

# Radon:

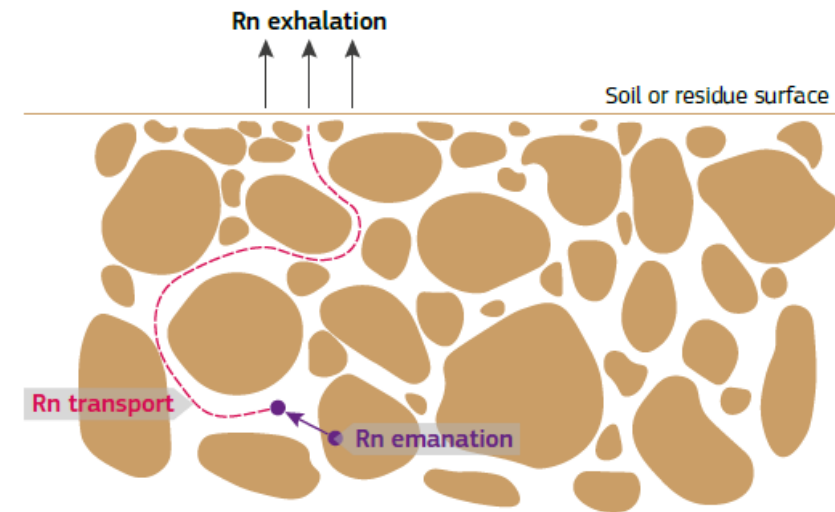
*geneze, migrace, a měření*

Ing. Eliška Fialová

5.4.2023

# Úvod – obecně o radonu

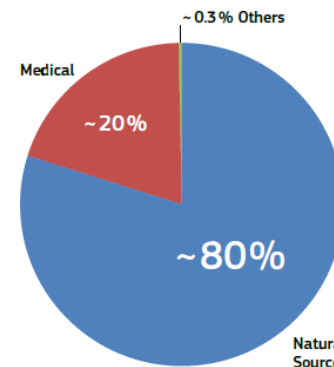
- Radon je nejtěžší **přírozně** se vyskytující vzácný plyn bez chuti a zápachu
- Vzniká jako produkt radioaktivního rozpadu radia
- Je radioaktivní (39 izotopů Rn, ale žádný stabilní) → rozpad přeměnou alfa na jiný radionuklid
- Chemické sloučeniny tvoří jen vzácně, jsou nestálé a mimořádně oxidativní
- Dobře rozpustný ve vodě a v nepolárních org. rozpouštědlech



*European Atlas of Natural Radiation, 2019*

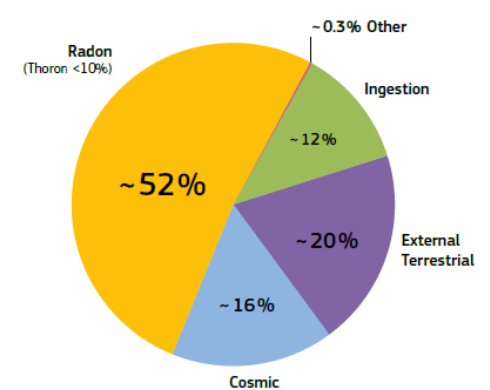
Contributions to Public Exposure

TOT: 3mSv/a



Public exposure to natural radiation

TOT: 2.4mSv/a



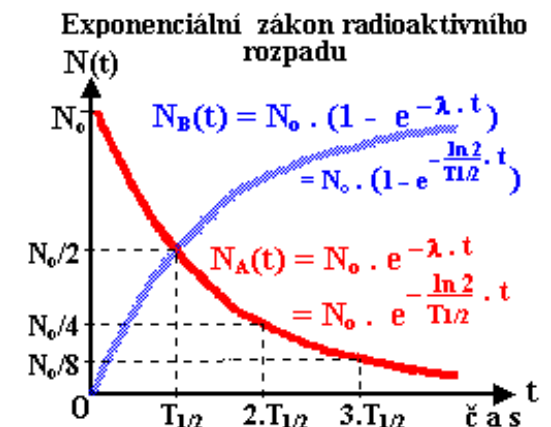
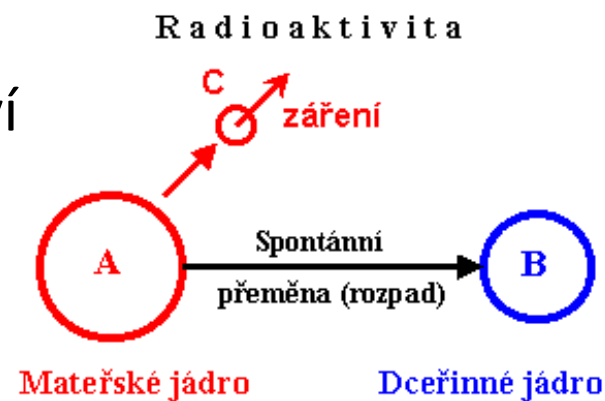
*UNSCEAR, 2008*

# Radioaktivita

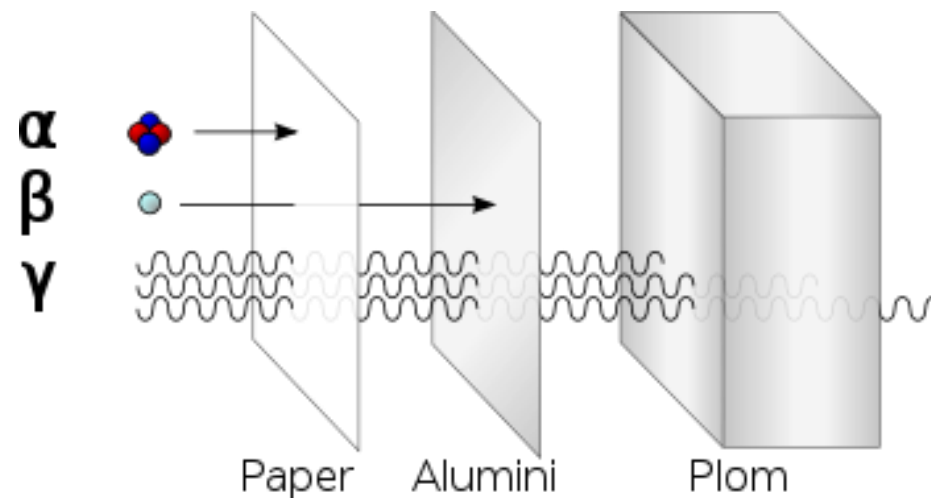
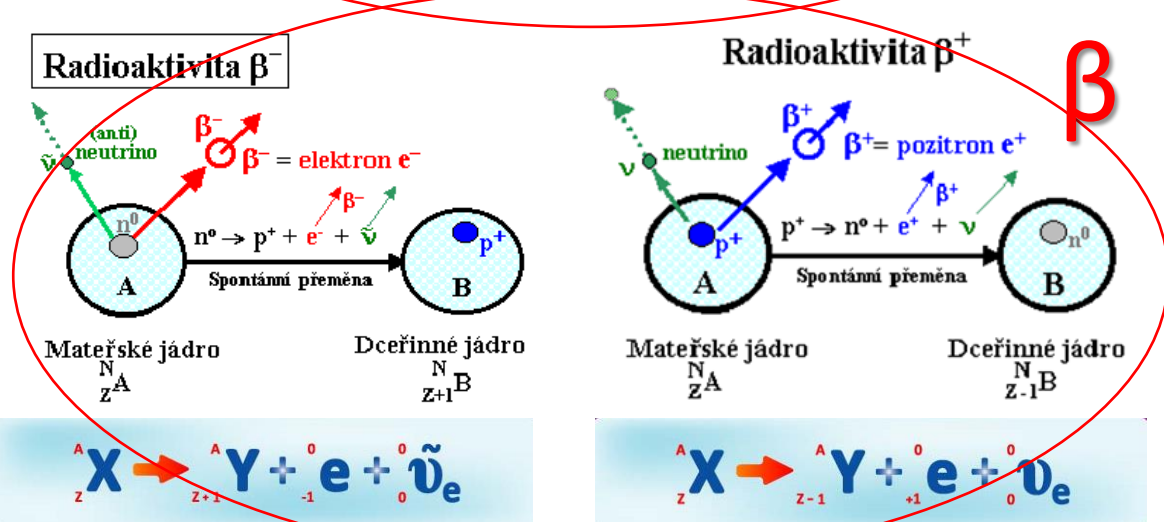
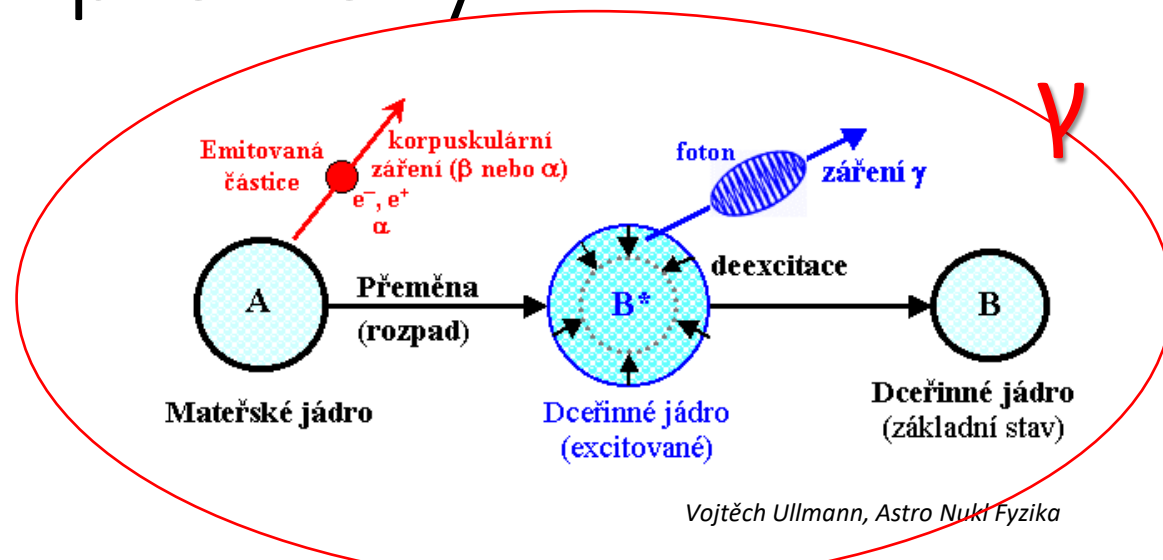
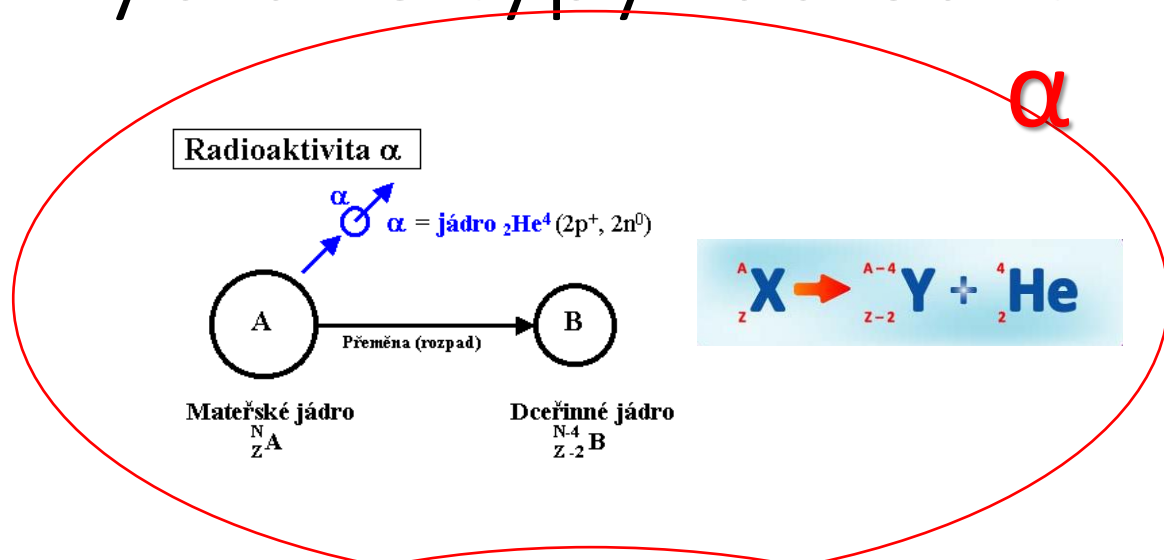
- Radioaktivita je výsledkem složitých přeměn v atomových jádrech radionuklidů, při kterých se méně stabilní mateřský nuklid mění na stabilnější dceřiný nuklid s optimálním poměrem počtu neutronů a protonů v jádře.
- Radioaktivní přeměna se řídí zákony statistiky. Libovolný atom daného radionuklidu má stejnou pravděpodobnost, že se v určitém časovém intervalu přemění. Tato pravděpodobnost nezávisí ani na fyzikálních ani na chemických podmínkách, za kterých k přeměně dochází, je dána výhradně vlastnostmi daného jádra.

**Poločas přeměny  $T_{1/2}$**  = čas, za který se přemění polovina počátečního množství radionuklidu

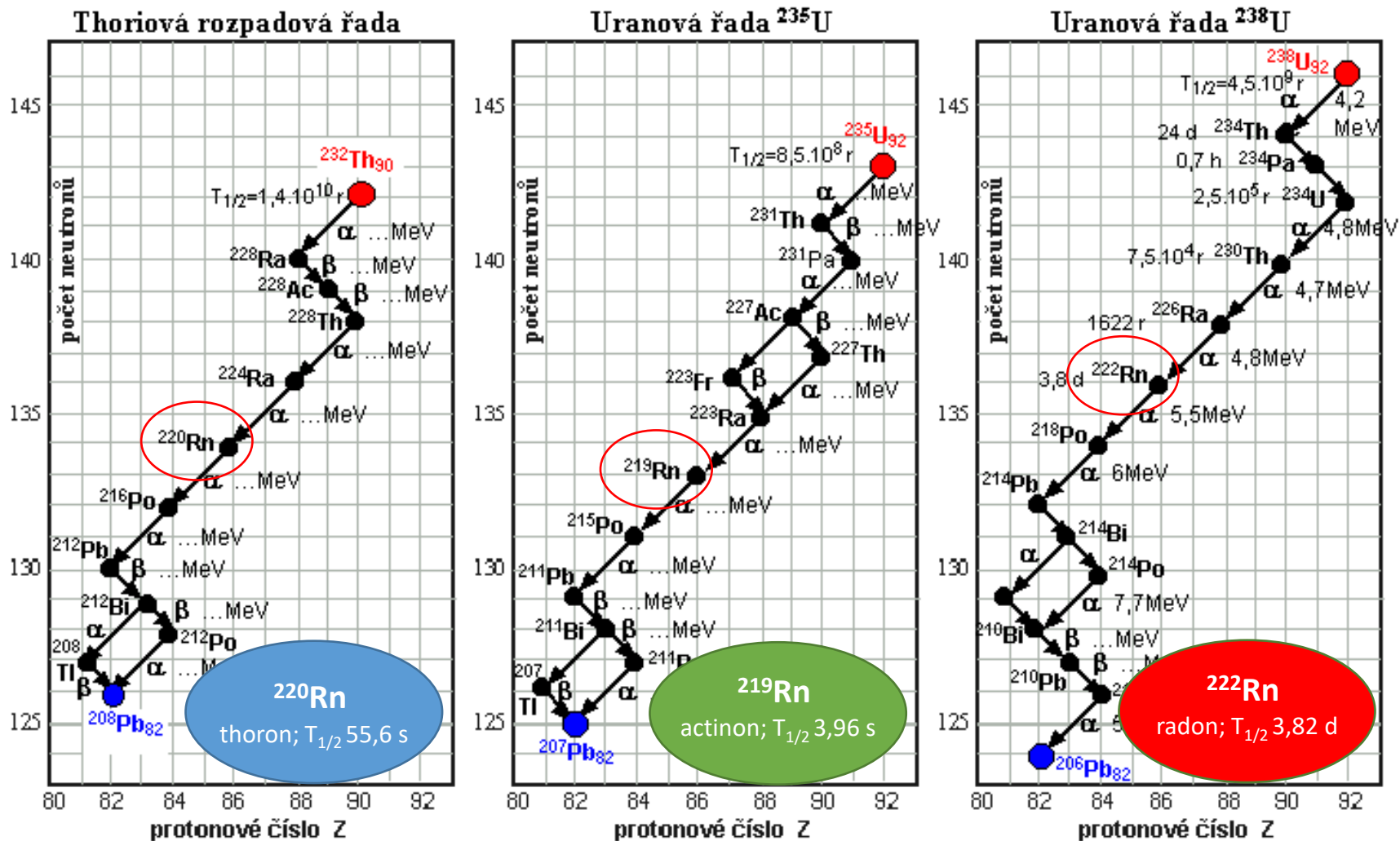
**Aktivita** = množství radionuklidu přeměněných za jednotku času.  
Jednotkou je  $s^{-1}$  nazvaná becquerel (Bq)



# Vybrané typy radioaktivní přeměny

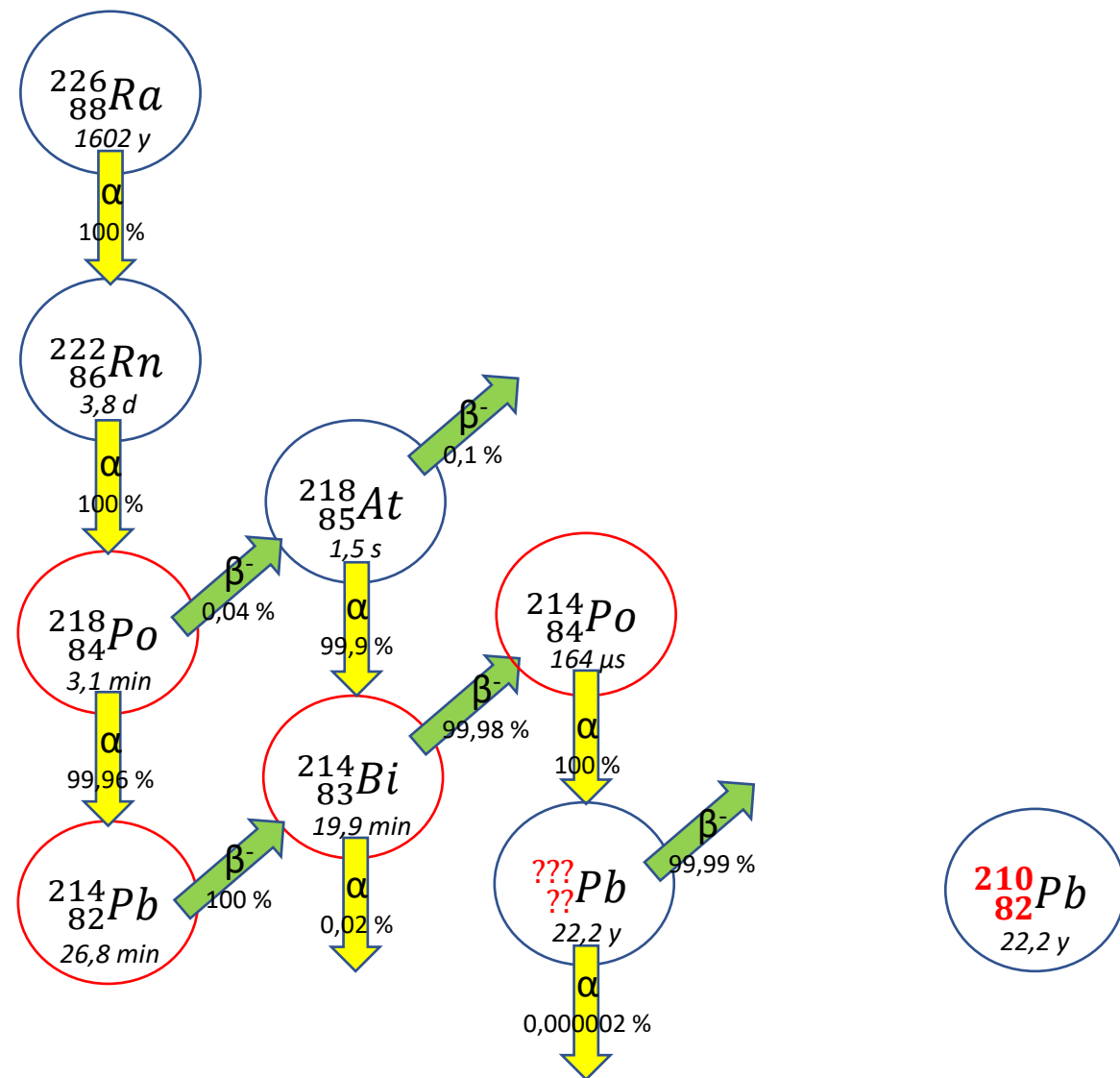
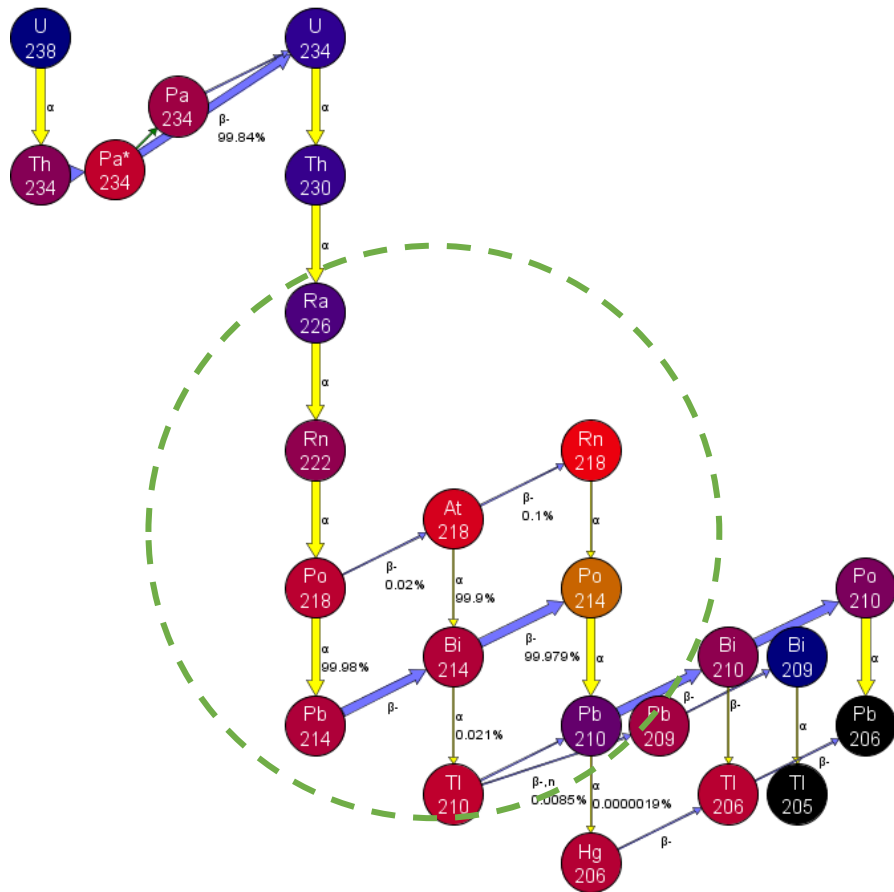


# Původ (geneze) radonu – rozpadové řady

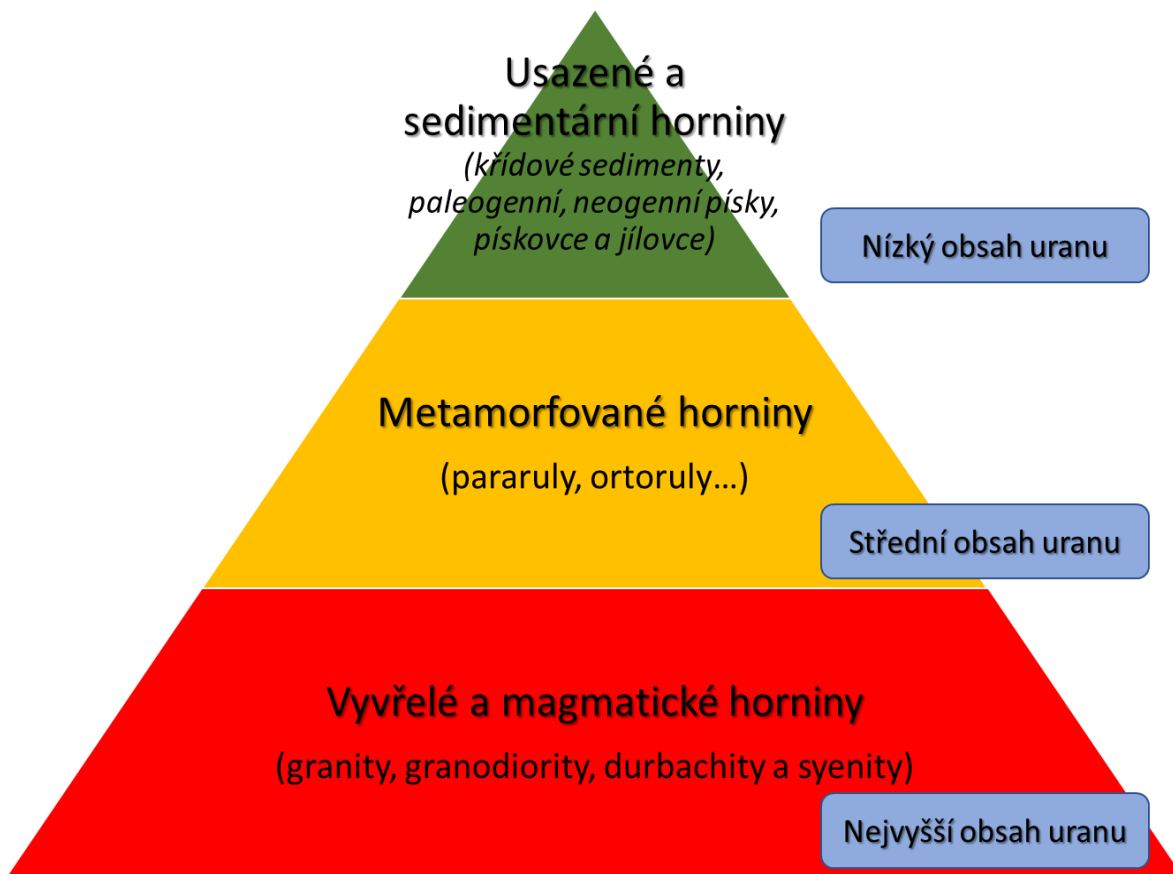


# Příklad radioaktivních rozpadů - RnDP

ENDF/B-VIII.0 U238 decay path



# Zdrojové horniny



horninový typ	průměrná hodnota (kBq/m <sup>3</sup> )	převažující radonové riziko		
		nízké	střední	vysoké
<i>silurské černé břidlice a sedimenty</i>	91,9			
<i>durbachity a syenity</i>	77,6			
<i>granity</i>	50,7			
<i>permské sedimenty</i>	41,3			
<i>ortoruly</i>	32,8			
<i>pararuly</i>	30,8			
<i>granodiority</i>	30,3			
<i>proterozoické metasedimenty</i>	27,1			
<i>karbonské sedimenty</i>	26,1			
<i>aluvia</i>	26,1			
<i>neogenní sedimenty</i>	23,7			
<i>devonské sedimenty</i>	23,7			
<i>říční sedimenty</i>	20,4			
<i>paleogenní sedimenty</i>	18,5			
<i>ordovické sedimenty</i>	18,3			

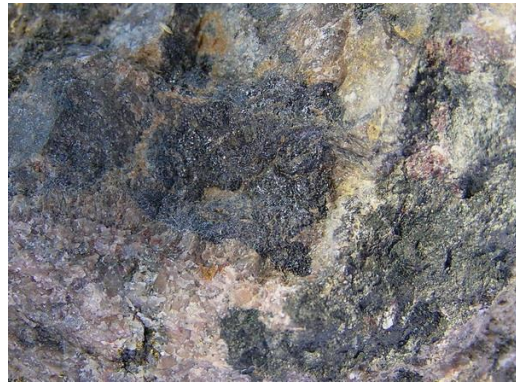
Vyšší obsah uranu!

# Zdrojové minerály

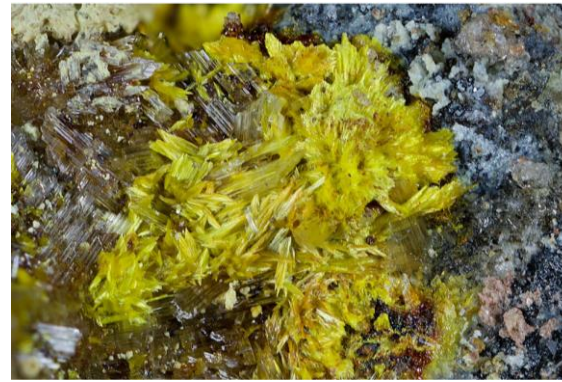
- **Minerály s obsahem uranu** - unikátní skupina nerostů, jejichž charakteristickou vlastností je přirozená radioaktivita. Většina z nich upoutá svým vzhledem a pestrostí barev.
- **Česká republika** - mineralogicky nejbohatší revír: Jáchymov; největší uranový revír: Příbram



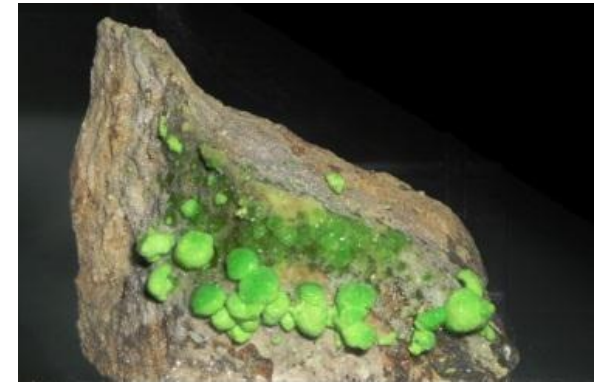
**Uraninit (smolinec)** – Jáchymov  
<https://wikipedia.org>



**Coffinit** – Rožná, důl Jasan  
<https://geologie.vsb.cz>



**Zippeit (Dauberit)** – Jáchymov  
<https://mindat.org>



**Johannit** – Jáchymov  
<https://geopark.cz>

**Larisait** (Utah, USA); **Torbenit** (USA, Kongo, GB, ČR, Německo); **Autunit** (USA); **Abernathyit** (Francie, Německo, USA)



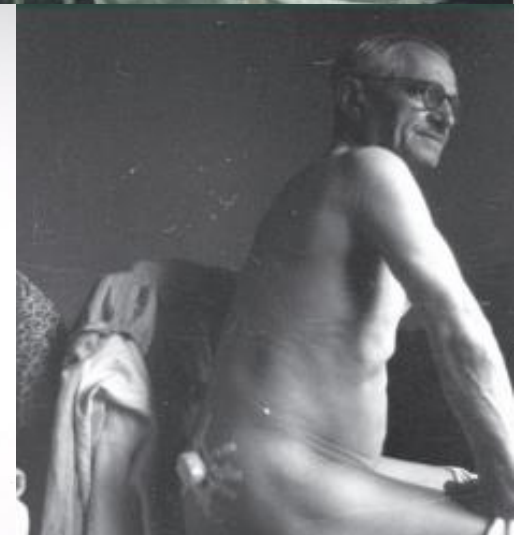
# Zdravotní riziko Rn – trochu historie

- ½ 19.století – těžba U v Jáchymově („smolný“ kámen)
- 1855 – Adolf Patera – metoda průmyslové výroby U barev
- 1871 – Největší továrna na U sklo světě
- 1895 – W.C.Roentgen – záření X
- 1896 – H. Becquerel – objevení radioaktivity
- 1898 – P.Curie a M.Sklodovská – separace radia z jáchymovského smolince

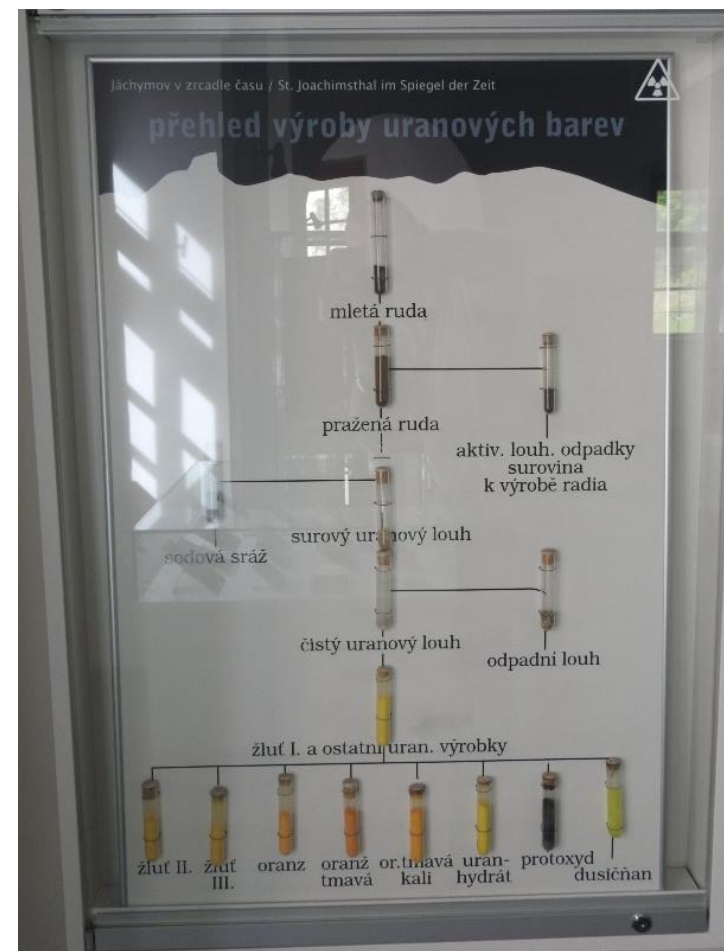
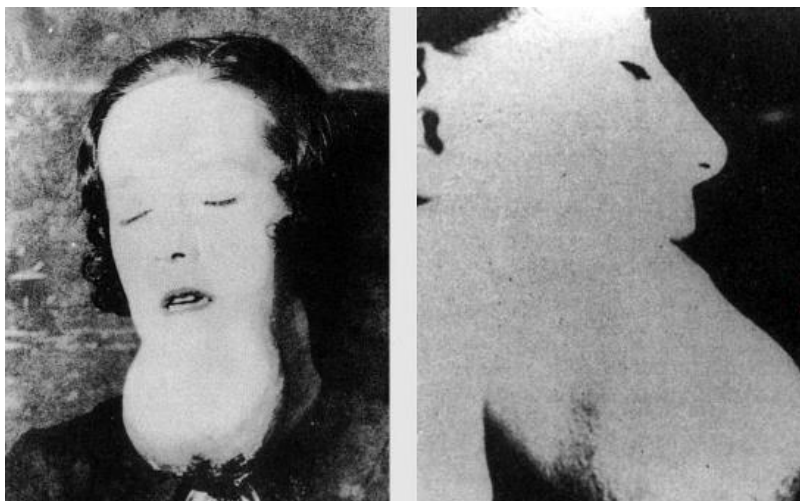


# Zdravotní riziko Rn – trocha historie

- Ra laboratoř → rádiová horečka
- Naděje na úspěšnou léčbu rakoviny
- 1900 – objevení radonu Friedrichem Ernestem Dornem při zkoumání radioaktivního rozpadu radia a byl pojmenován jako rádiová emanace.
- 1906 - Lázně Jáchymov (1911 Agricola)
- Příměsí Ra do piva, chleba, mýdel, kosmetiky, hnojiv, obvazů, mastí, pracích prostředků...
- Kapesní Jáchymov
- 1910 – specializovaný institut ve Vídni
- 1919 Státní radiologický ústav v Praze
- Rádiové barvy – „rádiové dívky“

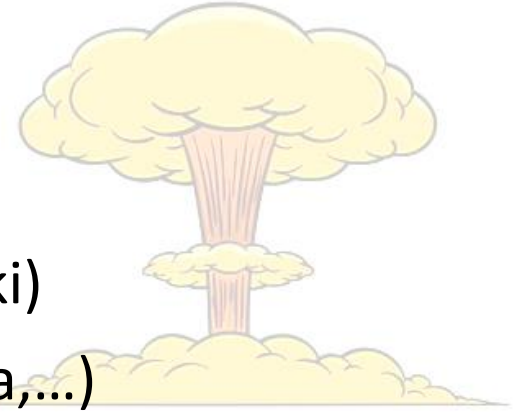


# Zdravotní riziko Rn – trochu historie



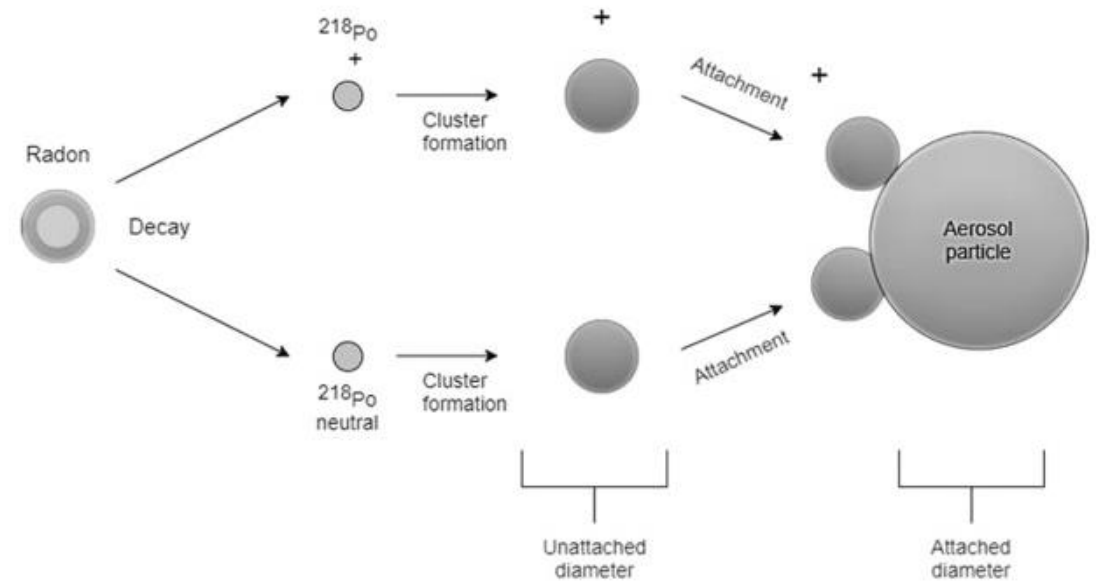
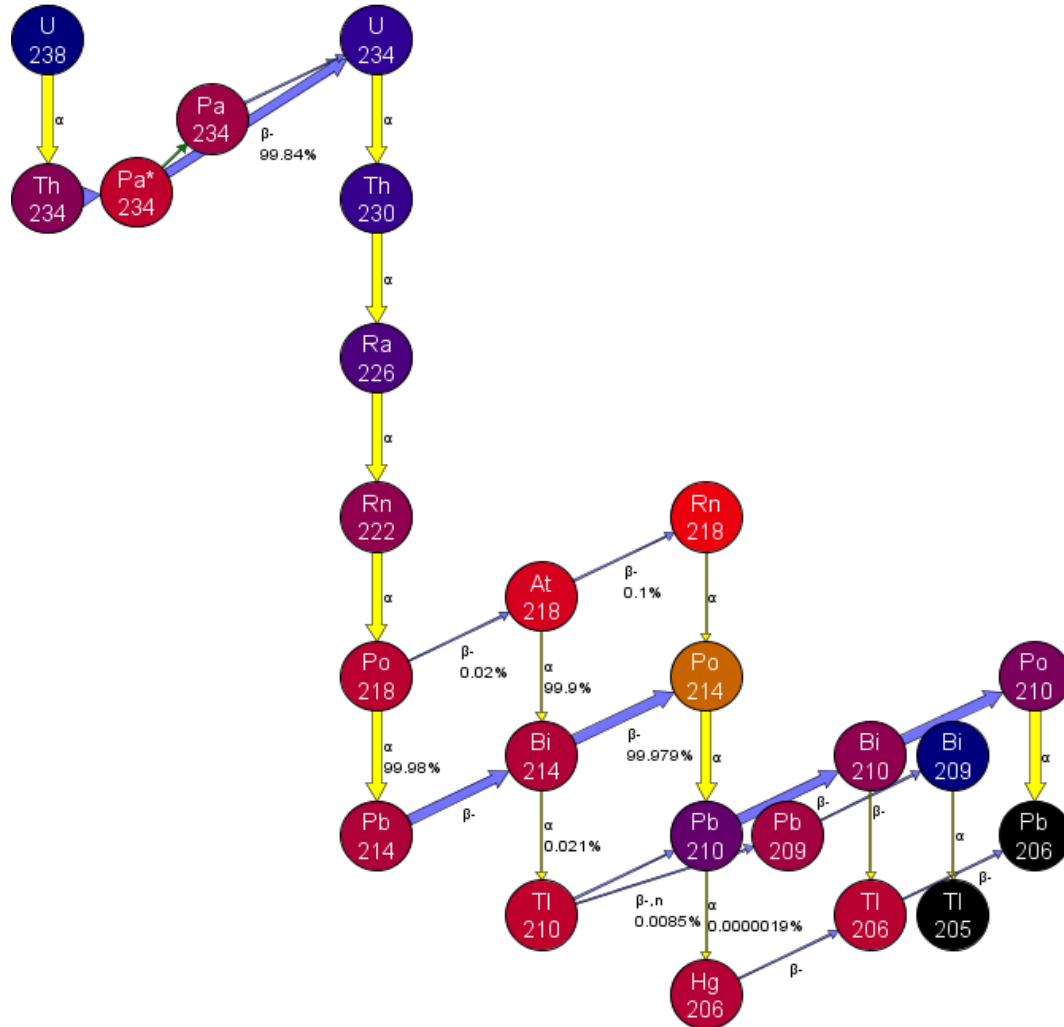
# Zdroje informací o rizicích IZ

- ❑ Studie přeživších atomové bombardování (Hirošima, Nagasaki)
- ❑ Studie a poznatky o následcích havárií JE (Černobyl, Fukušima,...)
- ❑ Dermatitidy radiologů (1. zdokumentovaný případ)
- ❑ Studie pacientů léčených zářením (radioterapie)
- ❑ Mimořádné události, radiologické události
  - ❑ u profesního ozáření (RP)
  - ❑ u lékařského ozáření (pacienti)
- ❑ Horníci uranových dolů (epidemiologické studie)

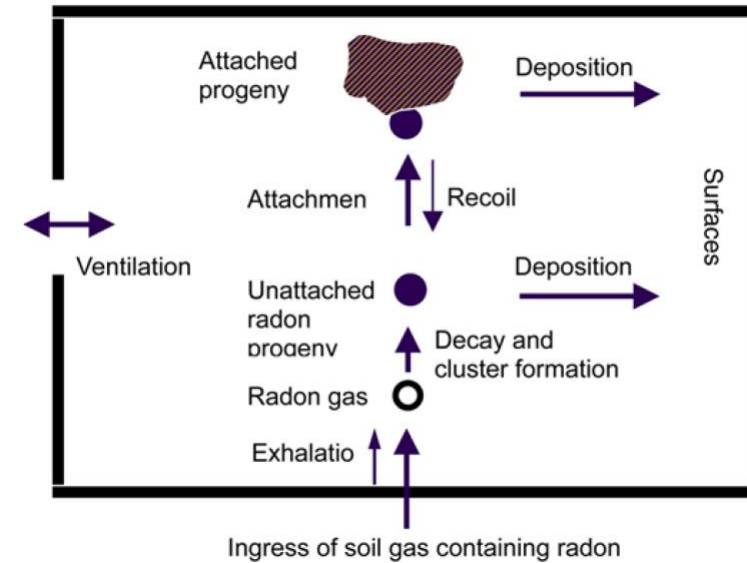


# Zdravotní riziko Rn

ENDF/B-VIII.0 U238 decay path



Postendörfer, 1994



# Zdravotní riziko Rn

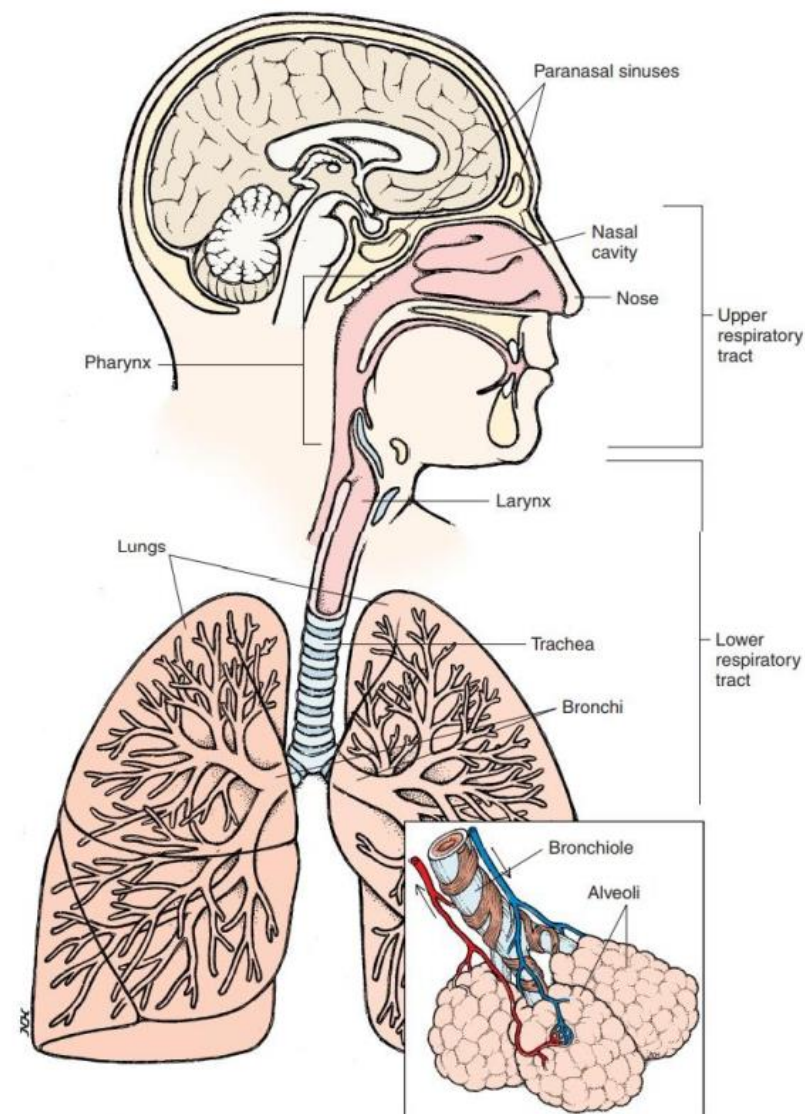
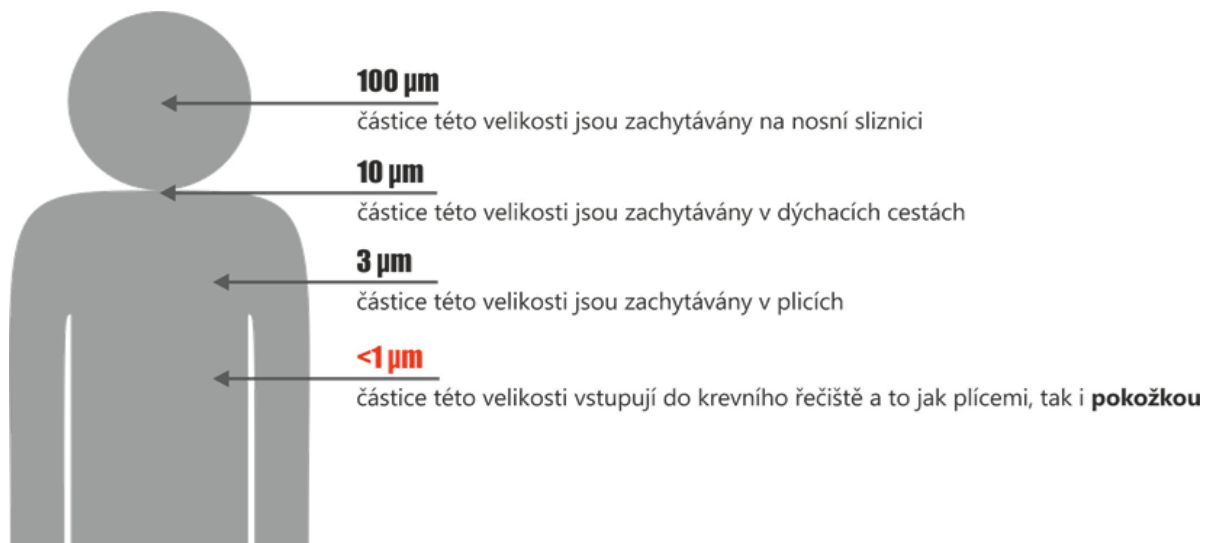
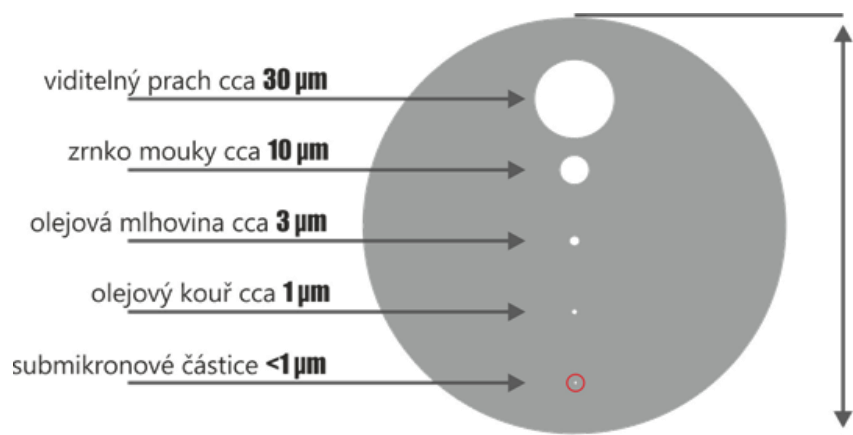
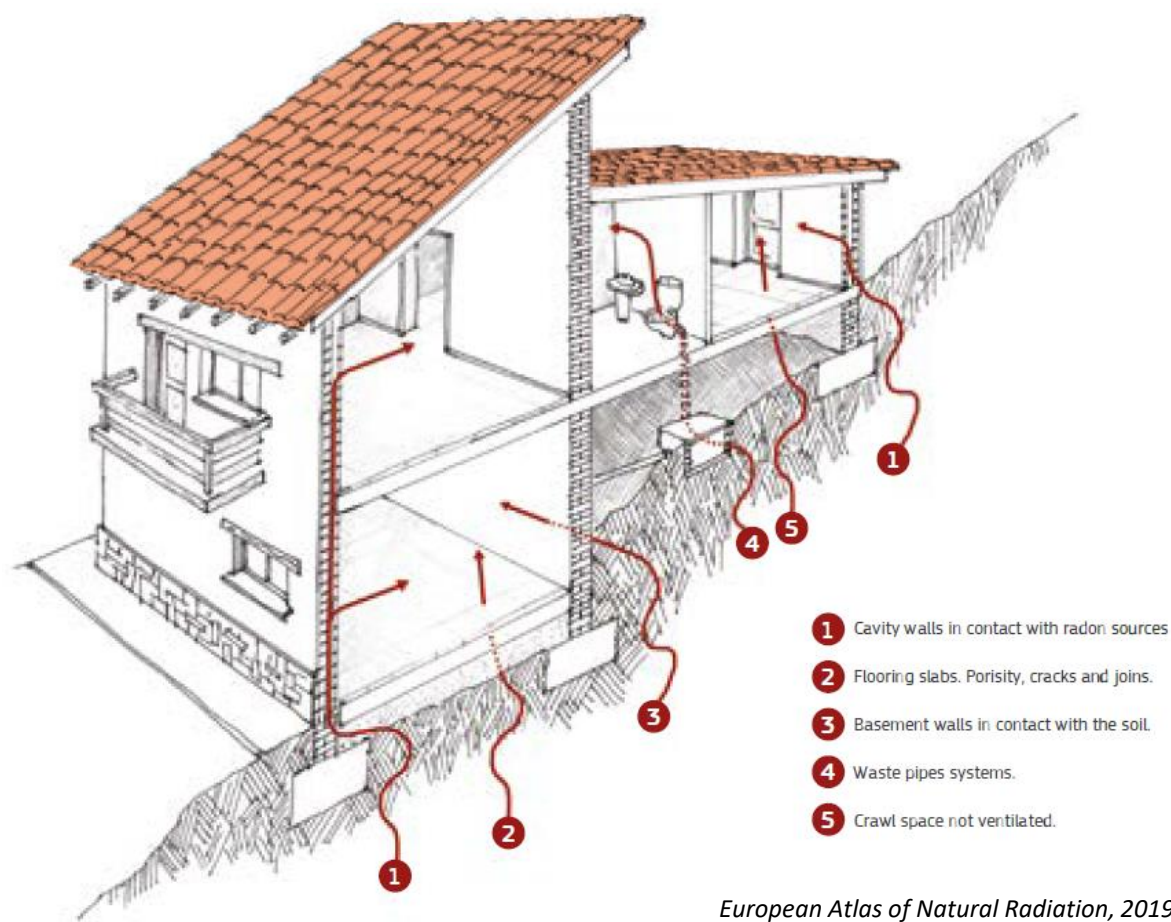


FIGURE The Structures of the Respiratory System (Anterior View)

# Pronikání Rn do staveb



*European Atlas of Natural Radiation, 2019*

- Průnik z podloží – nedostatečná izolace, netěsnosti, praskliny, potrubí...
- Stavební materiál
- Voda
- Způsob vytápění - podlahové topení...
- Léto x topná sezóna

# Měření radonu

- **Legislativa ČR** – 263/2016 Sb. Atomový zákon, vyhl. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
- **Radonový program ČR** [www.radonovyprogram.cz](http://www.radonovyprogram.cz)
- **SÚJB**
  - ✓ ústřední orgán zabezpečující výkon státní správy, včetně kontroly v oblasti zajišťování jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, monitorování radiační situace, zvládání radiační mimořádné události, zabezpečení a nešíření jaderných zbraní.
  - ✓ Povoluje činnosti, schvaluje dokumentaci, kontroluje výkon činností...
- **Měření Rn** = činnosti zvláště důležité z hlediska RO dle AZ
  - Vzdělání → kurz RO → ZOZ → Povolení k činnosti → měření (dle platného Doporučení SÚJB!) → refresh kurz, srovnávací měření, kontroly SÚJB
- **Metrologie** (ověření schválených měřidel)



# Měření radonu (OAR)

RIP

Stavby

Pitná voda

Pracoviště  
(NORM, Rn)

Osobní  
dozimetrie

- Běžně měřitelné koncentrace  $^{222}\text{Rn}$  (OAR)
  - Půda – desítky až stovky  $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$
  - Podzemní prostory – stovky až tisíce  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$
  - Voda – desítky až stovky  $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$
  - Obytné místnosti – desítky až stovky  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$
  - Venkovní atmosféra – jednotky až desítky  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$
- Referenční úrovně  $^{222}\text{Rn}$  dle vyhl. 422/2016 Sb.
  - Půda – nízký – střední – vysoký RIP
  - Voda – 100  $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$
  - Obytné místnosti – 300  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$
  - Pracoviště (NORM, Rn) – 300  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$
- Typy přístrojů (kontinuální, integrální, okamžité hodnoty, osobní dozimetry)
  - **Kontinuální metody** – měříme průběžně, máme periodicky v čase řadu výsledků (AlphaGUARD, Radim 3A, RadEye...)
  - **Pasivní (integrální) metody** – měříme pořád, máme jeden průměrný výsledek (elektretové systémy, stopové detektory...)
  - **Okamžité odběry** – měříme jednotlivé vzorky vzdušiny ihned po odběru (Lukasova komora/ionizační komora) – jeden výsledek

# Typy přístrojů na měření OAR



Kontinuální monitory



Integrální měření



Měření okamžitých hodnot

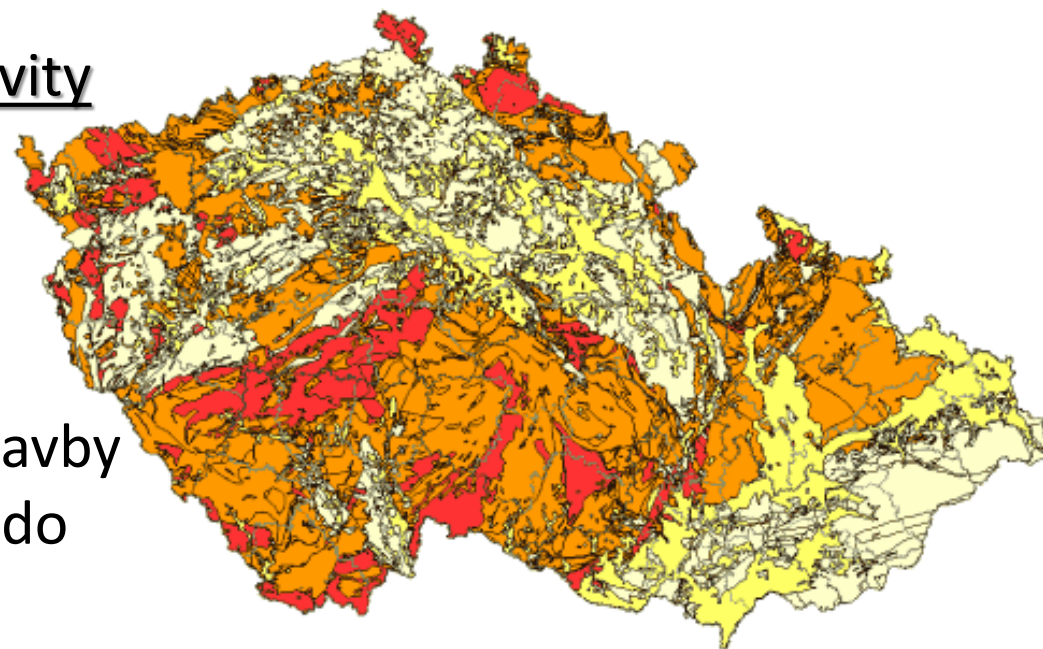


Osobní dozimetry



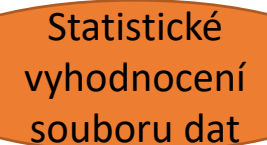
# Stanovení Radonového Indexu Pozemku (RIP)

- Radonový index pozemku vyjadřuje obecně radonový potenciál daného pozemku pro stavbu objektu.
- Stanovování RIP vychází z měření objemové aktivity radonu z půdního vzduchu ( $c_A$ ) a posouzení plynopropustnosti základových půd.
- Obecně:  $\uparrow \text{OAR} + \uparrow \text{plynopropustnost} = \uparrow \text{RIP}$
- RIP vyjadřuje míru potřebné stavební ochrany stavby proti pronikání radonu z geologického prostředí do objektu.
- Atomový zákon, vyhláška č. 422/2016 Sb., povolení SÚJB, Doporučení SÚJB, metrologie



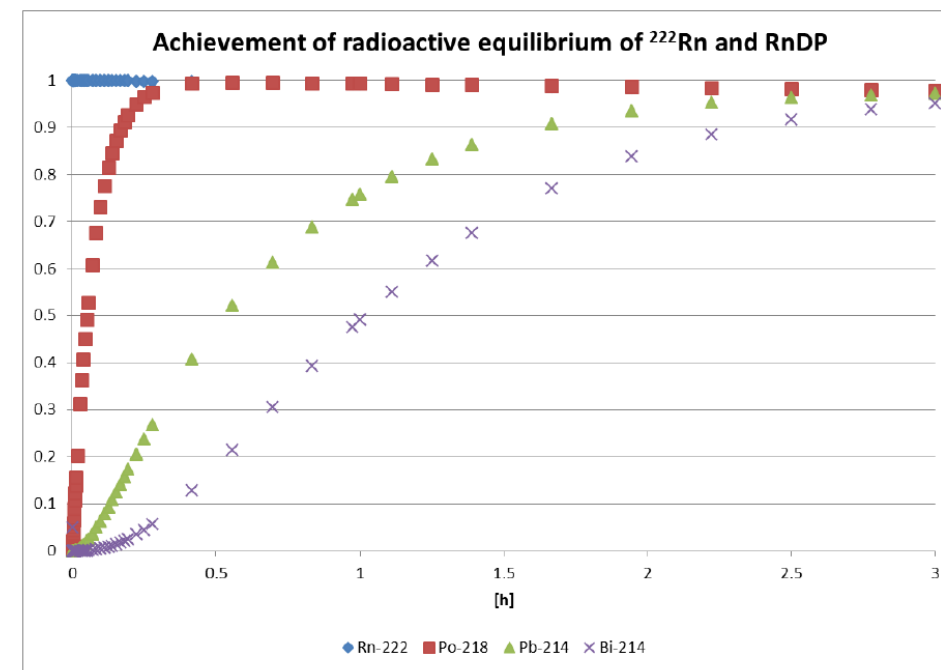
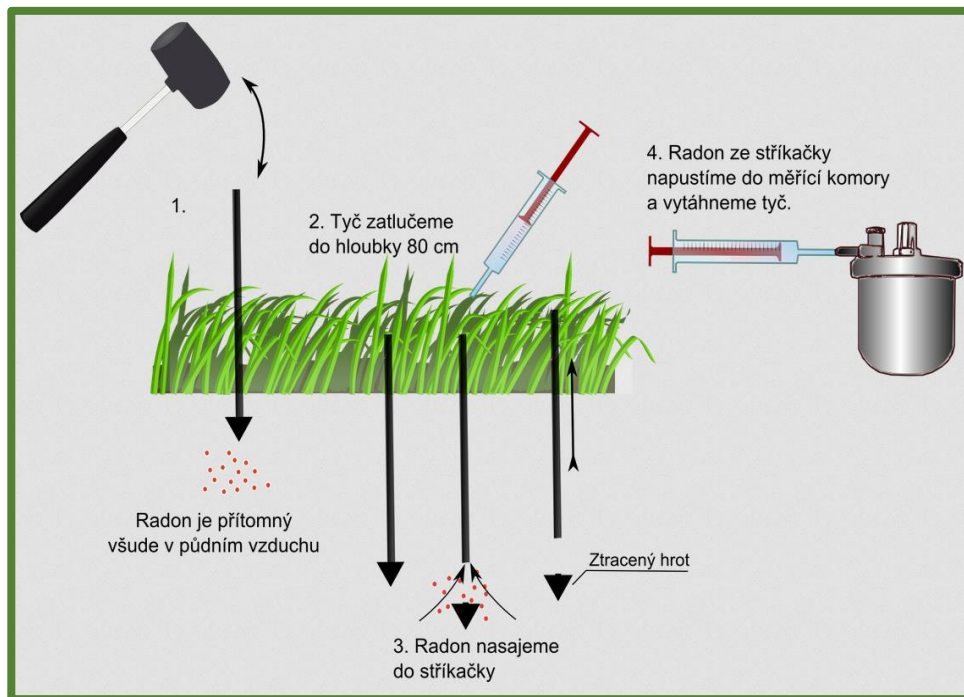
# Metodika stanovení RIP

- Měření OAR v půdním vzduchu  $c_A$  [kBq/m<sup>3</sup>]
  - Jednorázové odběry vzorku půdního vzduchu a okamžitá měření (alternativy: kontinuální čerpání půdního vzduchu, integrální měření) – detekce záření alfa pomocí ionizačních/scintilačních komor
  - Kontrola pozadí komor
  - 15 bodů v budoucí zastavěné ploše a nejbližším okolí
  - Hloubka 0,8 m pod povrchem terénu (metoda ztracených hrotů)
  - Pro posudek nezbytné statistické parametry: třetí kvartil  $c_{A75}$ , minimum, maximum, aritmetický průměr, medián.
  - Vyloučení vlivu thoronu (časová prodleva mezi odběrem a počátkem měření)
- Plynopropustnost zemin  $k$  [m<sup>2</sup>]



Statistické  
vyhodnocení  
souboru dat

# OAR v půdním vzduchu – okamžité odběry



# Plynopropustnost – měření vs. odborný odhad

**Plynopropustnost** – Reprezentativní parametr charakterizující možnost šíření radonu (a jiných plynů) v zeminách.

**Měření pomocí RADON-JOK** - Příklad je určen k měření plynopropustnosti zemin a hornin in situ (tzv. "efektivní plynopropustnost pro radon"). Plynopropustnost se vyhodnocuje na základě průtoku vzduchu vysávaného z definovaného povrchu zeminy v určité hloubce. Vstupní veličiny k okamžitému stanovení „k“ = objem vzduchu vysátý ze zeminy (lze přesně odvodit z velikosti roztažení vaku) a čas, za který k tomu došlo.



**Odborný odhad** = posouzení plynopropustnosti zemin na základě odborné zkušenosti a znalosti.

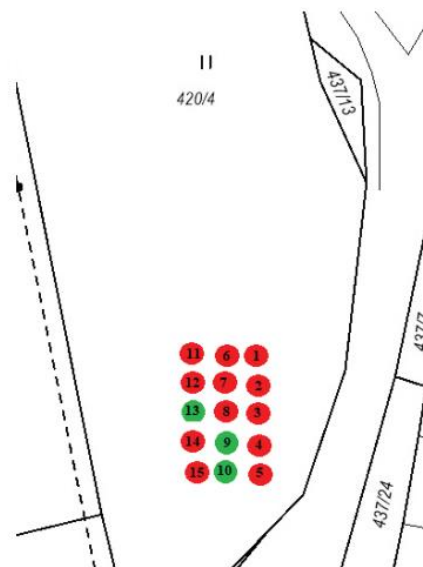
- Je založeno na popisu zemin ve vertikálním profilu do hloubky 1,0 m na základě sond do zeminy.
- Popisované parametry: zrnitost zemin, barva zemin, mocnost jednotlivých horizontů, případně zvláštní znaky (např. antropogenní navážka).
- Dále se provádí: makroskopický popis vzorků, včetně klasifikace plynopropustnosti (N-S-V) = odhad obsahu jemné frakce v zeminách; subjektivní hodnocení odporu sání při každém odběru vzorku půdního vzduchu.



# Vyhodnocení výsledků, stanovení RIP

Číslo sondy	hl. sondy [cm]	av.Rn [kBq/m <sup>3</sup> ]	plynpropustnost		čas [s]	objem [ml]
			k (m <sup>2</sup> )	kategorie		
1	80	283,4	1,32E-11	střední	10	95
2	80	118,7	5,44E-12	střední	22	80
3	80	227,0	1,32E-11	střední	10	125
4	80	187,1	1,69E-11	střední	8	130
5	80	127,8	1,69E-11	střední	8	130
6	80	136,3	1,28E-12	střední	80	130
7	80	151,9	1,07E-11	střední	12	125
8	80	114,5	9,88E-12	střední	13	110
9	80	48,4	8,78E-13	střední	112	110
10	80	73,2	5,20E-14	nízká	nek	130
11	80	86,6	2,27E-12	střední	48	115
12	80	148,4	1,32E-11	střední	10	130
13	80	43,2	1,84E-12	střední	58	120
14	80	132,1	4,94E-12	střední	24	110
15	80	80,4	3,13E-12	střední	36	125

RIP	OAR v půdním vzduchu (kBq/m <sup>3</sup> )		
<b>NÍZKÝ</b>	$c_A < 30$	$c_A < 20$	$c_A < 10$
<b>STŘEDNÍ</b>	$30 \leq c_A < 100$	$20 \leq c_A < 70$	$10 \leq c_A < 30$
<b>VYSOKÝ</b>	$c_A \geq 100$	$c_A \geq 70$	$c_A \geq 30$
	<b>NÍZKÁ</b>	<b>STŘEDNÍ</b>	<b>VYSOKÁ</b>
	<b>Plynpropustnost zemin</b>		



Radonový index pozemku:

- nízký (žlutá)
- střední (zelená)
- vysoký (červená)

Obr. 1 Schematický plánec rozmístění sond (vzorků půdního vzduchu) označení 1-X se znázorněným radonovým indexem (Tento plánec není součástí akreditované zkoušky).



**VYSOKÝ**  
radonový index pozemku

# Protokol o stanovení RIP

- **Co musí obsahovat – příloha č. 19 vyhl. 422/2016 Sb.**

- Číslo protokolu
- Identifikační údaje držitele povolení
- Identifikační údaje fyz.osoby, která měření provedla
- Identifikační údaje objednatele měření
- Identifikační údaje měřeného pozemku včetně mapového podkladu s vyznačením měřené plochy, umístění sond
- Identifikační údaje budoucí stavby
- Datum provedení měření
- Specifikace použité metodiky a účel měření
- Popis podmínek měření (rozvržení měřicích míst, jejich počet a síť, povětrnostní podmínky v době měření, popis pozemku vč. geologické charakteristiky, seznam staveb a jiných věcí vyskytujících se na pozemku)
- Údaje o použitém vybavení, odebraném objemu vzduchu a hloubce odběru
- Popis stanovení plynopropustnosti zemin
- Seznam použitých přístrojů a pomůcek, u stanovených měřidel čísla ověřovacích listů a doba jejich platnosti
- Výsledky měření OAR včetně statistických charakteristik
- Stanovená plynopropustnost zemin
- Stanovený radonový index pozemku
- Závěr s informací o dalším postupu
- Datum zpracování
- Podpis FO s příslušným dokladem o ZOZ + podpis statutárního orgánu (pokud je držitelem povolení PO)

- **Posílat na SÚJB dle § 37 odst. c) vyhl. 422/2016 Sb.**