# Rádioaktívny Radón okolo nás a zdravotné riziká

**doc. RNDr. Karol Holý, CSc.**



Nová Baňa, 10. 3. 2023 Stretnutie s OM NB

# Obsah

Úvod (stručná história)
1. Rádioaktivita – trvalý súputník človeka
2. Čo je radón a ako vzniká
3. Radón v pôdnom vzduchu
4. Exhalácia radónu z pôdy
5. Radón vo vodách
6. Radón v atmosfére
7. Radón v domoch
8. Radón v jaskyniach
9. Radónový potenciál pôd (RPP) a prečo nás zaujíma
10. Radiačné riziko od radónu
11. Akčný radónový plán
12. Legislatíva

Záver

# Úvod (stručná história)

70. roky 20. stor.:

- rozpoznaný negatívny účinok radónu na zdravie

80. roky 20. stor.:

- štart intenzívneho výskumu Rn vo svete a na KJF FMFI UK

1991 (?):

- vznik Radónovej komisie pri MŽP (Ing. Daňo, doc. Nikodémová, doc. Holý, ...)

90. roky 20. stor.:

- mapy prírodnej rádioaktivity Slovenska (GÚDŠ, Uranpres)
- mapovanie Rn v domoch, jaskyniach ... (ÚPKM – Nikodémová, Vičanová, Cabáneková, ...)
- výskum variácií a radiačného rizika od Rn - až doteraz (KJF FMFI UK)

2013 – Smernica Rady 2013/59

2018 – Zákon 87/2018 (Radiačná ochrana)
– Vyhláška 98/2018 (Prírodné zdroje IŽ)

## 1.1. Rádioaktivita – trvalý suputnik človeka

Jadrá: - stabilné

- rádioaktívne

**Čo je rádioaktivita:** premena z jedného jadra na druhé
(emisia: alfa, beta, gama žiarenia)

**V čom sa udáva:** Bq, Bq/l, Bq/kg,...
1 Bq= 1 premena jadra za sekundu

**Všetky predmety okolo nás sú rádioaktívne:**

- pôda
- vzduch
- vody
- stavebné materiály
- **aj ľudské telo** (4 400 Bq 40K, 440 fotónov za sekundu)

## 1.2. Zdroje rádioaktivity v prírodnom prostredí

V prírode sa vyskytujú rádionuklidy dvojakého pôvodu:

**1. <u>prírodné</u>**:

- primordiálne
- kozmogénne

**2. <u>umelé</u>**, ktorých zdrojmi sú hlavne:

- jadrové výbuchy
- jadrová energetika
- uránové bane
- závody na prepracovanie vyhorelého jadrového paliva

## 1.3. Rádionuklidy – pohľady

- sú zdrojom radiačnej záťaže („zlé“ rádionuklidy),
- je možné ich využiť pri sledovaní procesov v pôde, hydrosfére, atmosfére a výmenných procesov medzi nimi, teda v **environmentálnych štúdiách** („dobré“ rádionuklidy)

## 1.4. Z hľadiska radiačnej záťaže sú významné primordiálne rádionuklidy:

- $^{40}K$ (0,63 $kBq \cdot kg^{-1}$)
- $^{87}Rb$ (0,13 $kBq \cdot kg^{-1}$)
- $^{232}Th$ (0,47 $kBq \cdot kg^{-1}$, $^{232}Th$ + prod. premeny)
- $^{235}U$ a $^{238}U$ (1,5 $kBq \cdot kg^{-1}$ $U_{nat}$ + prod. premeny)
- Rádioaktívnou premenou $^{232}Th$, $^{235}U$ a $^{238}U$ vzniká viac ako 40 ďalších rádionuklidov (premenové rady)

## 2. Čo je radón, ako vzniká a aké sú jeho zdroje v atmosfére?

### 2.1. Radón:

- bezfarebný rádioaktívny plyn
- bez vône a zápachu
- nedokážeme ho zaregistrovať ľudskými zmyslami

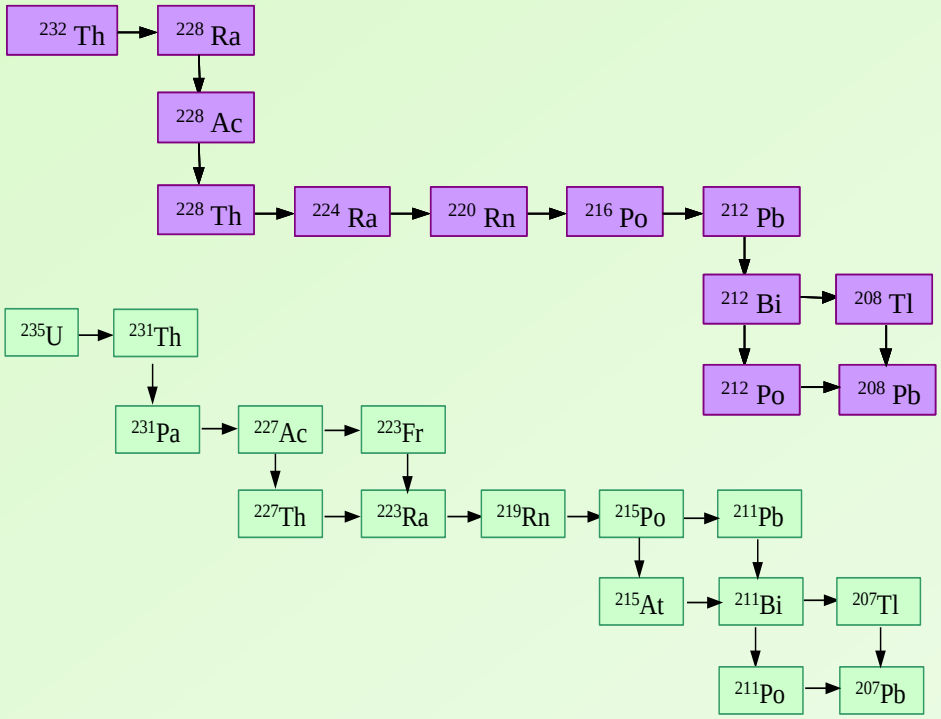
V tekutom stave: bezfarebný a priezračný

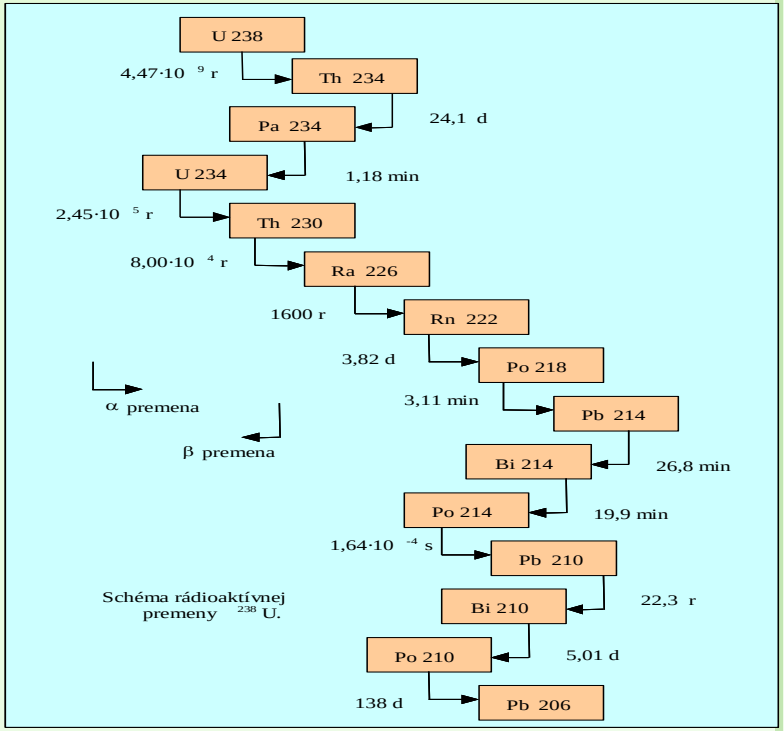
Pevné skupenstvo: nepriezračný, ako modrý briliant

Niektoré vlastnosti radónu:

| | |
|---|---|
| protónové číslo | 86 |
| atómová hmotnosť | 222 |
| doba polpremeny | 3,82 d |
| teplota varu pri 1 atm | -61.8°C |
| teplota topenia | -71.0°C |
| hustota pri normálnom tlaku a teplote | 9,96 kg $m^{-3}$ |

# 2.2. Ako vznikajú izotopy radónu?




Členmi premenových radov sú teda **izotopy radónu**:

- $^{222}$Rn (uránový rad, $T_{1/2}$ = 3,8 d)
- $^{220}$Rn (tóriový rad, $T_{1/2}$ = 55 s)
- $^{219}$Rn (aktíniový rad, $T_{1/2}$ = 4 s)

→ diskontinuita premenových radov,
transport do iných médií, expozičné problémy

Najvýznamnejší je **izotop $^{222}$Rn**:

- relatívne dlhá doba polpremeny
- transport z pôdy do atmosféry
- vznik a šírenie produktov premeny v atmosfére:

**krátkožijúce produkty premeny**:

- $^{218}$Po ($T_{1/2}$ = 3,05 min),
- $^{214}$Pb ($T_{1/2}$ = 26,8 min),
- $^{214}$Bi ($T_{1/2}$ = 19,7 min),
- $^{214}$Po ($T_{1/2}$ = 164 μs)

**dlhožijúce produkty premeny:**

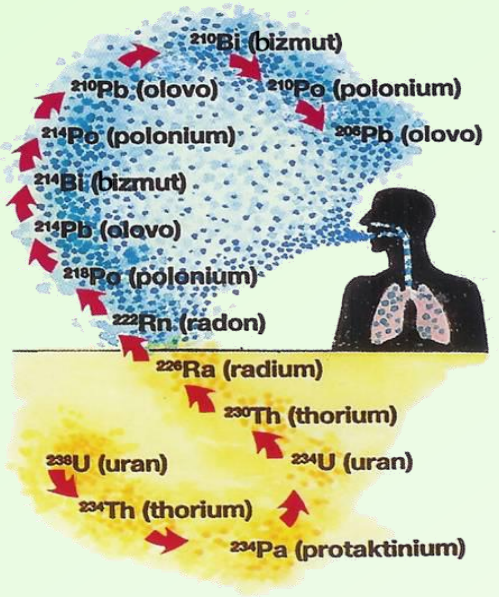
- $^{210}$Pb ($T_{1/2}$ = 22 r),
- $^{210}$Bi ($T_{1/2}$ = 5 d),
- $^{210}$Po ($T_{1/2}$ = 138 d)

**→ krátkožijúce produkty premeny $^{222}$Rn sú najvýznamnejším zdrojom radiačnej expozície človeka**

→ radón a jeho produkty premeny sú významnými nástrojmi v environmentálnych štúdiách

## 2.3. Prečo nás radón hlavne zaujíma?

**Radón** ($^{222}$Rn) – 2. najvýznamnejší **karcinogén** u fajčiarov a 1. u nefajčiarov
Aká je príčina?



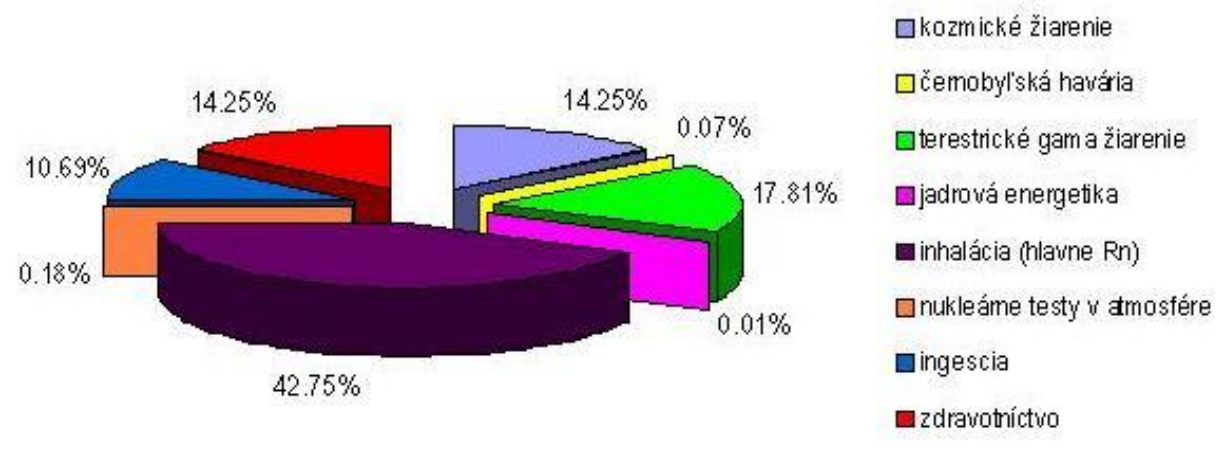

Čo sa teda udeje ak sa napr. 218Po rozpadá v pľúcach?

$$^{218}\text{Po} \rightarrow {}^{214}\text{Pb} + {}^{4}\text{He}$$

$$E_{alfa} = 6 \text{ MeV}$$

- **Ak má alfa častica energiu 6 MeV**:
- -Dobehne vo vzduchu 6 cm
- -Zachytí sa listom papiera
- -Má počiatočnú rýchlosť 20 tisíc km/s
- -Obehla by Zem za 2s
- -V tkanive stratí celú energiu približne na 40 mikrometroch
- -**Spôsobí** veľkú deštrukciu, **poškodenie buniek**

Efektívne dávky od rôznych zdrojov žiarenia [***UNSCEAR 2000***]:




Epidemiologické štúdie ukázali → koeficient **relatívneho rizika** 0,16 pre OAR 100 Bq/m$^3$ vo vnútornom ovzduší budov a pracovných priestorov

V pobytových priestoroch v rámci EU, $^{222}$Rn spôsobuje ~ 20 000/rok úmrtí na rakovinu pľúc → čo je ~ **9** % z celkového počtu úmrtí

# 2.4. Ako sa dostáva radón z pevných látok do vzduchu - emanácia

V mineráloch je emanácia riadená predovšetkým priamym spätným odrazom novovytvoreného atómu radónu pri premene rádia.

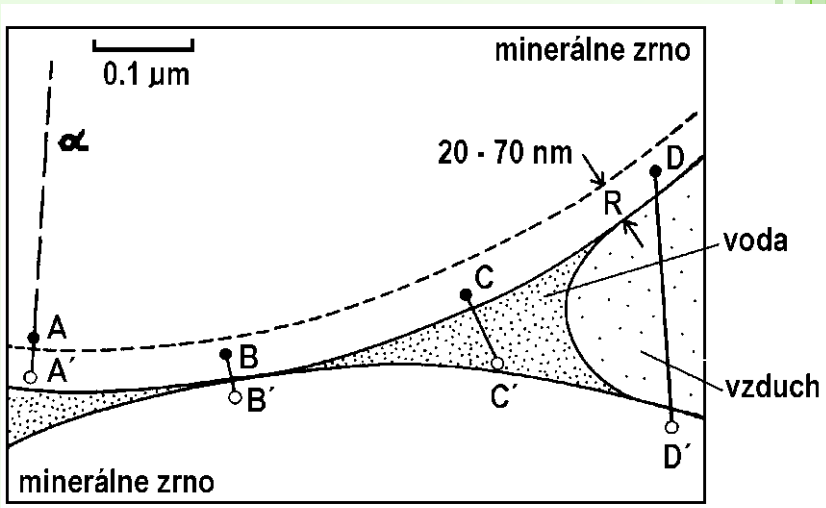
$^{222}Rn$ vzniká v reakcii: $^{226}Ra \rightarrow {}^{222}Rn + {}^{4}He$

$$E_{alfa} = 5{,}486 \text{ MeV}$$

$$E_{222Rn} = 0{,}086 \text{ MeV}$$

Časť zo vzniknutých atómov radónu môže opustiť kryštalickú mriežku minerálu a uniknúť z horninového prostredia alebo z častíc pôdy do pórov a puklín

Schematické znázornenie vzniku atómu radónu v minerálnom zrne (***COTHERN & SMITH, 1987***)



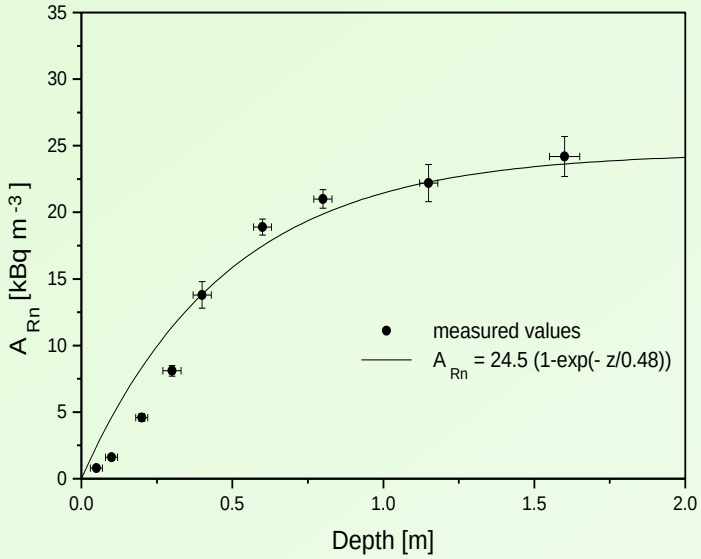

Ďalší transport: -difúziou
-konvektívnym prúdením

# 3. Radón v pôdnom vzduchu

Koncentrácia radónu v pôdnom vzduchu sa môže pohybovať v širokom rozsahu hodnôt

Závisí od :

- typu pôdy,
- obsahu rádia v pôdach,
- fyzikálnych vlastností pôd,
- vlhkosti pôd

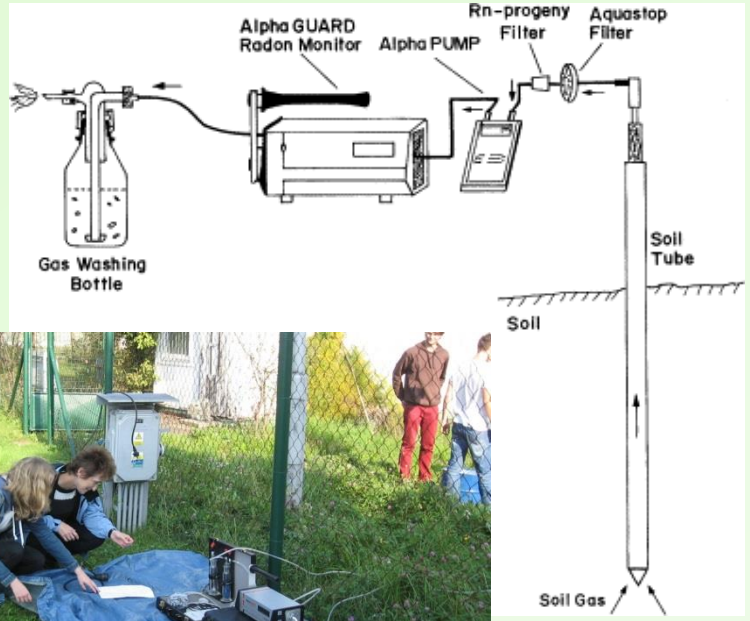


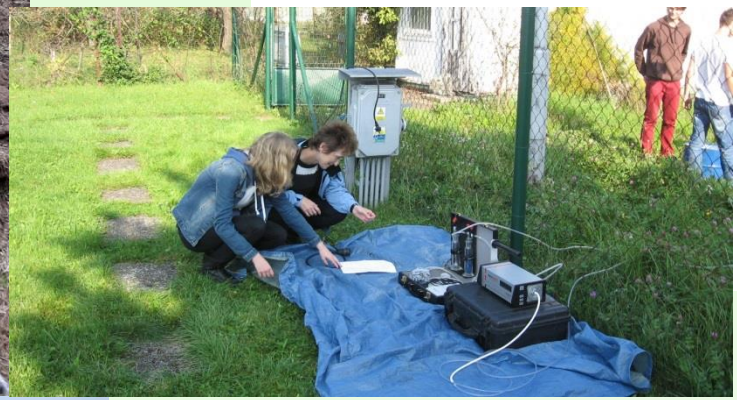

Pre stacionárne podmienky v hĺbke z platí vzťah (***NAZAROFF & NERO, 2003***):

$$A_{Rn}(z) = \frac{K.A_{Ra}}{\varepsilon}\left(1 - e^{\frac{-z}{L}}\right)$$

kde $A_{Rn}$ ($A_{Ra}$) – objemová aktivita $^{222}Rn$ ($^{226}Ra$) v pôde ($Bq/m^3$), L – difúzna dĺžka (m)

# Schéma merania Rn v pôde:



# 4. Exhalácia radónu z pôdy

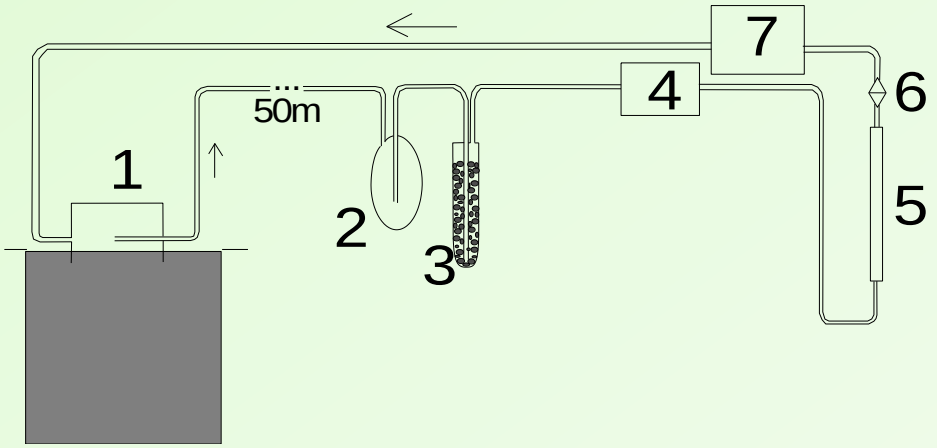
Exhalácia radónu z pôdy závisí od:

- koncentrácie rádia v pôdnych zrnách
- ďalších faktorov ovplyvňujúcich vlastnosti pôdy

$$E_{S,Rn} = -\lambda_{Rn} K_e A_{m,Ra} \rho_d L$$

- Priemerná exhalač. rýchlosť $^{222}$Rn z pôdy: 1 atóm $^{222}$Rn $\cdot$cm$^{-2}$ $\cdot$s$^{-1}$ (15 mBq m$^{-2}$ s$^{-1}$)
- Rozsah exhalačných rýchlostí $^{222}$Rn z pôdy: 0,2 - 70 mBq m$^{-2}$ s$^{-1}$
- Exhalácia radónu z oceánov: je o 2-3 rády nižšia ako z pevniny

Meranie: metóda akumulačnej nádoby (***Holý et al.,BŠD 2001)***




1 - akumulačná nádoba,
2 & 3 – odchytávače vodnej pary,
4 - čerpadlo,
5 - prietokomer,
6 – filter,
7 - radónový monitor

## Výpočet exhalačnej rýchlosti $E_{s,Rn}$ radónu z pôdy:

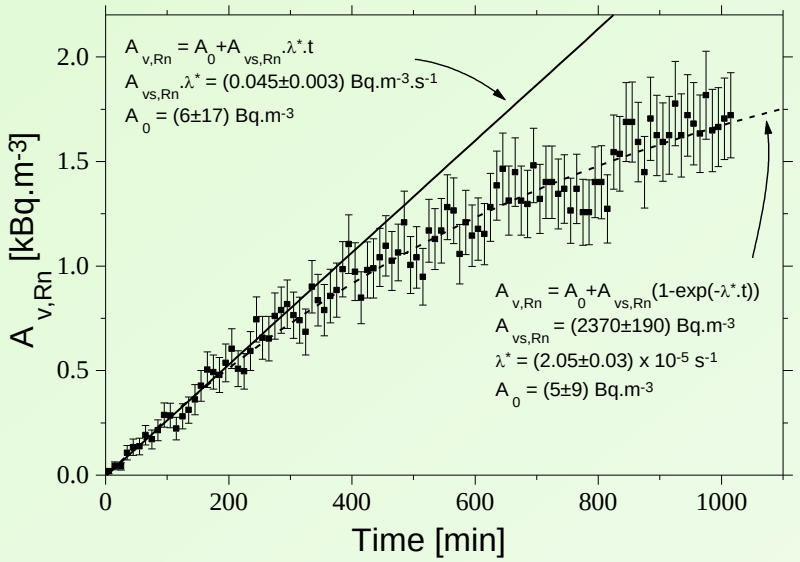
$$A_{v,Rn} = \frac{E_{s,Rn}\, S}{V\, \lambda^*}\left(1 - e^{-\lambda^* t}\right)$$

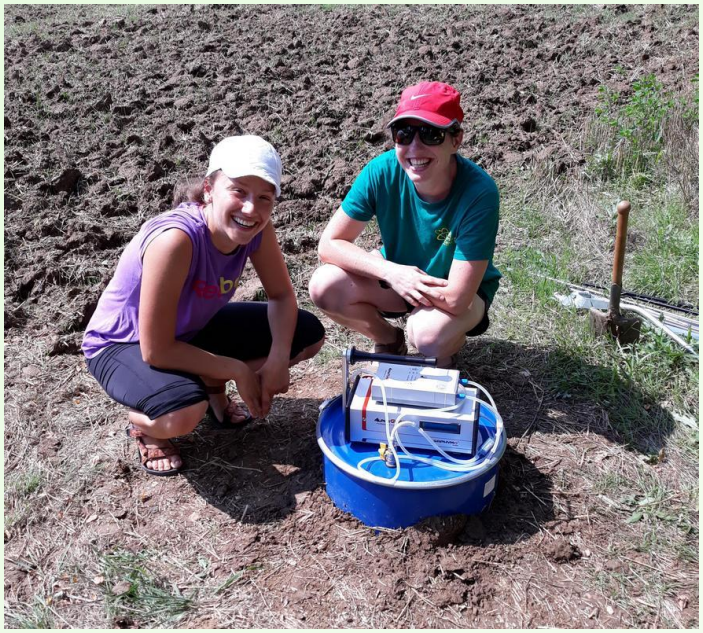
$A_{v,Rn}$ (Bq.m$^{-3}$) – obj. aktiv. $^{222}$Rn v nádobe v čase t (s),

$E_{s,Rn}$ (Bq.m$^{-2}$.s$^{-1}$) exhalačná rýchlosť $^{222}$Rn z povrchu zeme

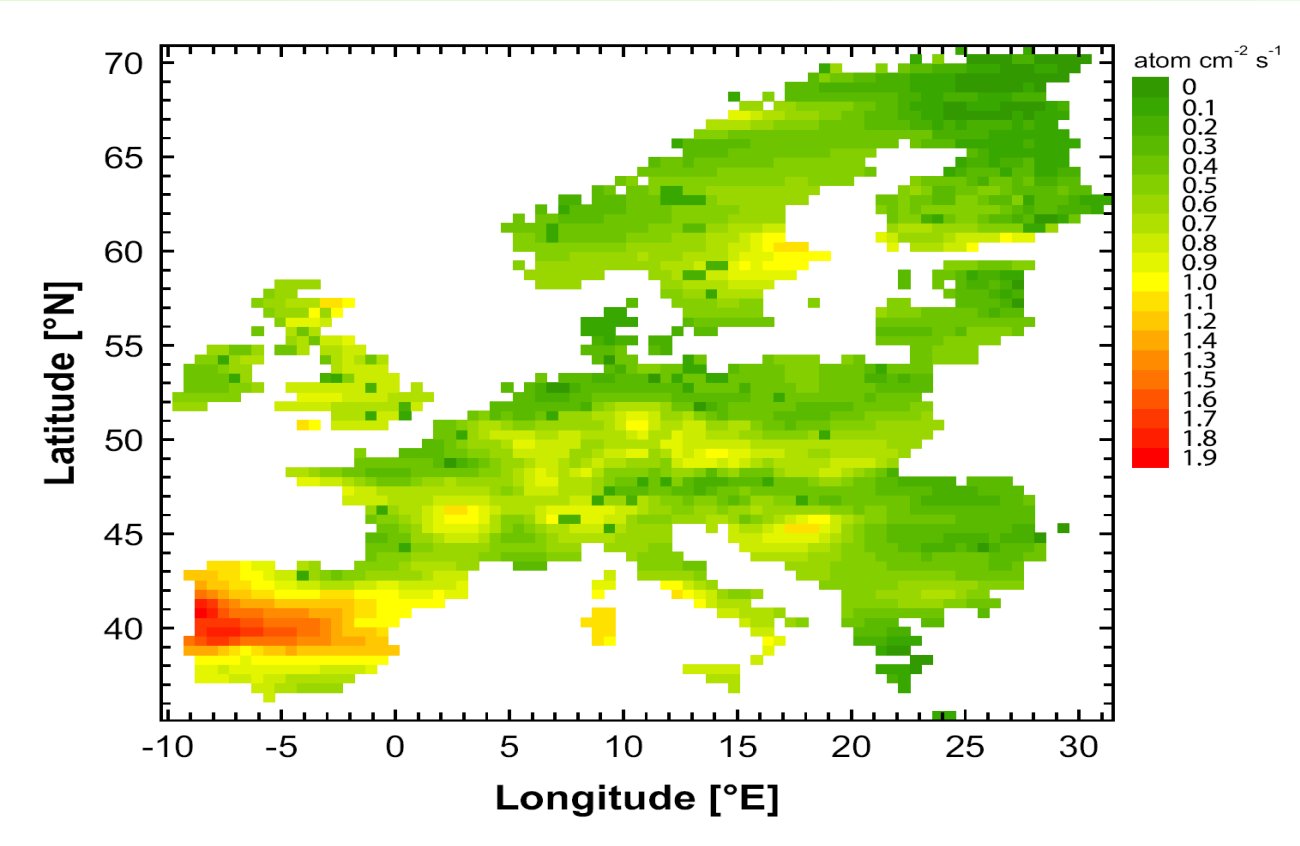
$\lambda^* = (\lambda_{Rn} + \lambda_b)$ (s$^{-1}$)

## Nárast objemovej aktivity 222Rn v akumulačnej nádobe [***Holý et al., BŠD*** ]



# Odhadované stredné exhalácie $^{222}Rn$ v Európe [*SZEGVARY et al., 2009*]:




- Rozsah exhalácií: od 0,03 do 1,76 atómov $cm^{-2} \cdot s^{-1}$
- So vzrastajúcou zemepisnou šírkou exhalácia klesá

## 5. Radón vo vodách

### 5.1. Rozpustnosť Rn vo vodách

Túto schopnosť charakterizuje koeficient rozpustnosti α:

$$\alpha(T) = \frac{c_w}{c_a},$$

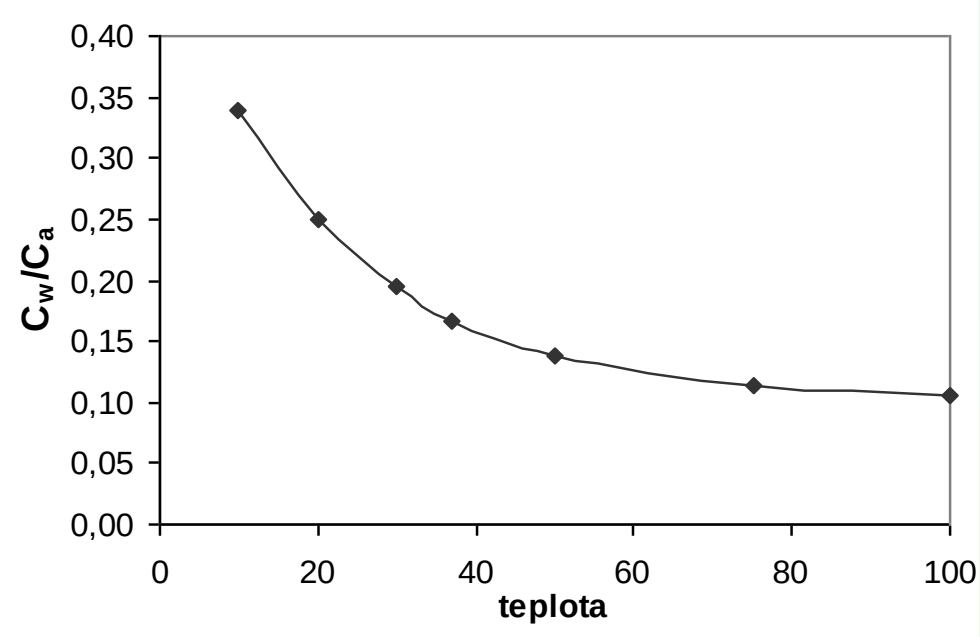
kde $c_w$ - koncentrácia $^{222}$Rn v kvapaline,

$c_a$ - koncentrácia $^{222}$Rn v plyne.

Závislosť α od t (***SERDJUKOVA & KAPITANOV, 1969***):

$$\alpha = 0{,}1057 + 0{,}405e^{-0{,}0502t}$$

# Závislosť rozpustnosti radónu vo vode od teploty:




| teplota vody | $C_w / C_a$ |
|---|---|
| 0 °C | 0,507 |
| 10 °C | 0,340 |
| 20 °C | 0,250 |
| 30 °C | 0,195 |
| 37 °C | 0,167 |
| 50 °C | 0,138 |
| 75 °C | 0,114 |
| 100 °C | 0,106 |

*Koeficienty rozpustnosti $^{222}Rn$ vo vode pri normálnom tlaku*

- Pri teplote $t = 20°C$ je $\alpha = 0{,}254$ (1/4 Rn je vo vode ak V=V´)
- Pri varení sa Rn takmer úplne odstráni z vody

## 5.2. Meranie radónu vo vodách

Radón ($^{222}Rn$) vo vodách môže byť sledovaný z viacerých dôvodov:

- kontrola a regulácia obsahu radónu v pitných vodách
- využitie zmien  koncentrácie radónu pre sledovanie geodynamických aktivít
- určovanie doby infiltrácie vody z povrchu do spodných vôd, a pod.

## 5.3. Metódy merania:

- Bodové odbery:
  - odber vzorky
  - transfer radónu z vody do detektora
  - samotné meranie OAR

# Bodové odbery vzoriek vody (***IVF-Teplice, ČR, 2014***)

Bodové odbery – prevod do SK:

Bodové odbery - meranie:

# Kontinuálne meranie radónu vo vodách:

- sledovanie variácií obsahu radónu v rôznych prostrediach

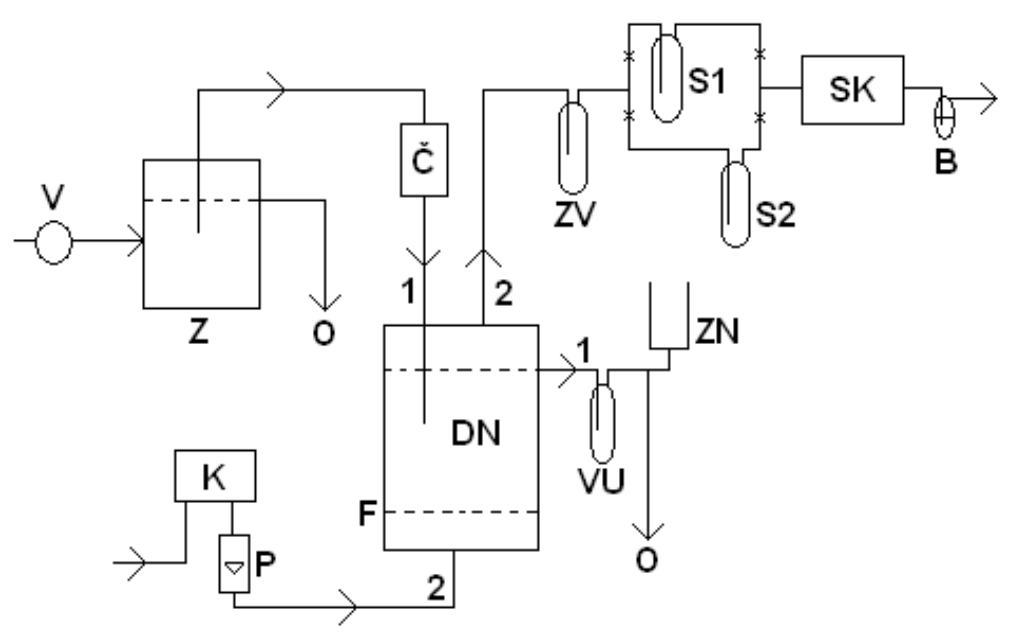
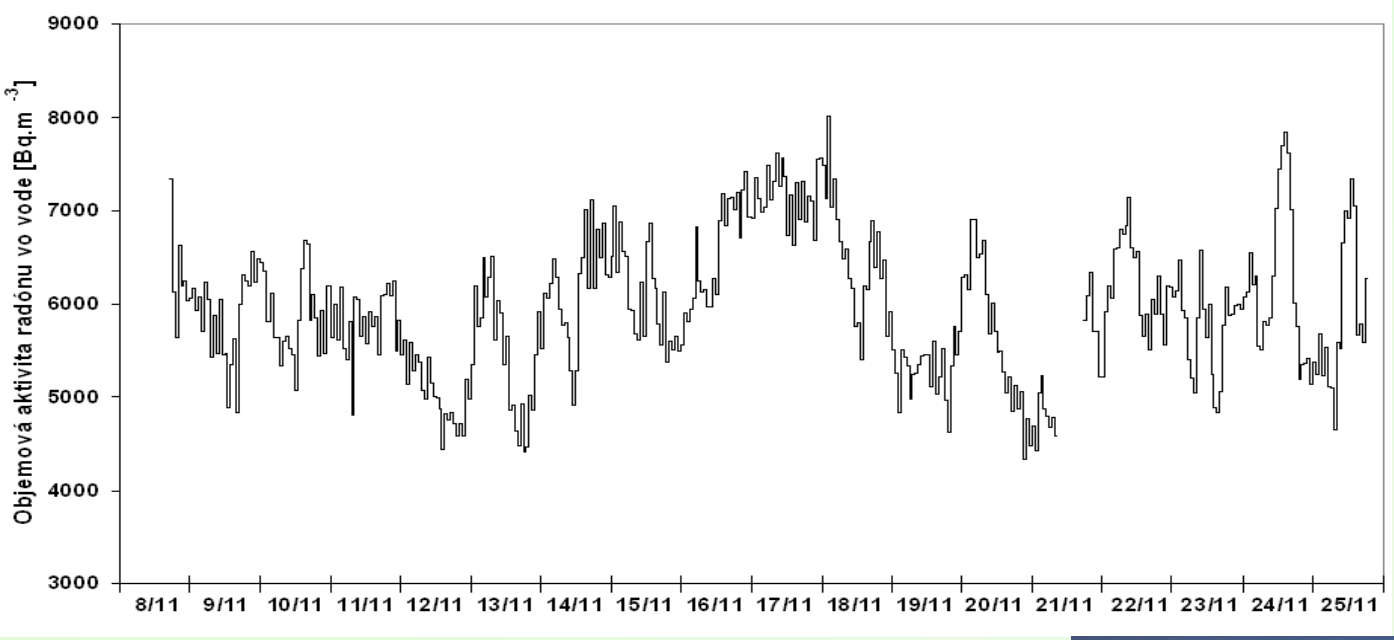



**Schéma meracej aparatúry pre kontinuálne monitorovanie $^{222}$Rn vo vode** (1 – vodný okruh, 2 – vzdušný okruh, V – prívod vody, Z – zásobník vody, O – odtok vody, Č – membránové čerpadlo, DN – deemanačná nádoba, K – kompresor, P – prietokomer, VU – vodný uzáver, ZN – zavzdušňovacia nádoba, ZV – záchyt vody, S1 (resp. S2) – silikagel, SK – scintilačná komora, B – bublačka) ***(Holý et al., 28.DRO, 2006***)

# Časový priebeh objemovej aktivity $^{222}Rn$ vo vode z vodovodného potrubia ( ***Holý et al., FMFI UK BA***)



## 5.4. Radón v termálnych kúpeľoch

- Termálne vody kúpeľov: 4.1 to 435 Bq $\ell^{-1}$
(***Blahušiak et al., RPD. 2017***)

- OAR v niektorých termálnych vodách môže byť vyššia ako v obyčajných vodách

- V procese balneoterapie sa Rn uvoľňuje z vody do ovzdušia vnútorných priestorov

- Pracovníci môžu byť exponovaní radónom viac ako v ich domoch (efektívna dávka až desiatky mSv/rok)

# Výsledky merania získané v rámci V4 projektu

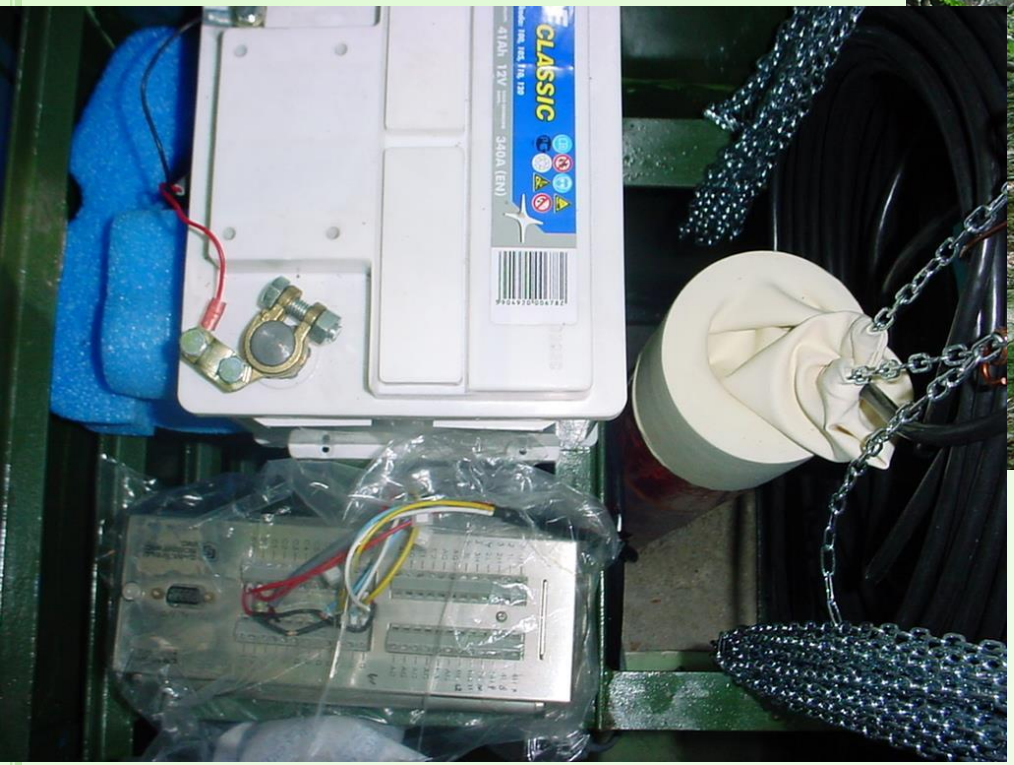
(***Blahušiak, Diz. práca, škol. K. Holý )***

- Najrizikovejšie priestory: oblasť bazénov

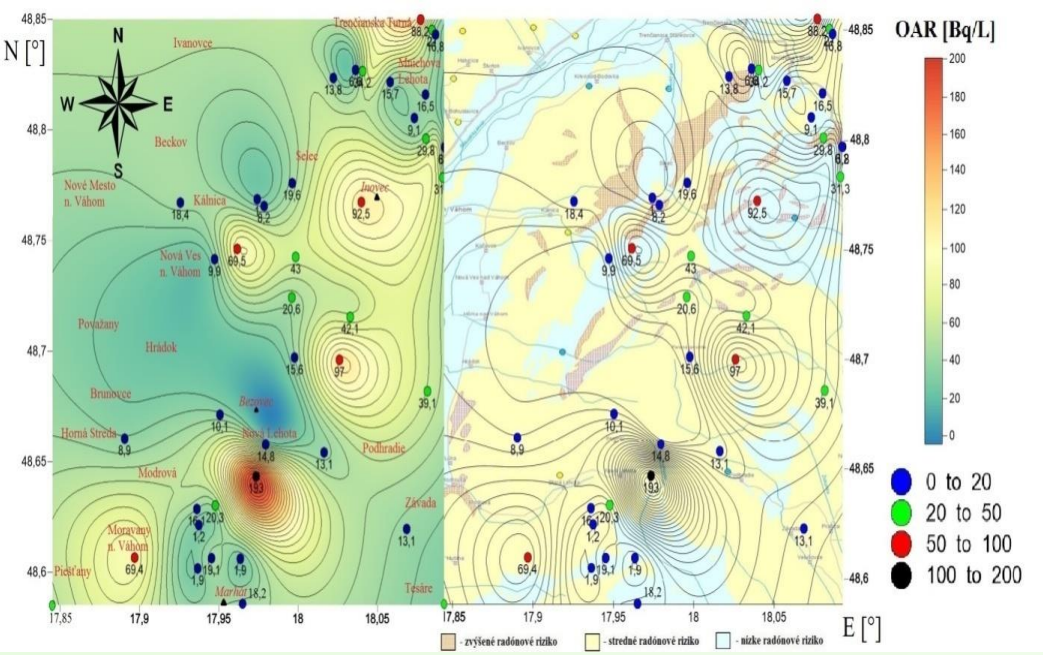
| Spa code | | Radon activity concentration [Bq.m$^{-3}$] | | |
|---|---|---|---|---|
| **No.** | **workplace** | **Ramarn** | | |
| S1 | balneotherapy No.1 | 240 | +/- | 50 |
| | balneotherapy No.2 | 230 | +/- | 70 |
| | physician office | 90 | +/- | 40 |
| | pool | 190 | +/- | 50 |
| S2 | balneotherapy No.1 | 170 | +/- | 40 |
| | balneotherapy No.2 | 140 | +/- | 50 |
| | balneotherapy No.3 | 190 | +/- | 70 |
| | balneotherapy No.4 | 220 | +/- | 60 |
| | physician office | 230 | +/- | 90 |
| | **pool** | **490** | **+/-** | **60** |
| S3 | pool No.1 | 90 | +/- | 60 |
| | balneotherapy No.1 | 80 | +/- | 30 |
| | balneotherapy No.2 | 120 | +/- | 50 |
| | balneotherapy No.3 | 90 | +/- | 40 |
| | physician office | 145 | +/- | 50 |
| S4 | **pool No.1** | **1400** | **+/-** | **210** |
| | **pool No.2** | **12050** | **+/-** | **1500** |
| | **dressing room** | **8100** | **+/-** | **1000** |
| | **pool No.3** | **690** | **+/-** | **140** |
| | **physician office** | **460** | **+/-** | **140** |

## 5.5. Ďalšie vody

- Vody vrtov: 1–240 Bq $\ell^{-1}$ (***Smetanová et al., Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2010***)



- Nedávno sme uskutočnili podrobné merania vôd prameňov západného Slovenska (Malé Karpaty, Považský Inovec, Strážovské vrchy)
- Zaujímavá je oblasť Považského Inovca:
  - zdroj vody pre ~ 100 tisíc obyvateľov
  - nachádzajú sa tam 2 z 11 uránových ložísk Slovenska (Kálnica, Selec)
  - OAR dosahuje až 193 Bq/l (podložie granitoidy)




*Mapa OAR v prameňoch Považského Inovca, vpravo aj s podkladom radónového rizika (**Eckertová, dipl. práca, 2018**)*

## 5.6. Prieskum OAR na Slovensku:

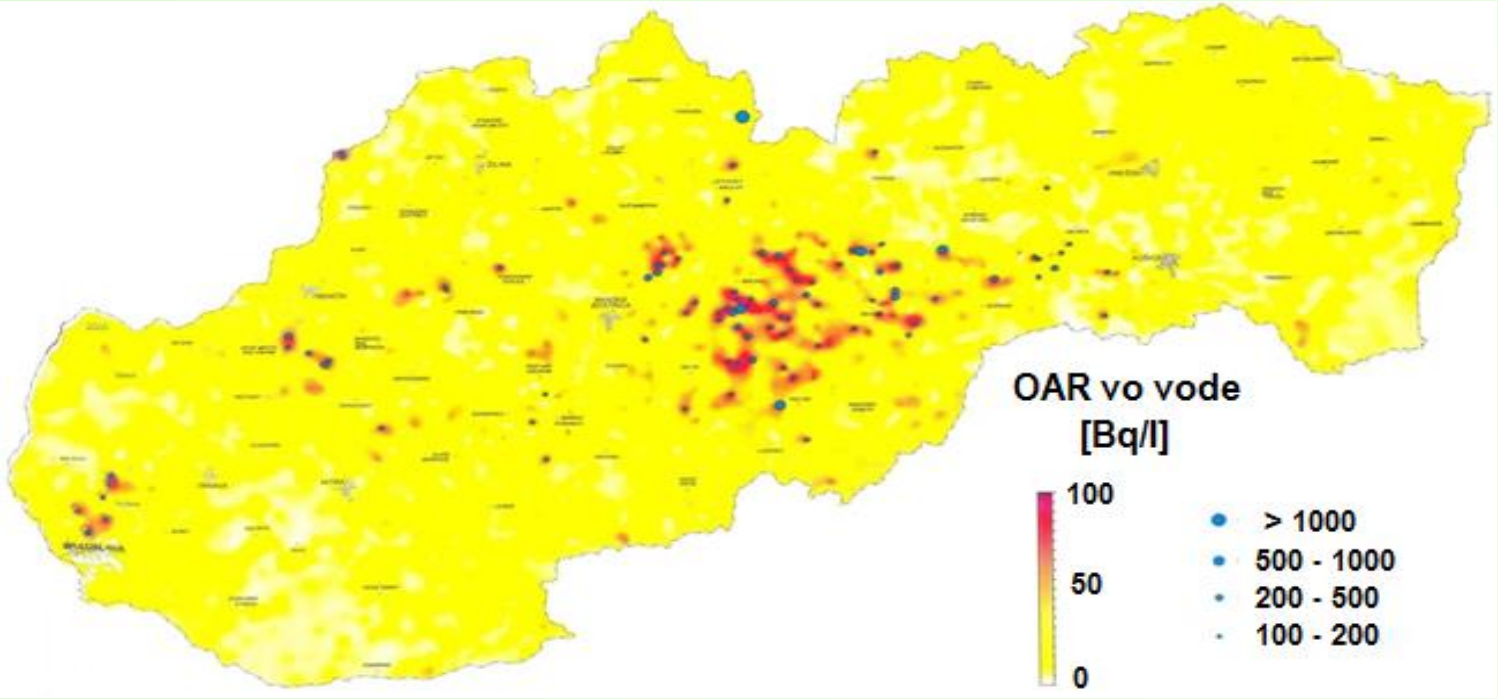
- výskum v rokoch 1991-1995 (***Geochemický atlas SR; Lučivjanský, RŽP, 1997***)
- podzemné vody: 0.05-532 Bq ℓ-1 (medián: 11.6 Bq ℓ-1) -3235 vzoriek
- minerálne vody: 0.05-1 288 Bq ℓ-1 (medián: 10.2 Bq ℓ-1)- 238 vzoriek
- studne: 0.05-127 Bq ℓ-1 (medián: 7.3 Bq ℓ-1) -1122 vzoriek
- povrchové vody: 0.05-48 Bq ℓ-1 (medián: 1.1 Bq ℓ-1) - 275 vzoriek

Vysoké hodnoty OAR:

- vody vulkanicko-sedimentárneho komplexu
- niektoré minerálne vody

Najnižšie hodnoty OAR: v sedimentoch Podunajskej panvy,Viedenskej panvy, atď.

# Objemová aktivita $^{222}Rn$ vo vodách na Slovensku (*DANIEL et al., 1996*)



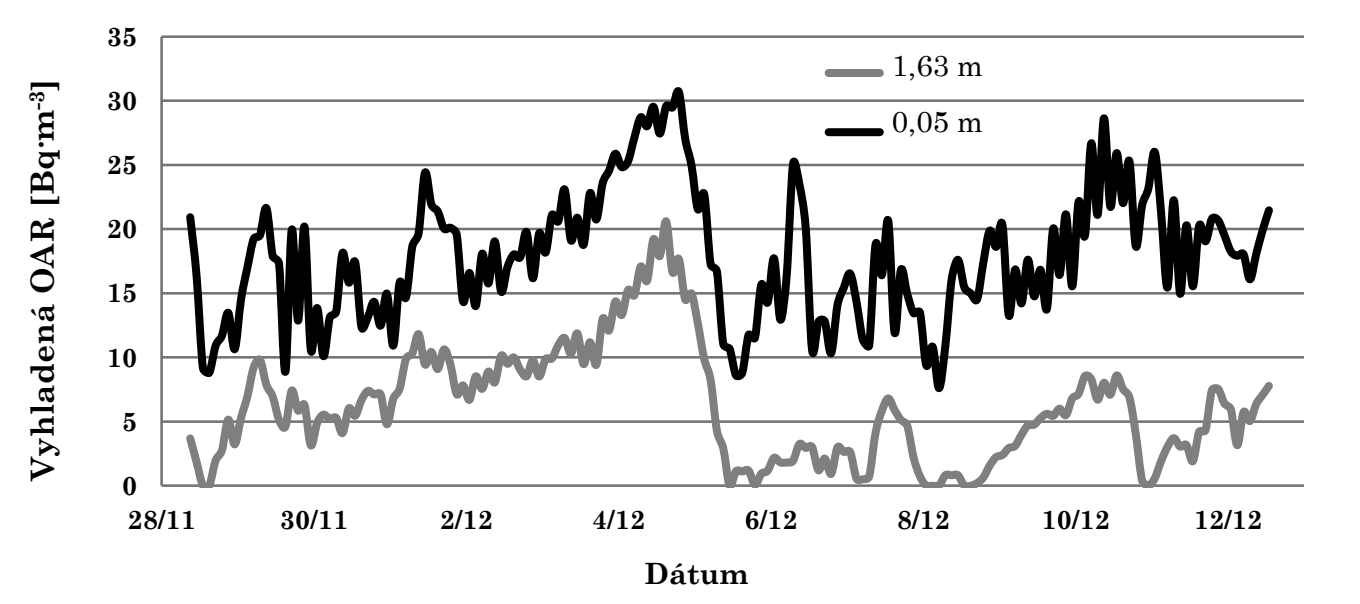
# 6. Radón v atmosfére

## Zdrojom radónu v atmosfére je hlavne:

- $^{226}Ra$ voľne rozptýlený v pôde
  - exhalačná rýchlosť z pôdy: 0,2 – 70 $mBq.m^{-2}.s^{-1}$
    - 0,2 pre zamrznuté arktické oblasti
- príspevok rôznych zdrojov k aktivite atmosféry:
  - pôda: 5 – $10.10^{19}$ Bq/rok
  - povrchová voda: $1.10^{19}$ Bq/rok
  - zemný plyn: ~ $1.10^{14}$ Bq/rok
  - spaľovanie uhlia: ~ $1.10^{13}$ Bq/rok
  - ďalšie:
    - geotermálne elektrárne
    - fosílne bane
    - vulkanická aktivita

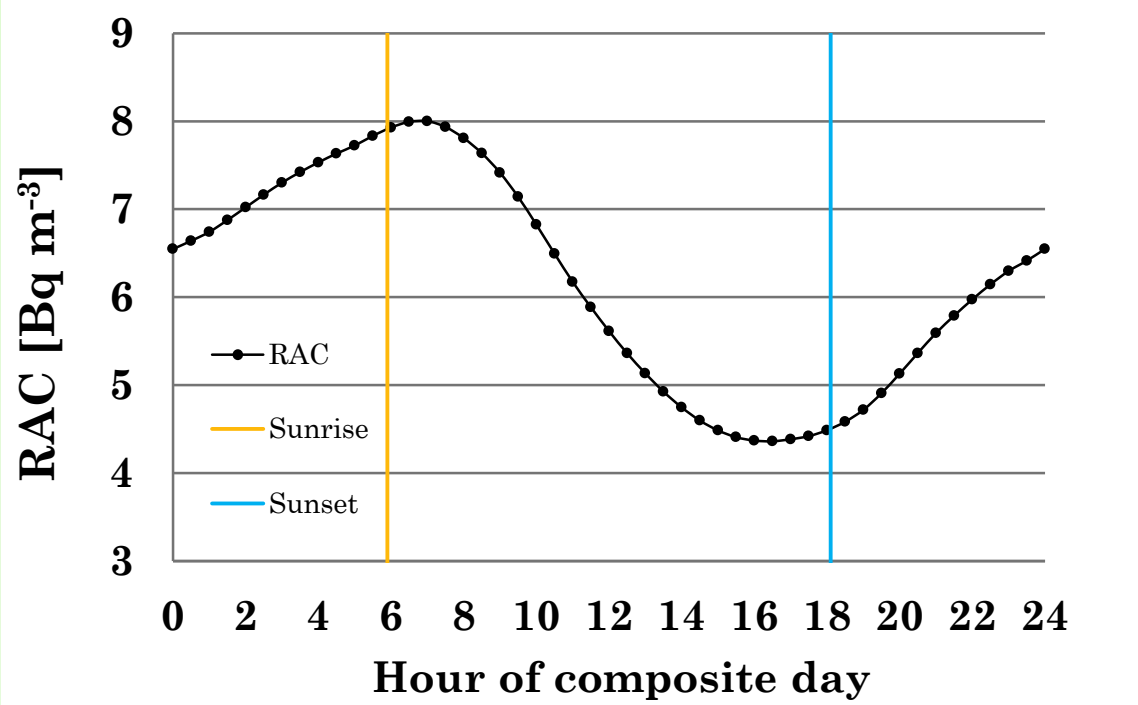
- priemer: 5 – 6 $Bq.m^{-3}$ v atm.
- koncentrácie $^{222}Rn$ závisia od:
  - exhalačnej rýchlosti podložia
  - vertikálneho teplotného gradientu v atm.
  - smeru a rýchlosti vetra
  - ďalšie meteorologické podmienky

# Ako sa mení OAR v závislosti od výšky?



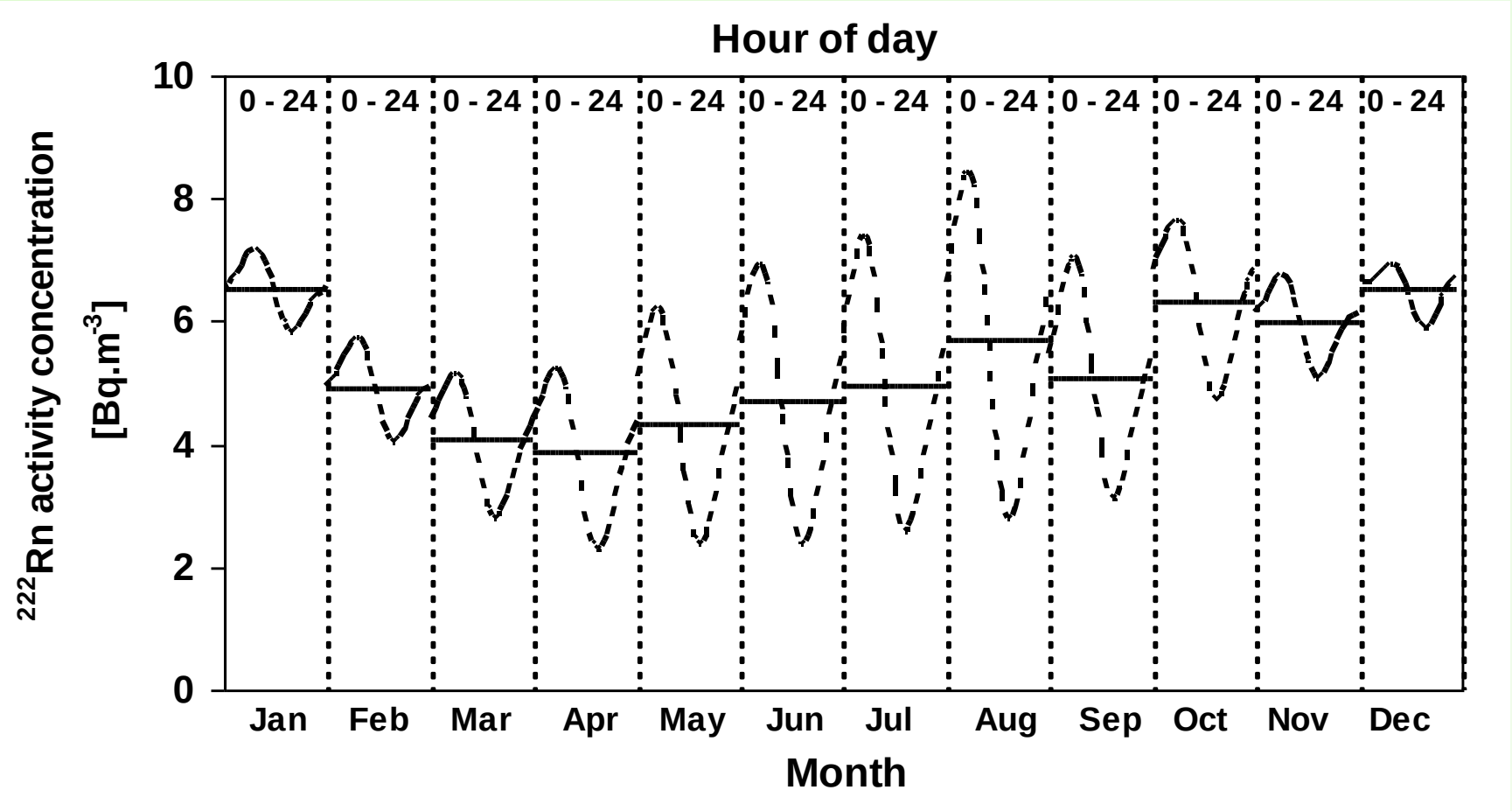

[***Bulko et al., BJE 2012***]

# Typická denná variácia OAR [*Bulko et al, JoER 2018*]:



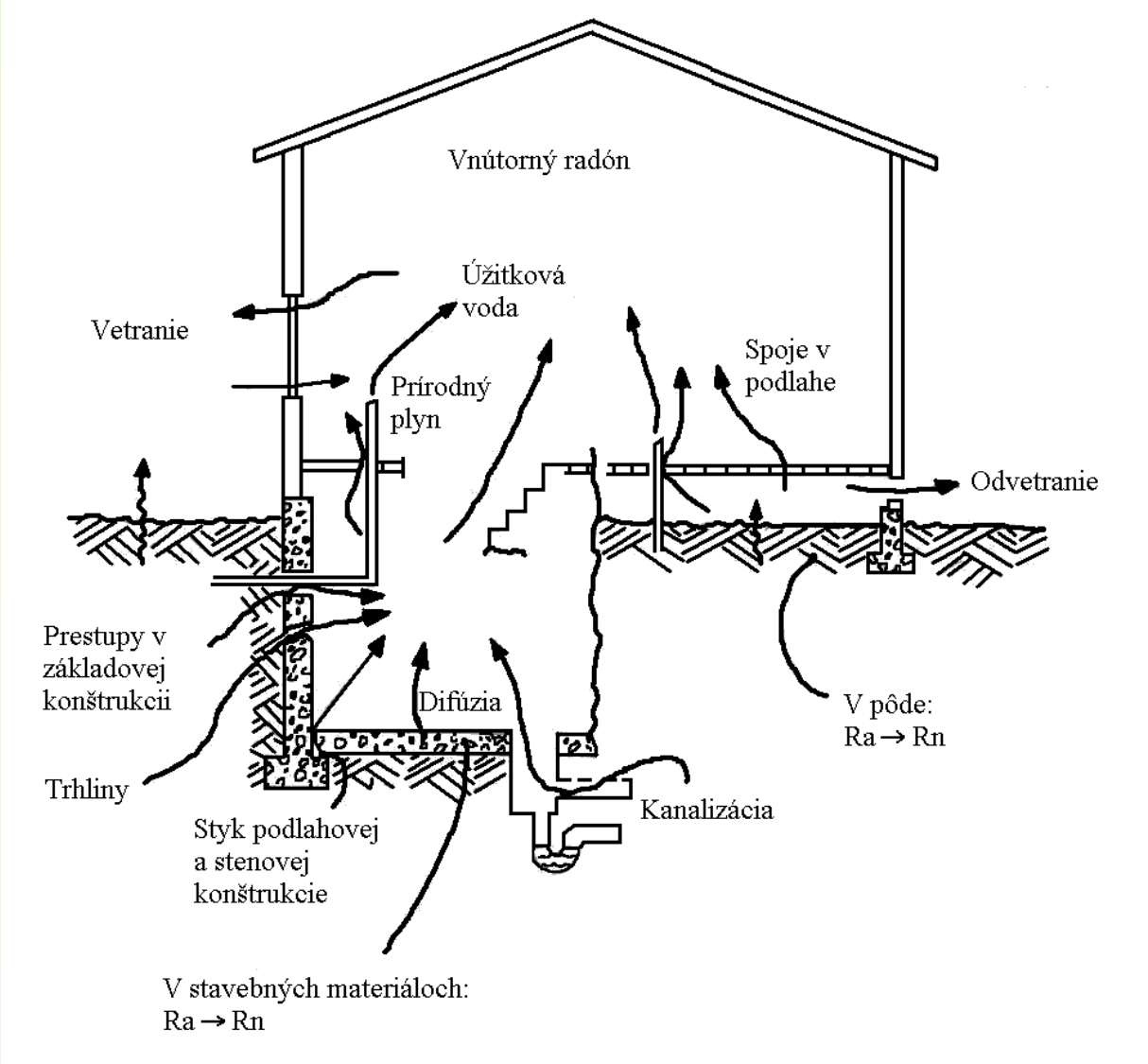

(spriemerovaný denný priebeh OAR počas celého roka)

# Typická sezónna variácia OAR [*Holý et al., IAEA Viedeň, 2007*]:




(spriemerované dáta z rokov 1991-2005)

# 7. Radón v domoch



# Monitorovanie OAR - kontinuálne metódy

AlphaGUARD

Litrová scintilačná komora

IP radónová sonda TSRE1

# Monitorovanie OAR - integrálne metódy

## RAMARN

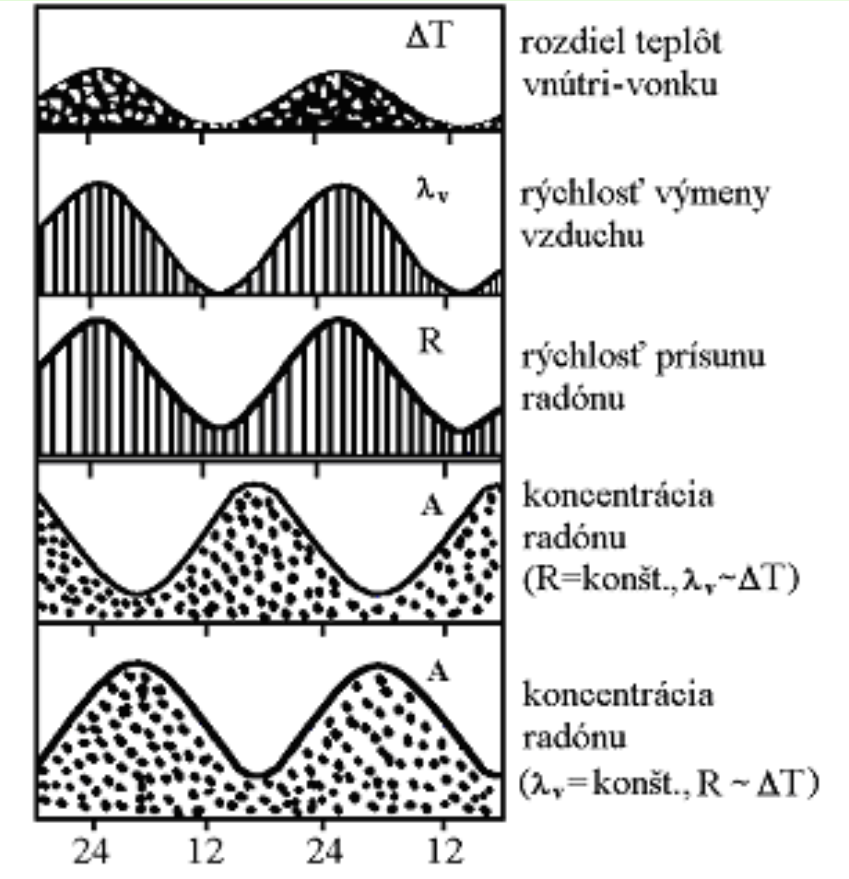
## Raduet

Rovnica popisujúca aktivitu $^{222}Rn$ v domoch:

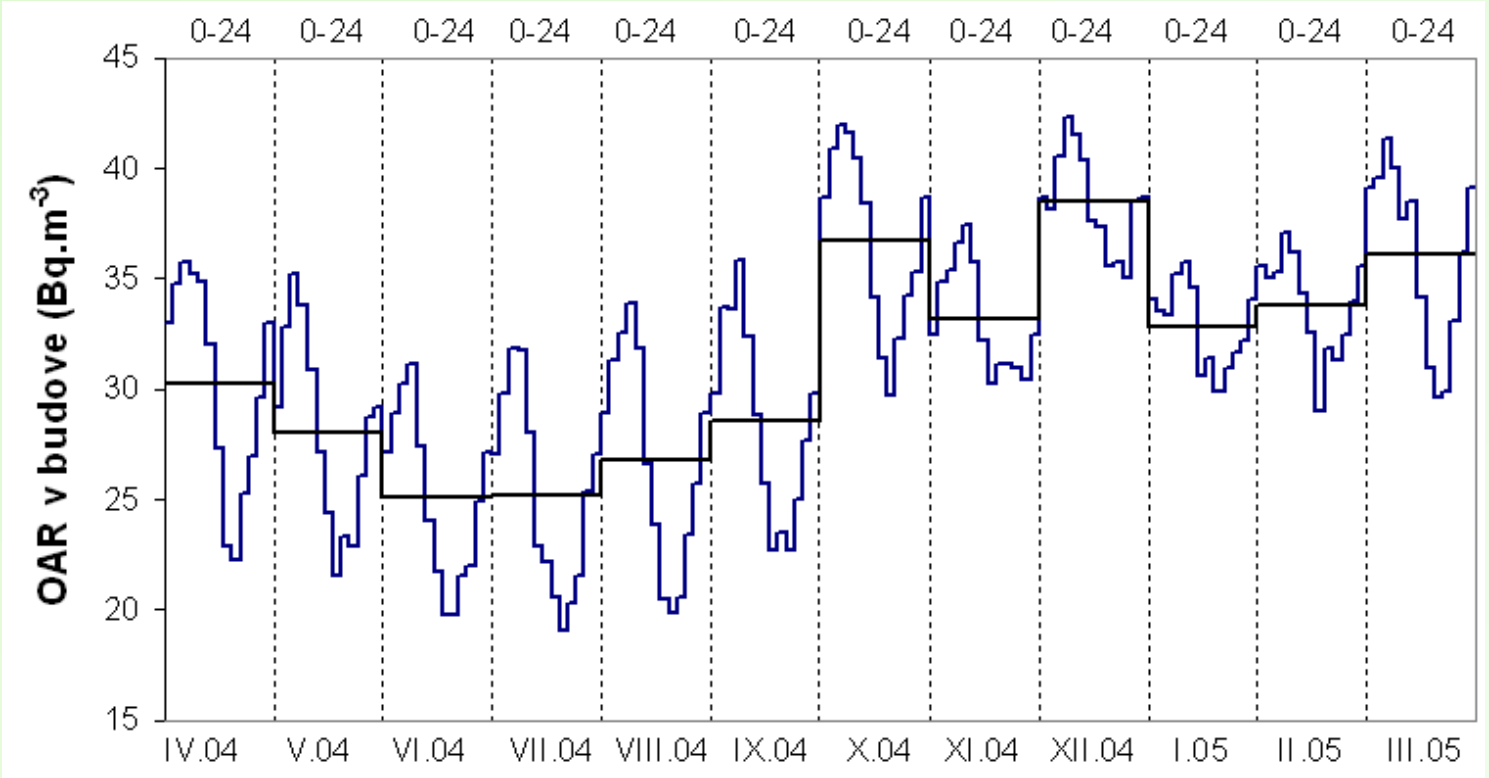
$$\frac{dA_{Rn}(t)}{dt} = E_S \frac{S}{V} + \frac{A_{Rn,p}}{V} + A_{Rn,v}\lambda_v - A_{Rn}(t)(\lambda + \lambda v)$$

Po zjednodušení:

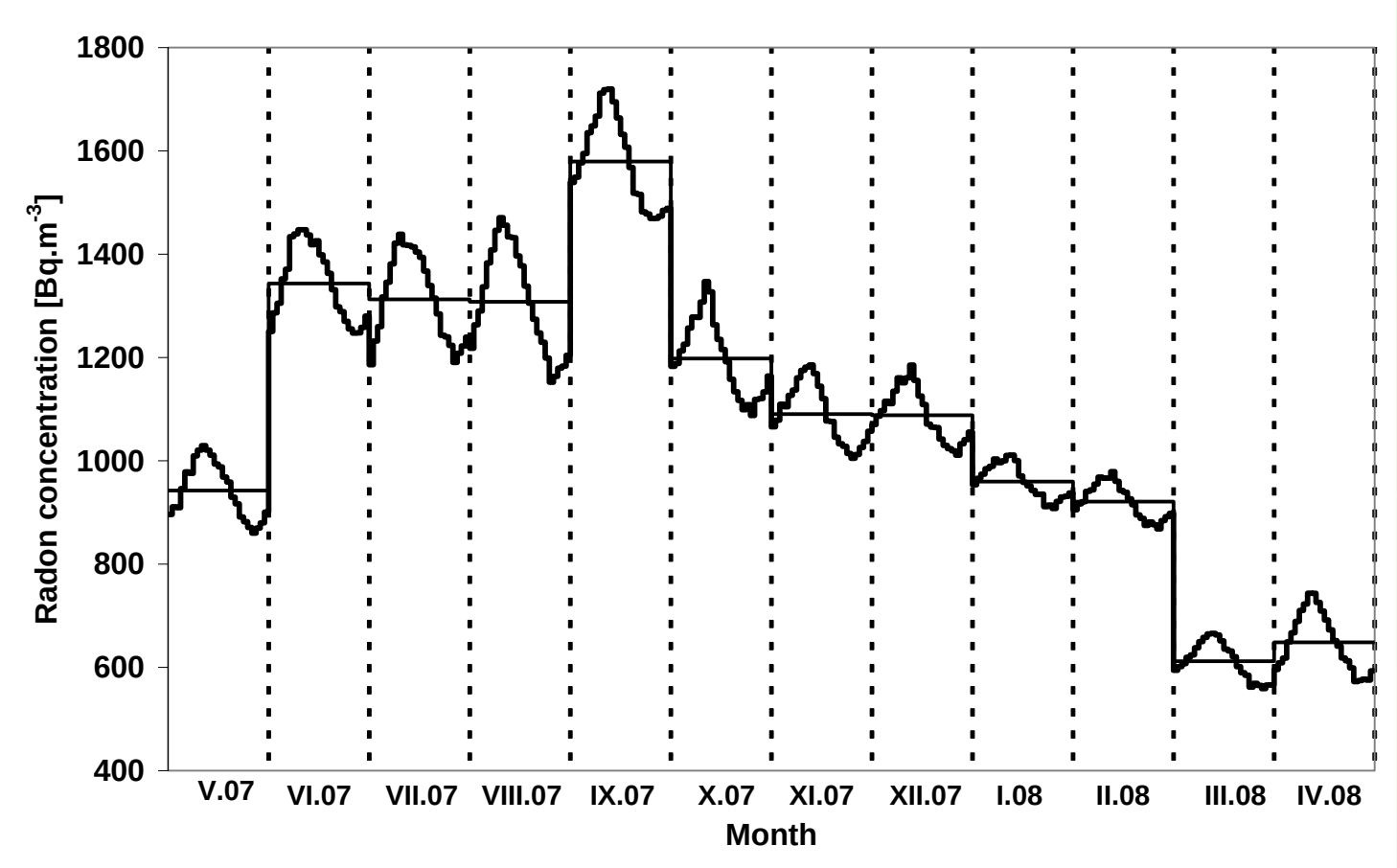
$$A = \frac{R}{\lambda_v . V}$$



# Typická sezónna variácia OAR v budove [*Müllerová et al., BŠD, 2006*]:

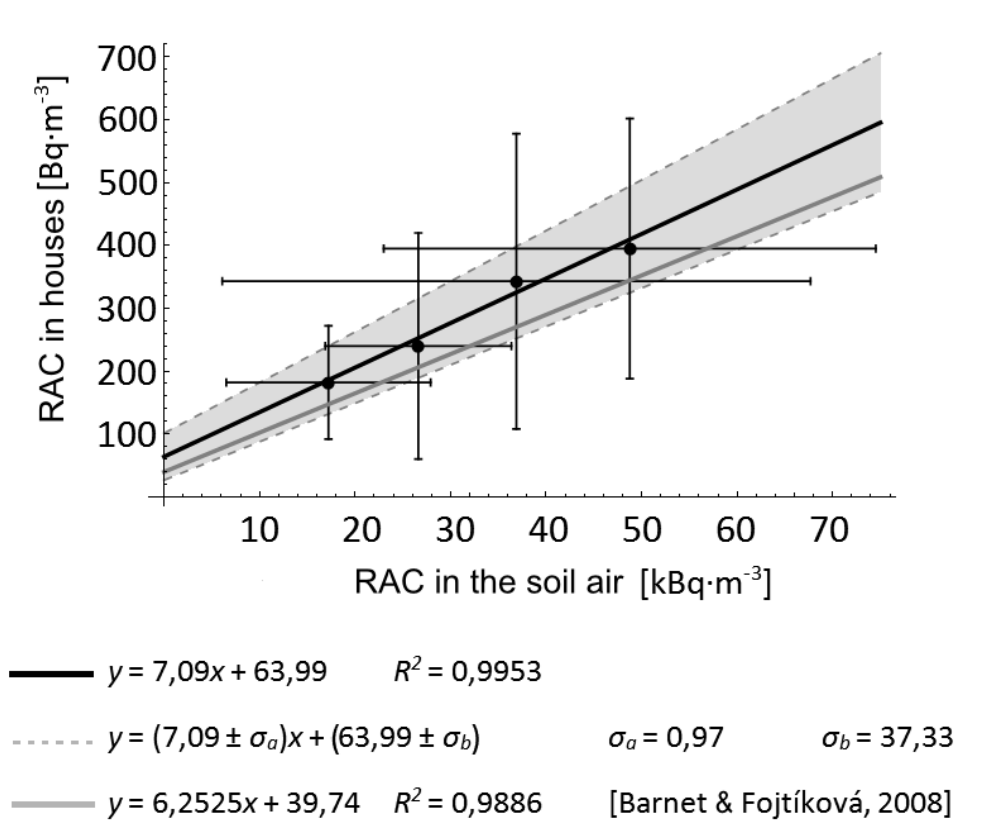


# Typická sezónna variácia OAR v rodinnom dome [***Müllerová, diz. práca, škol. K. Holý***]:

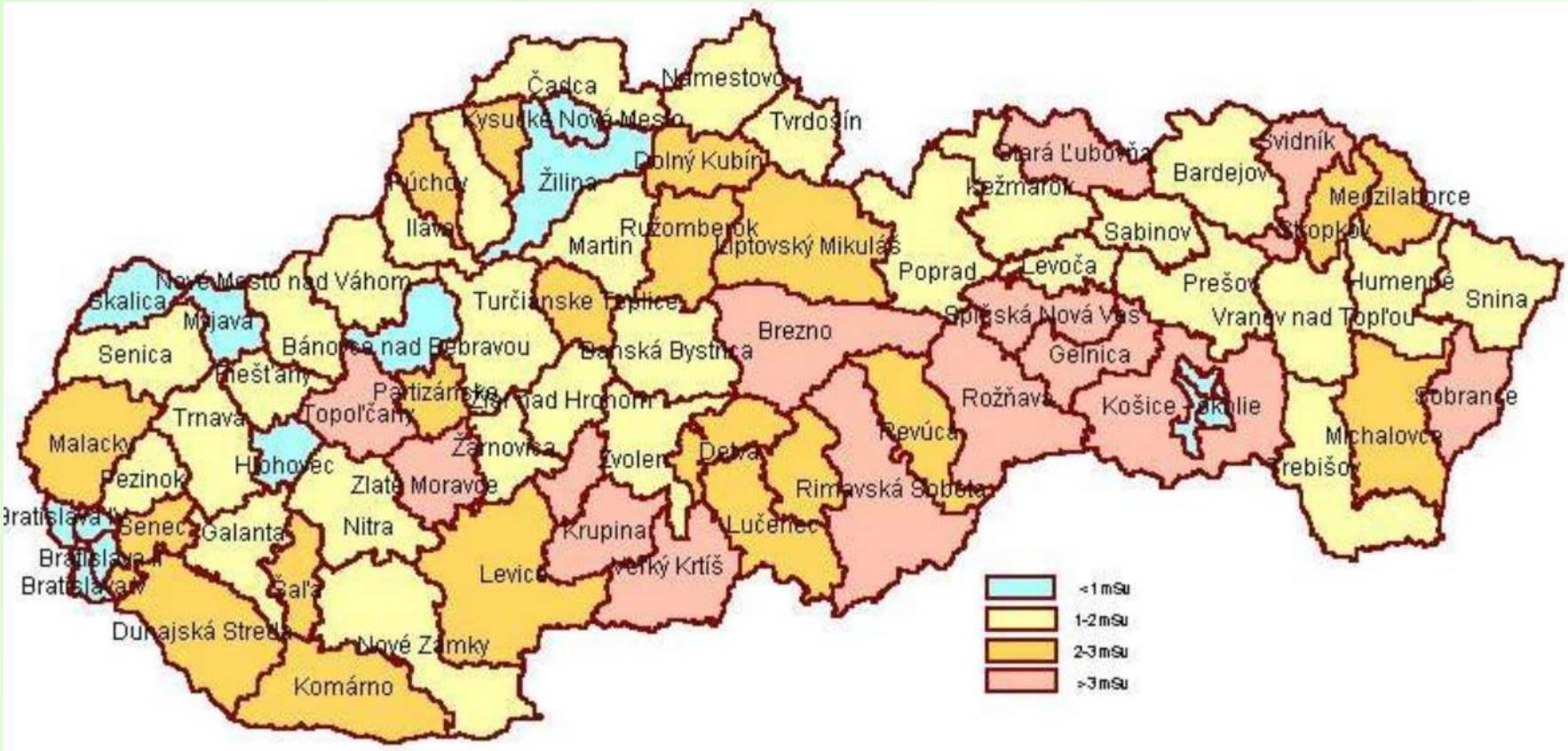


# Závislosť OAR v domoch a OAR v pôdnom vzduchu

[***Bulko et al., RPD, 2017***]



Mapa efektívnych dávok v v pobytových priestoroch v jednotlivých okresoch SR [***Vičanová, diz. práca, škol. K. Holý***]




Zmeraných 3657 bytov (0,2 % celkového bytového fondu SR)

RD: A(Rn) = 125 Bq $m^{-3}$; VD: A(Rn) = 22 Bq $m^{-3}$

# 8. Radón v jaskyniach

- Spravidla uzatvorené podzemné priestory
- Málo vetrané
- Vysoké koncentrácie $^{222}Rn$
- Zamestnanci a sprievodcovia - riziková skupina

## 8.1. Koncentrácia radónu v podzemných priestoroch závisí od:

- obsahu rádia v horninách
- veľkosti povrchu stien, z ktorých nastáva exhalácia radónu
- ventilačnej rýchlosti (jej efektívnosť klesá s dĺžkou štôlne)
- priesak vody zo stien môže zvyšovať exhaláciu

# 8.2. Namerané hodnoty OAR v krasových jaskyniach SR (*Vičanová, diz. práca, škol. K. Holý*)

| **JASKYŇA**<br>**Miesto** | **EOAR min.**<br>**[Bq.m$^{-3}$]** | **EOAR max.**<br>**[Bq.m$^{-3}$]** | **EOAR priemer**<br>**[Bq.m$^{-3}$]** |
|---|---|---|---|
| BELIANSKA | | | |
| Dom objavov | 79 | 8644 | 4014 |
| Hudobná sieň | 59 | 9679 | 2752 |
| BYSTRIANSKA | | | |
| Križovatka | 136 | 10578 | 5785 |
| Liečebňa | 345 | 6749 | 1778 |
| DEMÄNOVSKÁ-SLOBODY | | | |
| Speleoliečebňa | 149 | 4222 | 2140 |
| Rázcestie | 137 | 5867 | 2330 |
| DOMICA | | | |
| Majkov Dóm | 226 | 3342 | 1390 |
| Dom indických pagód | 270 | 3672 | 1502 |
| DRINY | | | |
| Chodba Svätoplukova | 298 | 1991 | 1016 |
| Chodba Beňovského | 240 | 1538 | 926 |
| GOMBASECKÁ | | | |
| Mramorová sieň | 771 | 8861 | 4183 |
| Sieň víl | 424 | 11280 | 4617 |
| HARMANECKÁ | | | |
| Riečisko | 462 | 10295 | 4801 |
| Bludný dom | 2188 | 10210 | 5043 |
| JASOVSKÁ | | | |
| Dom netopierov | 162 | 1733 | 795 |
| Veľký dom | 97 | 1438 | 733 |
| OCHTINSKÁ ARAGONITOVÁ | | | |
| Spojovacia chodba | 102 | 6292 | 3029 |
| Veľká Mliečna cesta | 2131 | 7713 | 5010 |
| VAŽECKÁ | | | |
| Zrútený dom | 491 | 9407 | 5319 |
| Kostnica | 502 | 9022 | 4899 |

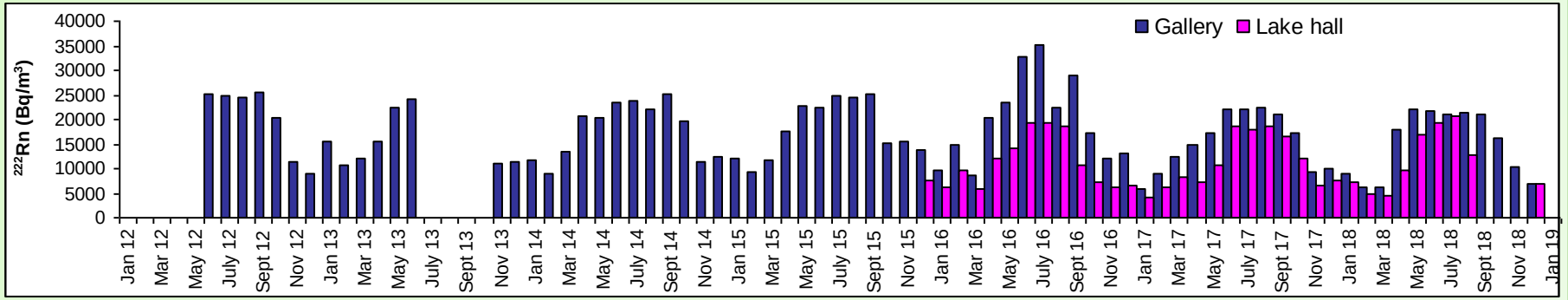
## 8.3. Kontinuálne monitorovanie OAR v jaskyniach

Umožňuje:

- presnejší odhad efektívnych dávok zamestnancov a návštevníkov jaskýň
- sledovať zmenu mikroklímy jaskýň

Uskutočnený monitoring:

- Domica (***Smetanová et al., RPD, 2014***)
- Važecká jaskyňa (***Smetanová et al., Conference Radon in the Environment, Krakow, 2019***)




# Meranie OAR vo Važeckej jaskyni

## 9. Radónový potenciál pôd (RPP) a prečo nás zaujíma

Oblasti kde sa vyskytujú zvýšené OAR v domoch - *radon prone areas* [***Bossew, 2014***]

RPA môžu byť identifikované:

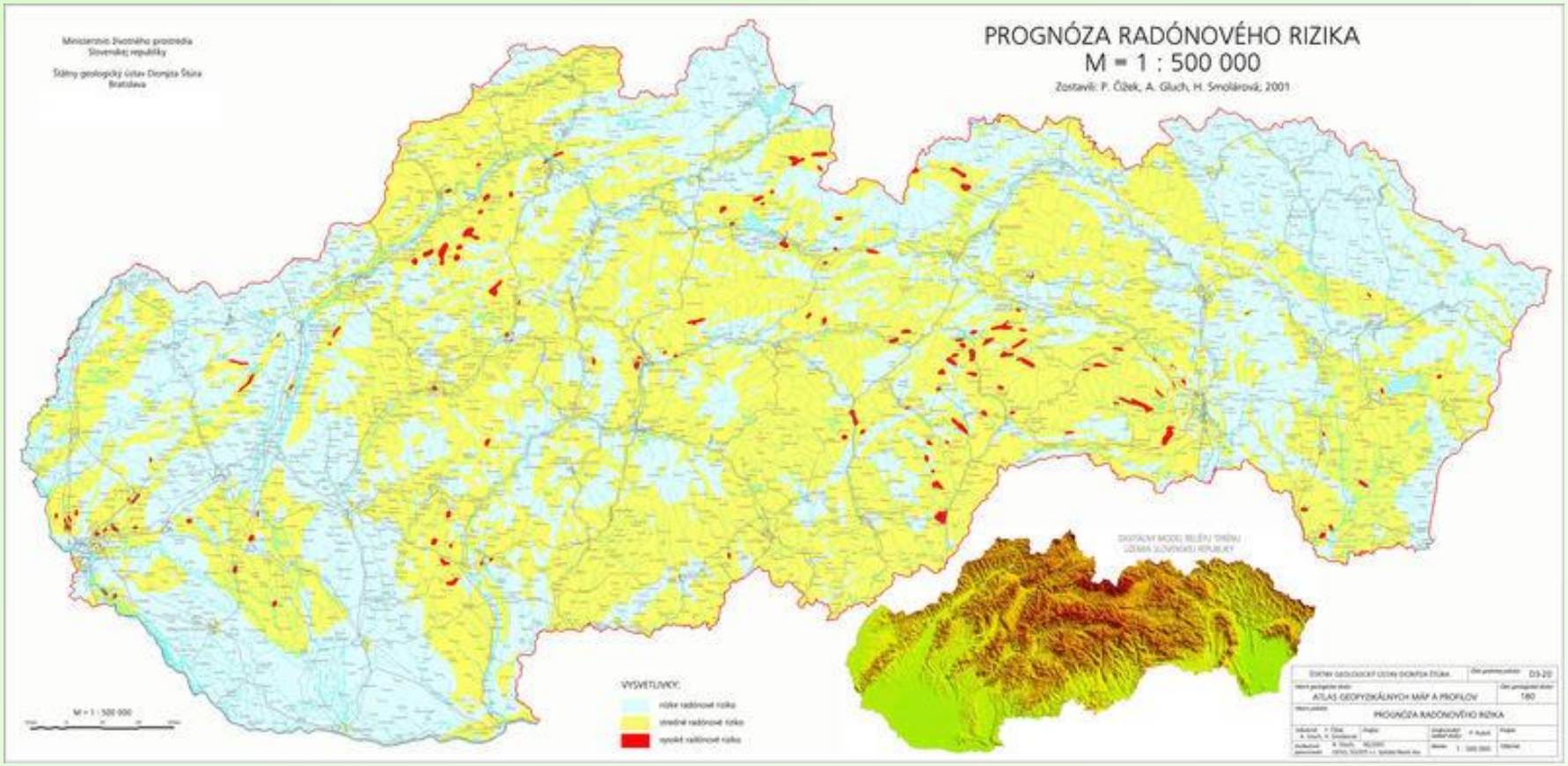
- priamo meraním OAR v domoch (náhodný proces)
- nepriamo na základe RPP [***WHO Handbook, 2009***]

Radónový potenciál pôd môže byť vypočítaný napr. na základe vzťahu [***Neznal et al., 2004***]:

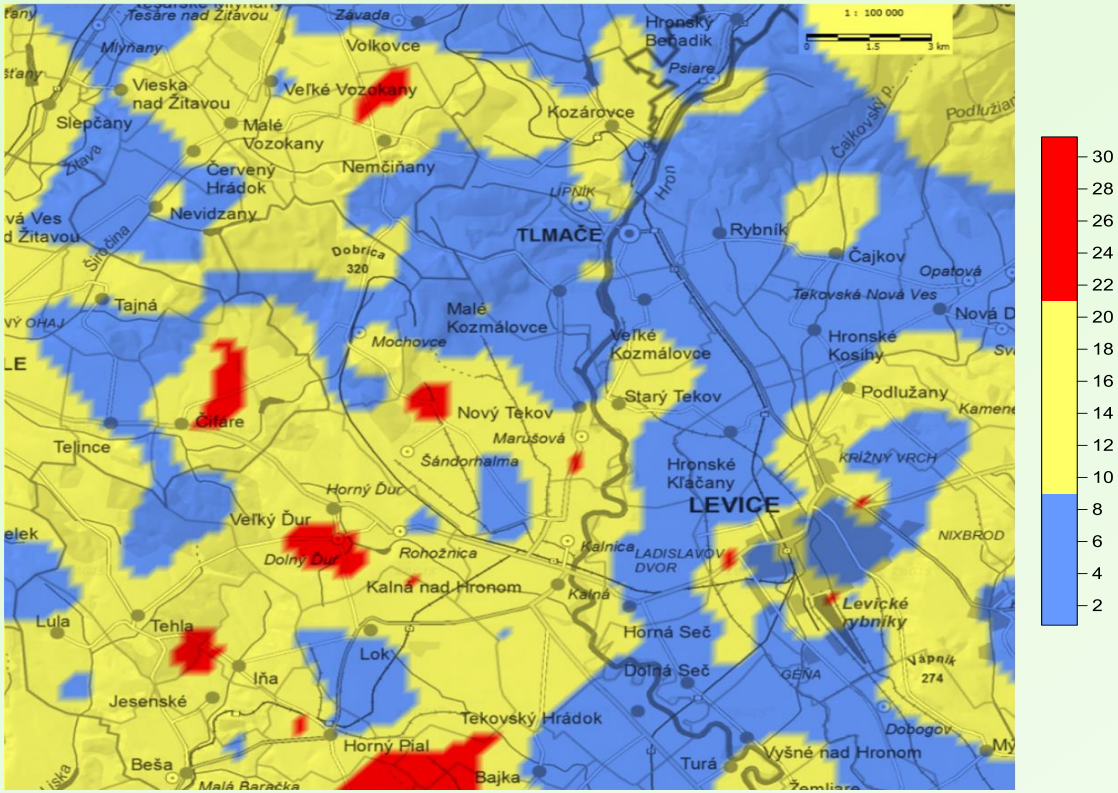
$$RP = \frac{C_A - 1}{-\log k - 10}$$

$C_A$ je OAR v hĺbke 0,8 m[kBq/m$^3$]
$k$ je plynopriepustnosť pôdy [m$^2$]

# Vysoké RR sa vyskytuje iba na zanedbateľnej ploche SR (?)

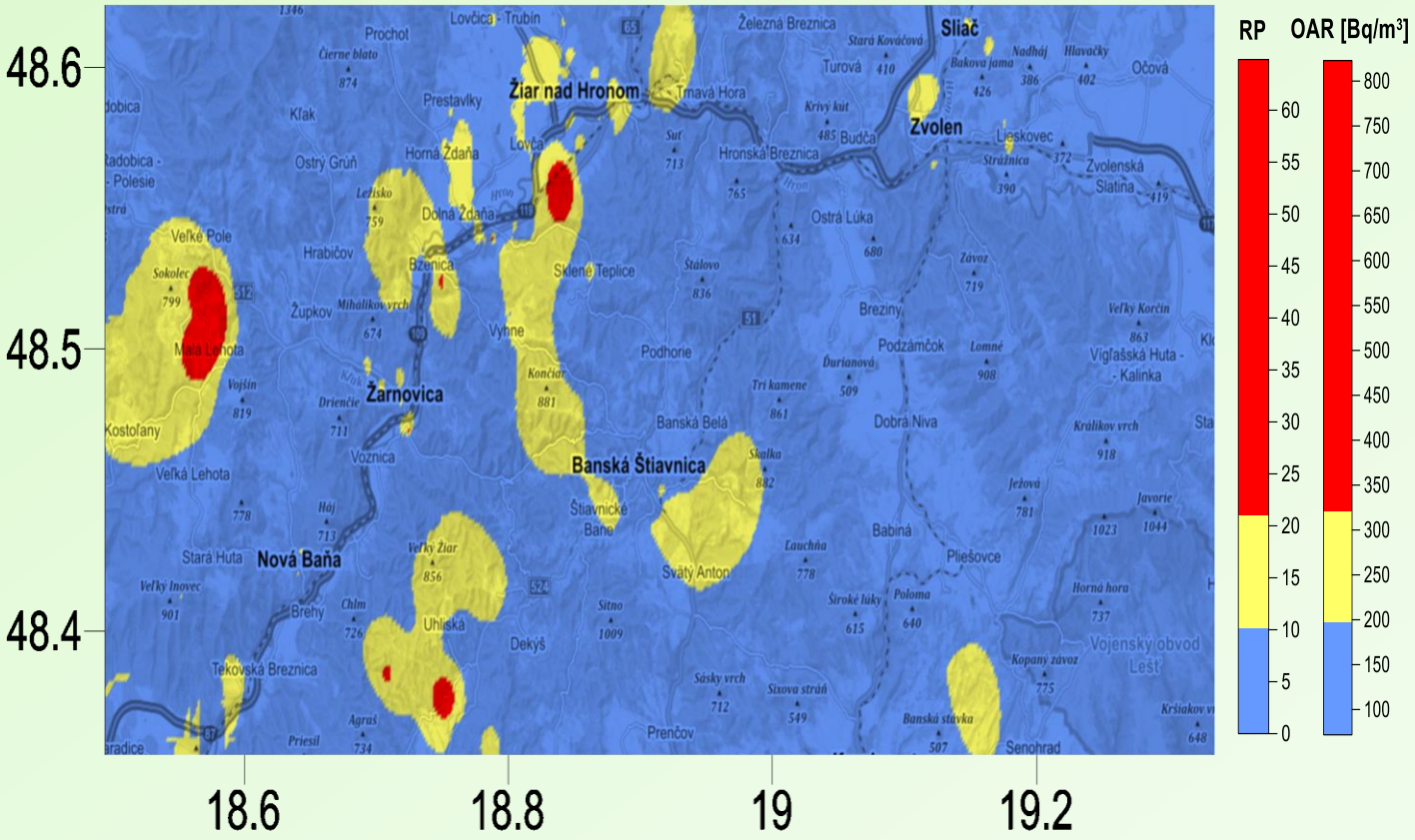


# Preškálovaná mapa RP, resp. radónového rizika – Mochovce a okolie (***Brisudová et al., ŠVK 2019***)



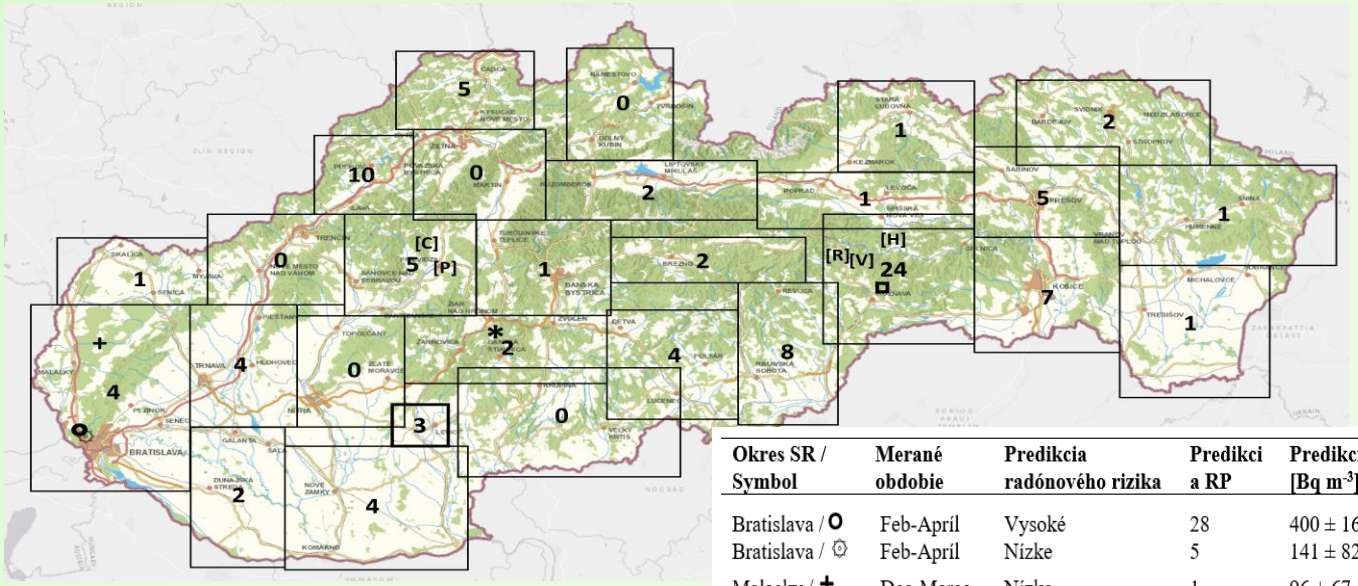

- Na základe mapy boli nájdené dediny, kde v domoch sa vyskytujú vysoké OAR
- Mapy RP môžu slúžiť aj na vyhľadávanie oblastí so zvýšenou OAR vo vodách studní (***Otáhal et al., RPD, 2014***)

# Preškálovaná mapa RP, resp. radónového rizika - Nová Baňa a okolie(***Brisudová, Holý, 2023***)




- Na základe mapy boli nájdené dediny, kde sa v domoch môžu vyskytovať vysoké OAR ( Malá Lehota, Uhliská, Lovča- Sklené Teplice)

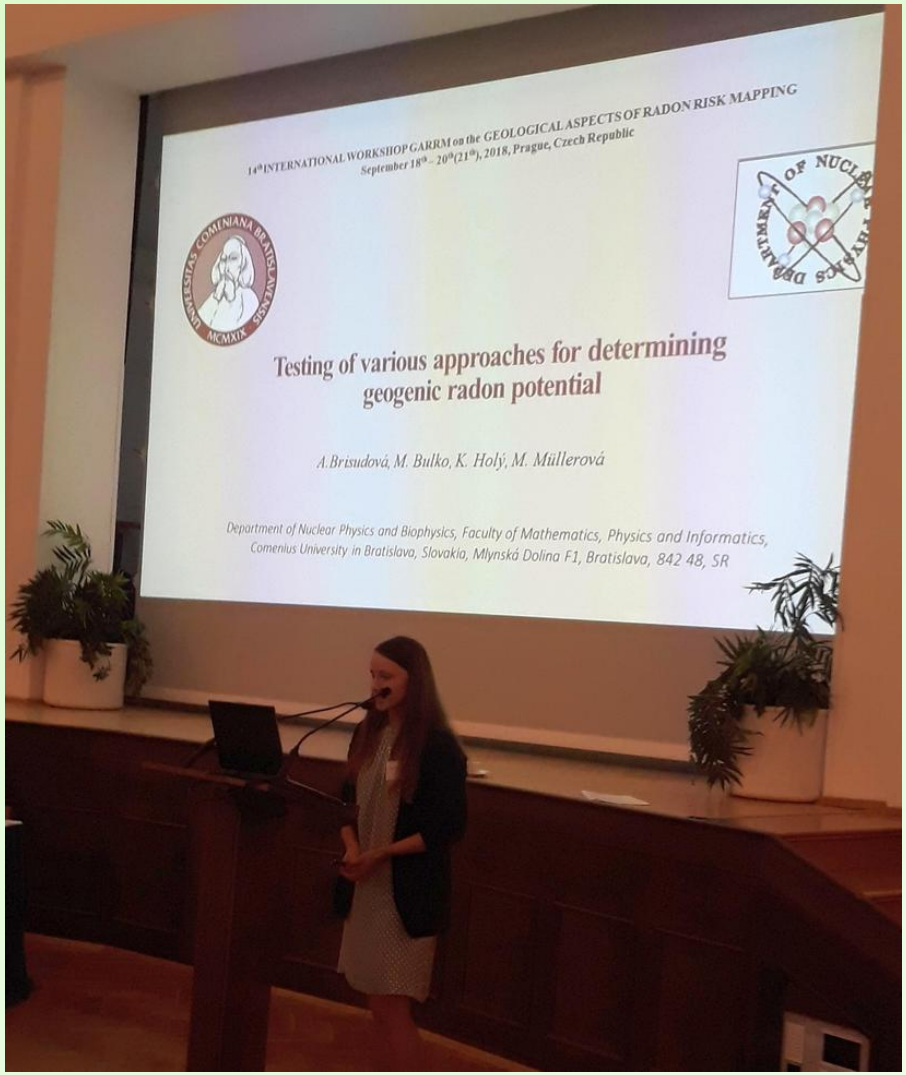
Pomocou RP bolo zistených **99 obcí SR** s predikovanou OAR v domoch **nad RÚ, 5 obcí** s OAR **nad 1000 Bq/m³** ( ***Brisudová, Holý, et al., RPD, 2022)***




| Okres SR / Symbol | Merané obdobie | Predikcia radónového rizika | Predikcia RP | Predikcia OAR [Bq m$^{-3}$] | Merané OAR [Bq m$^{-3}$] |
|---|---|---|---|---|---|
| Bratislava / O | Feb-Apríl | Vysoké | 28 | 400 ± 164 | 446 ± 93 |
| Bratislava / ⚙ | Feb-Apríl | Nízke | 5 | 141 ± 82 | 68 ± 27 |
| Malacky / + | Dec-Marec | Nízke | 1 | 96 ± 67 | 76 ± 27 [Ládiová, 2020] |
| Rožňava / □ | 1 rok | Vysoké | 27 | 389 ± 160 | 1334 ± 594 [Kureková, 2017] |
| Žiar n. Hr. / * | 1 rok | Vysoké | 67 | 840 ± 304 | 1057 ± 225 [Kureková, 2017] |

| Obec SR | Počet obyv. | Zem. šírka [°] | Zem. dĺžka [°] | Priemer RP | Rozsah OAR [Bq/m$^3$] | Priemer E [mSv/r] | Rozsah E [mSv/r] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hnilčík [H] | 522 | 48,87 | 20,56 | 73 | 310 – 1510 | 9,9 | 7,6 – 12,1 |
| Chvojnica [C] | 1614 | 48,88 | 18,56 | 67 | 660 – 1020 | 13,6 | 12,1 – 15,1 |
| Prievidza [P] | 45 141 | 48,77 | 18,62 | 53,5 | 300 – 1080 | 21,2 | 16,6 – 25,7 |
| Rejdová [R] | 765 | 48,79 | 20,28 | 176,5 | 1440 – 2720 | 52,4 | 36,3 – 68,5 |
| Vyšná Slaná [V] | 452 | 48,15 | 20,32 | 76,8 | 380 – 1520 | 26,1 | 13,9 – 38,3 |

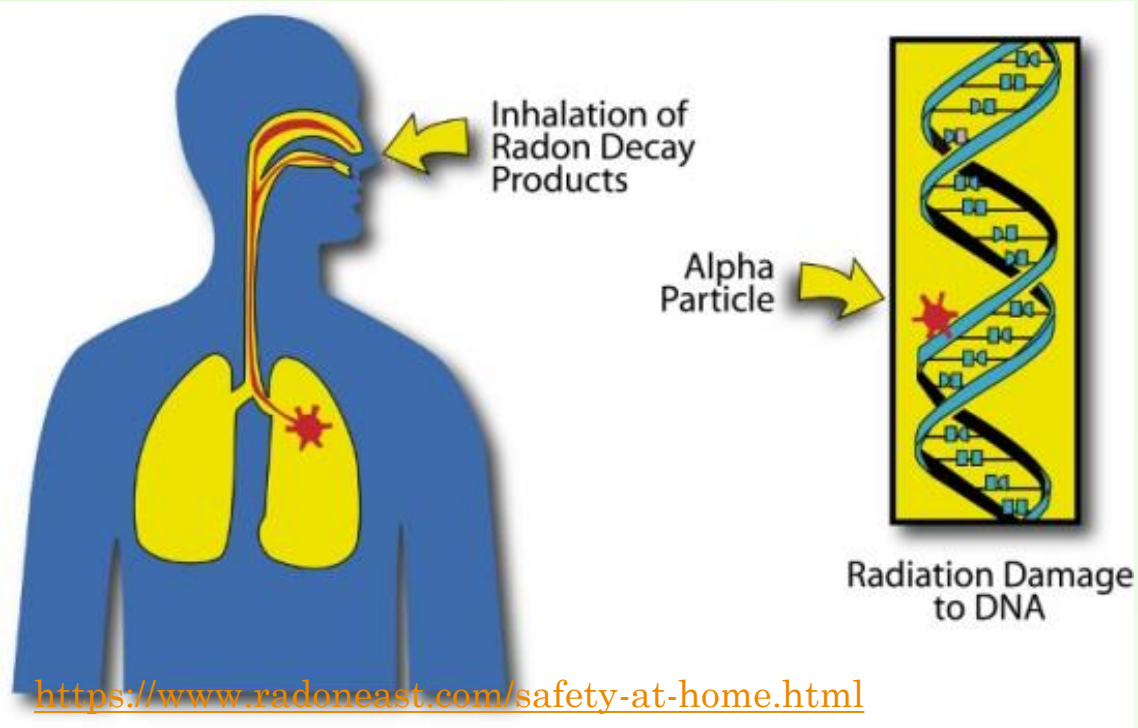
# 14th International Workshop GARRM, Praha, 2018



# 10. Radiačné riziko od radónu

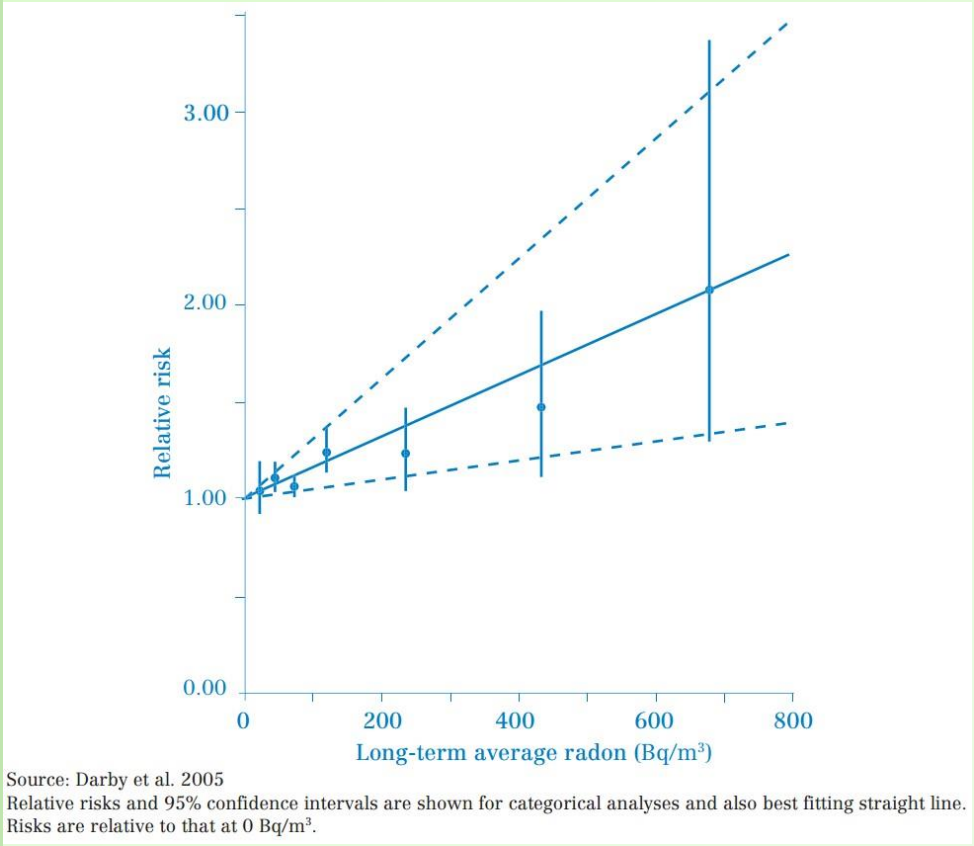
Najväčší príspevok k expozícii pochádza z inhalácie krátko žijúcich produktov $^{222}Rn$:

- RPR sa koncentrujú na pomerne malú plochu dýchacích ciest
- ožarujú bunky pľúcneho epitelu
- zvyšuje sa pravdepodobnosť poškodenia DNA s následným vznikom zhubného nádoru
- dávky absorbované v pľúcnom tkanive z inhalácie radónu a jeho produktov premeny nie je možné merať priamo




https://www.radoneast.com/safety-at-home.html

- Vieme ich odhadnúť alebo vypočítať pomocou rôznych prístupov (analýzou epidemiologických dát baníkov, dozimetrických a mikrodozimetrických modelov, atď.)




Source: Darby et al. 2005
Relative risks and 95% confidence intervals are shown for categorical analyses and also best fitting straight line. Risks are relative to that at 0 Bq/m³.

- Relatívne riziko vzniku rakoviny pľúc (RR) v závislosti od priemernej koncentrácie radónu v obydliach (C) v predchádzajúcom období 5-35 rokov (***WHO Handbook on Indoor Radon, 2009***):

$$RR = 1 + 0.16\ C$$

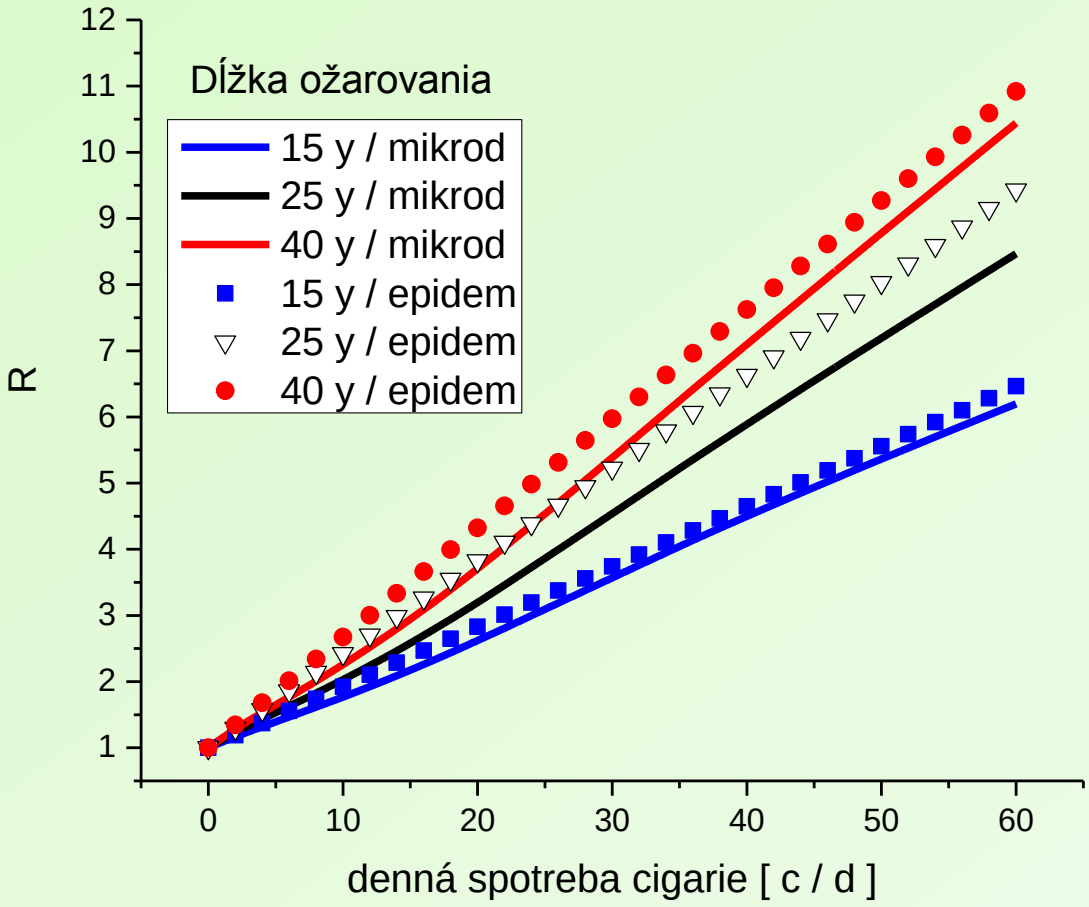
- To znamená, že pri zvýšení OAR o 100 Bq/m$^3$ sa riziko vzniku rakoviny pľúc zvyšuje o 16 %

## Simultánny účinok radónovej expozície a fajčenia

- Fajčením sa dráždia dýchacie cesty → zvýšená produkcia hlienu
- Hyperprodukcia hlienu vyvolaná fajčením – znižuje bronchiálnu dávku od radónu
- Chronická obštrukcia – ju zvyšuje
- Fajčenie aj radónová expozícia zvyšujú relatívne riziko vzniku rakoviny pľúc lineárne.

Súčasný účinok fajčenia a Rn expozície:

- celkové relatívne riziko je **väčšie** ako **súčet** relatívnych rizík
- ale **menšie** ako ich **súčin** (epidemiologické štúdie)




$$R = \frac{ERR(S,W)}{ERR(0,W)}$$

Obrázok ukazuje pomerný prírastok relatívneho rizika vzniku rakoviny pľúc v závislosti od denne vyfajčených cigariet pre:

- A(Rn) = 100 Bq/m3
- rôzne dĺžky ožarovania

(***Böhm et al., DRO 2017***)

**Pre 15 c/deň sa prírastok R zvýši až 3 krát**

# A čo deti?

U detí je citlivosť tráviaceho traktu a pľúcneho tkaniva na radiačné poškodenia vyššia ako u dospelých

**Dýchanie**:- odlišná geometria dýchacích ciest

-iná depozícia častíc RČ na povrchu dýchacích ciest

Celkové riziko napr. 5 ročných detí **väčšie 3,3- 4,5 ako u dospelých**

Onkologické riziko sa prenáša z detstva do stredného veku (obdobie latencie rakoviny pľúc)

**Ingescia vody:** u detí je nižšia spotreba vody ale vyššia citlivosť na žiarenie

Pri rovnakej aktivite radónu vo vode:

**AED(deti-2r) = 2 x AED (dospelí)**

## 11. Akčný radónový plán

Povinnosť zavádzať ho v členských krajinách EU vyplýva zo:

*Smernice Rady 2013/59/Euratom z 5. decembra 2013, ktorou sa stanovujú základné bezpečnostné normy ochrany pred nebezpečenstvami vznikajúcimi v dôsledku ionizujúceho žiarenia*

V smernici sa konštatujú východiská:

- **Nedávne epidemiologické zistenia** rezidenčných štúdií **preukazujú** štatisticky **významné zvýšenie rizika rakoviny pľúc** spôsobeného dlhotrvajúcim interiérovým ožiarením radónom **na úrovniach rádovo 100 Bq $m^{-3}$ .**

- **Sú potrebné národné akčné plány** na riešenie dlhodobých rizík vyplývajúcich z ožiarenia radónom

- *Uznáva sa, že **kombinácia fajčenia a vysokého ožiarenia radónom predstavuje výrazne vyššie individuálne riziko** rakoviny pľúc **ako každý z týchto faktorov samostatne***

## Referenčná úroveň

*Členské štáty si stanovia pre interiérové koncentrácie radónu národné referenčné úrovne ročnej priemernej koncentrácie aktivity, ktoré* ***nepresiahnu 300 Bq m$^{-3}$*** *, pokiaľ si to nevyžiadajú dané vnútroštátne okolnosti*

*Článok 103*

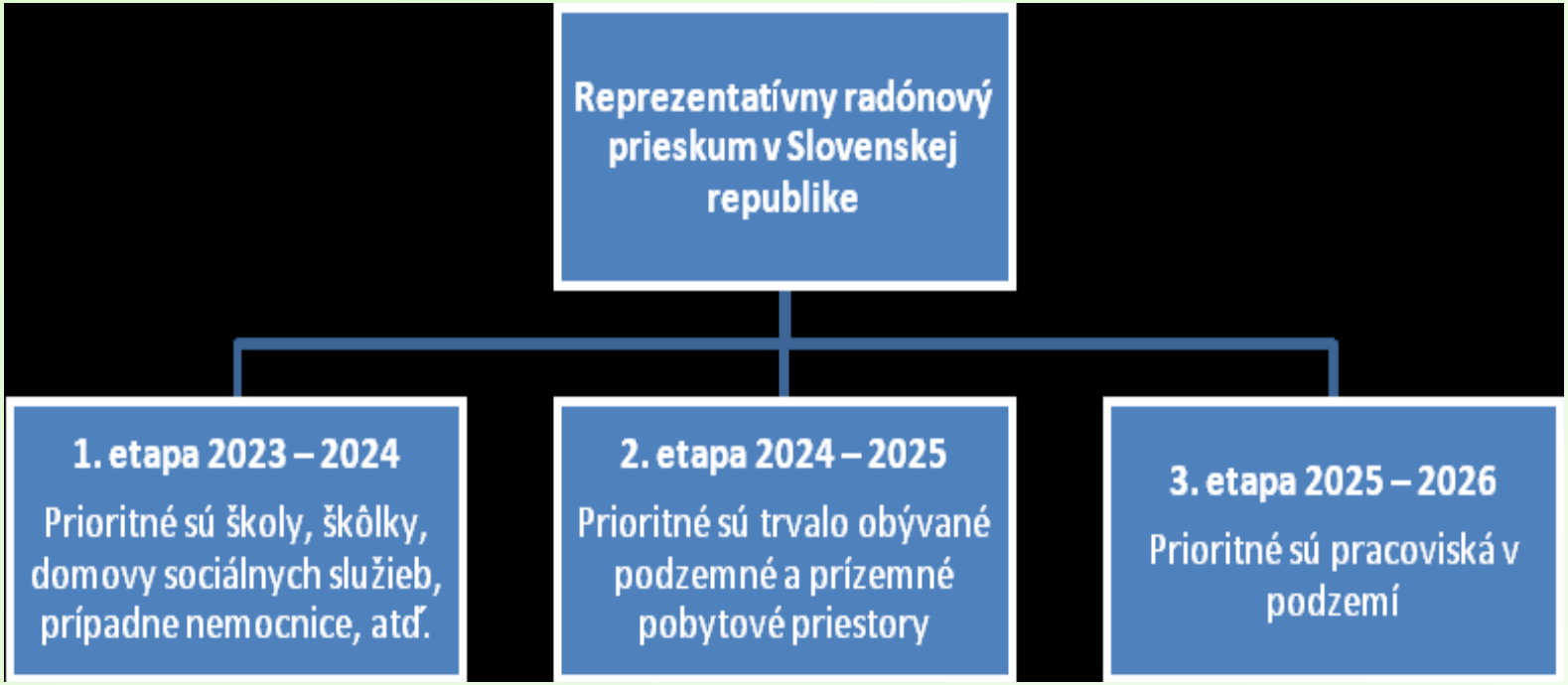
**Akčný plán pre radón**

- 1. Členské štáty **vypracujú národný akčný plán na zvládanie dlhodobých rizík** spôsobených ožiarením radónom v obydliach, verejne prístupných budovách a na pracoviskách pri akomkoľvek prieniku radónu, či už z pôdy, stavebných materiálov, alebo vody.
- 2. Členské štáty **zabezpečia zavedenie príslušných opatrení na predchádzanie prieniku radónu do nových budov**. Tieto opatrenia môžu zahŕňať osobitné požiadavky v rámci národných stavebných poriadkov.
- 3. Členské štáty **identifikujú oblasti**, v ktorých sa očakáva, že koncentrácia radónu (ako ročný priemer) prekročí vo výraznom počte budov príslušnú národnú referenčnú úroveň.

# Národný akčný plán pre radón SR 2022- 2026

- 1. Identifikácia území so zvýšeným výskytom radónu
- 2. Zvýšenie radónového povedomia verejnosti s využitím informačných technológií
- 3. Preventívne a nápravné opatrenia na znižovanie výskytu radónu v pobytových priestoroch a na pracoviskách

# Etapy reprezentatívneho radónového prieskumu v SR *(Zdroj NARP SR)*




***Vlastník budovy**, ktorá slúži predškolskému zariadeniu alebo školskému zariadeniu, na poskytovanie sociálnych služieb alebo poskytovanie zdravotnej starostlivosti, alebo na iné komerčné účely pri dlhodobom pobyte osôb, **je povinný zabezpečiť merania objemovej aktivity radónu vo vnútornom ovzduší budovy.**“ (Zdroj NARP SR)*

**12. Legislatíva**

1. ZoRO_87_2018 : **Domy a pracoviská** - RÚ= 300 Bq/m3
2. ZZ_2018_100: **Pitné vody**

- IH: Rn=100 Bq/l, dojčatá: Rn=20 Bq/l
  MH: Rn=300 Bq/l, dojčatá: Rn=100 Bq/l
  **Minerálna voda**
  IH: Rn=100 Bq/l, MH: Rn=600 Bq/l

3. ZZ_2018_98: **Prírodné zdroje IŽ**

-RO pracovnikov
-Rádioaktivita stavebných materiálov
- Základné preventívne opatrenia na obmedzenie ožiarenia z radónu
- Základné nápravné opatrenia v budove so zvýšeným výskytom radónu

- **(1) Základné preventívne opatrenie** na obmedzenie ožiarenia z radónu je
- a) stanovenie radónového indexu pozemku,
- b) projektovanie opatrenia a vykonanie opatrenia na zabránenie prieniku radónu z geologického
- podložia stavebného pozemku do budovy,
- c) odvetranie pôdneho radónu z geologického podložia stavebného pozemku mimo budovy alebo
- d) zvýšenie tesnosti kontaktných konštrukcií a vytvorenie podtlaku pod budovou.
-
- **(2) Základné nápravné opatrenie** v budove s možným zvýšeným výskytom radónu je
- opatrenie
- **a) na zníženie prísunu** radónu do budovy, ktorým je
- 1. zvýšenie tesnosti kontaktných konštrukcií,
- 2. vytvorenie podtlaku pod budovou,
- 3. zvýšenie tesnosti kontaktných konštrukcií a vytvorenie podtlaku pod budovou,
- 4. zabránenie transportu radónu z nepobytových priestorov do pobytových priestorov,
- 5. vybudovanie tienenia zdroja radónu, ak je zdrojom radónu stavebný materiál, alebo
- 6. odstránenie zdroja radónu,
-
- **b) na zvýšenie výmeny vzduchu** v budove, ktorým je
- 1. zvýšenie výmeny vzduchu v pobytových priestoroch,
- 2. zvýšenie výmeny vzduchu v nepobytových priestoroch.
-
- (3) **Kontrola účinnosti** vykonaných opatrení podľa odseku1 alebo 2 sa vykoná meraním
- objemovej aktivity radónu vo vnútornom ovzduší budovy.
-

# Záver

Radón predstavuje jedno z mnohých rizík

- **Radónom je však exponované celé obyvateľstvo**
- Riziko od radónu nie je treba preceňovať, ale ani podceňovať
- Pre ochranu pred radónom je potrebné dodržiavať všetky dostupné opatrenia (kontrola vody, stavebných materiálov, stavebného pozemku a účinnosti opatrení, atď.)
- Redukcia vnútorných koncentrácií Rn na úroveň vonkajších a tak zníženie Rn rizika na minimum predstavuje veľmi dlhú cestu
- Avšak existuje len jeden absolútny spôsob ochrany pred Rn - nedýchať - odporúčam vyhýbať sa mu ☺

„Bezradónové“ domčeky:

http://woodenhome.woodenhomeindia.com/stilt-wooden-cottage-a-house-raised-on-piles-above-on-groun/u143

# Radónový tím
# ( v neustálom vývoji)

Ďakujem za pozornosť!