

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

Michal Šesták^{1,2}, Karel Jílek¹

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

²Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze



FAKULTA
JADERNÁ
A FYZIKÁLNĚ
INŽENÝRSKÁ
ČVUT V PRAZE

Úvod

Cílem této práce bylo odvodit matematický model, pomocí něhož by se daly lokalizovat a kvantifikovat zdroje radonu v budovách za využití techniky indikačních plynů, a následně jej ověřit na naměřených datech. Postup je následující: budova se rozdělí na několik kompártmentů (zón), v nichž předpokládáme homogenní koncentrace radonu, a poté v těchto kompártmentech provedeme simultánně měření intenzity větrání pomocí techniky indikačních plynů a měření OAR. Z naměřených veličin můžeme určit tzv. objemové rychlosti přísunů zdrojů radonu (zjednodušeně přísuny radonu), které kvantifikují množství radonu dostávajícího se do kompartmentů.

Pokud se proměřují vícepodlažní objekty, pak se za kompartmenty většinou berou jednotlivá patra. S touto metodou lze však měřit i jednopodlažních objektech nebo jenom v částech nějakého objektu, např. v bytech.

Model byl nejprve zevrubně ověřen na naměřených datech. Poté byla pro vyzkoušení a ověření celého procesu provedena tři měření (viz tab. 1) se známými přísuny radonu. Ty byly vytvořeny umístěním průtočných zdrojů radonu typu RF 2000 do objektů.

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

Objekt	Rozsah měření	t [dny]	Typ objektu	N
Skála 75, okr. Havlíčkův Brod	23. 5. – 5. 6. 2019	14	chata	3
Hálková 980, Humpolec	5. 6. – 20. 6. 2019	15	byt	4
Anglická 574, Dobřichovice	9. 7. – 30. 7. 2019	22	rodinný dům	3

Pro měření OAR byly použity TESLA TSR sondy a CANARY detektory.

Metoda indikačních plynů

Pomocí této metody můžeme určit objemové průtoky vzduchu mezi specifikovanými kompartmenty zkoumaného objektu, dále obj. průtoky vzduchu ze všech zón do vnějšího prostředí (exfiltrace). Z exfiltrací a objemů všech zón lze určit výměnu vzduchu objektu. Jedná se o pasivní techniku, a tudíž poskytuje pouze průměrné hodnoty za celou dobu měření.

Principem techniky je detekce vhodně použitých indikačních plynů, jejichž zdroje (tzv. vyvíječe) jsou rozmístěny po objektu a které mají definovanou emisi do zón. Ze známosti těchto emisí do jednotlivých zón, z odezev detektorů a z dalších faktů je možné určit hledané obj. průtoky vzduchu.

Měření obvykle trvá 14 nebo 31 dní a je při něm nutno kontinuálně snímat teplotu v zónách. Dále musí platit $N_p \geq N$, kde N_p je počet indikačních plynů a N počet zón.

Vyhodnocení množství nasorbovaných plynů v detektorech se provádí pomocí plynového chromatografu s termální desorpčí. Vše potřebné o této metodě je popsáno v metodice [3].

Určení přísunů radonu

► výpočet infiltrace:

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

► 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_{ji} ; 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	prísun radonu do i -té zóny	[$\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3 \cdot \text{hod}}$]

Příklad měření a vyhodnocení

Jako příklad měření a vyhodnocení je uveden objekt Skála 75. Jedná se o chatu se sklepem, přízemím a prvním patrem. Do každého podlaží/zóny byly umístěny vyvíječe dvou typů tracerů, celkově tedy bylo použito šest typů tracerů, což při $N = 3$ umožňuje vyhodnotit naměřená data vícero způsoby za použití různých kombinací indikačních plynů. Celkově bylo použito:

- 14 vyvíječů, 12 TD detektorů, 3 teploměry
- 2 průtočné zdroje radonu (umístěny do sklepa a do kuchyně v přízemí)
- 4 TESLA TSR sondy, 4 CANARY detektory

V tab. 3 jsou průměrné OAR naměřené TESLA TSR sondami a CANARY detektory, v tab. 4 jsou vypočítané obj. průtoky vzduchu za použití dvou kombinací tracerů. Zkratkami TMH, MCH, PCH a MDC, resp. TCE a PCE jsou označeny fluorované uhlovodíky, resp. chlorované uhlovodíky. V tab. 5 jsou určené přísuny radonu. Za povšimnutí stojí velká variabilita Q_i v závislosti na použité kombinaci tracerů a OAR.

Tab. 5: Vypočítané přísuny radonu při použití OAR z: (a) TESLA TSR sond, (b) CANARY detektorů. V posledním řádku jsou uvedeny známé přísuny radonu z průtočných zdrojů.

(a)			
	Q_1	Q_2	Q_3
(TMH, MDC, PCE)	335 ± 90	236 ± 42	18 ± 6
(TMH, MDC, PCH)	323 ± 88	231 ± 42	63 ± 24
(TMH, MCH, PCE)	347 ± 89	197 ± 36	19 ± 6
(TMH, MCH, PCH)	334 ± 87	192 ± 35	70 ± 24
(TCE, MDC, PCE)	111 ± 28	249 ± 41	17 ± 6
(TCE, MDC, PCH)	108 ± 28	243 ± 41	62 ± 23
(TCE, MCH, PCE)	115 ± 26	208 ± 35	19 ± 6
(TCE, MCH, PCH)	111 ± 27	203 ± 35	70 ± 23
zdroje	400 ± 51	114 ± 13	0 ± 0

(b)			
	Q_1	Q_2	Q_3
(TMH, MDC, PCE)	294 ± 78	137 ± 28	8 ± 4
(TMH, MDC, PCH)	289 ± 77	135 ± 28	27 ± 14
(TMH, MCH, PCE)	301 ± 78	115 ± 24	9 ± 3
(TMH, MCH, PCH)	295 ± 76	113 ± 24	31 ± 14
(TCE, MDC, PCE)	98 ± 24	149 ± 27	8 ± 3
(TCE, MDC, PCH)	96 ± 25	146 ± 27	26 ± 13
(TCE, MCH, PCE)	100 ± 23	124 ± 23	9 ± 3
(TCE, MCH, PCH)	98 ± 24	122 ± 23	31 ± 13
zdroje	400 ± 51	114 ± 13	0 ± 0

Výsledky ostatních měření

V tab. 7 a 8 jsou uvedeny vypočítané přísuny radonu do zbylých dvou proměřených objektů. ýměna vzduchu obj. Hálková 980 TO DO: uvest vymeny vzduchu vseh mereni (v textu)

Tab. 7: Určené přísuny radonu do zón objektu Hálková 980.

	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
(MDC, PCE, TCE, TMH)	444 ± 253	−25 ± 104	44 ± 86	−152 ± 368
(MDC, MCH, TCE, TMH)	445 ± 241	−86 ± 104	38 ± 84	−152 ± 351
zdroje	332 ± 64	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0

Tab. 8: Určené přísuny radonu do zón objektu Anglická 574.

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

Závěr

References

- [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/S0360132308000905>
- [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; FRONKA, 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.