



Nový integrální systém pro měření intenzity
větrání SÚRO v.v.i. Praha
a
jeho význam pro praxi

XXXIX. DNI RADIČNEJ OCHRANY
Stará Lesná, Slovensko, November 6-10, 2017

K. Jílek, J. Lenk, I. Hupka

National Radiation Protection Institute (NRPI)

Bartoškova 28,
140 00, Prague
Czech Republic

autor: karel.jilek@suro.cz

MOTIVACE

I. Oblast radiační ochrany:

A. Požadavky Prováděcího předpisu (Vyhl.422/2016 k novelizovanému AZ s implementací směrnice Rady 2013/59) na ochranu před expozicí radonu pro:

- Pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu
- Pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu
- Fyzické osoby ve stavbě

B. Kontrola efektivity ozdravných opatření s využitím možnosti kvantifikovat měnící se hodnoty celkového přísunu radonu Q_r ze znalosti větrání ACH dle bilanční rovnice: ($da_v/dt = Q_r - ACH a_v(t)$)

C. ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží – jednoznačná kvantifikace stavu bydlení, či pracoviště před a po ozdravení stavem např. průměrného větrání vs současný stav „obvyklý během užívání“

D. Bezpečnostní výzkum- větrání zajišťuje přenos venkovní aktivity obecného kontaminantu do interiérů budov a tam ovlivňuje dále jeho chování (odvrácené dávky)

II. Ostatní

A. Stavařská oblast – nezbytné pro výpočet tepelných ztrát

B. Hygienické požadavky na větrání budov a jejich dodržování- volené primárně s ohledem na limitní akceptovatelnou koncentraci CO_2 uvnitř budov

C. Soudní spory – kvalita bydlení (plísň vs. slabé větrání)

D. ??

IA. Pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu

A. Podmínkou pro zařazení pracoviště umístěného v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budovy mezi pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu jsou následující skutečnosti:

1. pracoviště je umístěno v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budovy s výjimkou
 - 1.1. stavby, k jejíž výstavbě bylo vydáno stavební povolení nebo svým obsahem podobné povolení po 28. 2. 1991,
 - 1.2. stavby umístěné v terénu tak, že všechny její obvodové konstrukce jsou od podloží odděleny vzduchovou vrstvou, kterou může volně proudit vzduch,
 - 1.3. pracoviště nebo stavby, u nichž bylo provedeno protiradonové opatření, jehož dostatečná účinnost byla potvrzena měřením,
 - 1.4. pracoviště, které je parkovištěm nebo garáží, nebo
 - 1.5. pracoviště podsklepeného v celém půdorysu a bez přímého kontaktu s podzemním podlažím,
2. pro osobu, která vykonává činnost, při níž je provozováno pracoviště s možným zvýšeným ozářením z radonu, vykonává práci fyzická osoba, a
3. pracoviště v podzemním nebo prvním nadzemním podlaží budovy je umístěno v obci, v níž pravděpodobnost překročení referenční úrovně podle § 93 odst. 1 je vyšší než 30 %. Tuto podmínku splňují obce:



Informace o pracovišti s možným zvýšeným ozářením z radonu a jejich předávání Úřadu

(3) Úřadu musí být o pracovišti s možným zvýšeným ozářením z radonu oznamovány následující informace:

a) identifikační údaje osoby vykonávající činnost, při které je provozováno pracoviště,

b) název a adresa pracoviště,

c) typ pracoviště podle § 96 odst. 1 atomového zákona,

d) popis pracoviště, organizace, způsobu a režimu práce, ventilačních poměrů a doby pobytu pracovníka na pracovišti,

e) popis optimalizace radiační ochrany na pracovišti.



IA. Pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu

Pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu

[K § 93 odst. 4 písm. a) atomového zákona]

Pracovištěm s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu je pracoviště, na kterém se provádí

- a) těžba, transport produktovody nebo zpracování ropy a plynu,
- b) těžba uhlí a rud,
- c) zpracování niobové nebo tantalové rudy, výroba pigmentu na bázi oxidu titaničitého
- d) výroba, zpracování nebo užití materiálů s obsahem thoria a uranu,
- e) získávání geotermální energie,
- f) provoz zařízení na úpravu vlastností podzemní vody nebo nakládání s vodárenskými kaly z úpravy vody z podzemního zdroje,
- g) nakládání s materiálem, u kterého bylo prokázáno, že obsah přírodního radionuklidu v něm přesahuje uvolňovací úroveň nebo zvyšuje příkon prostorového dávkového ekvivalentu o více než $0,5 \mu\text{Sv/h}$,
- h) hornická činnost,
- i) činnost prováděná hornickým způsobem v podzemí, nebo
- j) činnost související s nakládáním s těžebním odpadem.



Pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu

(2) Na pracovišti s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu musí být provedeno měření k posouzení, zda jsou překročeny úrovně:

- a) 300 Bq/m³ pro průměrnou objemovou aktivitu radonu v ovzduší při výkonu práce, nebo
- b) 1 mSv za rok pro efektivní dávku, která nezahrnuje dávku obdrženou z ozáření z přírodního pozadí a z ozáření radonem a z produktů jeho přeměny.

Optimalizace radiační ochrany na pracovišti

[K § 66 odst. 6 písm. c) a § 93 odst. 4 písm. d) atomového zákona]

(1) Optimalizace radiační ochrany na pracovišti s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření musí být prováděna při překročení úrovně podle § 88 odst. 2.

(2) Opatřeními k provedení optimalizace radiační ochrany podle odstavce 1 jsou zejména

a) změna

1. používaných surovin,
2. technologie, nebo
3. organizace, způsobu nebo režimu práce a

b) úprava pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření, včetně úpravy ventilace.

IA Ochrana fyzické osoby před přírodním ozářením ve stavbě

[K § 66 odst. 6 písm. a) a b) a § 99 odst. 5 atomového zákona]

- (1) Referenční úroveň pro přírodní ozáření uvnitř budovy s obytnou nebo pobytovou místností je
- a) 300 Bq/m³ pro objemovou aktivitu radonu ve vnitřním ovzduší obytné nebo pobytové místnosti; tato hodnota se vztahuje na průměrnou hodnotu při výměně vzduchu obvyklé při užívání, nebo
 - b) 1 μSv/h pro maximální příkon prostorového dávkového ekvivalentu v obytné nebo pobytové místnosti ve výšce 1 m nad podlahou a vzdálenosti 0,5 m od stěny.

(2) Hodnota ročního průměru objemové aktivity radonu ve vzduchu, při jejímž překročení je vlastník budovy s obytnou nebo pobytovou místností povinen provést opatření, která snižují míru ozáření, je 3 000 Bq/m³.

(3) Při překročení referenční úrovně podle odstavce

- 1 musí vlastník budovy posoudit účelnost opatření spočívajících zejména v
- a) úpravě způsobu užívání budovy, včetně úpravy ventilace, nebo
 - b) provedení stavebních nebo technologických ozdravných opatření.

Stanovení průměrného větrání pro případ jedné zóny (byt)

Def: Násobnost větrání: $\sum_{i=0}^N \frac{R_{Ei}}{V_i}$ kde, $\bar{R}_E \approx \frac{R_s}{\bar{C}}$

Princip: z bilanční rovnice indikačního plynu:

$$V \frac{dC(t)}{dt} = R_s(t) - R_E(t)C(t)$$

Bilanční rovnice pro $\frac{dC}{dt} = 0$, $R_s = \text{konst}$:

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{R_s(t)}{C(t)} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n R_E(t) = R_s \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{1}{C(t)}$$

Požadavky na indikační plyn:

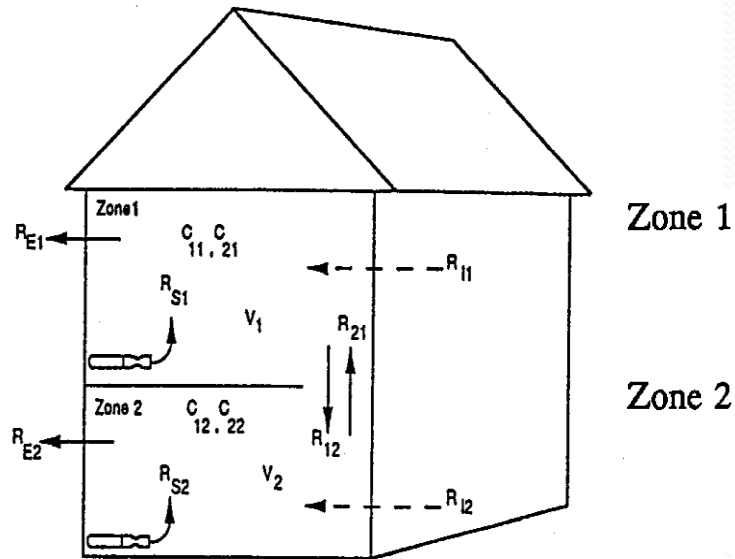
- dobré mísení se vzduchem
- žádné či zanedbatelné pozadí
- minimální sorpce či adheze na předměty
- dobrá detekovatelnost vč. interferencí
- hygienická akceptovatelnost

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{1}{C(t)} = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{C(1)} + \frac{1}{C(2)} + \dots + \frac{1}{C(n)} \right)$$

$$= \frac{1}{n} \left(\frac{C(2)C(3) \dots C(n) + C(1)C(3) \dots C(n) + \dots + C(1)C(2) \dots C(n-1)}{C(1)C(2) \dots C(n)} \right)$$

$$\approx \frac{1}{n} \left(\frac{n\bar{C}^{n-1}}{\bar{C}^n} \right) \approx \frac{1}{\bar{C}}$$

Stanovení průměrného větrání pro případ dvou zón (RD)



$$R_{11} = R_{E1} + R_{12} - R_{21}$$

$$R_{12} = R_{E2} + R_{21} - R_{11}$$

$$R_{21}C_{12} - R_{12}C_{11} - R_{E1}C_{11} = -R_{s1}$$

$$R_{21}C_{22} - R_{12}C_{21} - R_{E1}C_{21} = 0$$

$$R_{12}C_{11} - R_{21}C_{12} - R_{E2}C_{12} = 0$$

$$R_{12}C_{21} - R_{21}C_{22} - R_{E2}C_{22} = -R_{s2}$$

R_{Ei} exfiltrační objemová rychlost vzduchu (m³/h)

V_i objem i- té zóny (m³)

R_{Ii} infiltrační objemová rychlost vzduchu (m³/h)

C_{ij} koncentrace i-tého indikačního plynu v j- té zóně (mg/m³)

R_{Si} emise i- tého indikačního plynu ($i = j$) (mg/h)

R_{ij} objemový tok vzduchu z i- té zóny do j-té (m³/h)

$$R_{21} = (R_{s1}C_{21}) / (C_{11}C_{22} - C_{12}C_{21})$$

$$R_{12} = (R_{s2}C_{12}) / (C_{11}C_{22} - C_{12}C_{21})$$

$$R_{E1} = R_{21}(C_{11}/C_{21}) - R_{12}$$

$$R_{E2} = R_{12}(C_{11}/C_{12}) - R_{21}$$

Stanovení průměrného větrání pro případ tří zón (RD)



$$R_{E1} = R_{31}(C_{23}/C_{21}) + R_{21}(C_{22}/C_{21}) - R_{13} - R_{12}$$

$$R_{E2} = R_{32}(C_{13}/C_{12}) + R_{12}(C_{11}/C_{12}) - R_{23} - R_{21}$$

$$R_{E3} = R_{13}(C_{11}/C_{13}) + R_{23}(C_{12}/C_{13}) - R_{31} - R_{32}$$

$$R_{21} = R_{s1}(C_{21}C_{33} - C_{23}C_{31})/[]$$

$$R_{31} = R_{s1}(C_{22}C_{31} - C_{21}C_{32})/[]$$

$$R_{32} = R_{s2}(C_{11}C_{32} - C_{12}C_{31})/[]$$

$$R_{12} = R_{s2}(C_{12}C_{33} - C_{13}C_{32})/[]$$

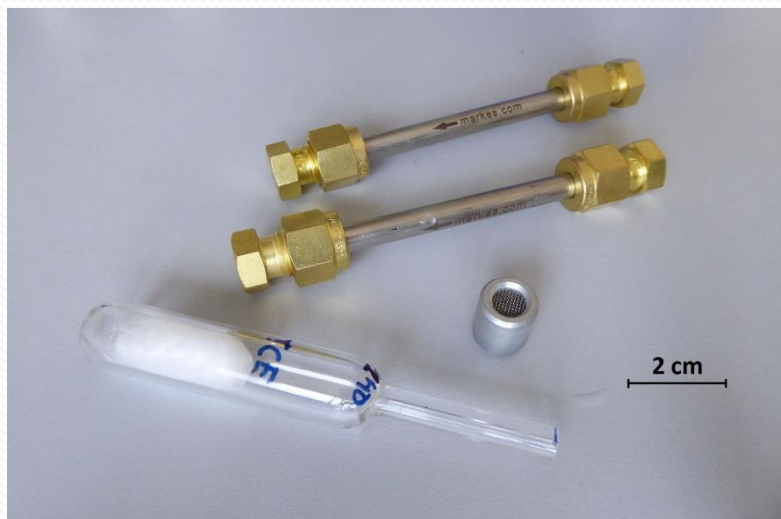
$$R_{13} = R_{s3}(C_{13}C_{22} - C_{12}C_{23})/[]$$

$$R_{23} = R_{s3}(C_{23}C_{11} - C_{13}C_{21})/[]$$

$$[] = [C_{11}(C_{22}C_{33} - C_{23}C_{32}) + C_{12}(C_{23}C_{31} - C_{21}C_{33}) + C_{13}(C_{21}C_{32} - C_{22}C_{31})]$$

Sestava integrálního měřidla průměrného větrání

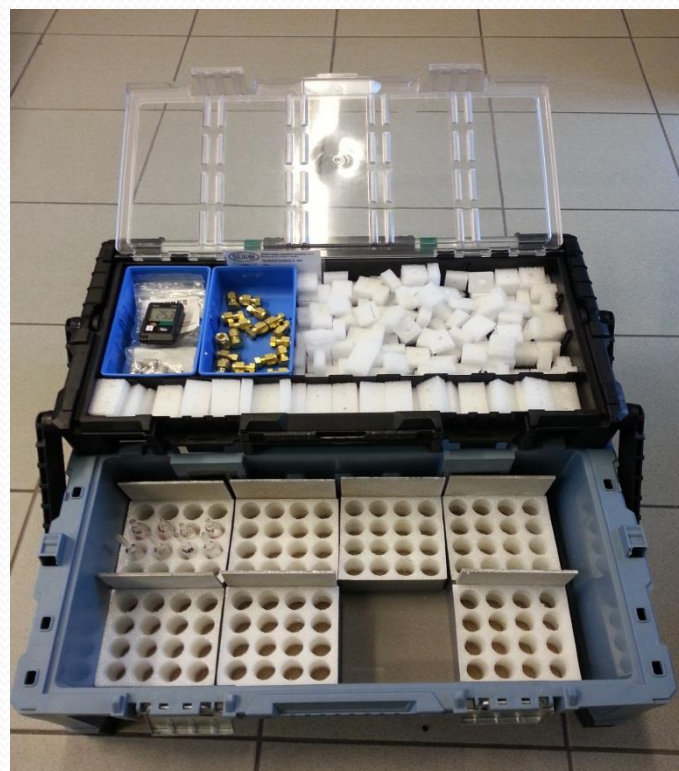
Integrální difuzní měřidlo větrání s emisním zdrojem



Vyhodnocovací jednotka na bázi ECD a FID detektoru – plynový chromatograf



Přepravní sestava měřidla



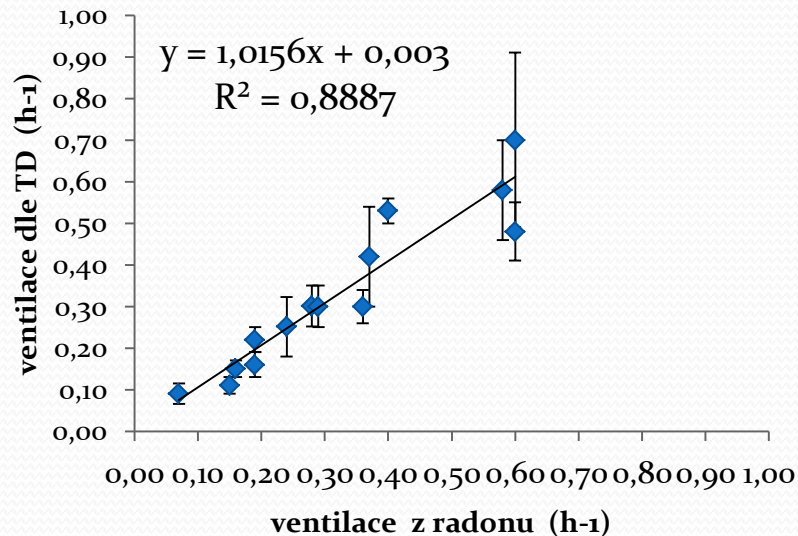


Současné možnosti měření a závěr

- I. **Dynamický rozsah měřené násobnosti větrání** - $(0,05 - 3) \text{ h}^{-1}$
- II. **Doba měření** - (den, týden, 1-3 měsíce)
- III. **Podmínky měření** - běžné a v přítomnosti osob
- IV. **Typy měřitelných budov** - byty, rodinné domy, výškové domy – samostatně možno až 5 kompartmentů (k dispozici 5 typů indikačních plynů)
- měříme i toky vzduchu mezi jednotlivými kompartmenty
- V. **Celková nejistota měření** – cca 20% ($K=1$) – měřidlo dvojice TD trubic
- VI. **QC/QA měření:**
 - Certifikovaná metodika měření SÚJB- č. SÚJB/RCHK/4581/2017 (vývoj v rámci TAČR beta)
 - Interní kalibrační standard a nezávislá porovnání s NBL – NY (U.S.A) a kontinuálním monitorem násobnosti větrání na bázi N_2O vč. radonové komory SÚRO v.v.i. provozovaným v SÚRO v.v.i. od r. 2000.
- VII. **Měření násobnosti větrání nabízí SÚRO v.v.i. Praha zatím jako neakreditovanou službu.**

Příklad 1. využití integrálního měření větrání

Sídlště u Prahy z kontaminovaného materiálu ^{226}Ra



Cíl:

1. Stanovení sumy přísunu radonu Q_r (Bq/m³ h) do jednotlivých bytů
2. Podklady pro opatření na bázi řízeného větrání s rekuperací

Výstup:

- $Q_r = (80 - 140)$ Bq/m³h dle polohy bytu (vnitřní vs. Vnější)
- Nucené větrání pro 0,5 h⁻¹ zajistí nepřekročení ref. Hodnoty 300 Bq/m³
- Opatření realizováno v 2 fázi testů (topná vs netopná)

Příklad 2 – pro Bezpečnostní výzkum

Dosažené výsledky měření větrání z bytů a rodinných domů

Týdenní průměrné nasobnosti větrání(1/h) pro užívané objekty a Topnou a Netopnou sezonu.			
Typ objektu/ sezona	Nerozlišeno NETOPNÁ	Objekty typ P TOPNÁ	Objekty typ NP TOPNÁ
Počet pozorování	17	27	26
Min	0,29	0,12	0,25
Q₁	0,35	0,24	0,33
Median	0,58	0,27	0,41
Q₃	0,64	0,34	0,5
Max	1,03	0,48	0,65
IQR	0,29	0,1	0,17

Q₁ a Q₃ jsou první resp. třetí kvartil, IQR je mezikvartilové rozpětí
P – objekty těsné, s plastovými okny (nové , po rekonstrukci pláště)
NP- objekty stávající- nerekonstruované s původními okny

Příklad 3 – Kontroly účinnosti protiradonových opatření stanovení celkového přísunu radonu před a po opatření



Bilanční rovnice pro radon:

$$da_v(t)/dt = Qr(t)/V + [(Q(t)/V) + \lambda r] \cdot (a_{v_{ext}}(t) - a_v(t)) \quad 1)$$

pro indikační plyn:

$$dc(t)/dt = G/V + [Q(t)/V] \cdot (c_{ext}(t) - c(t)) \quad 2)$$

kde

da_v/dt byla časová derivace objemové aktivity radonu v čase t ($Bq/m^3 s$)

$a_v(t)$ byla časově proměnná objemová aktivita radonu v místnosti v čase t (Bq/m^3)

$a_{v_{ext}}(t)$ byla objemová aktivita radonu vně místnosti v čase t (Bq/m^3)

$Qr(t)$ byla časově proměnná rychlost přísunu aktivity radonu do místnosti v čase t (Bq/s)

$dc(t)/dt$ byla časová derivace koncentrace indikačního plynu v místnosti v čase t ($kg/m^3 s$)

$c(t)$ byla koncentrace indikačního plynu v místnosti v čase t (kg/m^3)

$c_{ext}(t)$ byla koncentrace indikačního plynu vně místnosti v čase t (kg/m^3)

G/V byla konstantní rychlost přísunu koncentrace indikačního plynu do místnosti v čase t ($kg/m^3 s$)

$Q(t)$ bylo časově proměnné objemové množství vzduchu, které proteče sledovanou místností o objemu V za jednotku času (m^3/s)

$Q(t)/V$ byla výměna vzduchu ve sledované místnosti v čase t ($1/s$)

λr byla přeměnová konstanta pro radon a činila $2,1 E-6$ ($1/s$)

