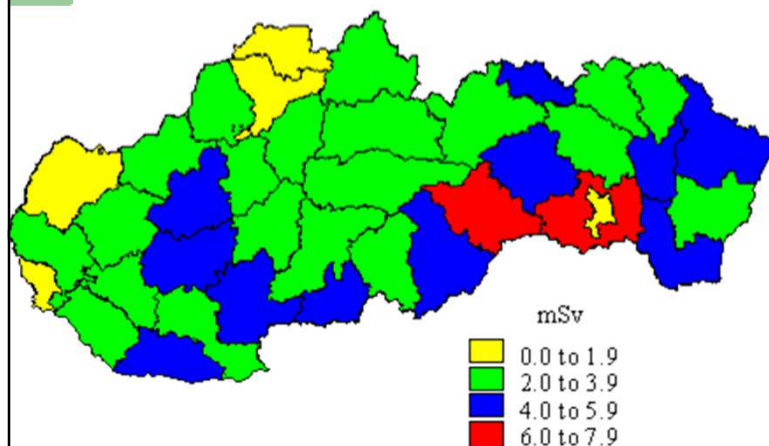
Radičná ekológia

Prehľad priemerných ročných dávok z prírodných zdrojov



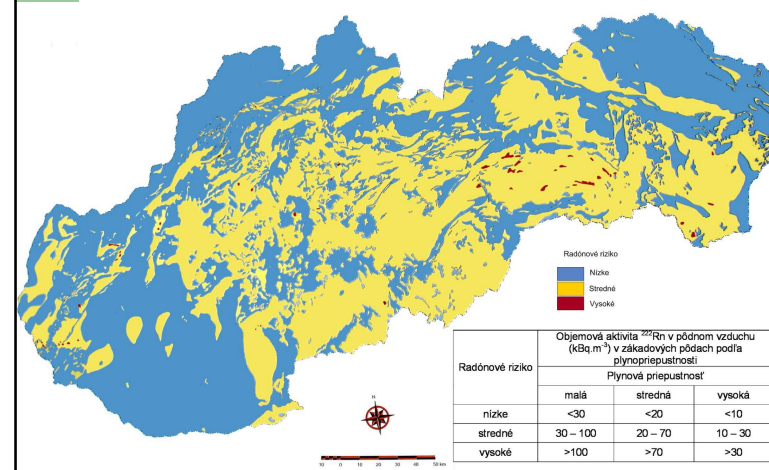
ekológia

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



Radičná ekológia

Mapa radónového rizika Slovenska



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 Holíči, Skalici, Vranove nad Topľou, kde 100% referenčných plôch spadlo do kategórie nízkeho radónového rizika.

Sumarizácia výsledkov radónového skríningu ÚPKM z 1 832 bytov na Slovensku

- hodnoty EOAR (ekvivalentná objemová aktivita radónu) v bytových priestoroch presahujúce 200 Bq/m³ (tzv. akčná úroveň) boli prekročené v 205 bytoch (11% z celkového počtu),
- najvyššie priemerné hodnoty EOAR (65 Bq/m³) boli zistené na území bývalého východoslovenského kraja (Slovensko priemer: 40 Bq/m³),
- "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 podložia bolo zaznamenané aj v územiach, kde merania EOAR v bytových priestoroch doposiaľ nezdokumentovali prekročenie akčnej úrovne.

Zdroj: Ústav preventívnej a klinickej medicíny (ÚPKM)

Požiadavky na obmedzenie ožiarenia z radónu

98

VYHLÁŠKA

Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky

z 19. marca 2018,

ktorou sa ustanovujú podrobnosti o obmedzovaní ožiarenia pracovníkov a obyvateľov z prírodných zdrojov ionizujúceho žiarenia

- 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 bytovými 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 bytovými priestormi a projektovaní rekonštrukcií stavieb s bytovými priestormi navrhujú tak, aby nebola prekročená hodnota objemovej aktivity radónu **200 Bq.m⁻³** v priemere za rok.

Ochrana obyvateľov pred radónom

- **Referenčná úroveň** pre objemovú aktivitu radónu v bytových priestoroch je 300 Bq.m⁻³ za kalendárny rok.
- Každý, kto **projektuje, stavia alebo robí stavebné úpravy** v bytovej budove určenej na predaj alebo prenájom alebo nebytovú budovu určenú na poskytovanie služieb, je povinný vykonať také preventívne opatrenia, aby objemová aktivita radónu vo vnútornom ovzduší budovy počas pobytu osôb v priemere za kalendárny rok neprekračovala referenčnú úroveň 300 Bq.m⁻³ za kalendárny rok.
- Referenčná úroveň pri prekročení vyžaduje vykonanie opatrení. (Zákaz používania stavebného materiálu, obmedzenie pobytu v bytových budovách, preklasifikovanie na nepobytové priestory...)

Smerná hodnota na vykonanie opatrení proti prenikaniu radónu z podlažia stavby

- pri výstavbe stavieb s pobytovými priestormi je objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu na úrovni základovej ryhy
 - 10 kBq.m⁻³ v dobre priepustných základových pôdach,
 - 20 kBq.m⁻³ v stredne priepustných základových pôdach,
 - 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.

Radičná ekológia

Stanovenie radónového indexu pozemku

Radónový index pozemku	Objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu (kBq.m ⁻³)		
	$c_A < 30$	$c_A < 20$	$c_A < 10$
Nízky	$30 \leq c_A < 100$	$20 \leq c_A < 70$	$10 \leq c_A < 30$
Stredný	$c_A \geq 100$	$c_A \geq 70$	$c_A \geq 30$
Vysoký	Plynová priepustnosť pôd		
	Nízka	Stredná	Vysoká

Radičná ekológia

Štandardné ♦ a doporučené ■ protiradónové opatrenia

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

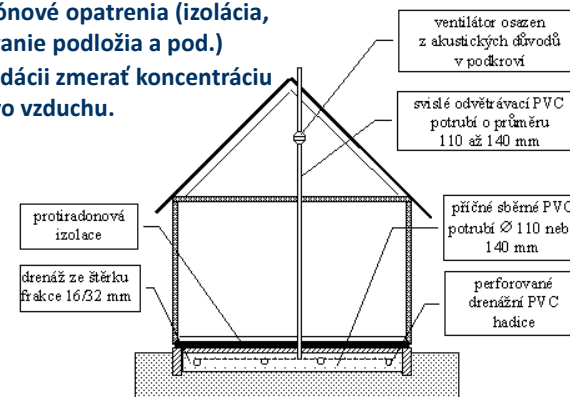
U vysokého rizika sa odporúča aj kombinácia s autonómnou vdychotechnikou obývacích priestorov.

Radičná ekológia

Príklad protiradónových opatrení

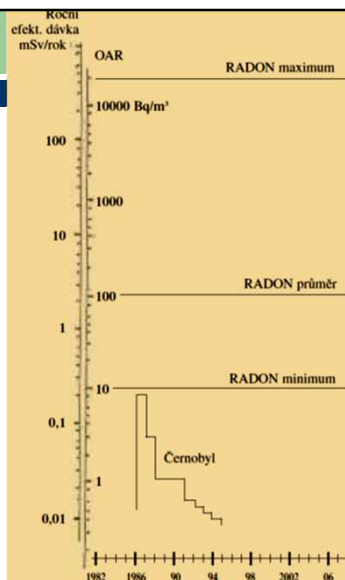
V rámci stavebného konania treba zhodnotiť radónové riziko a navrhnuť protiradónové opatrenia (izolácia, odvetrávanie podlažia a pod.)

Pri kolaudácii zmerať koncentráciu radónu vo vzduchu.



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 fosílné 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.

Radičná ekológia

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

Materiál	$^{40}\text{K}(\text{Bq.kg}^{-1})$	$^{226}\text{Ra}(\text{Bq.kg}^{-1})$	$^{232}\text{Th}(\text{Bq.kg}^{-1})$
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

Radičná ekológia

Požiadavky na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia

98

VYHLÁŠKA

Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky

z 19. marca 2018,

ktorou sa ustanovujú podrobnosti o obmedzovaní ožiarenia pracovníkov a obyvateľov z prírodných zdrojov ionizujúceho žiarenia

- Zrušené:**
- 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 zníženie obsahu prírodných rádionuklidov v **stavebných výrobkoch** určených na výstavbu stavieb s pobytovými priestormi je hmotnostná aktivita ^{226}Ra v stavebnom výrobku **120 Bq.kg⁻¹**.

Radičná ekológia

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

- Smernou hodnotou na vykonanie opatrení na obmedzenie vonkajšieho ožiarenia osôb žiarením **gama zo stavebných výrobkov** v stavbách s pobytovými priestormi je príkon priestorového dávkového ekvivalentu **0,5 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$** , 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.

Radičná ekológia

Spôsob stanovenia 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.

Radičná ekológia

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

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

Kritériá na metódy stanovenia rádiologických ukazovateľov v stavebných materiáloch

Stanovovaný ukazovateľ	Najmenšia detegovateľná hmotnostná aktivita ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)	U_{rel} (%)
$a_{\text{Ra}226}$	≤ 30	≤ 30
$a_{\text{Th}232}$	≤ 30	≤ 30
$a_{\text{K}40}$	≤ 100	≤ 30

-

NAJVIŠŠIE 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.

Radičná 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.

Radičná 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 $7,5 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Radičná ekológia

Antropogénna rádioaktivita v prírode

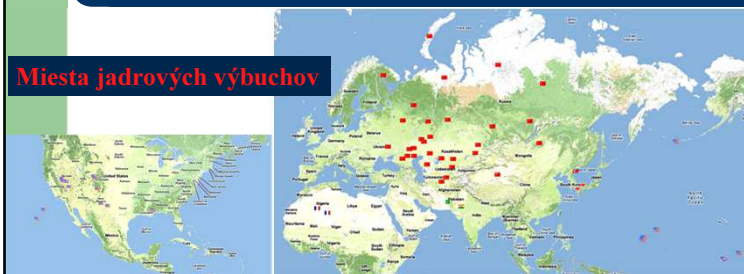
Source	Country	Time	Radioactivity (Bq)	Important nuclides
Hiroshima & Nagasaki	Japan	1945	4×10^{16}	Fiss.prod., Actinides
Atmospheric weapons tests	USA USSR	-1963	2×10^{20}	Fiss. prod., Actinides
Windscale	UK	1957	1×10^{15}	^{131}I
Chelyabinsk (Kysthym)	USSR	1957	8×10^{16}	Fiss. prod. ^{90}Sr , ^{137}Cs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

Radičná 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

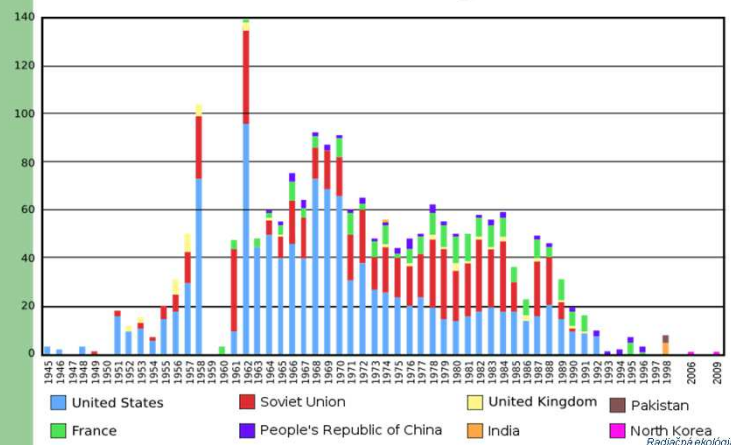
Produkt	A (Bq/kg)	Produkt	A (Bq/kg)
Mlieko	$0,133 \pm 0,01$	Obilniny	—
Ovocie	$3,4 \pm 0,4$	Hríby	$229,0 \pm 19,0$
Zelenina	$0,025 \pm 0,003$	Ryby	$0,276 \pm 0,14$
Krmoviny	$3,81 \pm 0,28^*$	*vzťahnuté na sušinu	



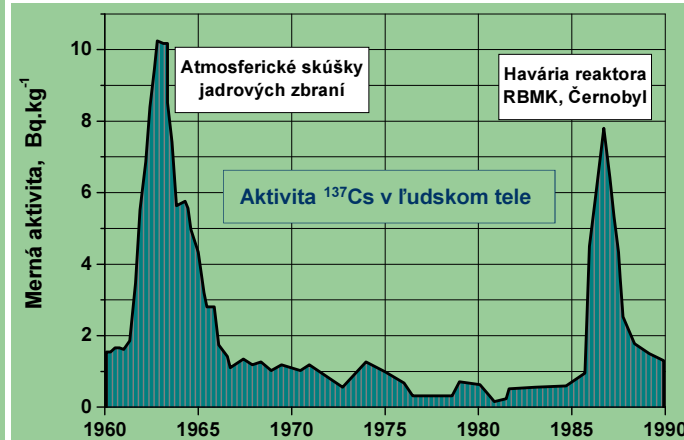
Radičná ekológia

História testov A-bomby vo svete

Worldwide nuclear testing, 1945-2009

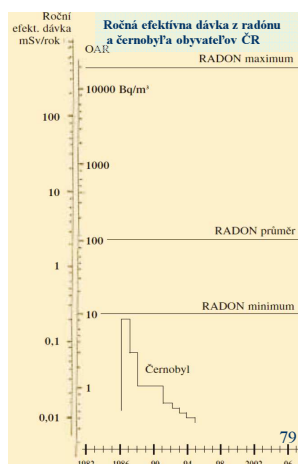


Globálny rádioaktívny spad Spôsobujú hlavne štiepne produkty ^{90}Sr a ^{137}Cs



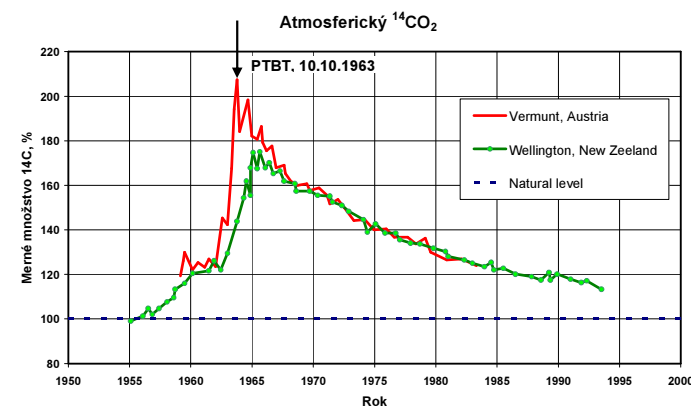
Radičná ekológia

Porovnanie vplyvu černobyľskej havárie s vplyvom atmosférických testov a radónu



79

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



PTBT - Partial Test Ban Treaty

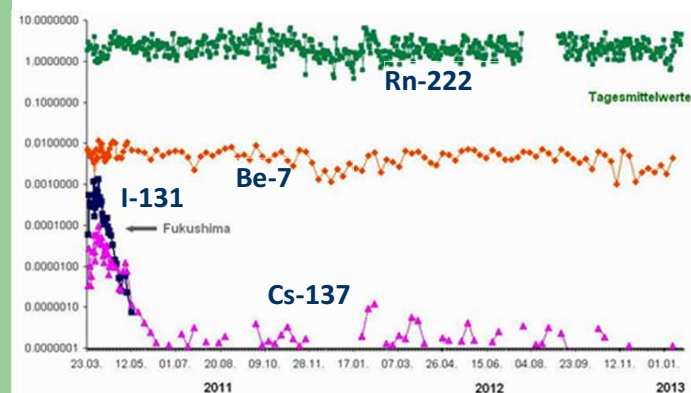
Radičná ekológia

Havárie na jadrových elektrárnach – Černobyl Fukushima - Daiichi

- Havária na japonskej jadrovej elektrárni Fukushima spôsobili 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).

Radičná ekológia

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



Radičná ekológia

Ožiarenie v dôsledku medicínskych procedúr.

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

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.

Radičná ekológia

Smerné hodnoty pre vyšetrenie počítačovou tomografiou (CT)

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

Radičná ekológia

Smerné hodnoty pre röntgenové vyšetrenie

Smerné hodnoty pre röntgenové vyšetrenie

Vyšetrenie	Projekcia	Vstupná povrchová dávka ^{a)} (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

Radičná ekológia

Smerné hodnoty pre iné lekárske vyšetrenie

Smerné hodnoty pre mamografické vyšetrenie

	Priemerná dávka v mliečnej žľaze ^{a)} 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	Tc-99m	TcO ₄ , DTPA	800
	statická	Tc-99m	TcO ₄ , DTPA	600
	SPECT	Tc-99m	TcO ₄ , DTPA, HM-PAO	800
	Cisternografia	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

Radičná 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

Radičná 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 ...

Radičná 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 radiojódem 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.

Radičná 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 neoperabilních nádorů a metastáz.

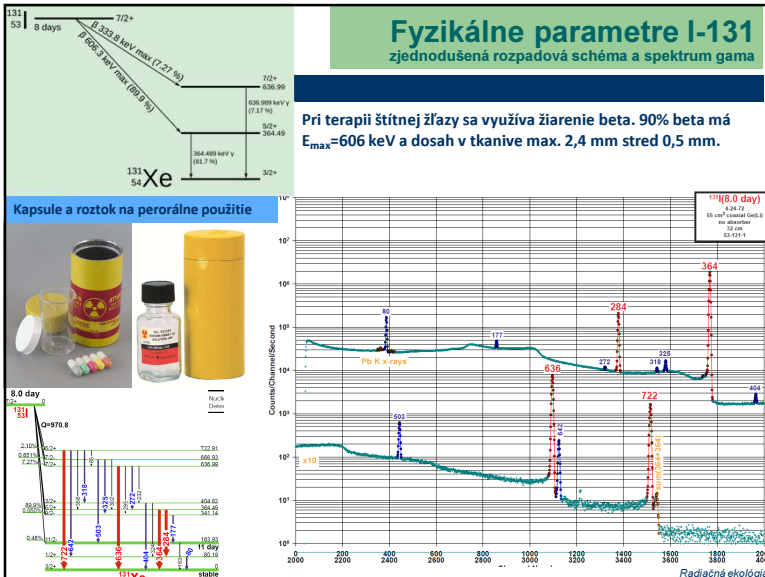
Při intersticiální léčbě se do nádorové tkáně aplikují zdroje iridia či radiojodu, které pak likvidují nádorovou tkáň.

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.

Radičná ekológia

Fyzikálne parametre I-131 zjednodušená rozpadová schéma a spektrum gama

Pri terapii štítnej žľazy sa využíva žiarenie beta. 90% beta má $E_{\max}=606 \text{ keV}$ a dosah v tkanive max. 2,4 mm stred 0,5 mm.



Biokinetika jódu v tele a opatrenia spojené s aplikáciou rádiojódu

- Pri požití sa rádiojód 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 rozptyľuje sa do celého tela.
- Konverzný faktor pri požití rádiojódu 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 rádiojódu, 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 záchytnými nádobami.

Radičná ekológia

Prepúšťanie pacientov po aplikácii rádiojódu 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 sediacke**, 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...

Radičná ekológia

Lekárske aplikácie

Tabuľka 1:

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

Prikon 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 ⁴⁾
< 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

Vyšetrovanie		Radionuklid	Látka, chemická forma	Aplikovaná aktivita [MBq]	
Orgán	druh vyšetrovania, 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	
	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	
		I-123	Iomazenil, IBZM	200	
	SPECT vyšetrovanie 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, prímiesi v chladiči, v moderátore, v palive a pod.

Radičná ekológia

Prehľad najvýznamnejších aktivačných produktov v JE

Chladiivo + moderátor - voda

Vlastná aktivita	¹⁶ O(n, p) ¹⁶ N $T_{1/2}=7,4$ s	99,80%
	¹⁷ O(n, p) ¹⁷ N $T_{1/2}=4,1$ s	0,04%
Aktivita prímiesi	¹⁸ O(n, γ) ¹⁹ O	
	² H(n, γ) ³ H $T_{1/2}=12,3$ r	
Aktivita prímiesi	minerálne soli ²⁴ Na, ⁶ Li(n, α) ³ H, ¹⁰ B(n, α) ³ H	
	rozpustené plyny ⁴¹ Ar, ¹⁴ N(n, p) ¹⁴ C	
Aktivita prímiesi	produkty korózie ⁵⁹ Fe, ⁶⁰ Co, ⁵⁶ Mn, ⁵¹ Cr ...	
	štiepne produkty Kr, Xe, I	

Konštrukčné materiály

⁵⁹ Fe($T_{1/2}=45$ d), ⁶⁰ Co($T_{1/2}=5,3$ r), ⁵⁴ Mn($T_{1/2}=312$ d), ⁵¹ Cr($T_{1/2}=28$ d), ⁵⁸ Co($T_{1/2}=71$ d)
⁶⁵ Zn($T_{1/2}=244$ d), ⁹⁵ Nb($T_{1/2}=35$ d), ⁹⁵ Zr($T_{1/2}=64$ d), ¹¹⁰ Ag($T_{1/2}=250$ d), ¹⁴ C($T_{1/2}=5730$ r)

Palivo

Transuránové prvky	237, 239 Np, 238-242 Pu, 241, 243 Am, 242, 244 Cm
--------------------	---

Radičná ekológia

Prehľad najvýznamnejších štípných produktov v JE

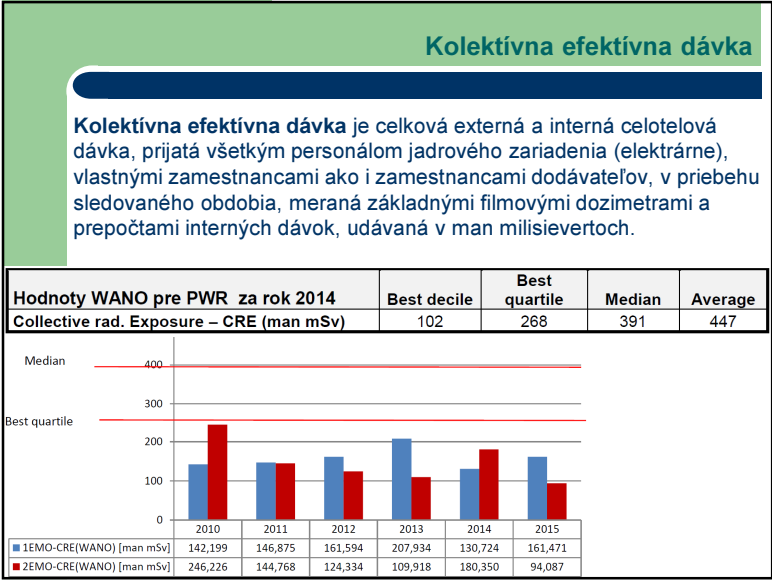
Vzácné plyny	⁸⁵ Kr	T _{1/2} =10,8 r	¹³³ Xe	T _{1/2} =5,3 d
	⁸⁷ Kr	T _{1/2} =1,3 h	¹³⁵ Xe	T _{1/2} =9,2 h
	⁸⁸ Kr	T _{1/2} =2,8 h		
Prchavé látky	¹²⁹ I	T _{1/2} =1,6 · 10 ⁷ r	¹³⁵ I	T _{1/2} =6,7 h
	¹³¹ I	T _{1/2} =8 d	¹³⁴ Cs	T _{1/2} =2,1 r
	¹³³ I	T _{1/2} =21 h	¹³⁷ Cs	T _{1/2} =30 r
Trícium	³ H	T _{1/2}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

Radičná ekológia

Systém radiačnej kontroly JE

Správa o stave bezpečnosti SE-EMO 2015

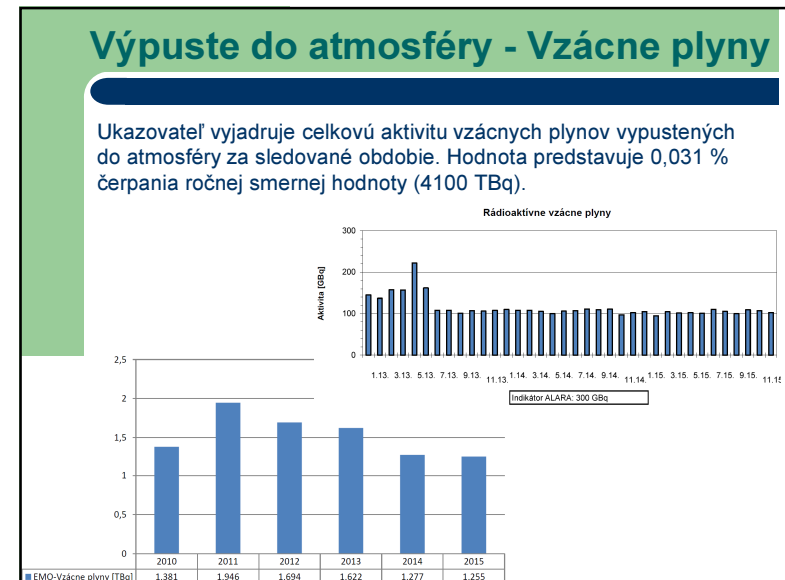
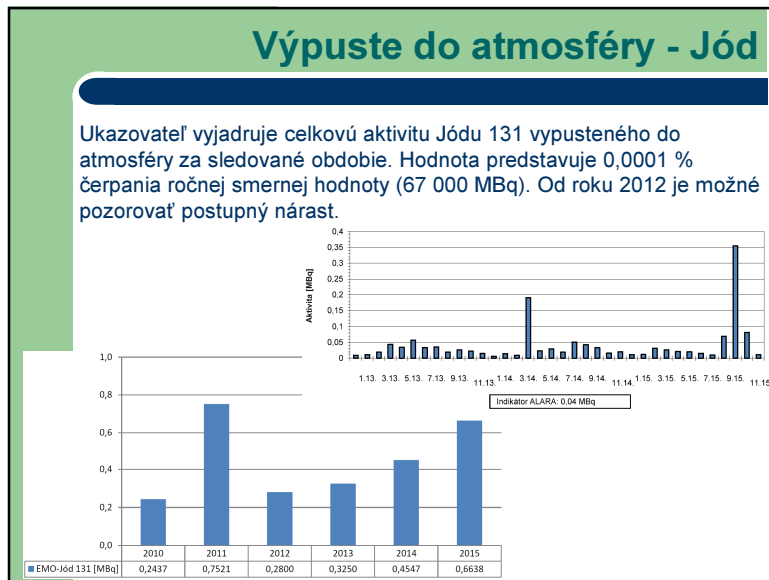
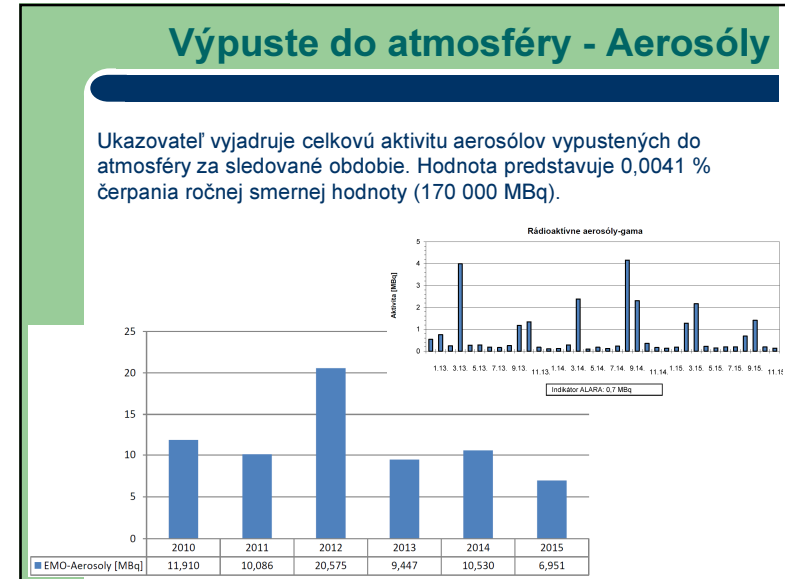
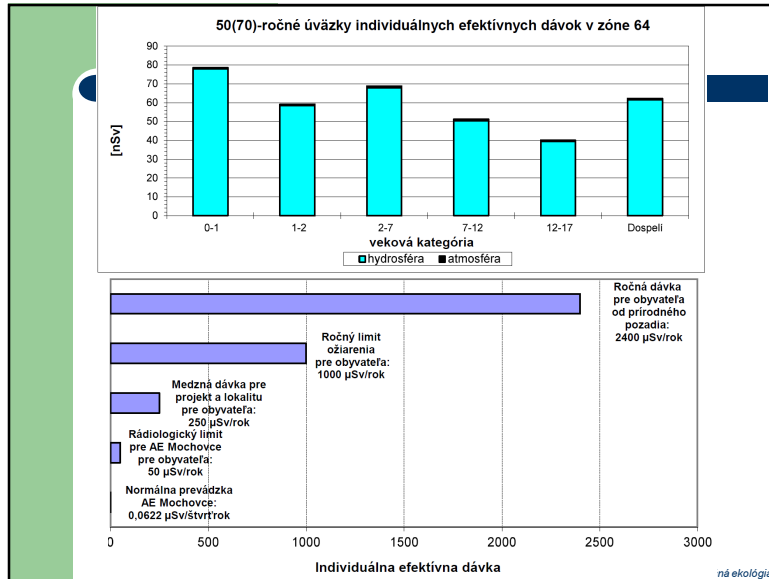
doc. Ing. Róbert Hinca, PhD.



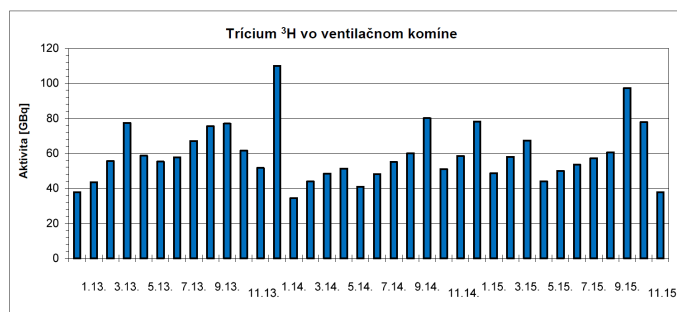
Maximálna individuálna efektívna dávka v roku 2015

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

Radičná ekológia



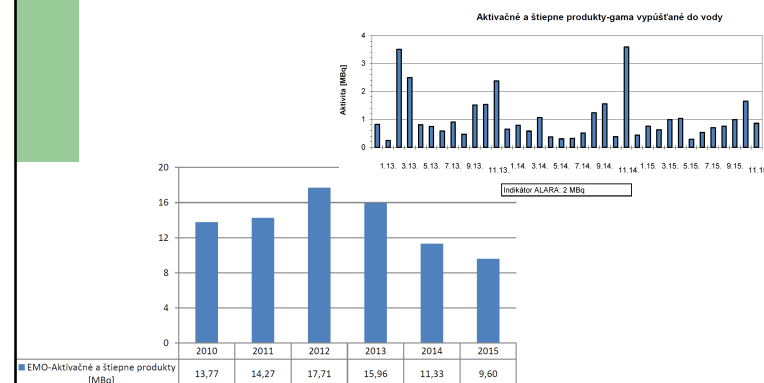
Výpuste do atmosféry - trícium



Radičná ekológia

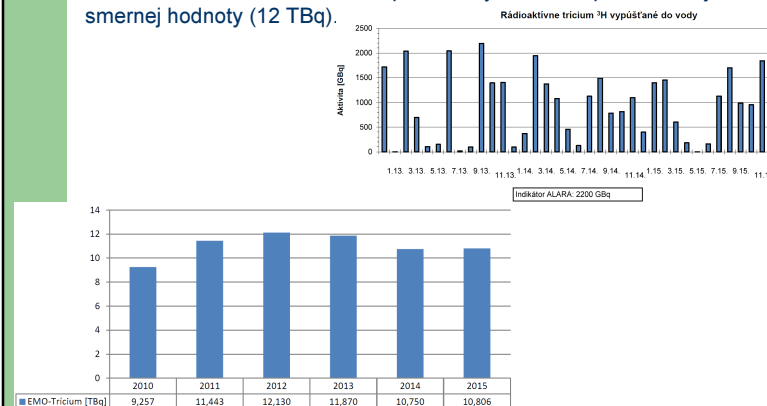
Výpuste do hydrosféry Aktivačné a štiepne produkty

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 - l.č. 2 / Nový Tekov	09.10.2015	35	110,0 ± 13,2	Bq/dm ³
^3H	VODA_POVRCHOVÁ	OK - l.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 - l.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 z Hrona. Prevýšenia neboli zaznamenané v studniach rodinných domov v obci Nový Tekov.

Radičná 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 OOPŽ/4859/2011 (maximálne 150 ton ročne) hodnotené kvartálne:

Uvoľňovanie predmetov ISOCIS-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 montormi	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

Zvláštne povolenie OOPŽ/9344/2008 na kalové polia so zvýšenými uvoľňovacími úrovňami

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

Uvoľňovanie predmetov ISOCIS-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

dišná 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 **úväzku 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 **úväzku 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.

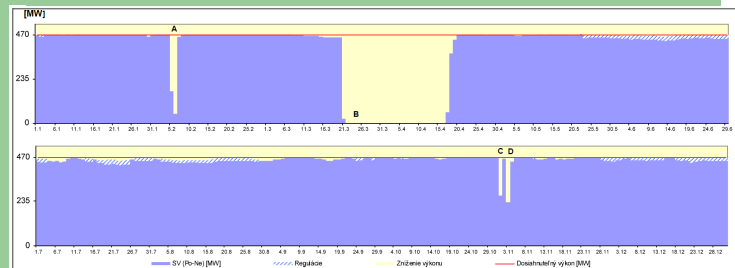
Radičná ekológia

Porovnanie s limitmi

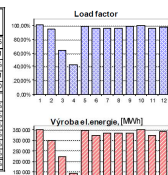
Z hľadiska ochrany zdravia obyvateľstva možno konštatovať, že vypočítaná maximálna hodnota 50(70)-ročného **úväzku individuálnej efektívnej dávky** pre reprezentatívnu osobu (0,1844 μSv) je zanedbateľná v porovnaní s ročným limitom pre jednotlivca z obyvateľstva (1 mSv) resp. medznou dávkou pre kritickú skupinu obyvateľov z výpustí rádioaktívnych látok z jadrových zariadení, ktorá je stanovená pre projektovanie a výstavbu jadrových zariadení (250 μSv) 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 μSv). 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.

Radičná ekológia

HISTOGRAM PREVÁDZKY PRE 1. BLOK ZA ROK 2015



Mesiac	Výroba el. energie [MWh]	Load factor [%]
Januar	348 764	100,00%
Február	298 898	85,07%
Marec	223 918	64,39%
Apríl	145 231	42,13%
Máj	348 141	99,48%
Jún	322 534	85,59%
Júl	335 102	85,93%
August	334 027	85,76%
September	334 264	85,47%
Október	348 433	100,00%
November	334 328	85,17%
December	335 188	85,93%
Rok 2015	3 703 388	99,27%



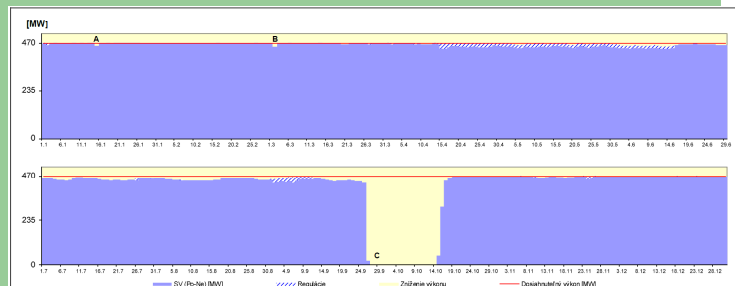
Mesiac	Výroba el. energie [MWh]	Load factor [%]
Januar	348 764	100,00%
Február	298 898	85,07%
Marec	223 918	64,39%
Apríl	145 231	42,13%
Máj	348 141	99,48%
Jún	322 534	85,59%
Júl	335 102	85,93%
August	334 027	85,76%
September	334 264	85,47%
Október	348 433	100,00%
November	334 328	85,17%
December	335 188	85,93%
Rok 2015	3 703 388	99,27%

Prvé pripojenie k elektrickej sieti
4. júla 1999
440 MW / 470 MW
Schválil: Ing. Pritssová

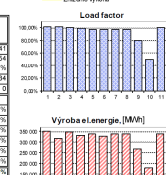
4. júla 1999
440 MW / 470 MW
Schválil: Ing. Pritssová

SE a.s. BMOZ.
rok 2015, blok 1
Výrobnosť: Ing. Mästrová
Schválil: Ing. Pritssová

HISTOGRAM PREVÁDZKY PRE 2. BLOK ZA ROK 2015



Mesiac	Výroba el. energie [MWh]	Load factor [%]
Januar	348 772	100,00%
Február	310 256	100,00%
Marec	348 372	100,00%
Apríl	330 918	85,59%
Máj	337 442	97,17%
Jún	327 571	87,32%
Júl	338 002	87,34%
August	337 205	86,91%
September	298 752	79,67%
Október	177 600	45,32%
November	335 801	100,00%
December	350 453	101,05%
Rok 2015	3 810 743	99,24%



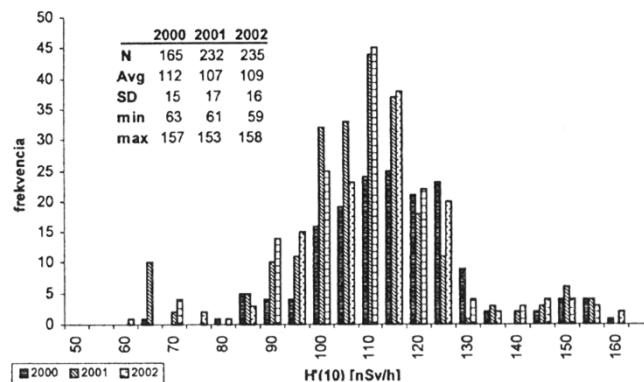
Mesiac	Výroba el. energie [MWh]	Load factor [%]
Januar	348 772	100,00%
Február	310 256	100,00%
Marec	348 372	100,00%
Apríl	330 918	85,59%
Máj	337 442	97,17%
Jún	327 571	87,32%
Júl	338 002	87,34%
August	337 205	86,91%
September	298 752	79,67%
Október	177 600	45,32%
November	335 801	100,00%
December	350 453	101,05%
Rok 2015	3 810 743	99,24%

Prvé pripojenie k elektrickej sieti
20. decembra 1999
440 MW / 470 MW
Schválil: Ing. Pritssová

20. decembra 1999
440 MW / 470 MW
Schválil: Ing. Pritssová

SE a.s. BMOZ.
rok 2015, blok 2
Výrobnosť: Ing. Mästrová
Schválil: Ing. Pritssová

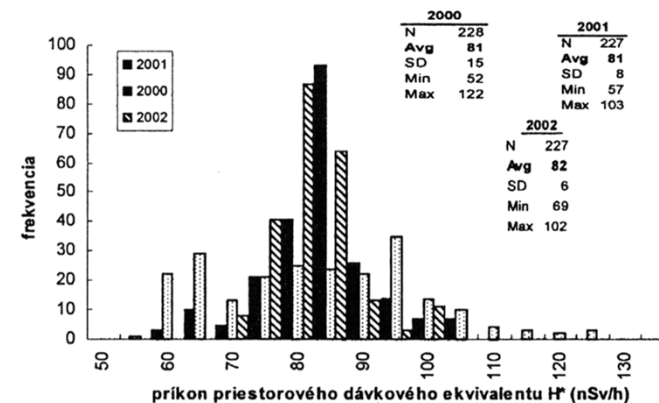
Distribúcia príkonu priestorového dávkového ekvivalentu fotónového žiarenia na Slovensku v rokoch 2000-2002



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)

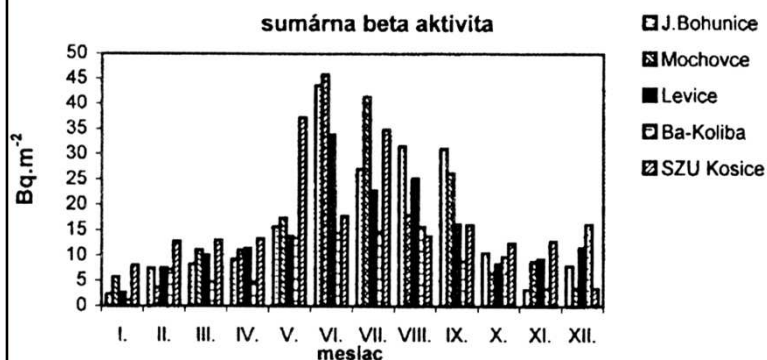
Radiačná ekológia

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



Radiačná ekológia

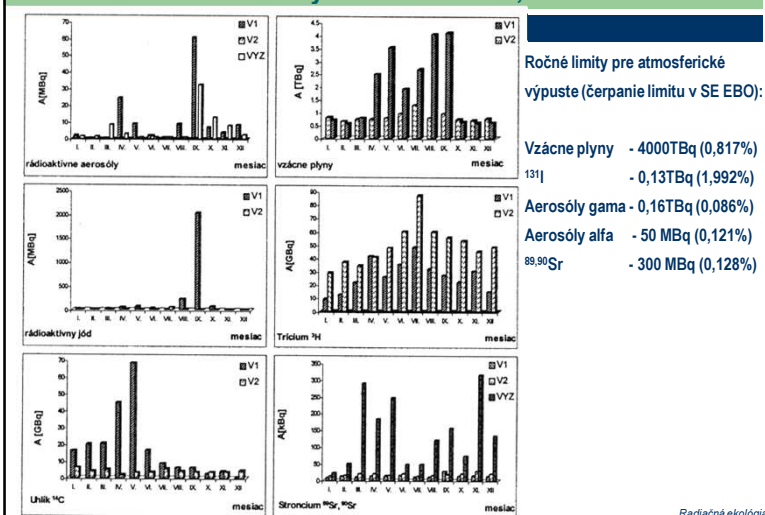
Distribúcia sumárnej beta aktivity spadu vo vybraných lokalitách na Slovensku v roku 2002



Ročný integrovaný spad pre J.Bohunice je 198,4 Bq·m⁻², pre Mochovce 199,7 Bq·m⁻², Levice 173,7 Bq·m⁻², BA-Koliba 114,9 Bq·m⁻², SZU Košice 268,4 Bq·m⁻²

Radiačná ekológia

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



Radiačná 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
Puzdro 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

Radiačná 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 tvoria 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 tvoria monitorovanie výpustí z JE (on-line systém) a sieť termoluminiscenčných dozimetrov v okolí JE.
- Podporné laboratóriá. K týmto zariadeniam patria najmä Laboratóriá hygienickej a veterinárnej služby MV SR, sekcie CO a laboratóriá 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 ožiarovania	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

NORM a TENORM

- **NORM** is everywhere; we are exposed to it every day. Natural radiation has been around since the "Big Bang." NORM is found in our bodies, the food we eat, the places where we live and work, the ground we live on, and in products we use.
- **TENORM** is found in many waste streams; for example, **scrap metal, sludges, slags, fluids**, and is being discovered in industries traditionally not thought of as affected by radionuclide contamination such as **mineral mining**, ore beneficiation, production of phosphate **fertilizers**, **water treatment** and purification, **paper** and pulp, and **oil and gas** production.

Radičná ekológia

TENORM

Technologically enhanced means that the radiological, physical, and chemical properties of the radioactive material have been altered such that there exists a potential for:

- redistribution** and **contamination** of environmental media (soil, water, air, and biota),
- increased environmental **mobility** in soils and surface and ground **water**,
- incorporation** of elevated levels of radioactivity or increased accessibility in products and construction material, or
- improper **disposal** or use of disposal methods that may result in unnecessary or elevated exposures to individuals and populations via the accessible environment.

Radičná 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

Radičná 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

Radičná 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.

Radičná 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.

Radičná 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.

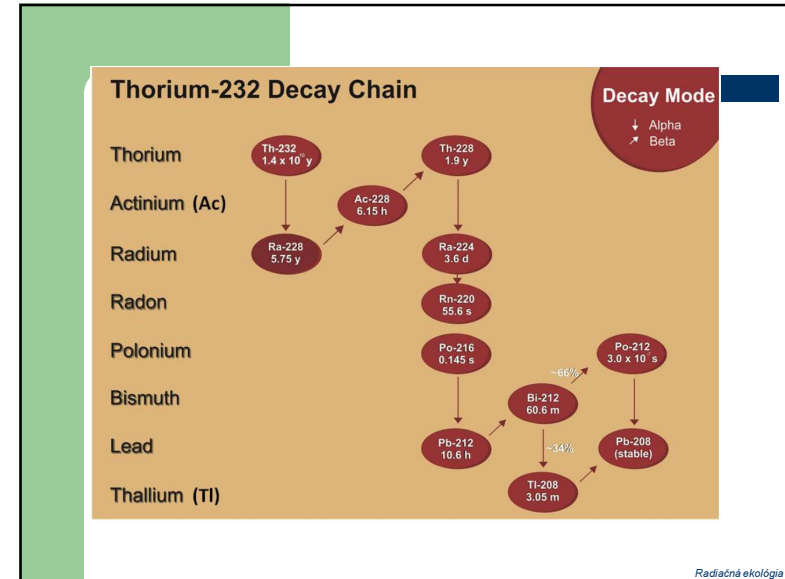
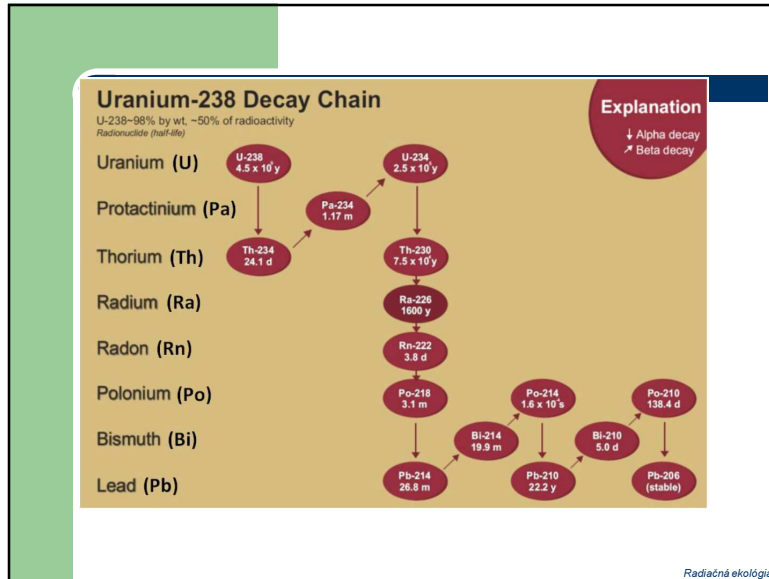


Radičná ekológia

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	3.0	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			
Badenite			
Titanium Ores ¹³	3.9	8.0	24.5
Rutile	-	19.7	-
Ilmenite	-	5.7	-
Wastes	-	12	-
Zircon ¹⁴	-	68	-
Wastes	87	-	1300
Alumina 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	

Radičná ekológia



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.

Radiálna 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	-	
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	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	Yes	
Copper smelter	NK	No	Yes, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb	Yes	-	Yes	-	Yes	Yes	-	-	-	-	-	-	-	Yes	Yes	

Radiálna 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

Radičná 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	-	-

Radičná 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	-

Radičná ekológia

Natural Gas Radon Sampling Location



Radičná 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

Radičná 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

Radičná 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	²³⁰ Th
	8	²²⁶ Ra
	96	²¹⁰ Pb
	-	²¹⁰ Po
Slag [7]	33	²³⁸ U
	30	²²⁶ Ra
	44	²¹⁰ Pb
	-	²¹⁰ Po

Radičná 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+
Calcined dust [1]	1 600 000	²¹⁰ Pb+

črná 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

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
	Duisburg	Sachleben	sulphate	100
France	Le Havre	Millennium	sulphate	110
	Thann	Millennium	sulphate	28
	Calais	Huntsman Ti oxide	sulphate	100
Italy	Scarlino	Huntsman Ti oxide	sulphate	80
Netherlands	Rotterdam	Kerr-McGee	chloride	80
Finland	Pori	Kemira Pigments	sulphate	130
United Kingdom	Greattham	Huntsman Ti oxide	chloride	80
	Grimsby	Huntsman Ti oxide	sulphate	80
	Grimsby	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	²²⁶ Ra
Baddleyite	7 000	300	200	6 000

Radičná 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

Radičná 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

ia

Rounded general clearance levels in Bq g⁻¹

Nuclides	All Materials	Wet Sludge from oil and gas industry
^U _{nat}	5	100
²³⁸ U _{sec}	0.5	5
²³⁵ U _{sec}	1	10
²³⁵ U ₊	5	50
²³² Th _{sec}	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

Radičná 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 (99.9%)	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				

radičná 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
U-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
At-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
Th-208	0.359	*	5.84 E-06	0	0	0	0	0	0

Radičná 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
Pu-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+	9.43 E-06	4.01 E-06	2.91 E-06	1.45 E-07	7.54 E-08	4.84 E-08
²³⁴ U	1.00 E-05	4.30 E-06	3.10 E-06	1.33 E-07	7.17 E-08	4.73 E-08
²³⁴ U	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	5.00 E-05	2.60 E-05	2.50 E-05	4.50 E-07	2.90 E-07	2.30 E-07
²³² Th	3.50 E-05	1.60 E-05	1.40 E-05	4.10 E-07	2.40 E-07	2.10 E-07
²²⁸ Th+	1.39 E-04	5.92 E-05	4.32 E-05	1.09 E-06	4.31 E-07	1.43 E-07
²³¹ Pa+	2.30 E-04	1.50 E-04	1.40 E-04	1.30 E-06	9.20 E-07	7.10 E-07
²²⁹ Pa+	1.02 E-05	4.66 E-06	2.63 E-06	5.70 E-06	3.90 E-06	6.90 E-07
²²⁸ Ra+	1.11 E-05	4.94 E-06	3.53 E-06	9.62 E-07	8.01 E-07	2.80 E-07
²²⁷ Ac+	1.65 E-03	7.44 E-04	5.67 E-04	4.27 E-06	1.97 E-06	1.21 E-06
²¹⁰ Pb+	4.00 E-06	1.63 E-06	1.19 E-06	3.61 E-06	1.90 E-06	6.91 E-07
²¹⁰ Po	1.10 E-05	4.60 E-06	3.30 E-06	8.80 E-06	2.60 E-06	1.20 E-06