

# Multi-kompartmentový přístup ke kvantifikaci objemové rychlosti přísnunu zdrojů radonu do budov s využitím měřené intenzity větrání pomocí techniky indikačních plynů

---

Michal Šesták  
6. května 2019

# Osnova

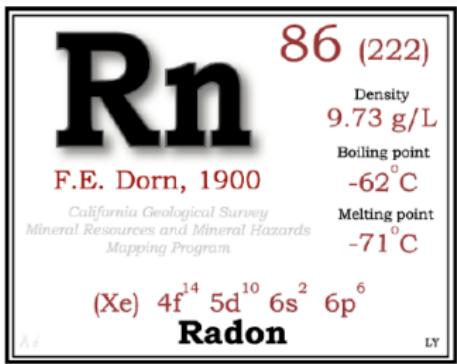
Radon (co to je, jeho dcery, proč je nebezpečný, co ovlivňuje jeho přísun do bytu, jak se měří, ochrana proti němu)

Výzkumný úkol (model, rovnice, nejistoty, měření průtoků vzduchů)

Radon (Co to je, jeho dcery, proč  
je nebezpečný, co ovlivňuje jeho  
přísun do bytu, jak se měří,  
ochrana proti němu)

---

# Radon



## Alphas from $^{222}\text{Rn}$ (3.8235 d 3)

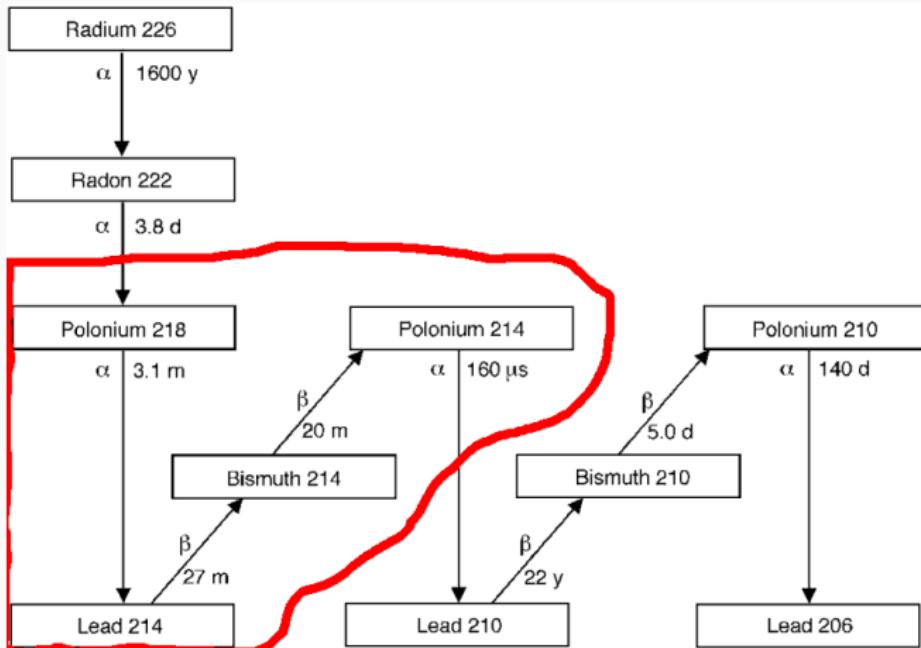
E $\alpha$ (keV)	I $\alpha$ (%)
4827 4	~0.0005
4987 1	0.078
5489.52 30	99.92 1

## Gammas from $^{222}\text{Rn}$ (3.8235 d 3)

E $\gamma$ (keV)	I $\gamma$ (%)	Decay mode
511 2	0.076	$\alpha$

[1]

# Radon



# Hodnoty OAR pro různá prostředí

Prostředí	Obvyklé hodnoty	Extrémní hodnoty
Venkovní atmosféra	5 – 20 Bq/m <sup>3</sup>	400 až 1000 Bq/m <sup>3</sup>
Obytné místnosti	50 – 800 Bq/m <sup>3</sup>	>10 000 Bq/m <sup>3</sup>
Podzemní prostory	200 – 10 000 Bq/m <sup>3</sup>	až 70 000 Bq/m <sup>3</sup>
Půdní vzduch	5 – 500 kBq/m <sup>3</sup>	50 000 kBq/m <sup>3</sup>
Podzemní voda	20 – 400 Bq/l	20 000 Bq/l

[1]

- průměrná hodnota v ČR v bytech = 118 Bq/m<sup>3</sup>
- cca 41 % z celkového ozáření

# Detektory radonu

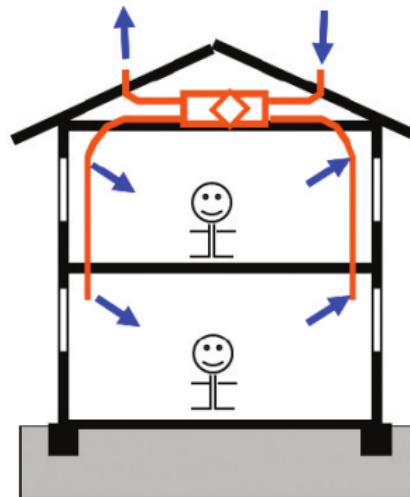


[2]



# Ochrana proti radonu

- větrání
- referenční hodnoty:  $300 \text{ Bq/m}^3$ ,  
 $100 \text{ Bq/l}$
- protiradonová opatření: izolace,  
odvětrávání

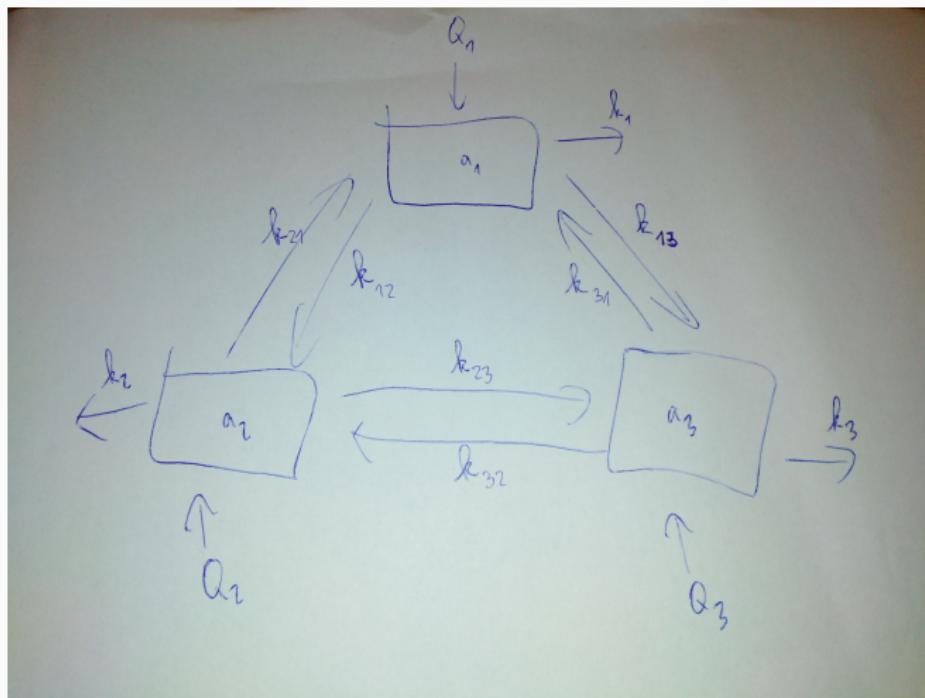


[3]

## Můj výzkumný úkol

---

# Multi-kompártmentový přístup ke kvantifikaci objemové rychlosti přísnunu zdrojů radonu do budov s využitím měřené intenzity větrání pomocí techniky indikačních plynů



# Model

$$\dot{a}_i = \frac{1}{V_i} \left( \sum_{j=1}^n a_j k_{ji} - \sum_{j=1}^n a_i k_{ij} + Q_i \right) - (\lambda + k_i) a_i \quad (1)$$

$a_i$	koncentrace radonu v $i$ -té zóně	[Bq/m <sup>3</sup> ]
$V_i$	objem $i$ -té zóny	[m <sup>3</sup> ]
$k_{ij}$	objemový průtok vzduchu z $i$ -té zóny do $j$ -té zóny	[m <sup>3</sup> /hod]
$\lambda$	přeměnová konstanta radonu	[1/hod]
$k_i$	výměna vzduchu $i$ -té zóny	[1/hod]
$Q_i$	přísun radonu do $i$ -té zóny	[Bq/hod]

# Model

$$V_i \dot{a}_i = \sum_{j=1}^n a_j k_{ji} - \sum_{j=1}^n a_i k_{ij} - V_i(\lambda + k_i) a_i + Q_i \quad \text{první varianta} \quad (2)$$

$$V_i \dot{a}_i = \sum_{j=1}^{n+1} a_j k_{ji} - \sum_{j=1}^{n+1} a_i k_{ij} - V_i \lambda a_i + Q_i \quad \text{druhá varianta} \quad (3)$$

- druhá varianta v případě blízkosti uranových hald atd.
- **rovnovážný stav:**

$$0 = \sum_{j=1}^n a_j k_{ji} - \sum_{j=1}^n a_i k_{ij} - V_i(\lambda + k_i) a_i + Q_i \quad (4)$$

## Model - doplňující informace

- Odhad nejistot  $Q_i = Q_i(a_j, V_i, \dot{a}_i, k_{ij}, k_{ji}, k_i)$ ,  $j \in \hat{n}$ :

$$\sigma_{Q_i, Q_j} = \sum_k \sum_l \frac{\partial Q_i}{\partial x_k} \frac{\partial Q_j}{\partial x_l} \sigma_{x_k, x_l}, \quad (5)$$

ale není k dispozici výběrová kovarianční matice

- kontinuální měření: nahrazení derivace  $\dot{a}$  diferencemi  $\ddot{a}_-, \ddot{a}, \ddot{a}_+$ , např:

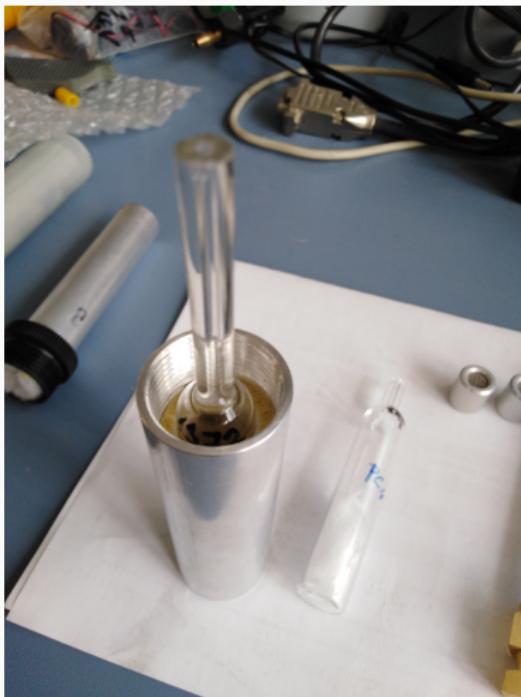
$$\ddot{a} = \frac{a(t + \tau) - a(t - \tau)}{2\tau}, \quad (6)$$

$\tau = 30$  min je časový krok

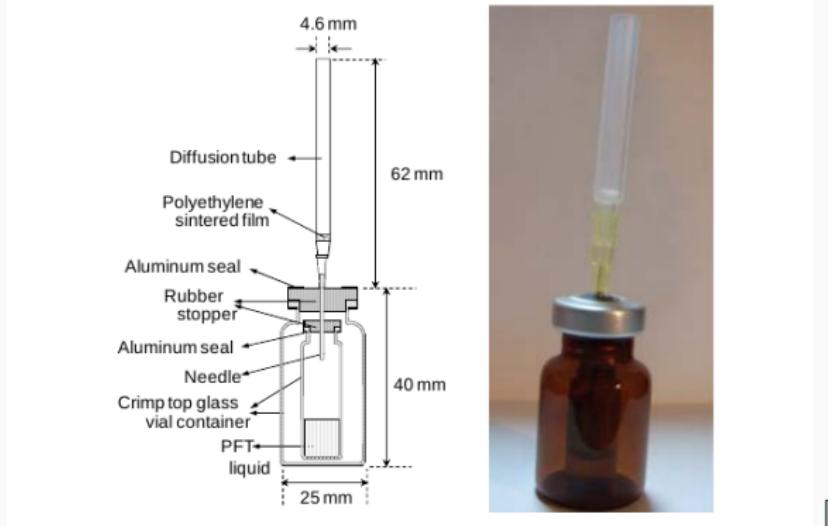
# Měření průtoků vzduchu mezi zónami

- indikační plyny = perfluorokarbony,
  - netoxické, inertní, čisté, bezbarvé, nehořlavé a neradioaktivní plyny.
  - v přírodě se nevyskytují
- $N$  zón = minimálně  $N$  tracerů
- vyvíječe
- integrální detektory, analýza tracerů pomocí chromatografie
- další instrumentace: laserové dálkometry, kontinuální měřidla teploty, dávkovače tracerů do vyvíječů, pinzety atd.
- **doba měření:** 7 dní (screening) nebo jeden měsíc v běžném uživatelském režimu

# Detektory a vyuvíječe



**Figure 3.** Photograph and schematic diagram of developed PFT doser. To start dosing, the doser has only to be pricked by a needle with a diffusion tube.



[4]

# Modelový příklad 1

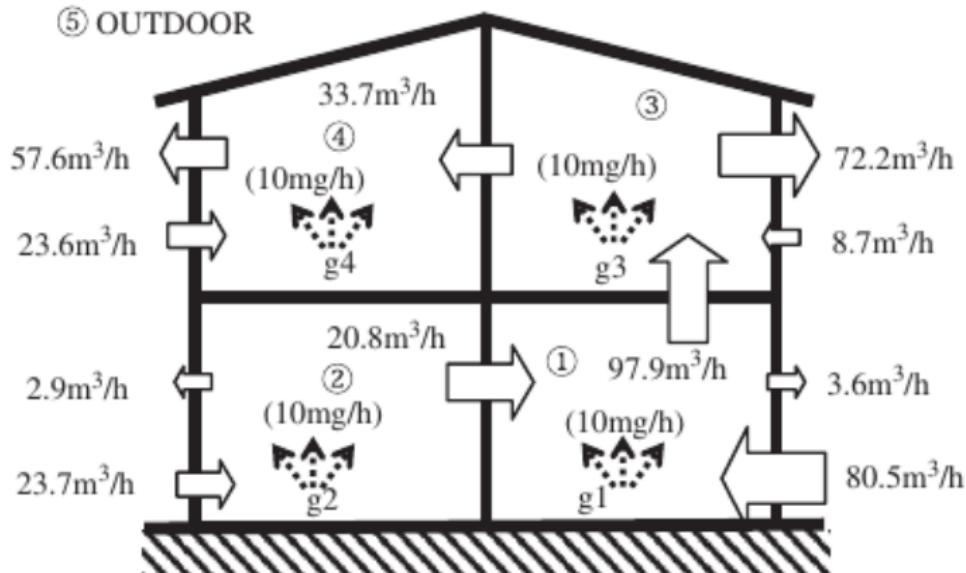
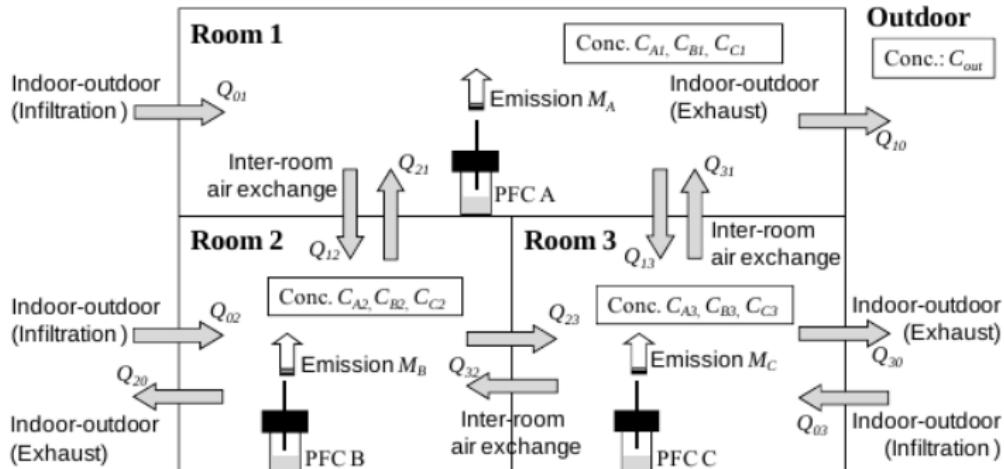


Fig. 10. One week averaged airflow rates and gas generation rates.

[5]

# Modelový příklad 2

**Figure 1.** Indoor-outdoor and inter-room air and PFT flows.



[4]

# Problémy

- nehomogenita koncentrace indikačních plynů v jednotlivých zónách => rozdělení na podzóny, použití pravděpodobnostních distribucí
- mohou vycházet záporné průtoky/výměny vzduchu -> je nutná kvalitní analýza nejistot

# Odkazy

---

-  FROŇKA, Aleš; MOUČKA, Ladislav. Základní fyzikální principy - fyzika radonu (prezentace kurzy ZOZ srpen 2018). 2018.
-  PLCH, Jiří. *Monitor radonu RADIM 3A*.
-  JIRÁNEK, Martin. *Opatření proti radonu pro novostavby*. SÚJB a Stavební fakulta ČVUT v Praze, 2017.
-  SHINOHARA, Naohide; KATAOKA, Toshiyuki; TAKAMINE, Koichi; BUTSUGAN, Michio; NISHIJIMA, Hirokazu; GAMO, Masashi. Modified Perfluorocarbon Tracer Method for Measuring Effective Multizone Air Exchange Rates. *International journal of environmental research and public health*. 2010, roč. 7, s. 3348–58. Dostupné z DOI: [10.3390/ijerph7093348](https://doi.org/10.3390/ijerph7093348).
-  OKUYAMA, Hiroyasu; ONISHI, Yoshinori; TANABE, Shin-ichi; KASHIHARA, Seiichi. Statistical data analysis method for multi-zonal airflow measurement using multiple kinds of perfluorocarbon tracer gas. *Building and Environment*. 2009, roč. 44, č. 3, s. 546–557. ISSN 0360-1323. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.04.014>.
-  JÍLEK, Karel; FROŇKA, Aleš. CERTIFIKOVANÁ METODIKA, Metodika stanovení výměny vzduchu ve vnitřním ovzduší budov s využitím pasivních integrálních měřidel indikačních plynů (pro potřeby SÚJB). 2016.
-  Markes International [online]. 2019 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.markes.com/>.