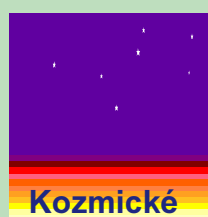


# Žiarenie okolo nás - radiačné pozadie

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

Radiačná ekológia

## Prírodné ožiarenie



Kozmické



Stavebné materiály



Terestriálne



Vzduch  
Voda  
Potraviny

2.4 mSv/rok

Radiačná ekológia

## Definície

- **Prírodné ionizujúce žiarenie** je ionizujúce žiarenie prírodného zemskeho alebo kozmického pôvodu.
- **Prírodný zdroj** ionizujúceho žiarenia je zdroj ionizujúceho žiarenia prírodného zemskeho 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.

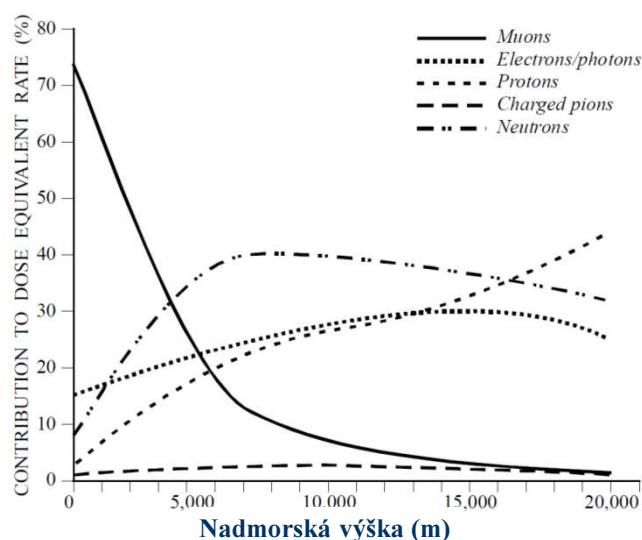
*Radiačná ekológia*

## 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

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



Radiačná ekológia

## 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  $40 \text{ nSv h}^{-1}$ .

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 pozitrony	$0,63 \cdot 10^{-6}$	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

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 <sup>-1</sup>	600 mSv.r <sup>-1</sup>	4000 mSv.r <sup>-1</sup>
Úkryt na mesiaci 75g.cm <sup>-2</sup>	120 mSv.r <sup>-1</sup>	100 mSv.r <sup>-1</sup>	25 mSv.r <sup>-1</sup>
Povrch Marsu – riedka atmosféra	120 mSv.r <sup>-1</sup>	99 mSv.r <sup>-1</sup>	46 mSv.r <sup>-1</sup>

Zdroj: NASA

Radičná ekológia

### Kozmické žiarenie

- Efektívna dávka od kozmického žiarenia sa odhaduje asi na **0,3 mSv.rok<sup>-1</sup>** pri morskej hladine.
- So stúpajúcou nadmorskou výškou sa efektívna dávka zvyšuje až na hodnotu **1 mSv .rok<sup>-1</sup>** 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 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).

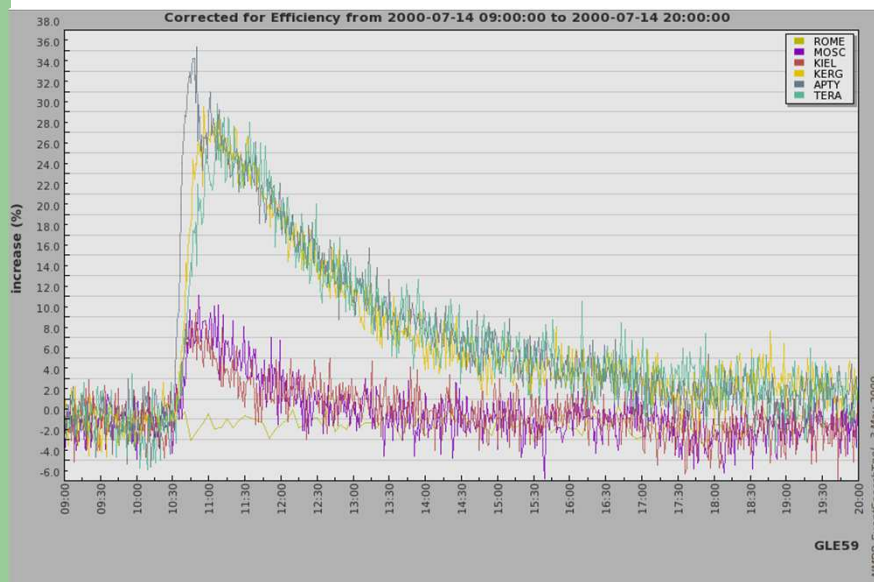
Radiačná ekológia

## 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.

Radiačná 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  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$ :  

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

$$^{14}\text{N}(\text{n}, ^3\text{H})^{12}\text{C} \quad ^{16}\text{O}(\text{n}, ^3\text{H})^{14}\text{N}$$
- Trícium a uhlík spôsobujú hlavne vnútorné ožiarenie u obyvateľstva tým, že vstupujú do potravinového reťazca.
- Dusík  $^{14}\text{N}$  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  $^{14}\text{C}$  hlavne vo forme  $\text{CO}_2$ .

radiation biology



## 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  $\text{CO}_2$  s nízkym obsahom  $^{14}\text{C}$  a tým zriedňujú jeho obsah v atmosfére. Takto sa za roky 1900-1970 znížila koncentrácia  $^{14}\text{C}$  o 3%.
- Atmosferické jadrové testy zvýšili pôvodný obsah  $^{14}\text{C}$  v atmosfére v 60-tych rokoch na dvojnásobok (celkom 220 PBq).
- Jadrové elektrárne (hlavne HWR) produkujú  $^{14}\text{C}$  v množstve okolo 18 TBq/Gwe.
- Množstvo  $^{14}\text{C}$  v atmosfére je menej ako 300 TBq/rok.
- S zarátaním všetkých zdrojov rádiouhlíka sa dnešná hodnota hmotnostnej aktivity udáva na  $(13,56 \pm 0,07) \text{ dpm/gC} = (226 \pm 12) \text{ Bq/kgC}$ .

radiácia ekológia

### 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.
$\beta_{0,0}^-$	max: 156,476 (4)	100
$\beta_{0,0}^-$	avg: 49,16 (1)	

**Beta-minus Decay**

**Carbon-14**

6 protons  
8 neutrons

$\rightarrow \beta^-$

**Nitrogen-14**

7 protons  
7 neutrons

$+$

**Antineutrino**

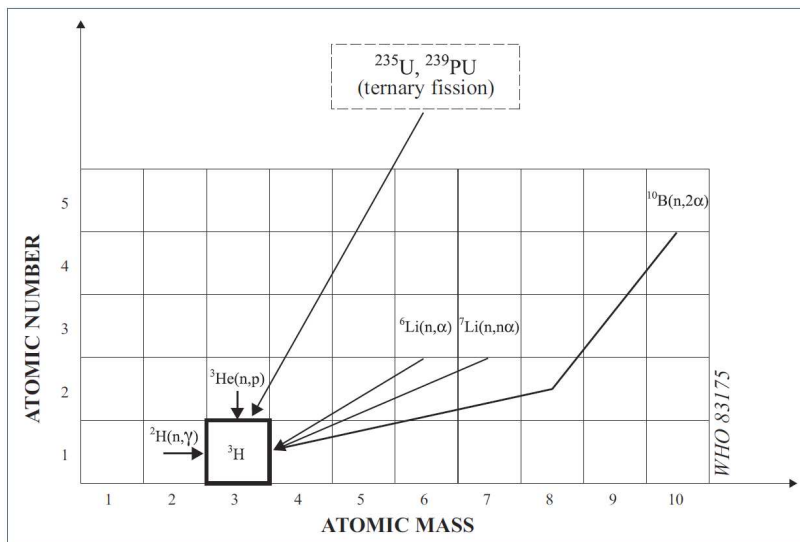
$+$

**Electron**

Radiácia ekológia

9

## Reakcie vzniku trícia v reaktore



Radiačná ekológia

## 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.

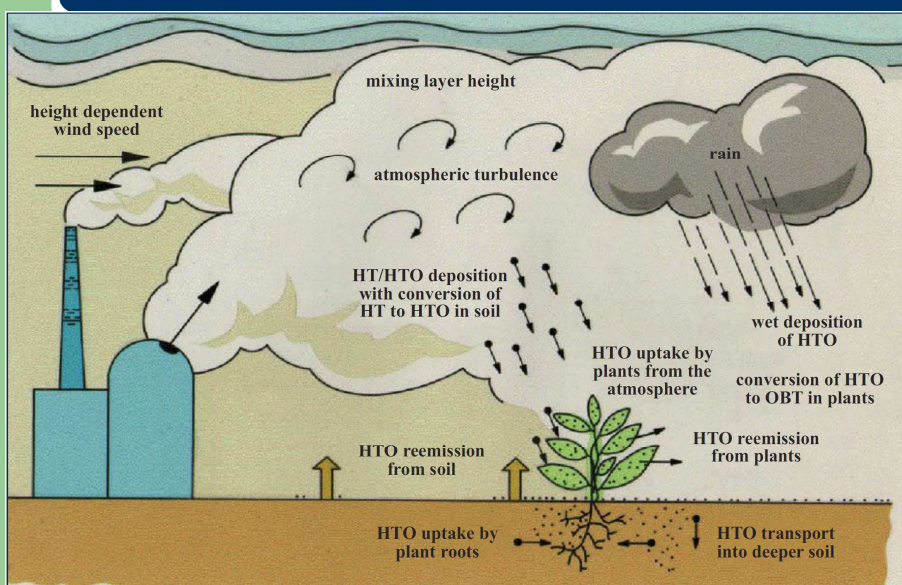
Radiačná ekológia

### 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 <sup>a</sup> 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	<sup>b</sup> 75		
Lithium	0.07	0.07					2	0.4
Boron	2.6	2.6		30	0			
<b>Rounded Total</b>	<b>80</b>	<b>3</b>	<b>110</b>	<b>0.5</b>	<b>2000</b>	<b>75</b>	<b>80</b>	<b>1</b>

*Radičná ekológia*

### Environmental Tritium Processes

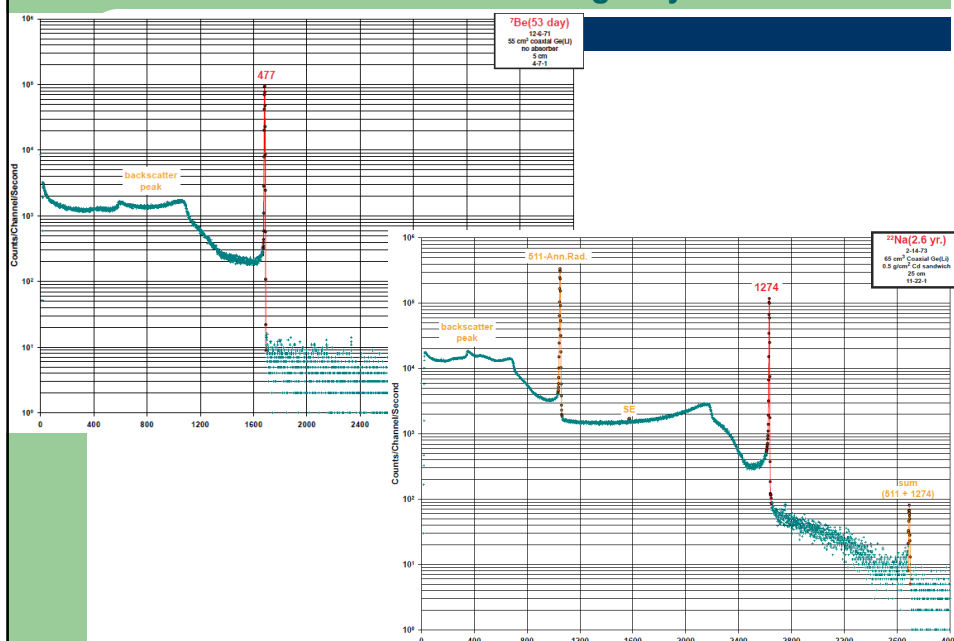


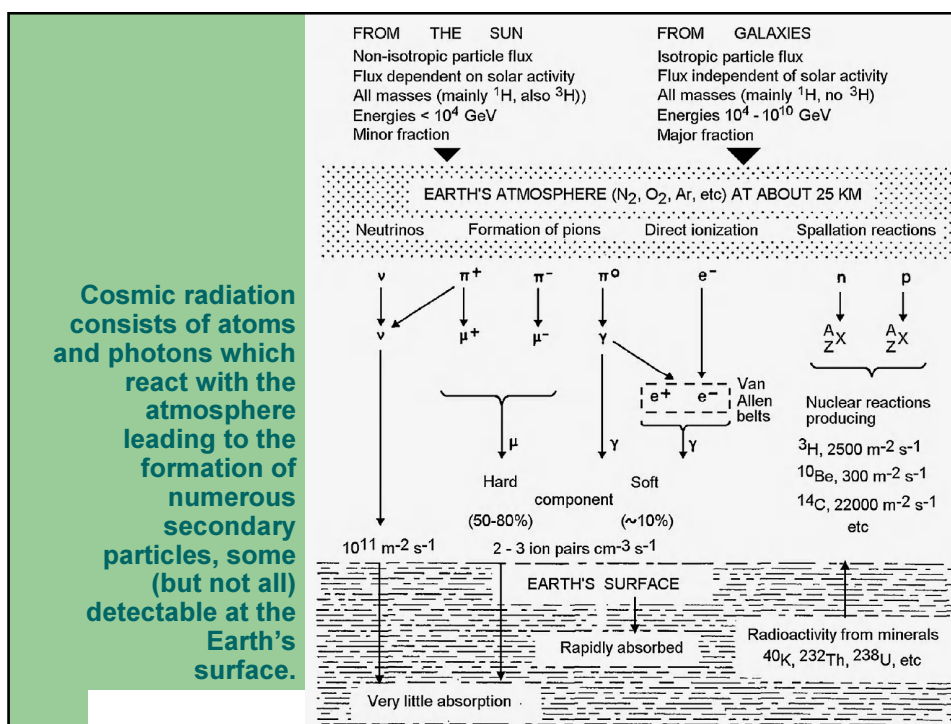
## Hlavné kozmogénne rádionuklidy a ich vlastnosti

Nuklid	Polčas premeny $T_{1/2}$	Typ premeny	Energia žiarenia (MeV)	Produkcia ( $\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
$^3\text{H}$	12,26 rokov	$\beta^-$	0,0186	0,12-1,3
$^7\text{Be}$	53 dní	$\gamma, \varepsilon$	0,477	0,021-0,035
$^{10}\text{Be}$	$2,7\cdot 10^6$ rokov	$\beta^-$	0,56	0,04-0,1
$^{14}\text{C}$	5730 rokov	$\beta^-$	0,156	2,0-2,6
$^{22}\text{Na}$	2,58 roka	$\beta^+, \gamma, \varepsilon$	0,54	-
$^{32}\text{Si}$	700 rokov	$\beta^-$	0,1	$2\cdot 10^{-4}$
$^{32}\text{P}$	14,3 rokov	$\beta^-$	1,71	$1\cdot 10^{-4}$
$^{33}\text{P}$	25 dní	$\beta^-$	0,25	$1\cdot 10^{-4}$
$^{35}\text{S}$	86,7 dní	$\beta^-$	0,168	$2\cdot 10^{-4}$
$^{36}\text{Cl}$	$3\cdot 10^5$ rokov	$\beta^-, \varepsilon$	0,71	-
$^{39}\text{Cl}$	55 min	$\beta^-, \gamma$	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  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  a  $^{235}\text{Np}$  sú východzími prvkami tzv. rozpadových radov, v ktorých vznikajú **sekundárne primordiálne rádionuklidy**.

Najrozšírenejším primordiálnym rádionuklidom, ktorý nie je členom rozpadových radov je  $^{40}\text{K}$  (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  $^{40}\text{K}$  je  $T_{1/2} = 1,277 \cdot 10^9$  rokov.

### Primordiálne rádionuklidy a ich vlastnosti

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

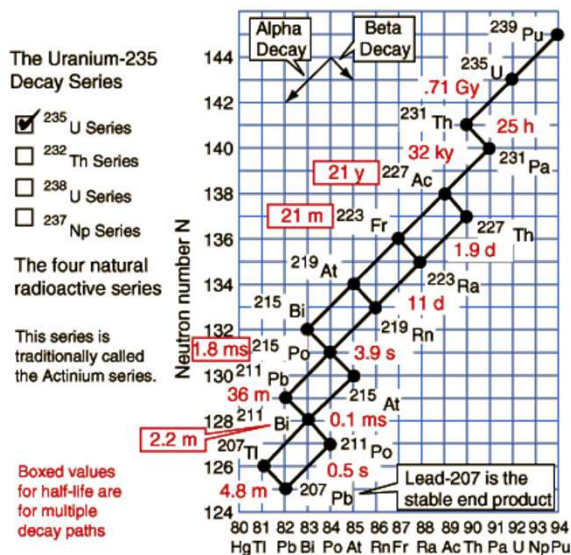
### Prírodné žiarenie prirodzená rádioaktivita hornín, vody a vzduchu

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

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

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

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



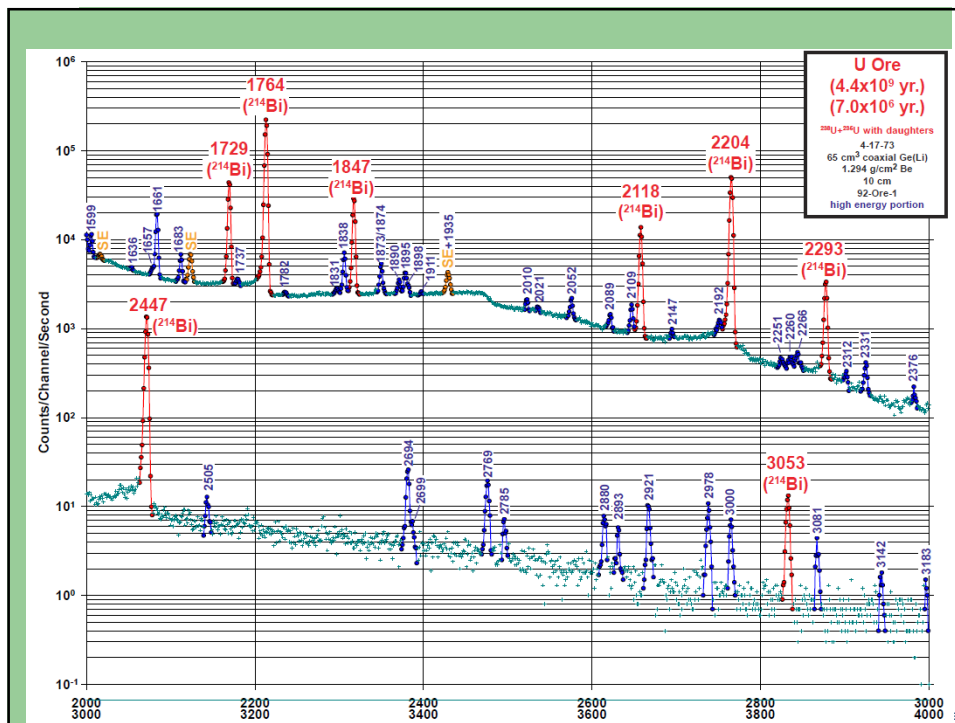
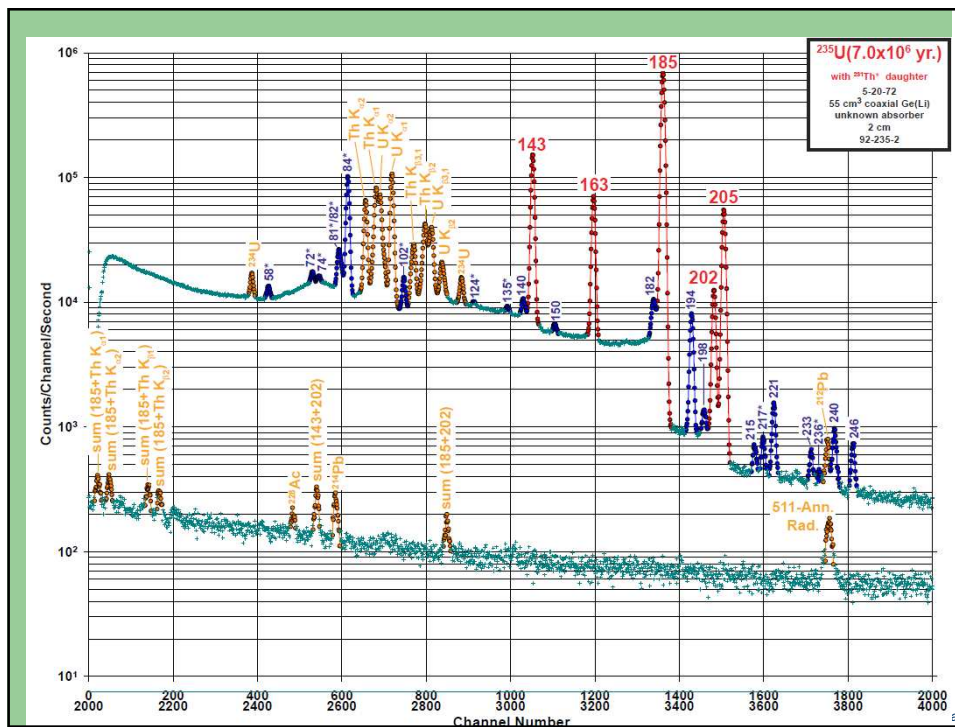
Radiačná ekológia

## Urán - aktíniový rozpadový rad

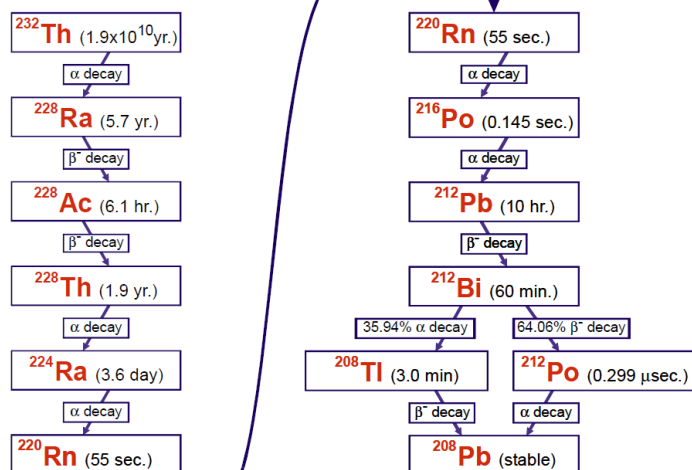
Nuklid	historický názov	typ premeny	doba polpremeny	emisná energia, MeV	produkt premeny
$^{239}\text{Pu}$		$\alpha$	$2.41 \cdot 10^4$ r	5.244	$^{235}\text{U}$
$^{235}\text{U}$	Actin Uranium	$\alpha$	$7.04 \cdot 10^8$ r	4.678	$^{231}\text{Th}$
$^{231}\text{Th}$	Uranium Y	$\beta^-$	25.52 h	0.391	$^{231}\text{Pa}$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

Radiačná ekológia

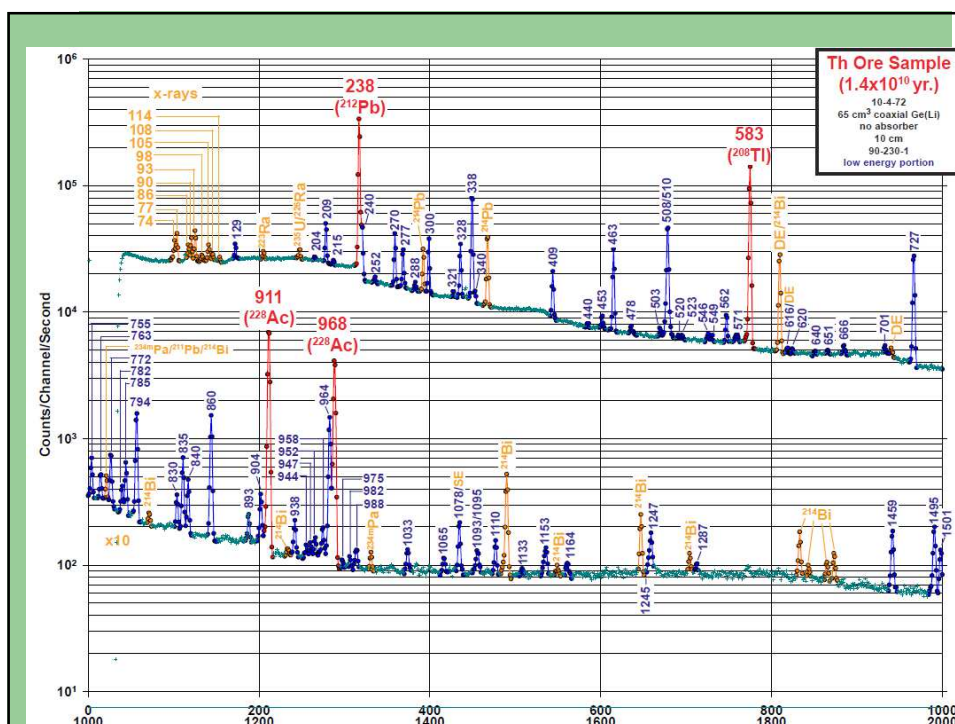


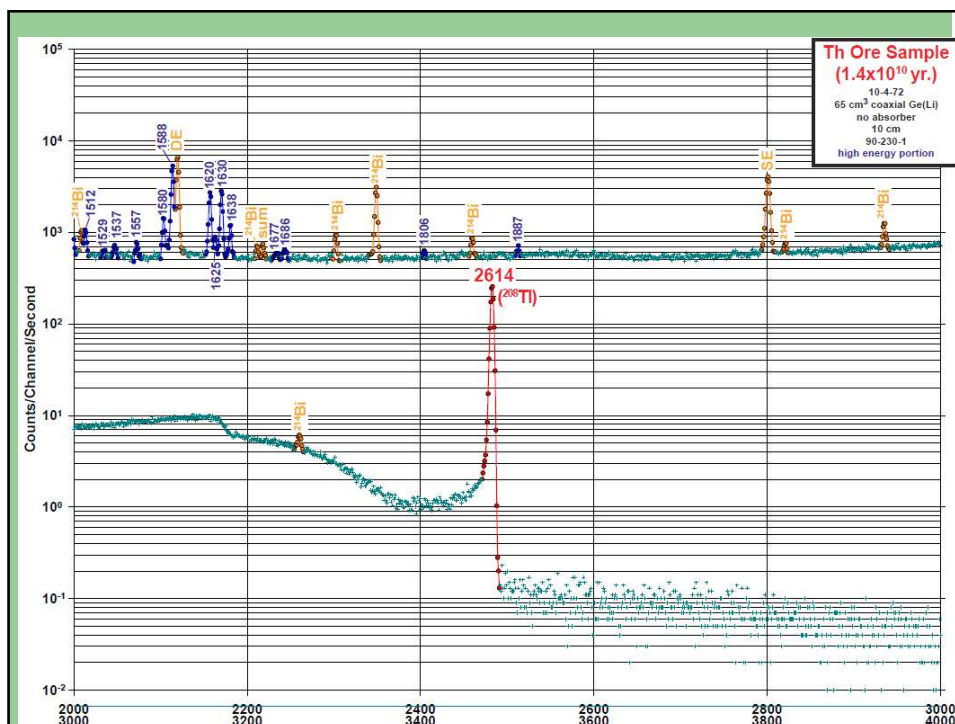






diálna ekológia





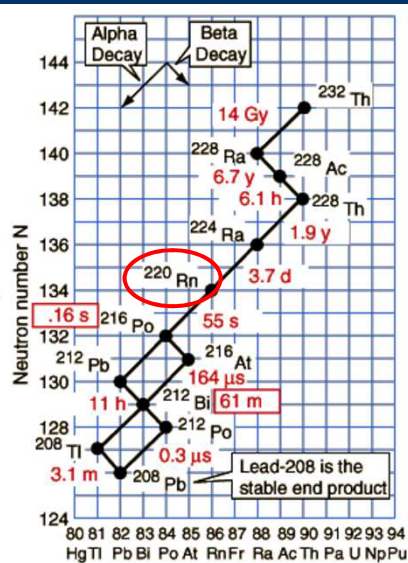
### Tórióv rozpadový rad (4n)

#### The Thorium-232 Decay Series

- ☐ <sup>235</sup>U Series  
☒ <sup>232</sup>Th Series  
☐ <sup>238</sup>U Series  
☐ <sup>237</sup>Np Series

#### The four natural radioactive series

Boxed values for half-life are for multiple decay paths



Radiálna ekológia

## Tórový rozpadový rad

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

Radičná ekológia

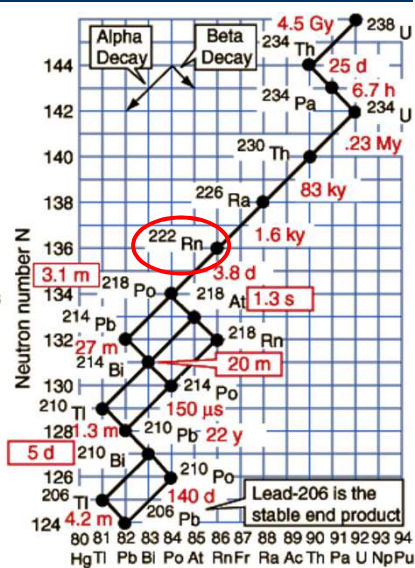
## Urán - rádiový rozpadový rad (4n+2)

### The Uranium-238 Decay Series

- ☐ <sup>235</sup>U Series  
☐ <sup>232</sup>Th Series  
☒ <sup>238</sup>U Series  
☐ <sup>237</sup>Np Series

### The four natural radioactive series

Boxed values for half-life are for multiple decay paths



Radičná ekológia

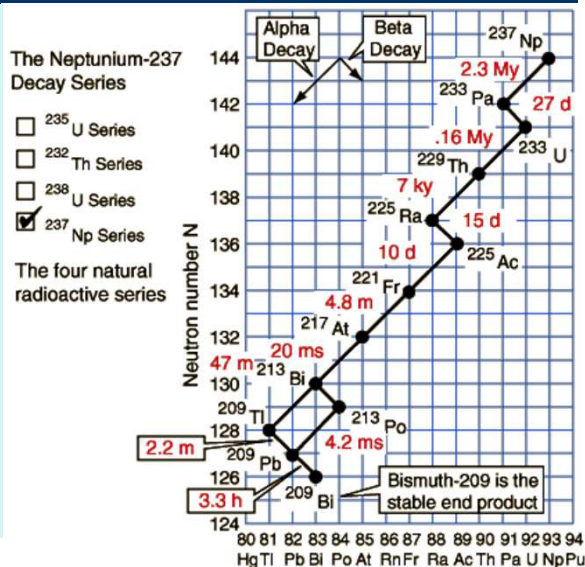
## Urán - rádiový rozpadový rad

Nuklid	historický názov	typ premeny	dobu polpremeny	emisia energie, MeV	produkt premeny
<sup>238</sup> U	Uranium	$\alpha$	$4.468 \cdot 10^9$ r	4.270	<sup>234</sup> Th
<sup>234</sup> Th	Uranium X1	$\beta^-$	24.10 d	0.273	<sup>234</sup> Pa
<sup>234</sup> Pa	Uranium Z	$\beta^-$	6.70 h	2.197	<sup>234</sup> U
<sup>234</sup> U	Uranium two	$\alpha$	245500 r	4.859	<sup>230</sup> Th
<sup>230</sup> Th	Ionium	$\alpha$	75380 r	4.770	<sup>226</sup> Ra
<sup>226</sup> Ra	Radium	$\alpha$	1602 r	4.871	<sup>222</sup> Rn
<sup>222</sup> Rn	Radon	$\alpha$	3.8235 d	5.590	<sup>218</sup> Po
<sup>218</sup> Po	Radium A	$\alpha$ 99.98 %	3.10 min	6.115	<sup>214</sup> Pb
		$\beta^-$ 0.02 %		0.265	<sup>218</sup> At
<sup>218</sup> At		$\alpha$ 99.90 %	1.5 s	6.874	<sup>214</sup> Bi
		$\beta^-$ 0.10 %		2.883	<sup>218</sup> Rn
<sup>218</sup> Rn		$\alpha$	35 ms	7.263	<sup>214</sup> Po
<sup>214</sup> Pb	Radium B	$\beta^-$	26.8 min	1.024	<sup>214</sup> Bi
<sup>214</sup> Bi	Radium C	$\beta^-$ 99.98 %	19.9 min	3.272	<sup>214</sup> Po
		$\alpha$ 0.02 %		5.617	<sup>210</sup> Tl
<sup>214</sup> Po	Radium C'	$\alpha$	0.1643 ms	7.883	<sup>210</sup> Pb
<sup>210</sup> Tl	Radium C''	$\beta^-$	1.30 min	5.484	<sup>210</sup> Pb
<sup>210</sup> Pb	Radium D	$\beta^-$	22.3 r	0.064	<sup>210</sup> Bi
<sup>210</sup> Bi	Radium E	$\beta^-$ 99.99987 %	5.013 d	1.426	<sup>210</sup> Po
		$\alpha$ 0.00013 %		5.982	<sup>206</sup> Tl
<sup>210</sup> Po	Radium F	$\alpha$	138.376 d	5.407	<sup>206</sup> Pb
<sup>206</sup> Tl		$\beta^-$	4.199 min	1.533	<sup>206</sup> Pb
<sup>206</sup> Pb		-	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, <sup>237</sup>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 <sup>237</sup>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	emisia energie, MeV	produkt premeny
249Cf	$\alpha$	351 r	5.813+388	245Cm
245Cm	$\alpha$	8500 r	5.362+.175	241Pu
241Pu	$\beta^-$	14.4 r	0.021	241Am
241Am	$\alpha$	432.7 r	5.638	237Np
237Np	$\alpha$	$2.14 \cdot 10^6$ r	4.959	233Pa
233Pa	$\beta^-$	27.0 d	0.571	233U
233U	$\alpha$	$1.592 \cdot 10^5$ r	4.909	229Th
229Th	$\alpha$	$7.54 \cdot 10^4$ r	5.168	225Ra
225Ra	$\beta^-$	14.9 d	0.36	225Ac
225Ac	$\alpha$	10.0 d	5.935	221Fr
221Fr	$\alpha$	4.8 m	6.3	217At
217At	$\alpha$	32 ms	7.0	213Bi
213Bi	$\alpha$	46.5 m	5.87	209Tl
209Tl	$\beta^-$	2.2 min	3.99	209Pb
209Pb	$\beta^-$	3.25 h	0.644	209Bi
209Bi	$\alpha$	$1.9 \cdot 10^{19}$ r	3.14	205Tl
205Tl	.	stable	.	.

Radiačná ekológia

### Prírodné žiarenie prirodzená rádioaktivita hornín, vody a vzduchu

Zdrojmi vnútorného ožiarenia človeka sú predovšetkým rádionuklid  $^{40}\text{K}$  a rádionuklidy rozpadových radov uránu a tória.

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

Veľkosť vonkajšieho ožiarenia, ktoré spôsobujú prírodné rádionuklidy, sa odhaduje na **0,32 mSv·rok<sup>-1</sup>**, vnútorného na **0,37 mSv·rok<sup>-1</sup>**. 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.

Radiačná ekológia

### Charakteristiky prírodných rádionuklidov vo vode

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

*Radiačná ekológia*

### Aktivita Cs-137 v potrave a poľnohospodárskych produktoch (Bq.kg<sup>-1</sup>, Bq.l<sup>-1</sup>)

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

*Radiačná ekológia*

### Draslík v minerálkach, (mg/l)

Názov	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	NH <sup>4+</sup>
Slatina	620	100	287,4	<b>67,5</b>	2,2	0
Budiš	444,5	50,1	198,7	<b>50</b>	0	0,35
Mattoni	137	17,1	47,6	<b>0</b>	0	0
Turčianka	71,5	72,85	280,2	<b>15</b>	2,1	5,1
Korytnica	18	163,2	584,5	<b>4,1</b>	21,2	0,46
Baldovská	81,3	73,7	269,3	<b>0</b>	0,2	0
Fatra	746,5	0	39,7	<b>19,4</b>	0	33,01
Salvator	245,4	164,1	452,4	<b>37,5</b>	0	0
Santovka	380,5	66,8	215,3	<b>45</b>	0	0
Ondrášovka	43	44	268	<b>2</b>	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  $^{40}\text{K}$** 
  - $a_{^{40}\text{K}} = (\ln 2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}) / (1,26 \cdot 10^9 \cdot 3,16 \cdot 10^7 \cdot 41) \cdot 0,000118$
  - **$a_{^{40}\text{K}} = 30 \text{ Bq/g}$**
- Podľa legislatívy je  $^{40}\text{K}$  rádioaktívny žiarič keď aktivita prekročí 1 MBq a súčasne hmotnostná aktivita 0,1 MBq/kg teda 100 Bq/g.

Radičná ekológia

### Vlastnosti $^{40}\text{K}$

- V prírode sa vyskytujúci draslík  $^{40}\text{K}$  sa rádioaktívne mení
  - na stabilný  $^{40}\text{Ar}$  (11.2%) elektrónovým záchyтом alebo emisiou pozitrónu  $\beta^+$
  - alebo na stabilný  $^{40}\text{Ca}$  (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  $^{14}\text{C} = 3800 \text{ Bq}$

*Radiačná ekológia*

### Aktivita bežného človeka (70 kg)

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

*Radiačná ekológia*

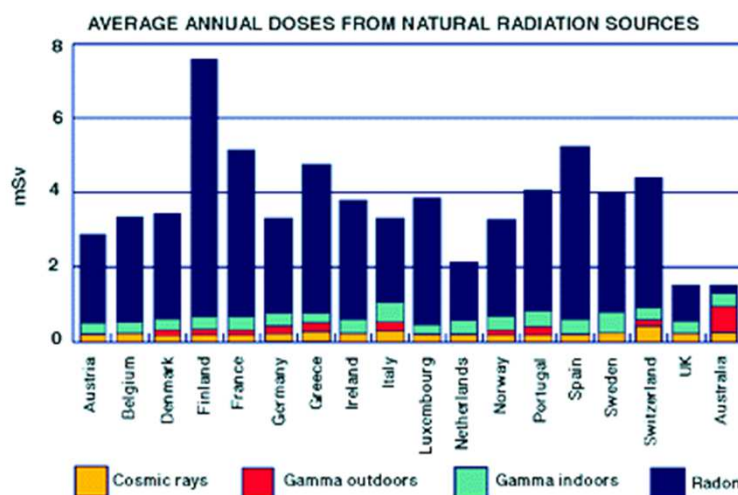


## Prírodné žiarenie $^{222}\text{Rn}$ - radón

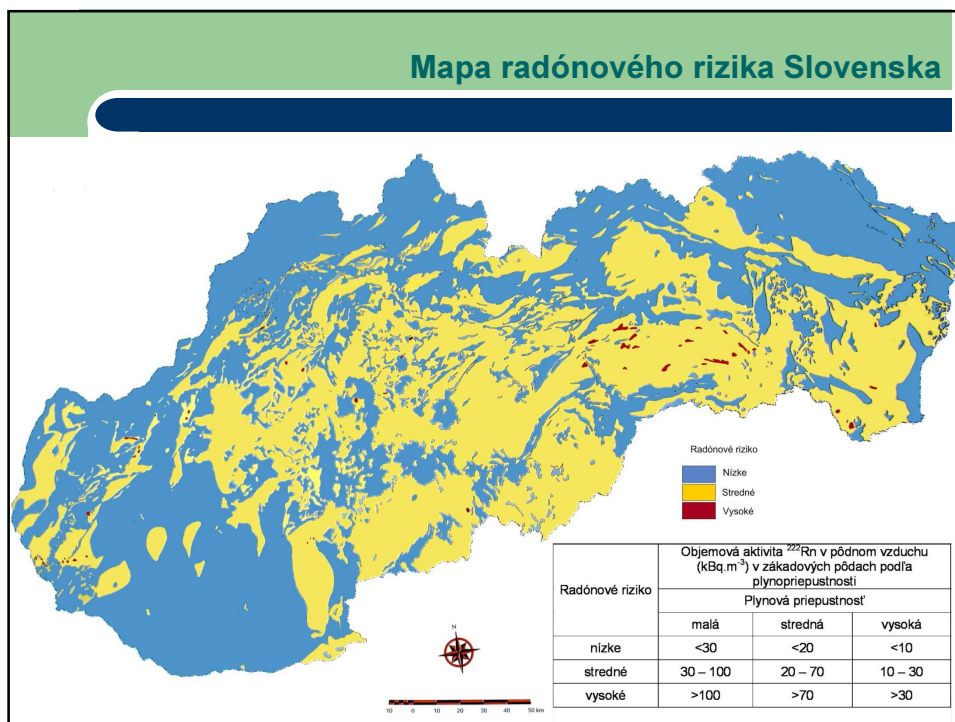
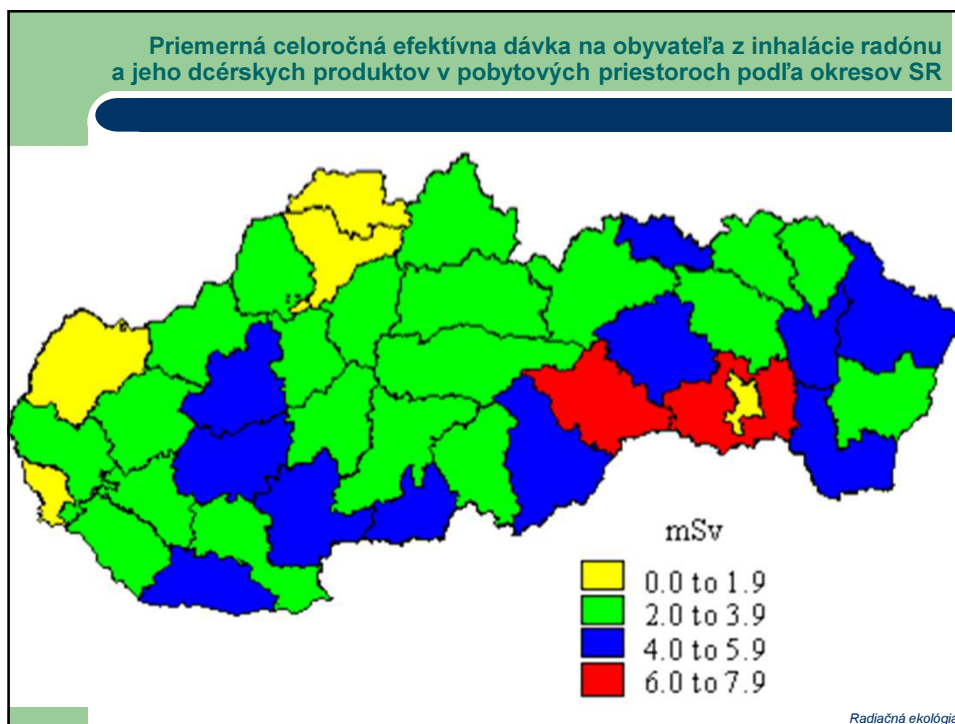
- **Radón** je rádioaktívny inertný plyn, ktorý postupuje do budov zo zeme a zo stavebných materiálov.
- Dýchaním postupuje do pľúc, kde ako  $\alpha$  žiarič spôsobuje lokálne ožiarenie, ktoré môže spôsobiť rakovinu.
- Podiel radónu na ožiarení obyvateľstva sa v rôznych regiónoch výrazne odlišuje.
- Celosvetovo sa merná aktivita  $^{222}\text{Rn}$  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  $1000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , v miestnostiach sa potom môže pohybovať na úrovni  $10\text{-}100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ .

Radiačná ekológia

## Prehľad priemerných ročných dávok z prírodných zdrojov



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

*Radiačná ekológia*

### Sumarizácia výsledkov radónového skríningu ÚPKM z 1 832 bytov na Slovensku

- hodnoty EOAR (ekvivalentná objemová aktivita radónu) v bytových priestoroch presahujúce 200 Bq/m<sup>3</sup> (tzv. akčná úroveň) boli prekročené v 205 bytoch (11% z celkového počtu),
- najvyššie priemerné hodnoty EOAR (65 Bq/m<sup>3</sup>) boli zistené na území bývalého východoslovenského kraja (Slovensko priemer: 40 Bq/m<sup>3</sup>),
- "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)

*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 pobytoвыми priestormi je objemová aktivita radónu **400 Bq.m<sup>-3</sup>** v priemere za rok.
- Opatrenia na obmedzenie ožiarenia z radónu sa **pri projektovaní nových stavieb** s pobytoвыми priestormi a projektovaní rekonštrukcií stavieb s pobytoвыми priestormi navrhujú tak, aby nebola prekročená hodnota objemovej aktivity radónu **200 Bq.m<sup>-3</sup>** v priemere za rok.

*Radiačná ekológia*

### Smerná hodnota na vykonanie opatrení proti prenikaniu radónu z podlažia stavby

- pri výstavbe stavieb s pobytoвыми priestormi je objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu na úrovni základovej ryhy
  - a) 10 kBq.m<sup>-3</sup> v dobre priepustných základových pôdach,
  - b) 20 kBq.m<sup>-3</sup> v stredne priepustných základových pôdach,
  - c) 30 kBq.m<sup>-3</sup> 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*

### Standardné ♦ a doporučené ■ protiradónové opatrenia

Kategórie rizika Opatrenia	nízke	stredné	vysoké
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

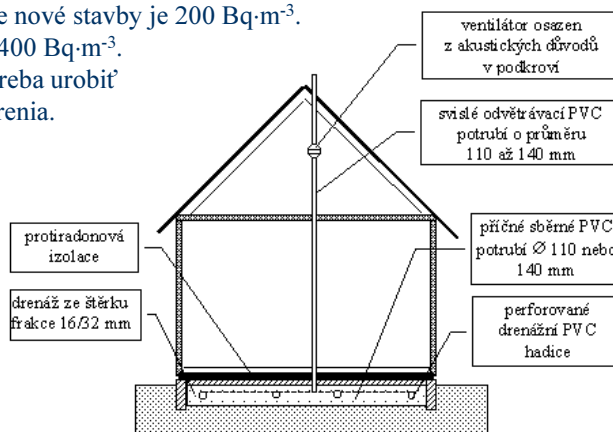
V rámci stavebného konania treba zhodnotiť radónové  
riziko a navrhnúť protiradónové opatrenia (izolácia,  
odvetrávanie podlažia a pod.)

Pri kolaudácii zmerať koncentráciu radónu vo vzduchu.

Smerná hodnota pre nové stavby je  $200 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ .

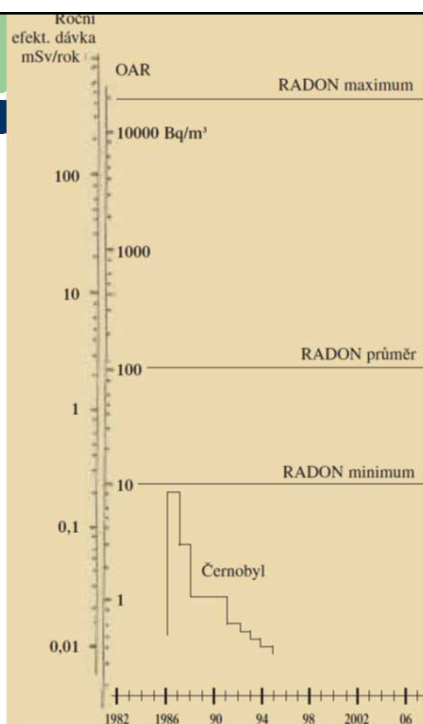
Pre staršie budovy  $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ .

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 ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{40}\text{K}$ ), ktoré sa nachádzajú v **úletoch tepelných elektrární**, ktoré spaľujú fosílné palivá.

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

### Priemerný obsah $^{40}\text{K}$ , $^{226}\text{Ra}$ a $^{232}\text{Th}$ 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

Radiačná ekológia

### Požiadavky na obmedzenie ožiarenia z prírodného 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 zníženie obsahu prírodných rádionuklidov **v stavebných výrobkoch** určených na výstavbu stavieb s pobytovými priestormi je hmotnostná aktivita  $^{226}\text{Ra}$  v stavebnom výrobku **120 Bq.kg<sup>-1</sup>**.

Radiačná 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  **$0,5 \mu\text{Sv.h}^{-1}$** , 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.

*Radiačná ekológia*

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

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

*Radiačná 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  $a_{\text{Ra}}$ ,  $a_{\text{Th}}$ ,  $a_{\text{K}}$  sú namerané hmotnostné aktivity  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$  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.

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

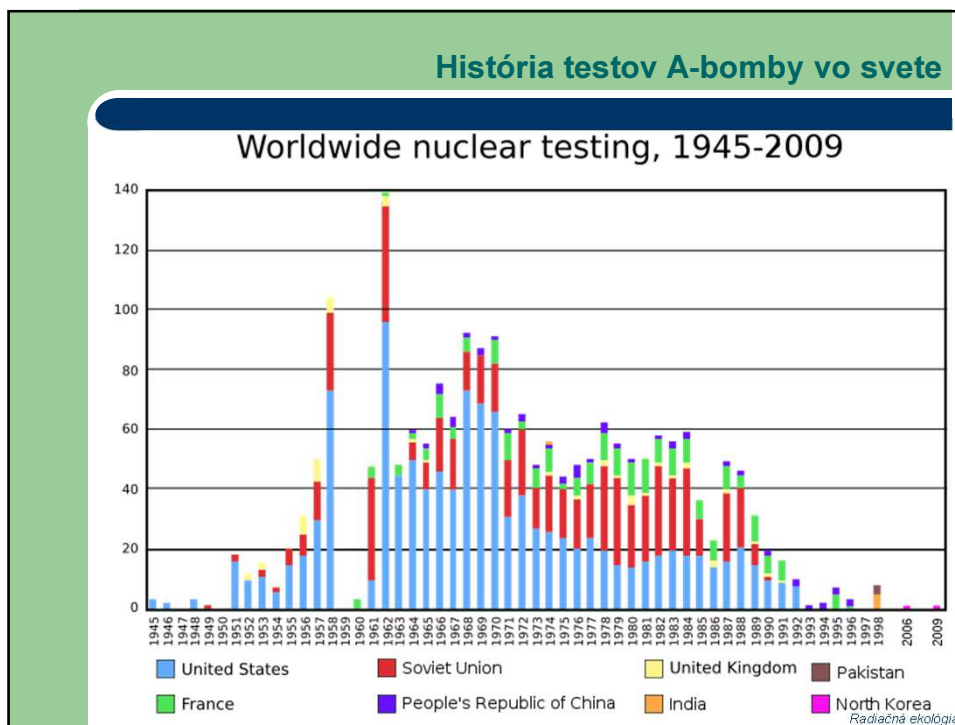
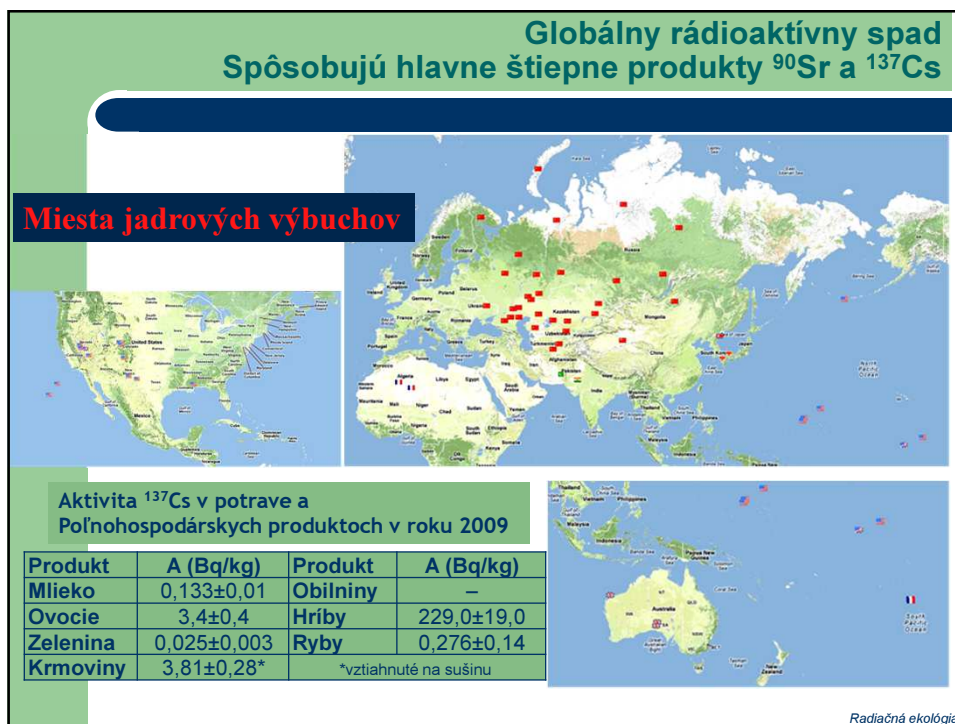
*Radiačná ekológia*

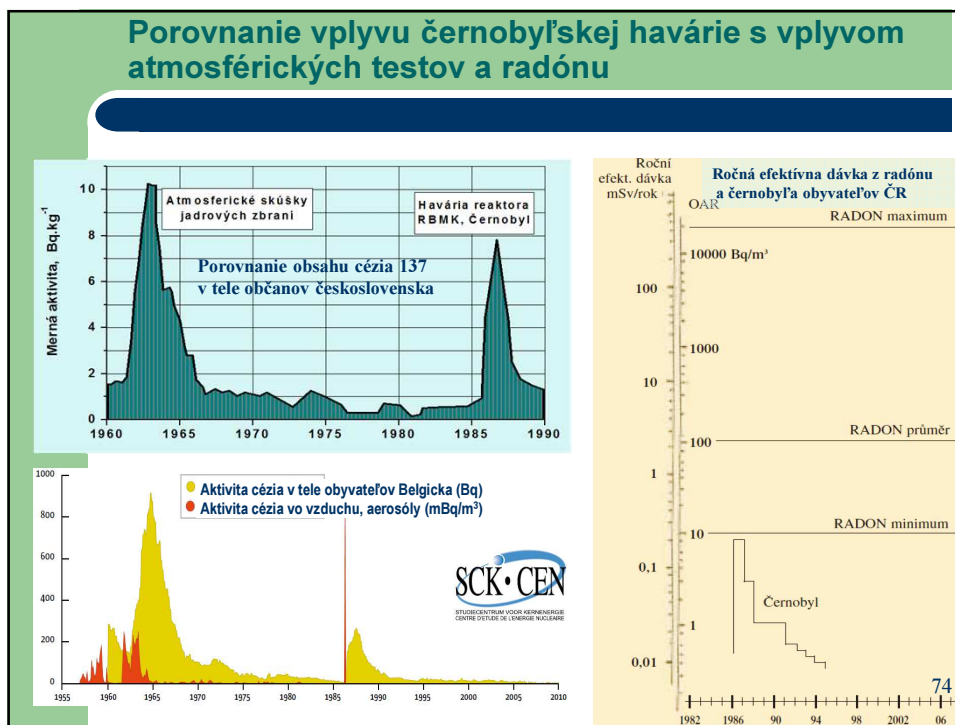
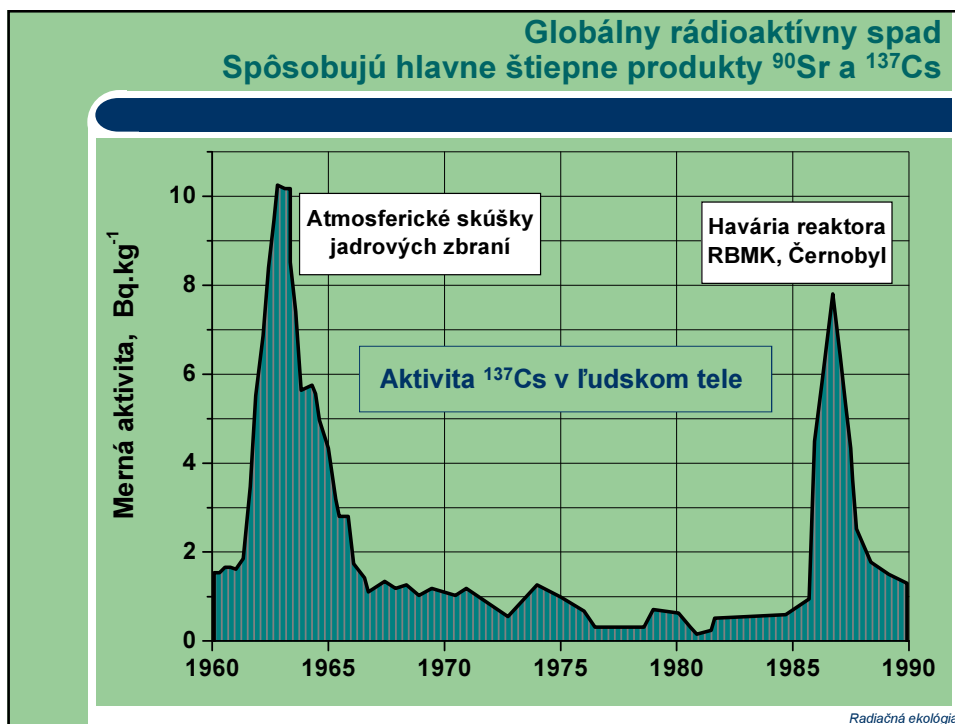
### Antropogénna rádioaktivita v prírode

Source	Country	Time	Radioactivity (Bq)	Important nuclides
Hiroshima & Nagasaki	Japan	1945	$4 \times 10^{16}$	Fiss.prod., Actinides
Atmospheric weapons tests	USA USSR	~1963	$2 \times 10^{20}$	Fiss. prod., Actinides
Windscale	UK	1957	$1 \times 10^{15}$	$^{131}\text{I}$
Chelyabinsk (Kysthym)	USSR	1957	$8 \times 10^{16}$	Fiss. prod. $^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$
Harrisburg	USA	1979	$1 \times 10^{12}$	Noble gases, $^{131}\text{I}$
Chernobyl	USSR	1986	$2 \times 10^{18}$	$^{137}\text{Cs}$
Fukushima	Japan	2010	$2 \times 10^{18}$	$^{131}\text{I}$ , $^{137}\text{Cs}$

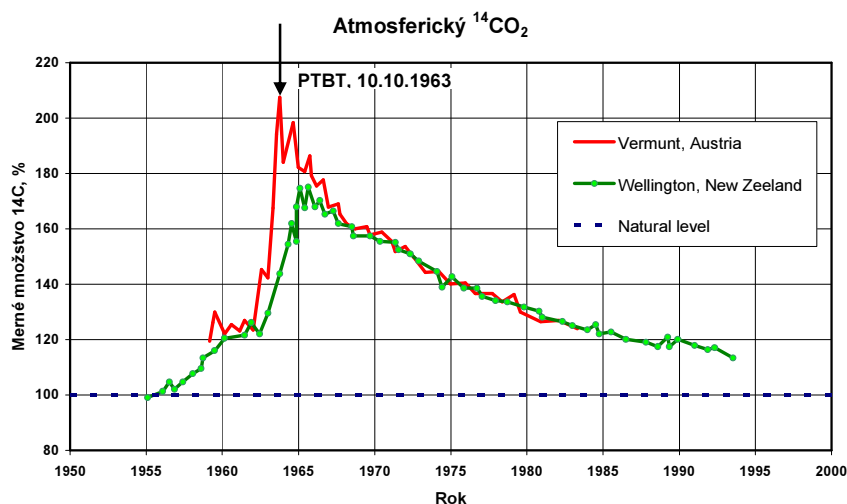
Three Mile Island power station (TMI), Harrisburg, Pennsylvania.

*Radiačná ekológia*





### Relatívne množstvo rádioaktívneho $^{14}\text{C}$ v atmosfére v dôsledku atmosferických testov jadrových zbraní



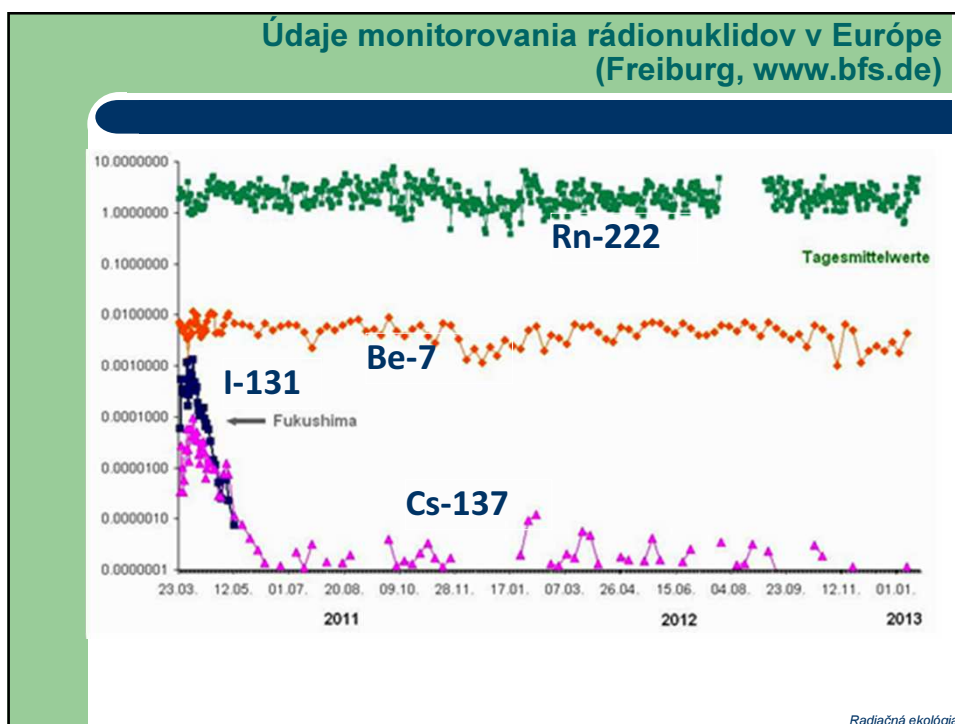
PTBT - Partial Test Ban Treaty

Radiačná ekológia

### Havárie 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).

Radiačná ekológia



### Ožiaranie 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  $^{131}\text{I}$ ).

Na lekárske ožiaranie sa nevzťahuje limitovanie dávok.

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

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

*Radiačná 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*) (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 <sup>*)</sup> 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			
<b>Kosti</b>	Scintigrafia (celotelová, trojfázová, SPECT)	Tc-99m	fosfonáty+-	800
<b>Mozog</b>	Scintigrafia dynamická statická SPECT Cisternografia	Tc-99m	TcO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , DTPA	800
		Tc-99m	TcO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , DTPA	600
		Tc-99m	TcO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , DTPA, HM-PAO	800
		In-111	DTPA	40
		Yb-169	EDTA	40
<b>Štitna žľaza</b>	Akumulačný test Scintigrafia statická	I-131	jodid	1
		Tc-99m	TcO <sub>4</sub>	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]
<b>Bedrová chrbtica</b>	AP - predozadná	10
	LAT - bočná	30
	LSJ –bočná	40
<b>Hrudník</b>	PA - zadopredná	0,4
	LAT - bočná	1,5
<b>Zuby</b>	panoramatický snímok	7
	AP - predozadná	5
<b>Panva</b>	AP - predozadná	10
<b>Lebka</b>	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 ...

*Radiačná 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 radiojódu, 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.

*Radiačná ekológia*

## Aplikácia rádiojódu pri terapii štítnej žľazy Liečba rakoviny štítnej žľazy

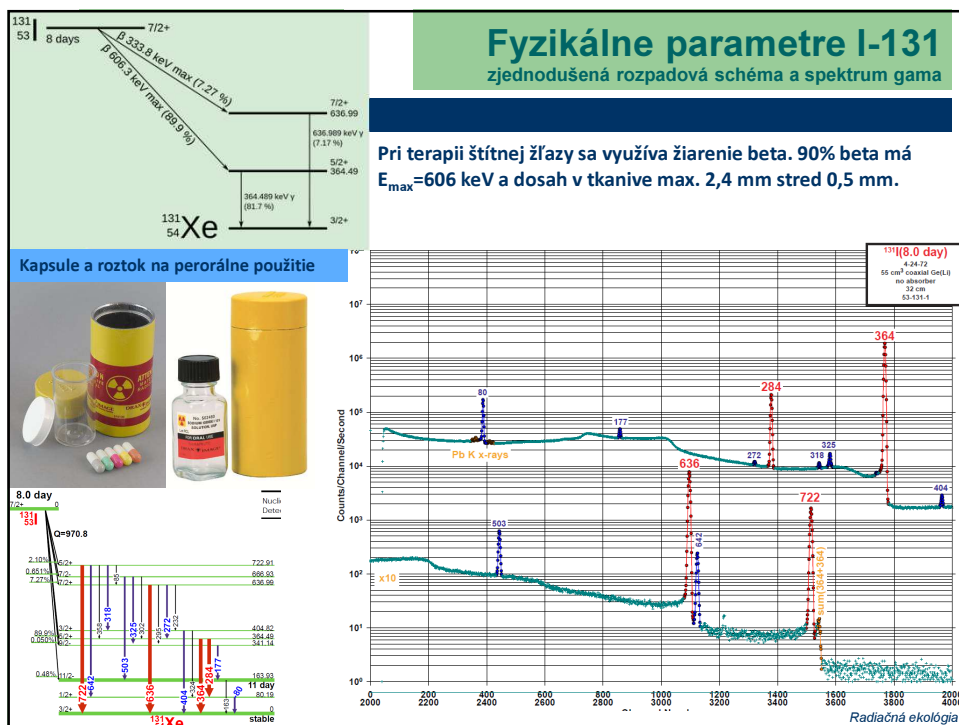
**Hormonálna liečba** je opäť účinná pouze u diferencovaných karcinomů. Mechanismus je poměrně jednoduchý. Využívá se faktu, že látka L-thyroxin má schopnost tlumit produkci TSH, což je hormon, který silně stimuluje růst nádoru. Tato léčba se opět podává po operaci, a to u časných diferencovaných karcinomů.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

**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 radiojódu, 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 cisplatin.

*Radiačná ekológia*



### 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  $2,2 \cdot 10^{-8}$  Sv/Bq pre dospelého a  $10^{-7}$  Sv/Bq pre 1-2 ročné dieťa. Pre vdychovanie je konverzný faktor  $2 \cdot 10^{-8}$  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 **rádiologickú udalosť**.
- Pracoviská nukleárnej medicíny musia byť vybavené na trase odpadovej vody vymieracími zachytnými nádobami.

*Radiačná 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 sediačky**, 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 nemá by prekročiť 0,5 hodiny za deň;
- atď...

*Radiačná ekológia*

# Lekárske aplikácie

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 <sup>A)</sup>
< 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

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	TcO <sub>4</sub> , DTPA	600
		statická	Tc-99m	TcO <sub>4</sub> , DTPA	500
		SPECT	Tc-99m	TcO <sub>4</sub> , DTPA, HMPAO, ECD	800
		Akumulácia glukózy receptory	F-18	FDG	400
	SPECT vyšetrenie regionálneho prietoku krvi mozgom	I-123	Iomazenil, IBZM	200	
		Tc-99m	HMPAO	500	
	Rádionuklidová cystenografia	Xe-133	Izotonický roztok NaCl	400	
		In-111	DTPA	40	
	Yb-169	EDTA	40		

Jadrové elektrárne a ich palivový cyklus	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Príspevok jadrovej energetiky a s ňou súvisiacich činností je oveľa menej významný ako iných zdrojov žiarenia.</li> <li>Pri prevádzke vznikajú v jadrovej elektrárni rádioaktívne látky dvomi spôsobmi: <b>štiepenie</b> jadrového paliva a <b>aktivácia</b> neutrónmi konštrukčných materiálov, paliva, prímiesí v chladiči, v moderátore, v palive a pod.</li> </ul>	
Radičná ekológia	

### Prehľad najvýznamnejších aktivačných produktov v JE

Chladivo + moderátor - voda			
Vlastná aktivita	$^{16}\text{O}(\text{n}, \text{p})^{16}\text{N}$	$T_{1/2}=7,4 \text{ s}$	99,80%
	$^{17}\text{O}(\text{n}, \text{p})^{17}\text{N}$	$T_{1/2}=4,1 \text{ s}$	0,04%
	$^{18}\text{O}(\text{n}, \gamma)^{19}\text{O}$		
	$^2\text{H}(\text{n}, \gamma)^3\text{H}$	$T_{1/2}=12,3 \text{ r}$	
Aktivita prímesi	minerálne soli $^{24}\text{Na}$ , $^6\text{Li}(\text{n}, \alpha)^3\text{H}$ , $^{10}\text{B}(\text{n}, 2\alpha)^3\text{H}$ rozpustené plyny $^{41}\text{Ar}$ , $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$ produkty korózie $^{59}\text{Fe}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{56}\text{Mn}$ , $^{51}\text{Cr}$ ... štiepne produkty Kr, Xe, I		
Konštrukčné materiály			
$^{59}\text{Fe}(T_{1/2}=45 \text{ d})$ , $^{60}\text{Co}(T_{1/2}=5,3 \text{ r})$ , $^{54}\text{Mn}(T_{1/2}=312 \text{ d})$ , $^{51}\text{Cr}(T_{1/2}=28 \text{ d})$ , $^{58}\text{Co}(T_{1/2}=71 \text{ d})$ $^{65}\text{Zn}(T_{1/2}=244 \text{ d})$ , $^{95}\text{Nb}(T_{1/2}=35 \text{ d})$ , $^{95}\text{Zr}(T_{1/2}=64 \text{ d})$ , $^{110}\text{Ag}(T_{1/2}=250 \text{ d})$ , $^{14}\text{C}(T_{1/2}=5730 \text{ r})$			
Palivo			
Transuránové prvky		$^{237,239}\text{Np}$ , $^{238-242}\text{Pu}$ , $^{241,243}\text{Am}$ , $^{242,244}\text{Cm}$	

Radičná ekológia

### Prehľad najvýznamnejších štiepných produktov v JE

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

Radičná ekológia

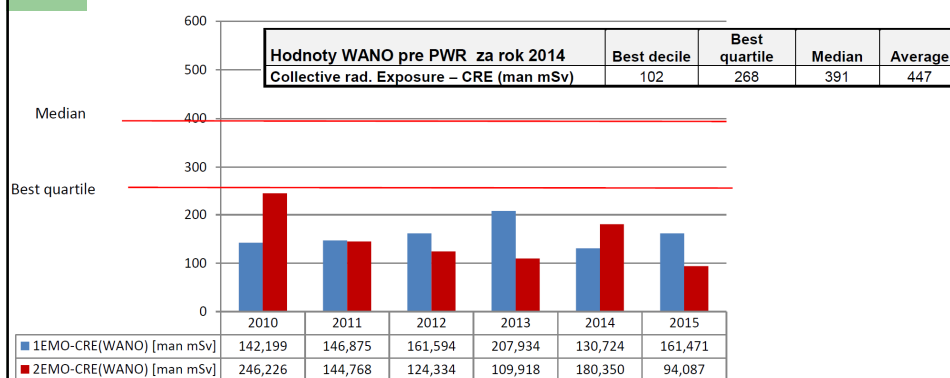
## Systém radiačnej kontroly JE

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.

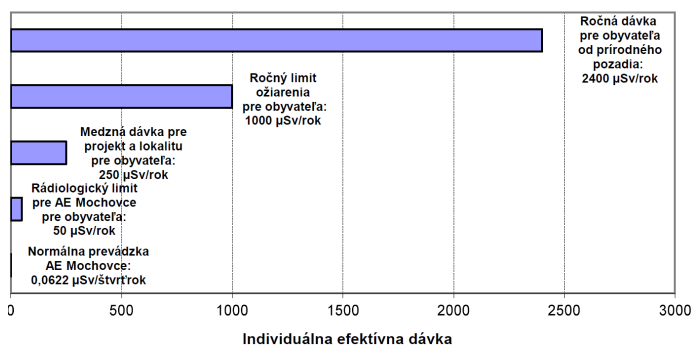
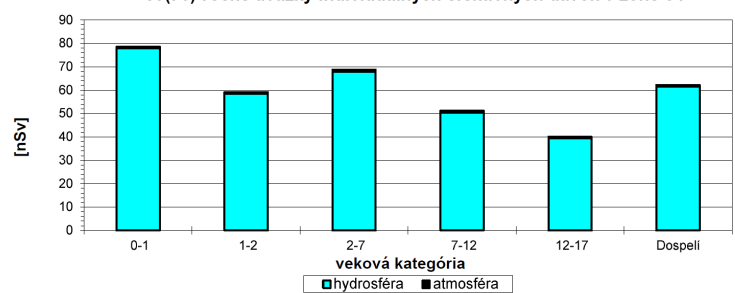


## Maximálna individuálna efektívna dávka v roku 2015

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

Radiačná ekológia

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

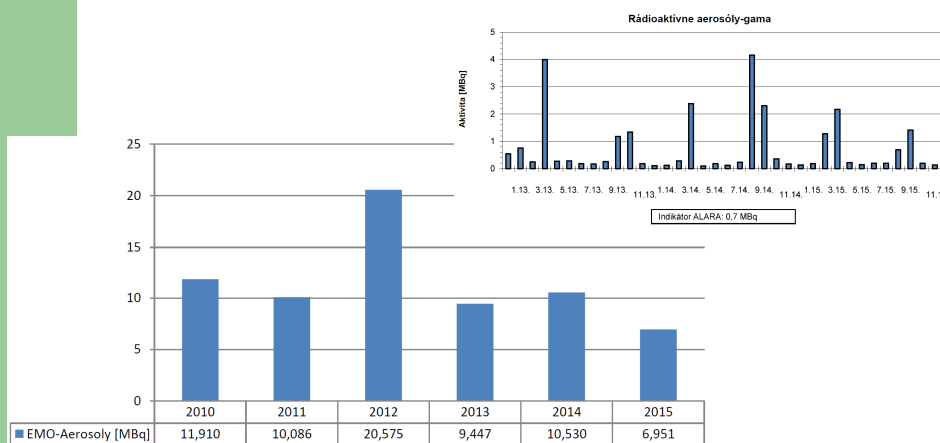


Radiačná ekológia



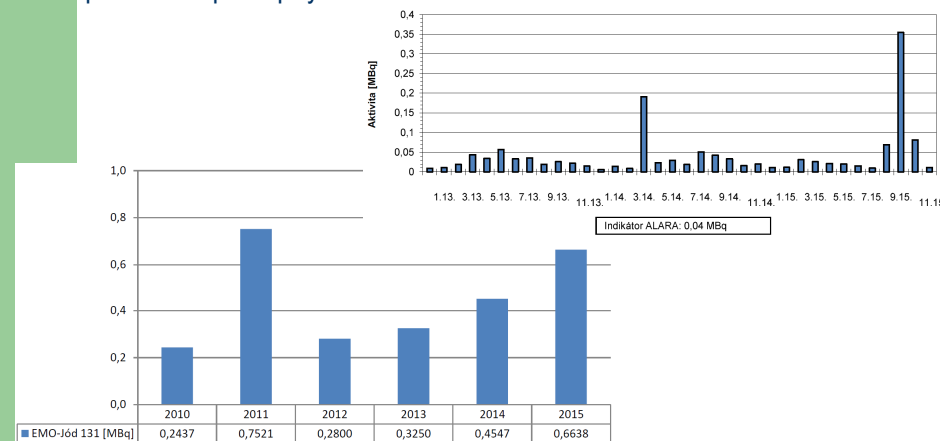
## Výpuste do atmosféry - Aerosóly

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



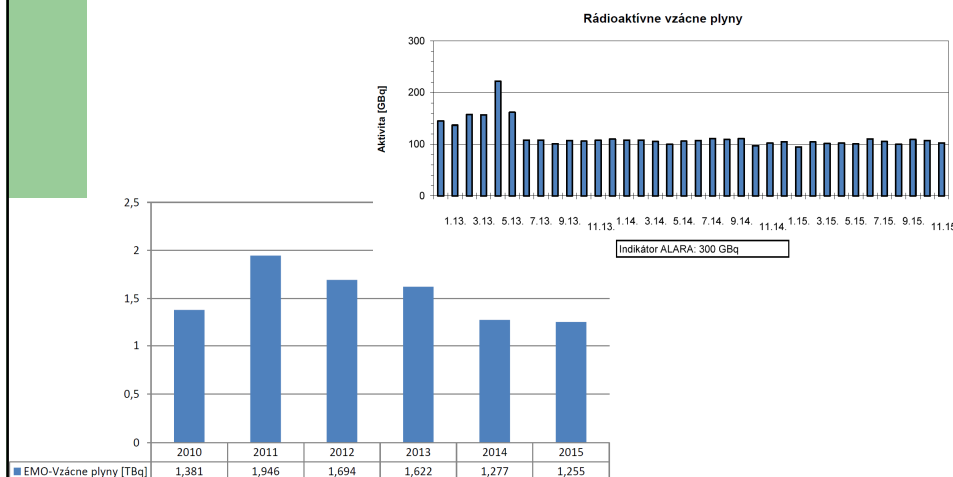
## Výpuste do atmosféry - Jód

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.

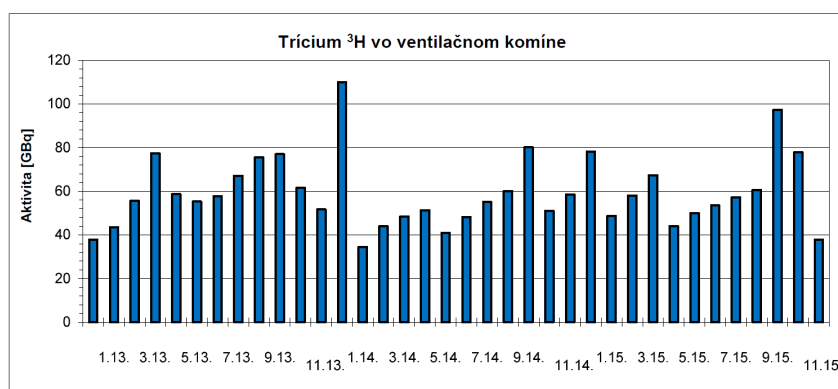


## Výpuste do atmosféry - Vzácne plyny

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

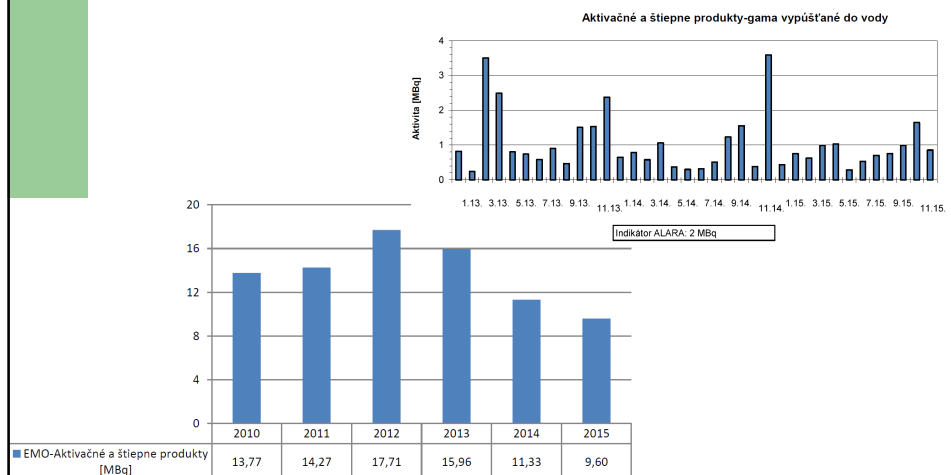


## Výpuste do atmosféry - trícium



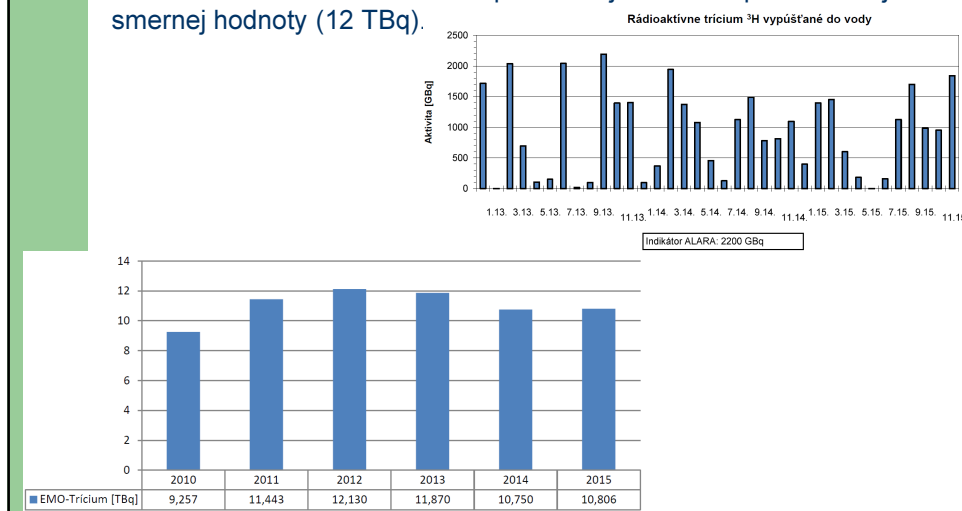
## Výpuste do hydrosféry Aktivačné a štiepne produkty

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

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.

*Radiačná ekológia*

## Tvorba a spracovanie kvapalných RAO

Tvorba KRAO	Koncentráty (m <sup>3</sup> )	lonexy (m <sup>3</sup> )	Spolu (m <sup>3</sup> )
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 <sup>3</sup> )	lonexy (m <sup>3</sup> )	Spolu (m <sup>3</sup> )
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 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

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 m<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>	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

diaľná 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.

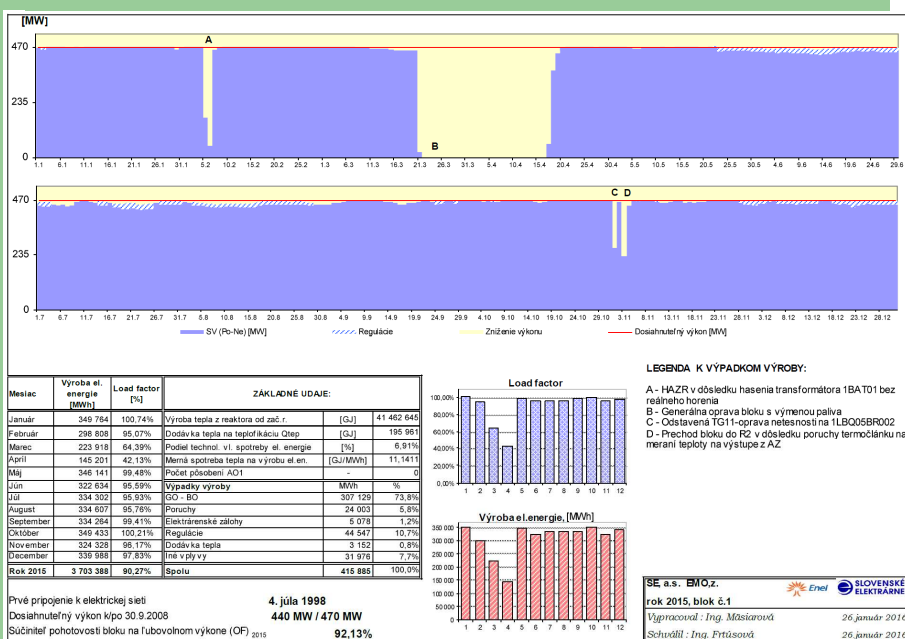
Radiačná ekológia

## Porovnanie s limitmi

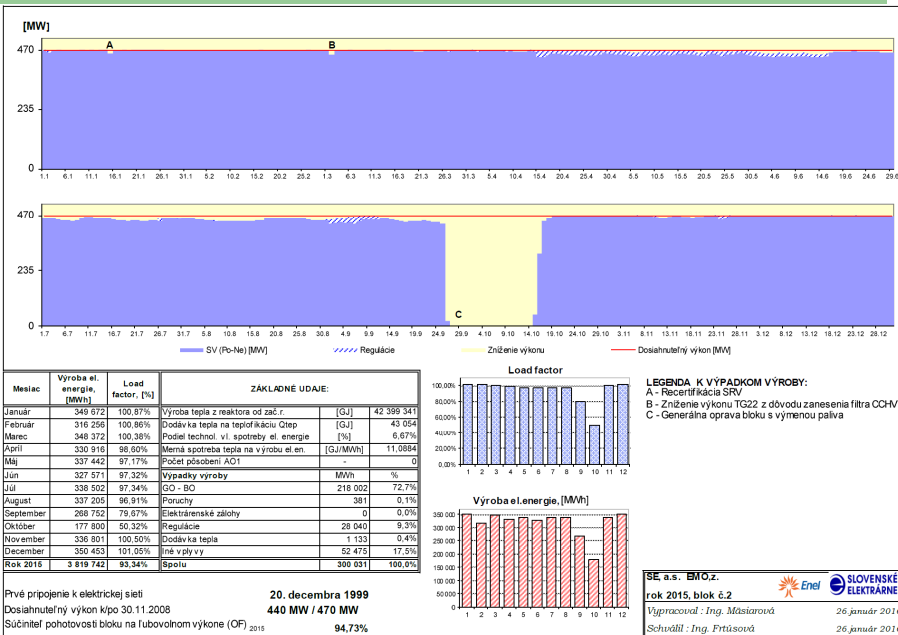
Z hľadiska ochrany zdravia obyvateľstva možno konštatovať, že vypočítaná maximálna hodnota 50(70)-ročného úväzku individuálnej efektívnej dávky pre reprezentatívnu osobu ( $0,1844 \mu\text{Sv}$ ) je zanedbateľná v porovnaní s ročným limitom pre jednotlivca z obyvateľstva ( $1 \text{ mSv}$ ) resp. medznou dávkou pre kritickú skupinu obyvateľov z výpustí rádioaktívnych látok z jadrových zariadení, ktorá je stanovená pre projektovanie a výstavbu jadrových zariadení ( $250 \mu\text{Sv}$ ) 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 ( $50 \mu\text{Sv}$ ). 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  $2,4 \text{ mSv.rok}^{-1}$  pre obyvateľa svetovej populácie.

Radiačná ekológia

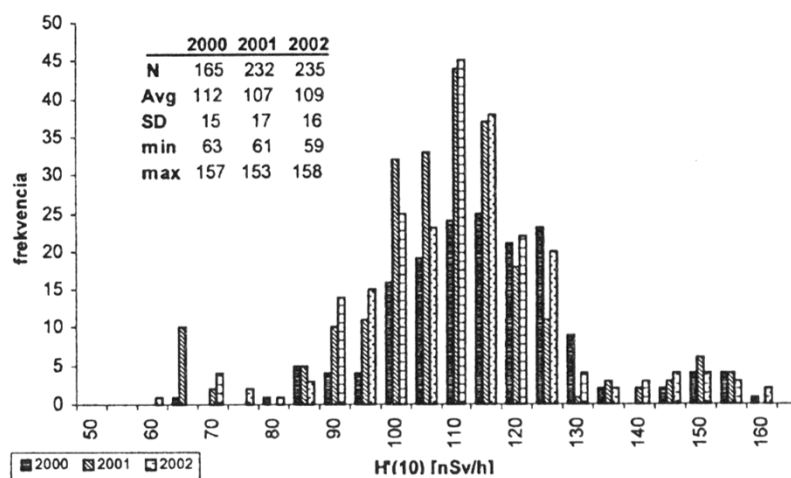
## HISTOGRAM PREVÁDZKY PRE 1. BLOK ZA ROK 2015



## HISTOGRAM PREVÁDZKY PRE 2. BLOK ZA ROK 2015



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

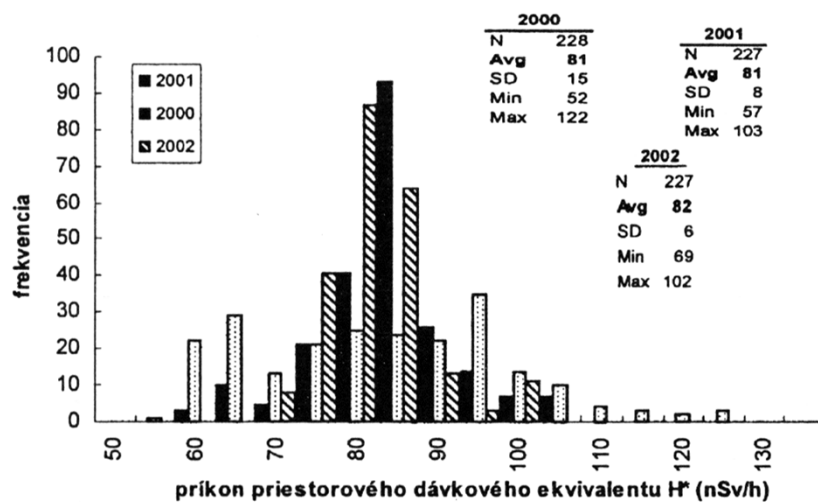


Údaje boli publikované orgánmi SÚRMS – Slovenské ústredie radiačnej monitorovacej siete, ktorú tvoria zložky MZ SR, MV SR, MO SR, MŽP SR, MH SR (EBO a EMO)

Radiačná ekológia

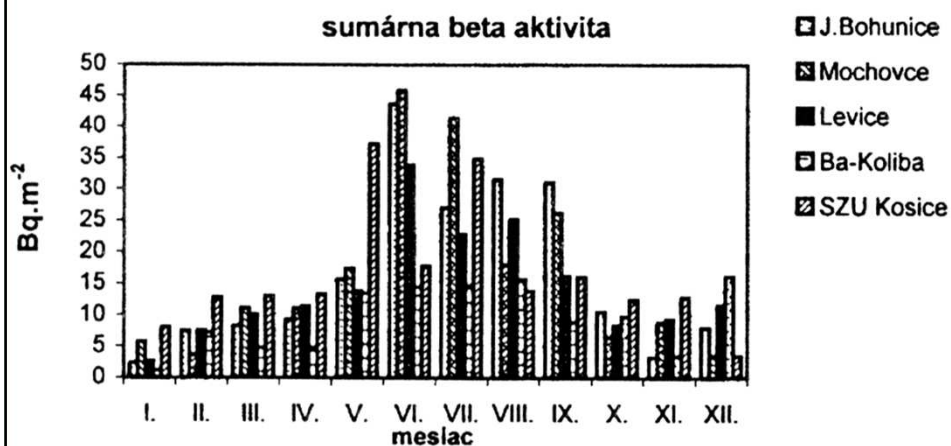


### Distribúcia príkonu priestorového dávkového ekvivalentu fotónového žiarenia v okolí JE EBO v rokoch 2000-2002



Radičná ekológia

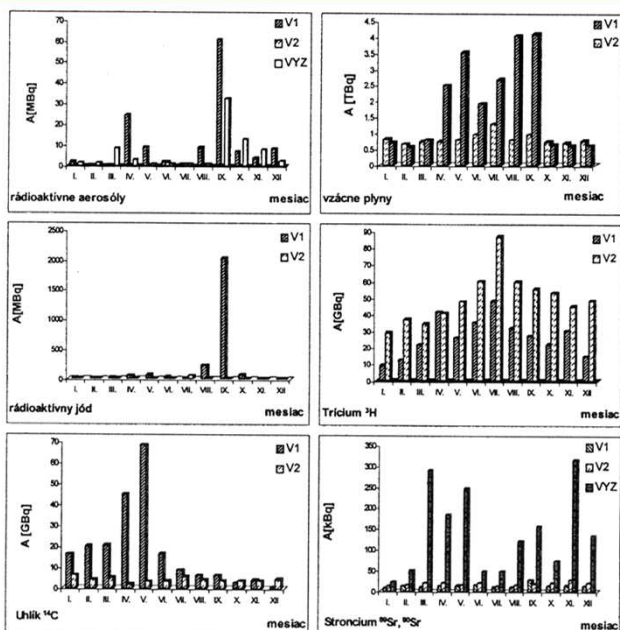
### Distribúcia sumárnej beta aktivity spad vo vybraných lokalitách na Slovensku v roku 2002



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

Radičná ekológia

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



Ročné limity pre atmosferické výpuste (čerpanie limitu v SE EBO):

Vzácne plyny - 4000TBq (0,817%)

$^{131}\text{I}$  - 0,13TBq (1,992%)

Aerosóly gama - 0,16TBq (0,086%)

Aerosóly alfa - 50 MBq (0,121%)

$^{89,90}\text{Sr}$  - 300 MBq (0,128%)

Radičná 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](http://www.shmu.sk)

2.2.2009

Radiačná ekológia

Monitorovanie radiačnej situácie v SR sa zabezpečuje prostredníctvom:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Teritoriálnu sieť meračov príkonu efektívnej dávky v ovzduší zabezpečuje</b> Integrovaný radiačný monitorovací systém MŽP SR, varovný systém MV SR a varovný systém MO SR,</li> <li>• <b>Teritoriálna sieť meračov integrálnej efektívnej dávky v ovzduší</b> je vybudovaná na báze integrálnych termoluminiscenčných dozimetrov (MZ SR),</li> <li>• <b>Lokálne siete v okolí JE EBO Jaslovské Bohunice</b> 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,</li> <li>• <b>Lokálne siete v okolí JE EMO Mochovce</b> tvorí monitorovanie výpustí z JE (on-line systém) a sieť termoluminiscenčných dozimetrov v okolí JE.</li> <li>• <b>Podporné laboratória.</b> K týmto zariadeniam patria najmä Laboratória hygienickej a veterinárnej služby MV SR, sekcie CO a laboratória vonkajšej dozimetrie JE Jaslovské Bohunice a JE Mochovce.</li> <li>• Údaje o radiačnej situácii na území Slovenskej republiky sú zhromažďované a vyhodnocované v Slovenskom ústredí radiačnej monitorovacej siete (SÚRMS).</li> </ul>

Radiačná ekológia

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

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

Radičná 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<sup>-1</sup>**. Priemerná ročná efektívna dávka na území SR dosiahla v roku 2000 hodnotu **815 µSv**.
- Koncentrácia rádionuklidu <sup>137</sup>Cs, 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<sup>-3</sup>**).
- Plošná aktivita spadů bola meraná vo vzorkách zhromažďovaných po dobu jedného mesiaca. Koncentrácia <sup>137</sup>Cs v analyzovaných vzorkách dosiahla v priemere **380 mBq.m<sup>-2</sup>**.
- Kontaminácia pôdy rádionuklidom <sup>137</sup>Cs dosiahla priemernú hodnotu **16 Bq.kg<sup>-1</sup>** - identickú s rokom 1999.
- Kontaminácia povrchových a pitných vôd rádionuklidom <sup>137</sup>Cs tak ako v predošlých rokoch bola vo všetkých prípadoch nižšia ako **0,02 Bq.l<sup>-1</sup>**.
- Povrchové a pitné vody boli opätovne kontaminované trícium, pričom však hodnoty objemovej aktivity <sup>3</sup>H nevykázali žiadny významný rozdiel vzhľadom k predchádzajúcim rokům. Priemerná objemová aktivita <sup>3</sup>H v povrchových a pitných vodách SR dosahuje **14 Bq.l<sup>-1</sup>**.

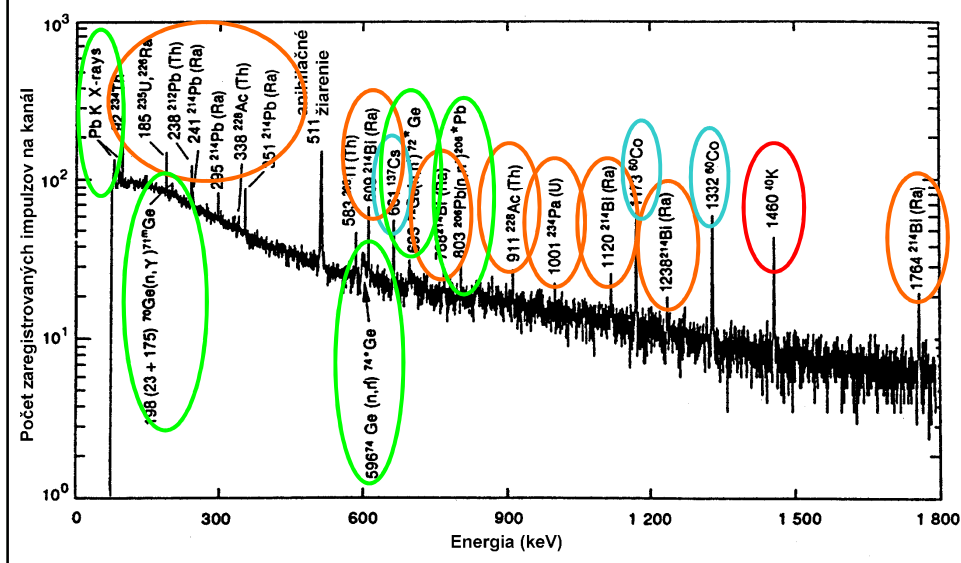
Radičná ekológia

## Meranie prírodného pozadia gama spektrometrom s koaxiálnym detektorom HPGE

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

Radičná ekológia

## Meranie pozadia gama spektrometrom s koaxiálnym detektorom HPGE



## NORM a TENORM

- "**NORM**" means any naturally occurring radioactive material. It does not include accelerator produced, byproduct, source, or special nuclear material.
- "**Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material** (TENORM)" means naturally occurring radioactive material whose radionuclide concentrations are **increased by** or as a result of past or present **human practices**. TENORM does not include background radiation or the natural radioactivity of rocks or soils.

*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.

*Radiačná 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:

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

*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) <sup>a</sup>	0.95	1.1	0.95	10
Soil (Minimum) <sup>a</sup>	0.11	0.22	0.11	2.7
Soil (Maximum) <sup>a</sup>	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.

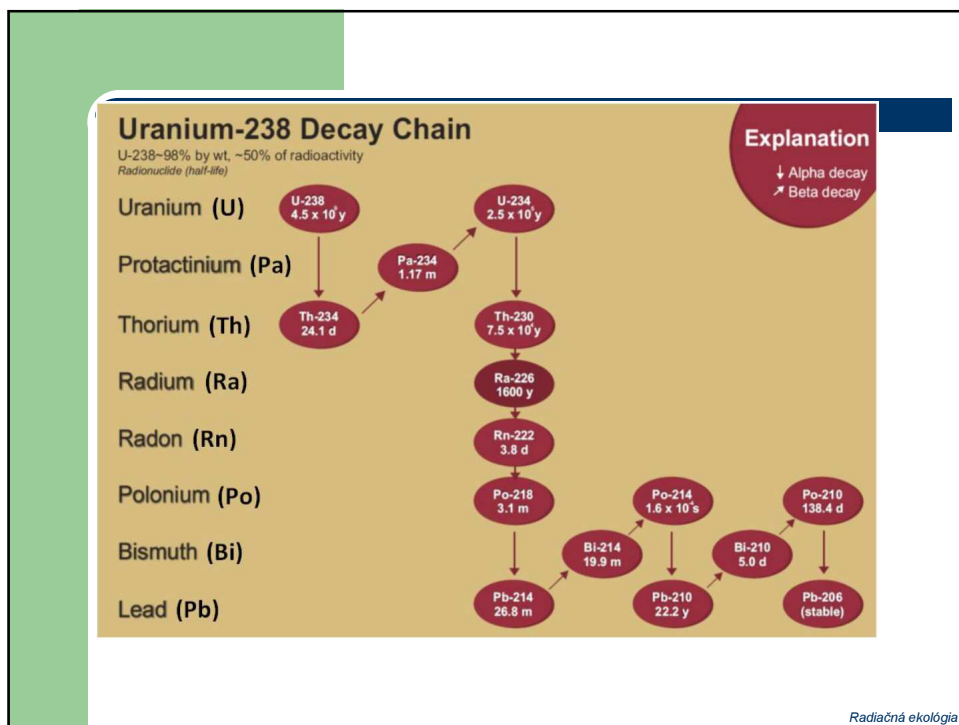
As an example, some facilities scan all incoming trucks to look for dose rates that are 10 microrem or more above background.

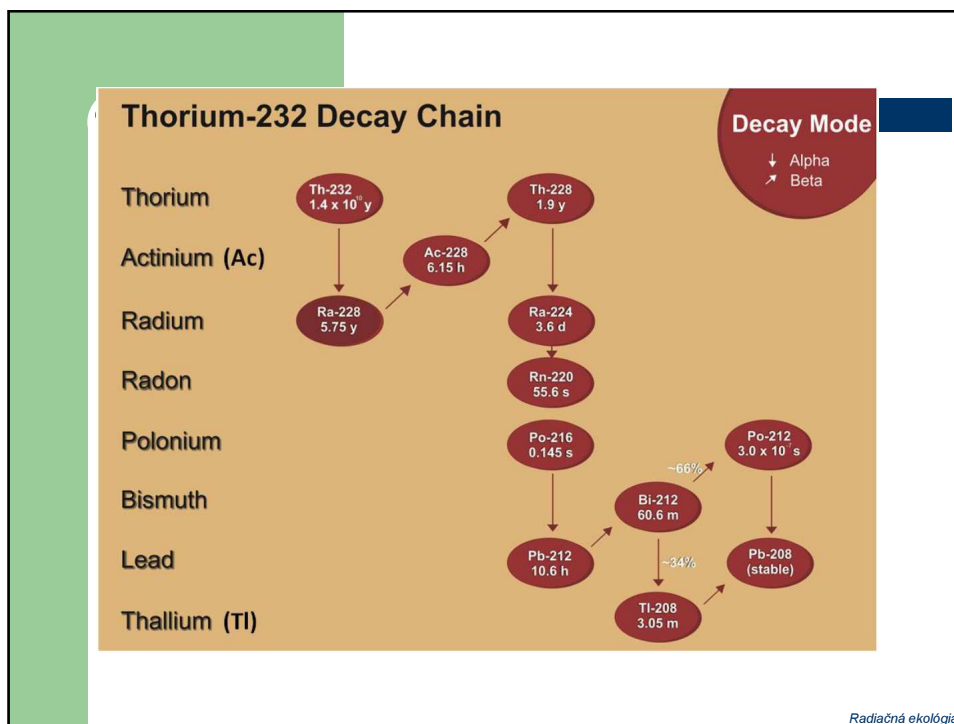


*Radiačná ekológia*

TENORM Material	Range of Radioactivity Concentrations, Radium 226		
	Low	Average	High
Soils of the United States <sup>1</sup>	0.2	1.1	4.2
Uranium Mining Overburden <sup>2</sup>	3	3.0	low hundreds
Uranium In-Situ Leach Evaporation Pond Solids <sup>3</sup>	300	-	3,000
Phosphate Ore (Florida) <sup>4</sup>	7	17.3-39.5	6.2-53.5
Phosphogypsum <sup>5</sup>		11.7-24.5	36.7
Phosphate Fertilizer <sup>6</sup>		5.7	21
Coal Ash <sup>7</sup> -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 <sup>8</sup>	<0.25 pCi/g	<200 pCi/g	>100,000 pCi/g
Pipe/Tank Scale <sup>9</sup>			
Water Treatment Sludge <sup>10</sup>	1.3 pCi/l	11 pCi/l	11,686 pCi/l
Treatment Plant Filters <sup>11</sup>	-	40,000 pCi/g	-
Rare Earths <sup>12</sup>	5.7	-	3,244
Monazite			
Xenotime			
Bastnasite			
Titanium Ores <sup>13</sup>	3.9	8.0	24.5
Rutile	-	19.7	-
Ilmenite	-	5.7	-
Wastes	-	12	-
Zircon <sup>14</sup>	-	68	-
Wastes	87	-	1300
Aluminum <sup>15</sup> (Bauxite) Ores	4.4	-	7.4
Product	-	0.23	-
Wastes	-	3.9-5.6	-
Copper Wastes <sup>16</sup>	0.7	12	82.6
Geothermal Energy Waste Scales <sup>17</sup>	10	132	Radiačná ekológia

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





### 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.

*Radiačná 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 <sup>1</sup>	Yes/no, depending on process	Yes/no, depending on process	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	-	Yes	-	Yes	-	Yes	Yes	Yes	-	
Thermal phosphorus	Yes, calcined dust and slag	Yes, <sup>210</sup> Po, <sup>210</sup> Pb	Yes, <sup>210</sup> Po, <sup>210</sup> Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Yes	-	-	-	-	-	
TiO <sub>2</sub> 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, <sup>210</sup> Po, <sup>210</sup> Pb	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	-	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
Cement	No	No	Yes, <sup>210</sup> Po, <sup>210</sup> 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, <sup>210</sup> 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, <sup>210</sup> Po, <sup>210</sup> Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Metal extraction from tin slag	Yes, slag	No	Yes, <sup>210</sup> Po, <sup>210</sup> Pb	-	-	Yes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Lead/Zinc smelter	Yes, cobalt-cake	No	Yes, <sup>210</sup> Po, <sup>210</sup> Pb	Yes	-	Yes	Yes	Yes	Yes	-	Yes	-	Yes	-	Yes	Yes	Yes	Yes	
Copper smelter	NK	No	Yes, <sup>210</sup> Po, <sup>210</sup> Pb	Yes	-	Yes	-	Yes	Yes	-	-	-	-	-	-	Yes	Yes	-	

Radičná ekológia

## Typical values of natural radioactivity in fossil fuels Concentrations of radionuclides in certain ash (Bq kg<sup>-1</sup>)

	<sup>238</sup> U series (Bq kg <sup>-1</sup> )	<sup>232</sup> Th series (Bq kg <sup>-1</sup> )
Coal (global av.) [1]	20	22
Natural gas [2]	340 Bq m <sup>-3</sup> ( <sup>222</sup> Rn)	
Peat (global av.) [3]	40	

	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Th	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>40</sup> 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 %
<b>CCP Production</b>	37 144	5 622	2 417	985	240	520	7 574	54 502	na
<b>Utilization</b>	18 169	2 500	2 417	445	240	471	6 622	30 864	55.6
<b>Landfill, Reclamation Restoration</b>	15 425	2 070	0	393	0	37	424	18 349	33
<b>Temporary Stockpile</b>	717	31	0	0	0	0	445	1 193	2.1
<b>Disposal</b>	3 806	1 057	0	147	0	12	94	5 116	9.2

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

	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>222</sup> Rn	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po
<b>Coal-fired power plant (600 MW e)</b>	0.16	0.08	0.11	34	0.4	0.8
<b>Gas-fired power plant (400 MW e)</b>	-	-	-	230	-	-

*Radiačná ekológia*

### Range of reported specific activity from scales and sludge samples

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

*Radiačná ekológia*

## Natural Gas Radon Sampling Location



*Radiačná ekológia*

## Typical values of natural radioactivity in ores (Bq kg<sup>-1</sup>)

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

*Radiačná ekológia*

## Activity concentrations in process materials and residues

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

*Radiačná ekológia*

## Activity concentrations in process materials and residues

<b>Lead</b>		
Furnace Slag [6]	36	<sup>232</sup> Th
	265	<sup>226</sup> Ra
<b>Zinc</b>		
Electrolysis waste [7]	<6	<sup>238</sup> U
	8	<sup>230</sup> Th
	8	<sup>226</sup> Ra
	96	<sup>210</sup> Pb
	-	<sup>210</sup> Po
	33	<sup>238</sup> U
Slag [7]	30	<sup>226</sup> Ra
	44	<sup>210</sup> Pb
	-	<sup>210</sup> Po
	-	<sup>210</sup> Pb

*Radiačná ekológia*

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

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

ičná ekológia

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

Year	Phosphogypsum (kt)	<sup>226</sup> Ra (GBq)	<sup>210</sup> Pb (GBq)	<sup>210</sup> 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	<sup>210</sup> Po to air (GBq)	<sup>210</sup> Pb to air (GBq)	<sup>210</sup> Po to water (GBq)	<sup>210</sup> 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

ia



### Typical discharges of $^{228}\text{Ra}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$ , and $^{210}\text{Po}$ in acidic liquid effluent from $\text{TiO}_2$ pigment plant with an annual production of 90 000 t using the chloride process.

Nuclide	GBq y <sup>-1</sup>
$^{228}\text{Ra}$	38
$^{226}\text{Ra}$	22
$^{210}\text{Pb}$	9
$^{210}\text{Po}$	3

NB Average concentration in the rutile 0.4 and 0.6 Bq kg<sup>-1</sup> for  $^{238}\text{U}$  sec and  $^{232}\text{Th}$  sec.

Titanium dioxide industry in the European Union for 2000/2001

Country	Site	Company	Process	Capacity (10 <sup>3</sup> t y <sup>-1</sup> )
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	Sachtleben	sulphate	100
France	Le Havre	Millennium	sulphate	110
	Thann	Millennium	sulphate	28
	Calais	Huntsman Tioxide	sulphate	100
Italy	Scarlino	Huntsman Tioxide	sulphate	80
Netherlands	Rotterdam	Kerr-McGee	chloride	80
Finland	Pori	Kemira Pigments	sulphate	130
United Kingdom	Greatham	Huntsman Tioxide	chloride	80
	Grimsby	Huntsman Tioxide	sulphate	80
	Grimsby	Millennium	sulphate (?)	150

### Zirconium ore processing in Europe

Country	Quantity (kt y <sup>-1</sup> )
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<sup>-1</sup>

	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$
Average	6 800	11 000	8 300

#### Radioactivity content of baddleyite in Bq kg<sup>-1</sup>

	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{228}\text{Th}$	$^{228}\text{Ra}$
Baddleyite	7 000	300	200	6 000

Radičná ekológia

**$^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  activity concentrations ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) measured on raw materials, residues and finished products in tile working**

Samples	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
Raw materials	26-58	38-73	422-1 286
Zircon silicate (<5 $\mu\text{m}$ )	2 334	880	na
Zircon silicate (<45 $\mu\text{m}$ )	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  $\text{y}^{-1}$  output of different types of cement**

Nuclides	GBq
$^{238}\text{U}$	0.2
$^{232}\text{Th}$	0.05
$^{226}\text{Ra}$	0.2
$^{222}\text{Rn}$	157
$^{210}\text{Pb}$	0.2
$^{210}\text{Po}$	78
$^{40}\text{K}$	0.4

Country	Cement produced $10^3 \text{ t}$
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<sup>-1</sup>

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

Radiačná ekológia

### The decay chains of $^{238}U$ , $^{235}U$ and $^{232}Th$

$^{238}U$ series		$^{235}U$ series		$^{232}Th$ series	
Nuclide	Half-life	Nuclide	Half-life	Nuclide	Half-life
$^{238}U$	$4.5 \cdot 10^9$ y	$^{235}U$	$7.1 \cdot 10^8$ y	$^{232}Th$	$1.41 \cdot 10^{10}$ y
$^{234}Th$	24.1 d	$^{231}Th$	25.6 h	$^{228}Ra$	5.76 y
$^{234m}Pa$ (99.9%)	1.17 min	$^{231}Pa$	$3.4 \cdot 10^4$ y	$^{228}Ac$	6.13 h
$^{234}U$	$2.47 \cdot 10^4$ y	$^{227}Ac$	21.6 y	$^{228}Th$	1.913 y
$^{230}Th$	$8.0 \cdot 10^4$ 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	$^{215}Po$	$1.78 \cdot 10^{-3}$ s	$^{212}Pb$ (100%)	10.64 h
$^{214}Pb$ (99.96%)	26.8 min	$^{211}Pb$	36.1 min	$^{216}At$ (0.01%)	$0.3 \cdot 10^{-3}$ s
$^{214}Bi$	19.7 min	$^{211}Bi$	2.2 min	$^{212}Bi$	60.6 min
$^{214}Po$	$0.16 \cdot 10^{-3}$ s	$^{211}Pb$ (0.3%)	0.516 s	$^{212}Pb$ (66.3%)	$30 \cdot 10^{-6}$ 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				

Radiačná ekológia

## Dose coefficients for intake by ingestion and inhalation

Nuclide	Branching	Lung class	Half-life year	Committed effective dose per unit intake (Sv Bq <sup>-1</sup> )					
				Inhalation			Ingestion		
				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
Tl-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 <sup>-1</sup> )					
				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 <sup>-1</sup> )						
Chain segment	Inhalation			Ingestion		
	Infant- 1 years	Child- 10 years	Adult	Infant- 1 years	Child- 10 years	Adult
<sup>238</sup> 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
<sup>235</sup> 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
<sup>234</sup> 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
<sup>232</sup> 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
<sup>230</sup> 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
<sup>228</sup> 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
<sup>231</sup> 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
<sup>228</sup> Ra+	1.02 E-05	4.66 E-06	2.63 E-06	5.70 E-06	3.90 E-06	6.90 E-07
<sup>226</sup> 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
<sup>227</sup> 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
<sup>210</sup> 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
<sup>210</sup> 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