

# Ionizující záření v životním prostředí



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tento studijní materiál vznikl za podpory projektu

Technika pro budoucnost,

číslo projektu CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_015/0002338.

# Zdroje ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření dělíme na:

- a) primární radionuklidy (primordial radionuclides)
- b) kosmogenní radionuklidy (cosmogenic radionuclides)
- c) antropogenní radionuklidy (human produced radionuclides)



# Zdroje ionizujícího záření

## a) Primární radionuklidy:

- z doby vzniku sluneční soustavy
- dlouhé poločasy rozpadu (min. stovky milionů let)
- radioaktivní rozpadové produkty primárních radionuklidů

$^{238}\text{U}$  poločas:  $4,47 \times 10^9$  let, 99,27 % přírodního uranu

$^{235}\text{U}$  poločas:  $7,04 \times 10^8$  let, 0,72 % přírodního uranu

$^{232}\text{Th}$  poločas:  $1,41 \times 10^{10}$  let, 100 % přírodního thoria

$^{40}\text{K}$  poločas:  $1,28 \times 10^9$  let, 0,012 % přírodního draslíku

# Zdroje ionizujícího záření

## Další méně významné primární radionuklidy:

$^{50}\text{V}$   $> 2,1 \times 10^{17}$  let,  $^{87}\text{Rb}$   $4,97 \times 10^{10}$  let,  $^{113}\text{Cd}$   $8,00 \times 10^{15}$  let,  
 $^{115}\text{In}$   $4,41 \times 10^{14}$  let,  $^{123}\text{Te}$   $> 9,2 \times 10^{16}$  let,  $^{138}\text{La}$   $1,02 \times 10^{11}$  let,  
 $^{142}\text{Ce}$   $> 5 \times 10^{16}$  let,  $^{144}\text{Nd}$   $2,29 \times 10^{15}$  let,  $^{147}\text{Sm}$   $1,06 \times 10^{11}$  let,  
 $^{152}\text{Gd}$   $1,08 \times 10^{14}$  let,  $^{174}\text{Hf}$   $2,0 \times 10^{15}$  let,  $^{176}\text{Lu}$   $3,76 \times 10^{10}$  let,  
 $^{180}\text{Ta}$   $7,15 \times 10^{15}$  let,  $^{187}\text{Re}$   $4,33 \times 10^{10}$  let,  $^{190}\text{Pt}$   $6,5 \times 10^{11}$  let,  
 $^{190}\text{Pt}$   $> 6 \times 10^{16}$  let,  $^{209}\text{Bi}$   $2,01 \times 10^{19}$  let

Beta rozpad, dvojný beta rozpad, alfa rozpad

# Zdroje ionizujícího záření

Thoriová řada:  
 $\text{mod}(A,4)=0$

## The Thorium-232 Decay Chain

## Atomic Number

Only main decays are shown  
Gamma emitters are not indicated

Element Names  
Th - thorium  
Ra - radium  
Ac - actinium  
Rn - radon  
Po - polonium  
Bi - bismuth  
Pb - lead  
Tl - thallium

Half-life units  
a - years  
d - days  
h - hours  
m - minutes  
s - seconds

### Element Names

Th - thorium

Ra - radium

Ac - actinium

Rn - radon

Po - polonium

Bi - bismuth

Pb - lead

Tl - thallium

Half-life units

a - years

d - days

h - hours

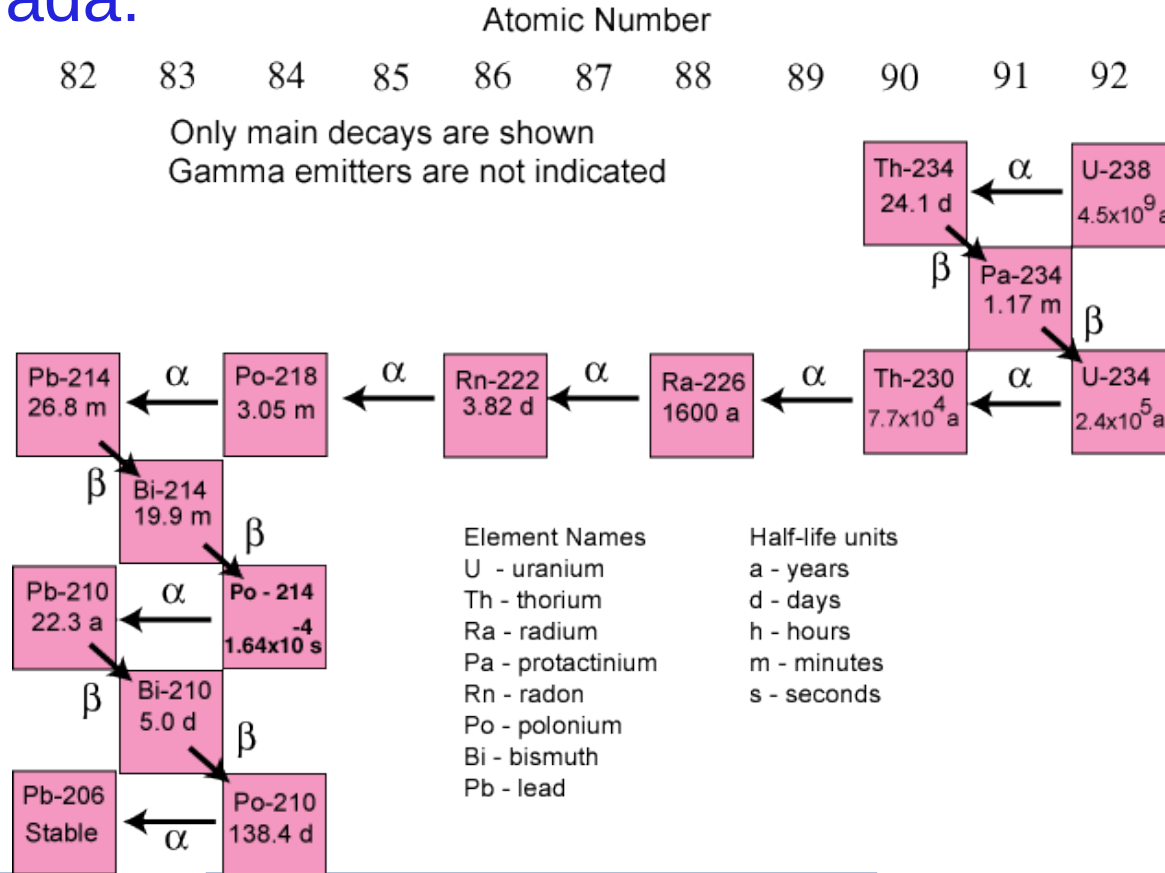
m - minutes

s - seconds

# Zdroje ionizujícího záření

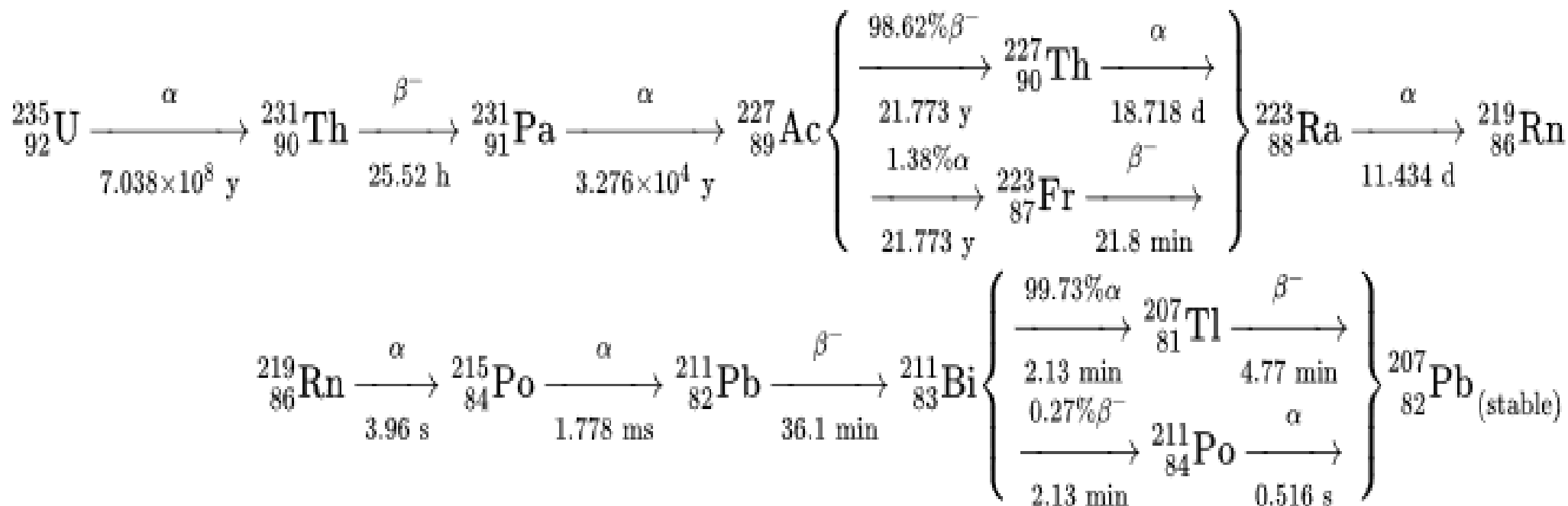
Uran-radiová řada:  
 $\text{mod}(A,4)=2$

## The Uranium-238 Decay Chain



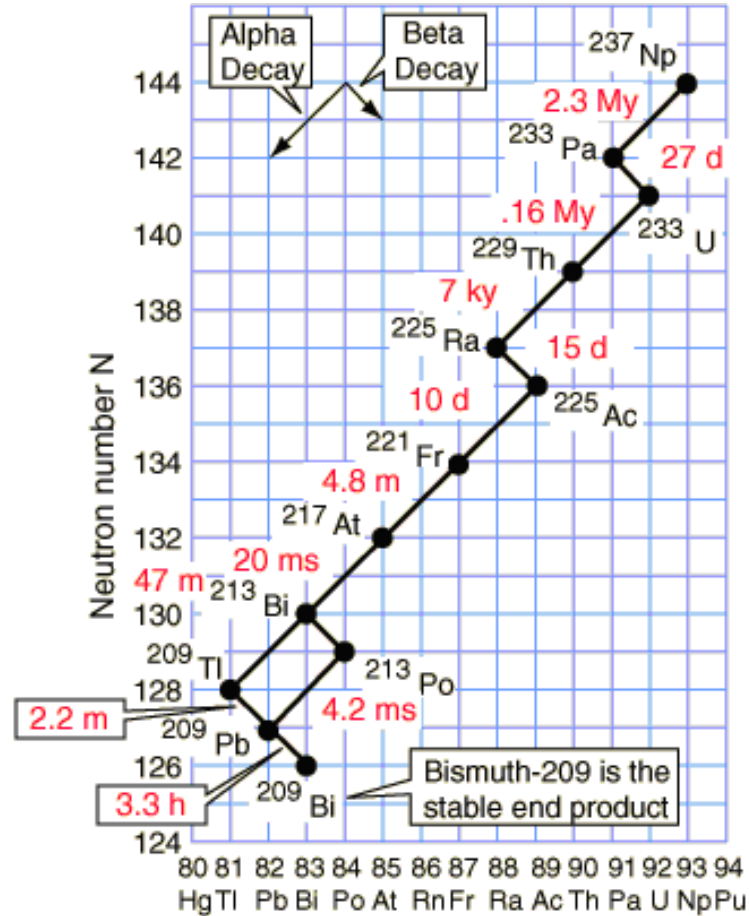
# Zdroje ionizujícího záření

Uran-aktiniová řada:  
 $\text{mod}(A,4)=3$



# Zdroje ionizujícího záření

Neptuniová řada:  
 $\text{mod}(A,4)=1$



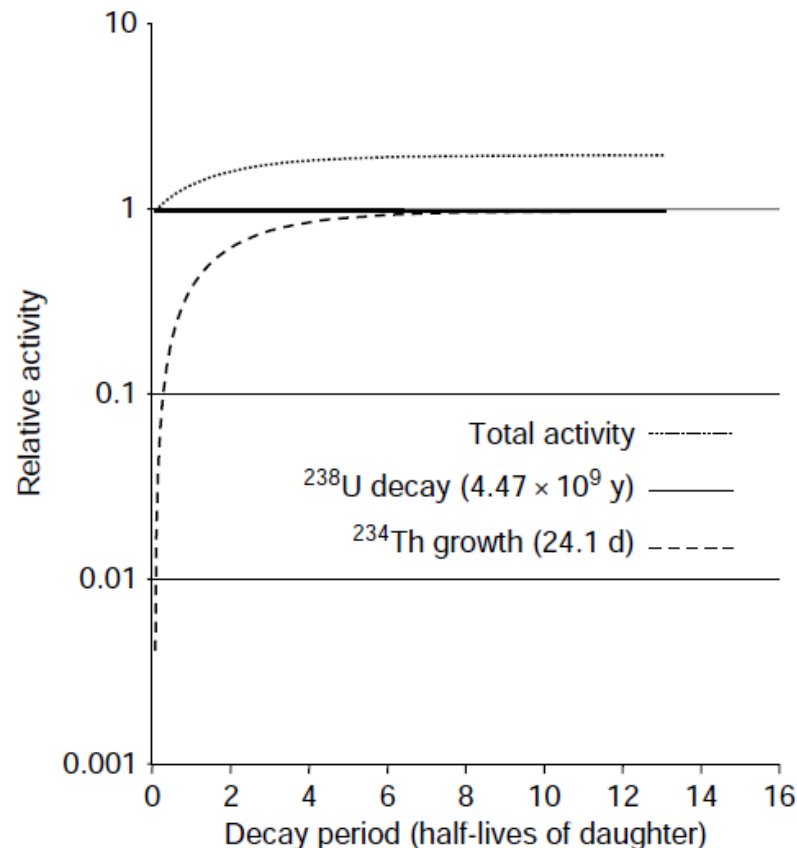


# Radioaktivní rozpadové řady

$$\begin{aligned} dN_D/dt &= \lambda_P N_P - \lambda_D N_D \\ &= \lambda_P N_{P0} \exp(-\lambda_P t) - \lambda_D N_D \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_D &= N_{P0} [\exp(-\lambda_P t) - \exp(-\lambda_D t)] \lambda_P / (\lambda_D - \lambda_P) \\ &\quad + N_{D0} \exp(-\lambda_D t) \end{aligned} \quad (1.11)$$

$$\begin{aligned} A_D &= A_{P0} [\exp(-\lambda_P t) - \exp(-\lambda_D t)] \lambda_D / (\lambda_D - \lambda_P) \\ &\quad + A_{D0} \exp(-\lambda_D t) \end{aligned} \quad (1.12)$$



**Figure 1.23** Secular equilibrium – relative activities of parent and daughter nuclides after separation where the parent half-life is much greater than that of the daughter

# Radioaktivní rozpadové řady

$$\begin{aligned} dN_D/dt &= \lambda_P N_P - \lambda_D N_D \\ &= \lambda_P N_{P0} \exp(-\lambda_P t) - \lambda_D N_D \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_D &= N_{P0} [\exp(-\lambda_P t) - \exp(-\lambda_D t)] \lambda_P / (\lambda_D - \lambda_P) \\ &\quad + N_{D0} \exp(-\lambda_D t) \end{aligned} \quad (1.11)$$

$$\begin{aligned} A_D &= A_{P0} [\exp(-\lambda_P t) - \exp(-\lambda_D t)] \lambda_D / (\lambda_D - \lambda_P) \\ &\quad + A_{D0} \exp(-\lambda_D t) \end{aligned} \quad (1.12)$$

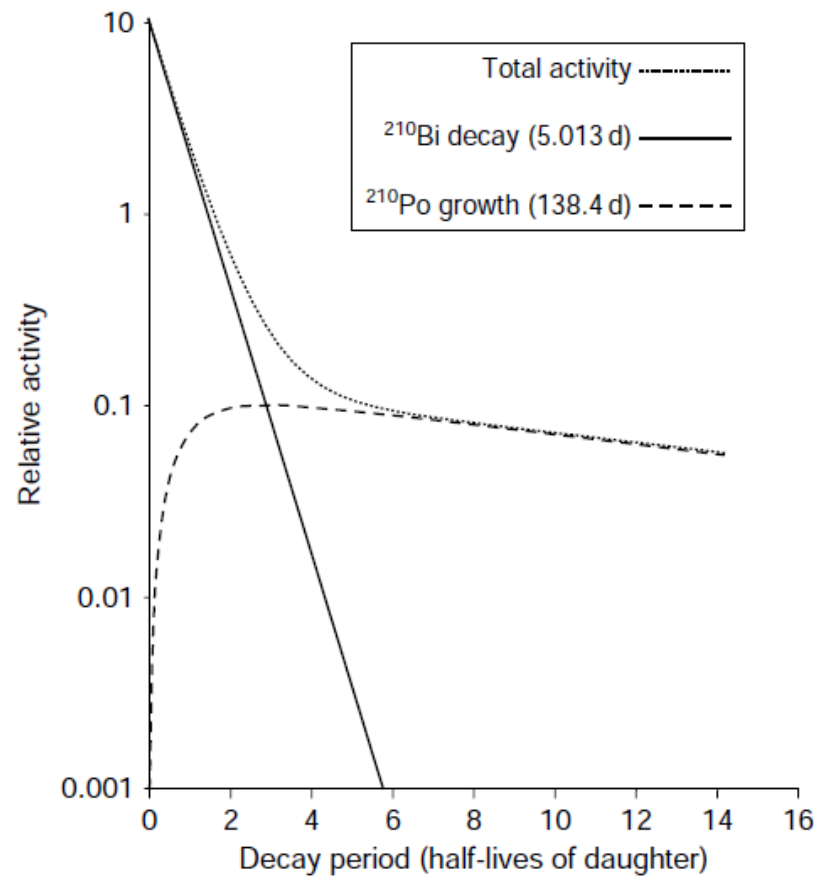


Figure 1.25 Relative activities of parent and daughter nuclides after separation where there is no equilibrium

# Zdroje ionizujícího záření

Lidská činnost může ovlivnit zastoupení rozpadových produktů primárních radionuklidů v životním prostředí:

NORM = Naturally Occurring Radioactive Material

TENORM = Technologically-Enhanced

Naturally Occurring Radioactive Material

(průmyslové – těžební – odpady – často  $^{226}\text{Ra}$ )



# Zdroje ionizujícího záření

## b) Kosmogenní radionuklidy:

- vznikají především ve vyšších vrstvách atmosféry interakcí jader (N, O, C, Ar, ...) s kosmickým zářením

$^{14}\text{C}$  poločas: 5700 let, reakce  $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + p$

$^3\text{H}$  poločas: 12,32 let, kromě reakcí s N a O i

reakce  $^6\text{Li} + n \rightarrow \alpha + ^3\text{H}$

$^7\text{Be}$  poločas: 53,22 dne, reakce s N a O



# Zdroje ionizujícího záření

## Další kosmogenní radionuklidy:

$^{10}\text{Be}$   $1,51 \times 10^6$  let,  $^{26}\text{Al}$   $7,17 \times 10^5$  let,  $^{36}\text{Cl}$   $3,01 \times 10^5$  let,  
 $^{39}\text{Ar}$  269 let,  $^{32}\text{Si}$  153 let,  $^{22}\text{Na}$  2,6 let,  $^{35}\text{S}$  87,37 d,  $^{37}\text{Ar}$  35,04 d,  
 $^{33}\text{P}$  25,35 d,  $^{32}\text{P}$  14,27 d,  $^{28}\text{Mg}$  20,92 h,  $^{24}\text{Na}$  15,0 h,  
 $^{38}\text{S}$  170 min,  $^{31}\text{Si}$  157 min,  $^{18}\text{F}$  110 min,  $^{39}\text{Cl}$  56,2 min,  
 $^{38}\text{Cl}$  37,2 min,  $^{34\text{m}}\text{Cl}$  32,0 min



# Zdroje ionizujícího záření

## c) Antropogenní radionuklidy:

- vznikají díky lidské činnosti (jaderné zkoušky v atmosféře, jaderné havárie)

- většinou malá množství

$^3\text{H}$  poločas: 12,3 let, jaderné zkoušky, reaktory,  
výroba jader. zbraní

$^{131}\text{I}$  poločas: 8,04 d, jaderné zkoušky, reaktory,  
terapie štítné žlázy



# Zdroje ionizujícího záření

## c) Antropogenní radionuklidy:

$^{129}\text{I}$  poločas:  $1,57 \times 10^7$  let, jaderné zkoušky, reaktory

$^{137}\text{Cs}$  poločas: 30,17 let, jaderné zkoušky, reaktory

$^{90}\text{Sr}$  poločas: 28,78 let, jaderné zkoušky, reaktory

$^{99}\text{Tc}$  poločas:  $2,11 \times 10^5$  let, rozpadový produkt  $^{99}\text{Mo}$

(lékařská diagnostika)

$^{239}\text{Pu}$  poločas:  $2,41 \times 10^4$  let, reaktory – produkt n +  $^{238}\text{U}$



# Nová jaderná legislativa

Atomový zákon č. 263/2016Sb.

→ prováděcí předpisy (vyhlášky)

Vyhláška č. 422/2016Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

→ doporučení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB)

Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů

- ve stavebních materiálech, - v pitné a balené vodě, ...





# Radiační ochrana

**Ionizující záření:** vytváří ionty, přenáší energii

- jsou to částice nebo elektromagnetické vlnění  
(vlnové délky do 100 nm, resp. nad  $3 \times 10^{15}$  Hz)

**Radiační ochrana:** soubor technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí (AZ § 2)



# Ozáření osob

Přírodní pozadí v ČR: 2,5 – 3 mSv/rok

Extrémy:

Guapari (Brazílie) 175 mSv/rok, Ramsar (Írán) 400 mSv/rok

Rtg zubů 0,005 mSv, lékařské vyšetření 0,01 – 10 mSv

Radon v domech: 10 – 1000 mSv/rok

Směrné hodnoty: radon ve stavbě 400 Bq/m<sup>3</sup> ~ 10 mSv/rok,  
stavební materiály 0,3 mSv/rok



# Principy radiační ochrany

**Zdůvodnění** (ochrana osob + využití výhod IZ)

**Optimalizace** (omezit na přijatelnou míru stochastické účinky záření) – princip ALARA (as low as reasonably achievable)

**Limitování** (zamezení deterministických účinků záření, minimalizace stochastických účinků)

**Zabezpečení zdrojů**

Ozáření (profesní, lékařské, havarijní)

Expoziční situace (plánovaná, existující, nehodová)



# Regulace ozáření z přírodních zdrojů

**Plánovaná expoziční situace** (záměrné využívání zdrojů IZ)

**Existující expoziční situace** (např. radon ve vodě, stav. Materiálech)

**Nehodová expoziční situace** (při plánované expoziční situaci neb svévolným činem)

Nereguluje se expoziční situace ozáření z minerálních vod, pitné vody pro individuální použití a přírodního pozadí



# Přehled limitů

Kategorie	ef. dávka (zevní ozáření) + úvazek ef. dávky (vnitřní ozáření)	ekvivalentní dávka v oční čočce	ekvivalentní dávka/ 1 cm <sup>2</sup> kůže	ekvivalentní dávka po předloktí a po kotníky
Obyvatelstvo + žáci < 16 let	1 mSv/rok	15 mSv/rok	50 mSv/rok	nedefinován
Žáci a studenti 16 – 18 let	6 mSv/rok	15 mSv/rok	150 mSv/rok	150 mSv/rok
Radiační pracovníci + studenti > 18 let	20 mSv/rok  SÚJB může zvýšit max. 50 mSv/rok (max. 100 mSv/5 let)	100 mSv/5 let + 50 mSv/rok	500 mSv/rok	500 mSv/rok



# Povolení SÚJB v oblasti přírodních zdrojů

## Služby významné z hlediska radiační ochrany:

Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě

Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu

Měření a hodnocení ozáření ve stavbě

Stanovení radonového indexu pozemku

Stanovování osobních dávek na pracovištích s radonem a NORM

Měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště NORM

## Další povolení:

pracoviště NORM, uvádění stavebního materiálu na trh ( $> 1$  mSv/rok)



# Měření obsahu přírodních radionuklidů ve vodě

Pitná voda pro veřejnou potřebu, balená voda, voda z podzemního zdroje nebo směs z podzemního a povrchového zdroje

Atomový zákon se nevztahuje na minerální vodu a vodu z individuálního zdroje (studna)  
hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě

Nejvyšší přípustná hodnota objemové aktivity radonu: 300 Bq/l

Vyšetřovací úrovně: objemová aktivita alfa 0,2 Bq/l

objemová aktivita beta bez  $^{40}\text{K}$  0,5 Bq/l

Základní rozbor: objemová aktivita radonu, alfa a beta

Při překročení vyšetřovací úrovně se provádí doplňující rozbor (uran, izotopy radonu,  $^{40}\text{K}$ , další radionuklidy)



# Měření obsahu přírodních radionuklidů ve staveb. mat.

## pouze stavební materiál pro obytné a pobytové místnosti

Atomový zákon se nevztahuje na distributory stavebního materiálu vyrobeného v jiných zemích EU!

Stavební materiál je taxativně vyjmenován v příloze č. 28 vyhlášky č. 422/2016Sb.

Referenční úroveň: 1 mSv/rok

Měří se index hmotnostní aktivity:

$$I = a_{40K} [\text{Bq/kg}] / 3000 + a_{226\text{Ra}} [\text{Bq/kg}] / 300 + a_{228\text{Th}} [\text{Bq/kg}] / 200$$

$I > 1 \rightarrow$  počítá se efektivní dávka, porovná se s referenční úrovní

Při překročení referenční úrovně nutné povolení SÚJB k uvádění na trh.





## Seznam použité literatury:

- [1] A. Atwood, Radionuclides in the Environment, Wiley & Sons, 2010
- [2] G. R. Gilmore, Practical gamma-ray spectrometry, Wiley & Sons, 2008
- [3] <http://www.sujb.cz/legislativa/>
- [4] <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/DR-RO-5-1-Rev-0-0.pdf>
- [5] <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/DR-RO-5-2-Rev-0-0.pdf>