

Multi-kompártmentový přístup ke kvantifikaci a lokalizaci přísunů radonu do budov s využitím techniky indikačních plynů



FAKULTA
JADERNÁ
A FYZIKÁLNĚ
INŽENÝRSKÁ
ČVUT V PRAZE

Michal Šesták^{1,2}, Karel Jílek¹

¹Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

²Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

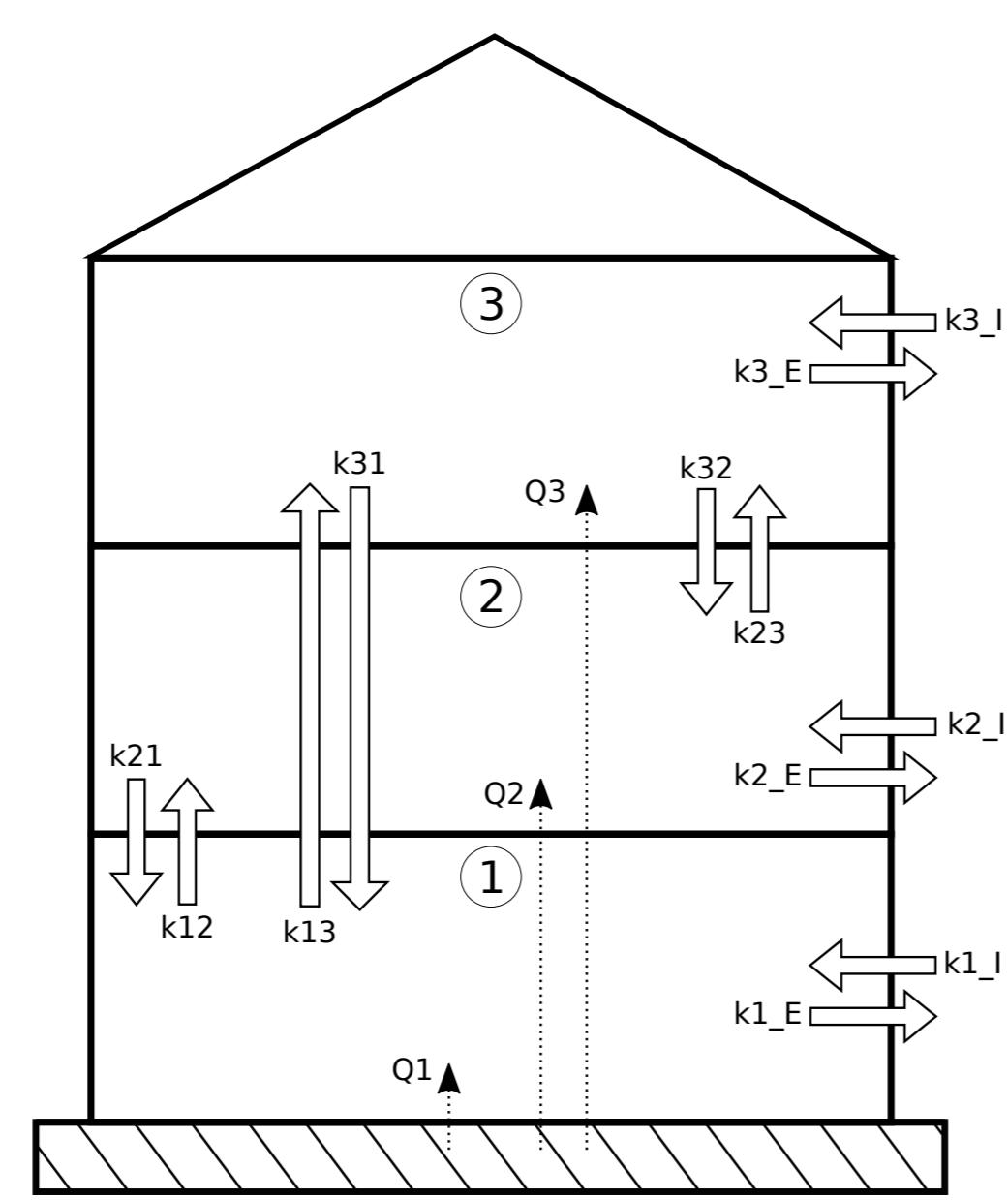
Úvod

Motivace radonová diagnostika budov s využitím techniky indikačních plynů

Cíl vytvoření výpočetního modelu pro lokalizaci a kvantifikaci přísunů radonu do jednotlivých částí objektu a jeho ověření na naměřených datech; dále vytipovat nevhodnější kombinaci indikačních plynů

Postup

1. rozdelení objektu na kompárty (zóny)
2. potřeba znát obj. průtoky vzduchu mezi kompartmenty → metoda indikačních plynů
3. potřeba znát průměrné OAR v kompartmentech → TESLA TSR sondy & CANARY měřidla
4. potřeba znát objemy kompartmentů
5. výpočet pomocí soustavy rovnic (2)
6. použití průtokových zdrojů radonu typu RF 2000 (ČMI Praha) pro realizaci známých přísunů radonu



Ověření modelu pro ilustraci byly vybrány výsledky z dvou objektů (viz tab. 1) s definovanými přísuny radonu do kompartmentů

Tab. 1: Objekty, v nichž bylo provedeno měření přísunů radonu. N je počet kompartmentů, na který byl daný objekt rozdelen.

Objekt	Rozsah měření	t [dny]	Typ objektu	N
1	23. 5. – 5. 6. 2019	14	chata	3
2	9. 7. – 30. 7. 2019	22	rodinný dům	3

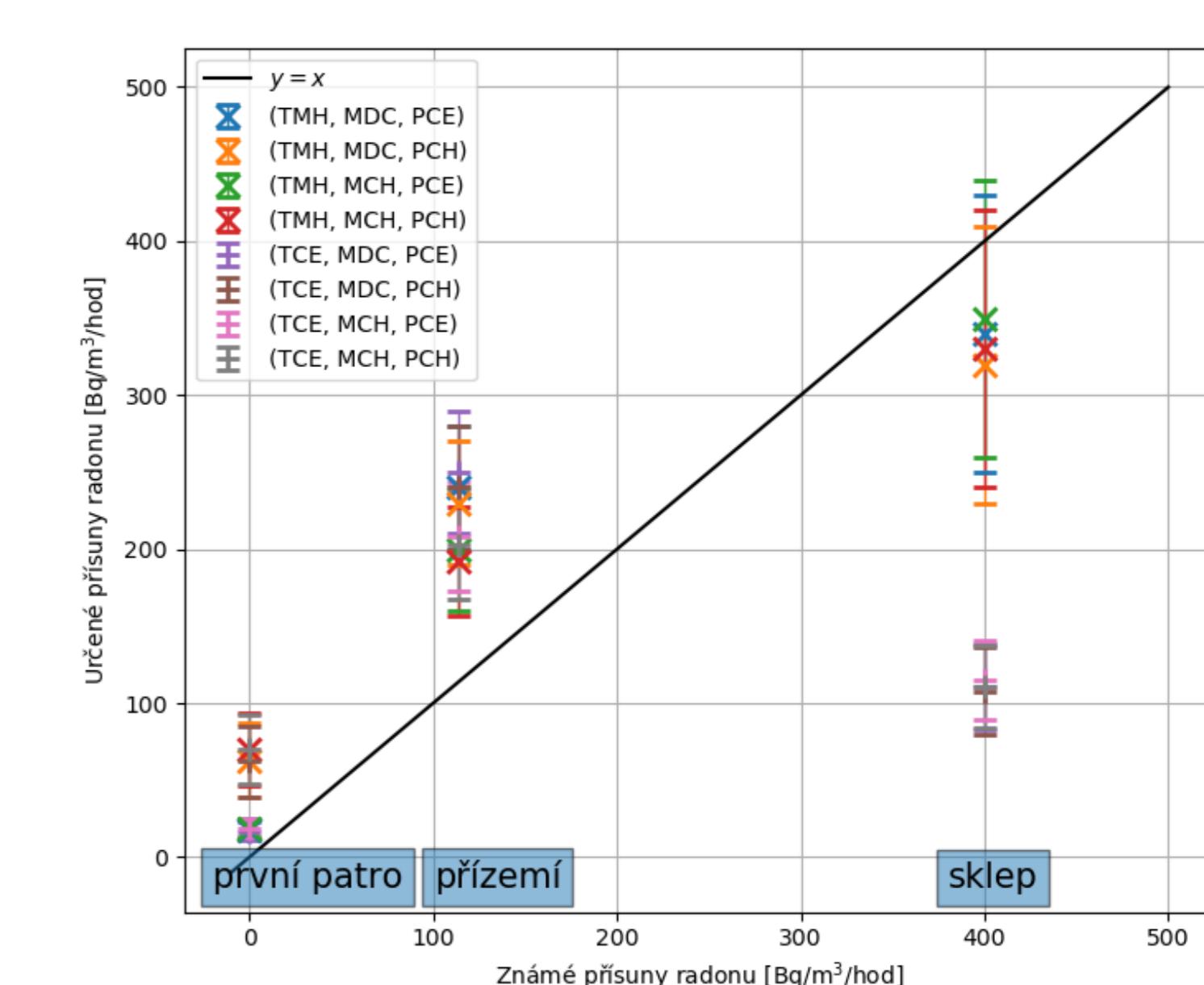
Výsledky z objektu 1



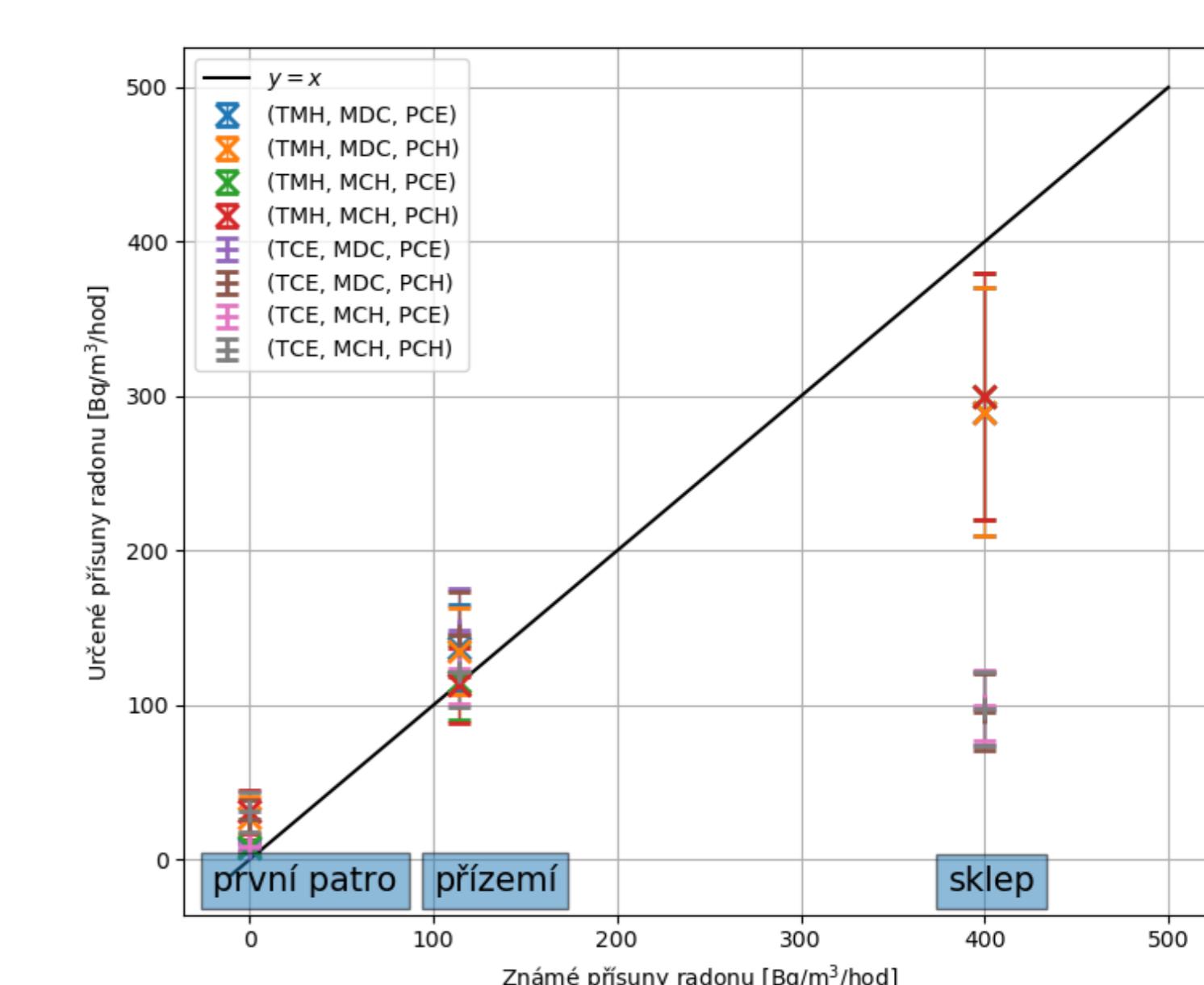
- $N = 3$ (sklep, přízemí, první patro)
- 14 vývýječů, 12 TD detektorů, 3 teploměry
- 6 typů tracerů (TMH, MCH, PCH a MDC jsou fluorované uhlovodíky, TCE a PCE jsou chlorované uhlovodíky)
- 2 průtočné zdroje radonu (umístěny do sklepa a do kuchyně v přízemí)
- 4 TESLA TSR sondy, 4 CANARY měřidla Dvojnásobné množství použitých tracerů oproti počtu zón umožnilo vyhodnotit data osmi způsoby.
- výměna vzduchu v rozmezí 0,2 až 0,3 hod^{-1}

Tab. 3: Průměrné OAR [Bq/m^3] naměřené TESLA TSR sondami a CANARY měřidly.

podlaží	TESLA TSR	CANARY
sklep	458 ± 33	381 ± 38
přízemí kuchyně	789 ± 43	419 ± 42
přízemí ložnice	633 ± 37	465 ± 47
první patro	276 ± 31	156 ± 16



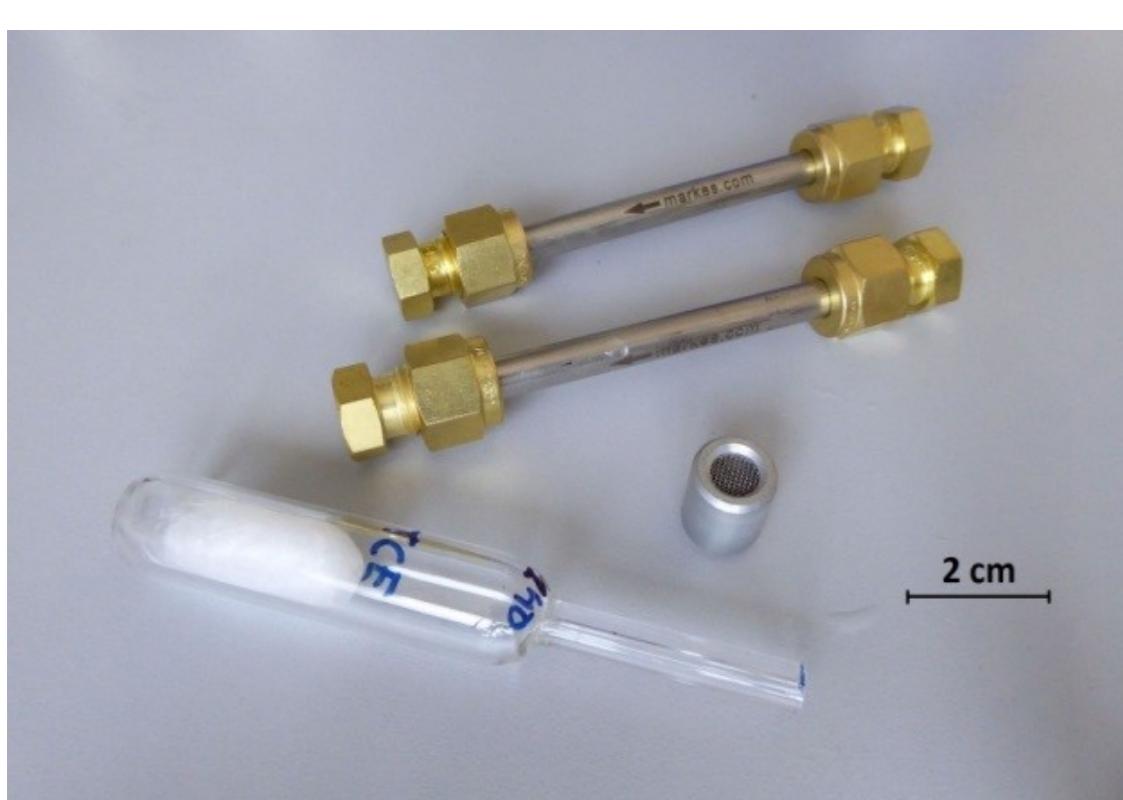
Obr. 4: Srovnání určených přísunů radonu do kompartmentů se známými přísuny radonu ze zdrojů. Pro výpočet byly použity OAR z TERA sond.



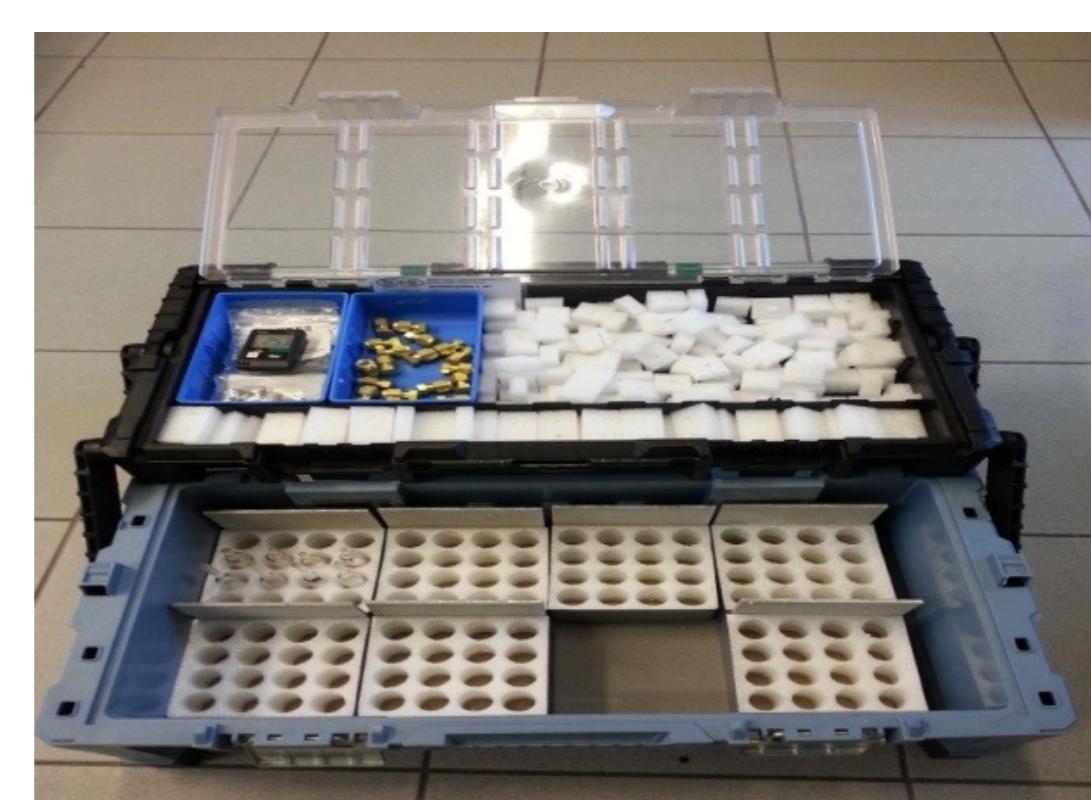
Obr. 5: To samé jako v obr. 4, kdy byly pro výpočet použity OAR z CANARY měřidel.

Metoda indikačních plynů

- integrální technika (popsána v [3])
- podmínka $N_p \geq N$, kde N_p je počet indikačních plynů a N počet zón
- **doba měření:** 14 až 31 dní
- vyhodnocení pomocí plynového chromatografu s termální desorpcí
- **výsledek:** obj. průtoky vzduchu mezi kompartmenty, exfiltrace vzduchu z kompartmentů a výměna vzduchu budovy



Obr. 2: Vývýječ a TD detektory.



Obr. 3: Transportní bedna pro vývýječe a TD detektory.

Výpočetní model

- výpočet infiltrací:

$$k_{ij} = k_{iE} + \sum_{j=1}^N (k_{ij} - k_{ji}) \quad (1)$$

- soustava rovnic popisující systém:

$$0 = \frac{1}{V_i} \left(\sum_{j=1}^{N+1} \bar{a}_j k_{ji} - \sum_{j=1}^{N+1} \bar{a}_i k_{ij} \right) - \lambda \bar{a}_i + \bar{Q}_i, \quad i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

Tab. 2: Značení a jednotky používaných veličin.

N	počet kompartmentů/zón uvnitř zkoumaného objektu	[•]
V_i	objem i -té zóny	[m^3]
k_{ij}	objemový průtok vzduchu z i -té zóny do j -té zóny	[m^3/hod]
$k_{i,N+1}$	exfiltrace i -té zóny, ozn. k_{iE} ; index $N+1$ značí vnější prostředí	[m^3/hod]
$k_{N+1,i}$	infiltrace i -té zóny, ozn. k_{ij} ; index $N+1$ značí vnější prostředí	[m^3/hod]
a_i	OAR v i -té zóně	[Bq/m^3]
λ	přeměnová konstanta radonu	[1/hod]
Q_i	přísun radonu do i -té zóny	[$\text{Bq}/\text{m}^3\text{-hod}$]

Výsledky z objektu 2

- $N = 3$ (sklep, přízemí, první patro)
- 2 zdroje radonu, oba dva umístěny do sklepa
- ve sklepe byla naměřena OAR = $(2800 \pm 200) \text{ Bq}/\text{m}^3$ → podezření na nenulový přirozený přísun radonu do sklepa → proběhlo dodatečné měření OAR ve sklepe bez zdrojů
- ukázalo se, že v závislosti na počasí se OAR ve sklepe pohybuje mezi 350 až 1700 Bq/m^3
- ze zpětného ověření se zjistilo, že přísunu radonu ze zdroje odpovídá OAR ve sklepe $(1200 \pm 400) \text{ Bq}/\text{m}^3$
- výměna vzduchu = $(0,29 \pm 0,04) \text{ hod}^{-1}$

Tab. 4: Srovnání určených přísunů radonu se známými přísuny radonu ze zdrojů, $[Q_i] = \text{Bq}/\text{m}^3/\text{hod}$.

	Q_1	Q_2	Q_3
(MCH, MDC, PCH)	1057 ± 245	-31 ± 13	21 ± 7
zdroje	455 ± 90	0 ± 0	0 ± 0

Závěr

Byl odvozen výpočetní model a dosažené výsledky potvrzuji jeho použitelnost. Z výsledků měření prvního objektu byla nalezena nevhodnější kombinace indikačních plynů (TMH, MCH, PCE). Z porovnání výsledků použitých dvou typů měřidel (CANARY, TESLA TSR) vyplňula lepší použitelnost výsledků z CANARY. Pro tuto kombinaci indikačních plynů byl nalezen relativní rozdíl mezi určenými hodnotami přísunů radonu stanovenými pomocí monitorů CANARY a známými hodnotami stanovenými pomocí použitých umělých průtokových zdrojů radonu typu RF 2000 menší než 20 %.

U druhého objektu byla nalezena větší relativní diskrepance mezi naměřenými a známými hodnotami větší než u prvního objektu z důvodu později nalezeného přirozeného vysokého přísunu radonu do objektu.

Metoda bude dále vyvíjena a testována.

Reference

- [1] OKUYAMA, Hiroyasu, Yoshinori ONISHI, Shin-ichi TANABE a Seiichi KASHIHARA. Statistical data analysis method for multi-zonal airflow measurement using multiple kinds of perfluorocarbon tracer gas. *Building and Environment* [online]. 2009, 44(3), 546-557. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.04.014. ISSN 03601323. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230800905>
- [2] SHERMAN, Max H., Iain S. WALKER a Melissa M. LUNDEN. Uncertainties in Air Exchange using Continuous-Injection, Long-Term Sampling Tracer-Gas Methods. *International Journal of Ventilation* [online]. 2016, 13(1), 13-28. DOI: 10.1080/14733315.2014.11684034. ISSN 1473-3315. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14733315.2014.11684034>
- [3] JÍLEK, Karel; FROŇKA, Aleš. Metodika stanovení výměny vzduchu ve vnitřním ovzduší budov s využitím pasivních integrálních měřidel indikačních plynů (pro potřeby SÚJB) [online]. 2016 [cit. 2019-08-01]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/metodiky/Stanoveni_vymeny_vzduchu.pdf.