

Ing. Karel JÍLEK
 RNDr. Josef THOMAS, CSc.
 Mgr. Boris BULÁNEK
 Státní ústav radiační ochrany
 v.v.i., Praha

Význam větrání pro stanovení odvrácených dávek z inhalace venkovního vzduchu kontaminovaného radioaktivními látkami v bytech a budovách

Relevance of Ventilation for Determination of Averted Dose from Inhalation of Outdoor Air Contaminated with Radioactive Substances in Dwellings and Buildings

Recenzent
 MUDr. Ariana Lajčíková, CSc.

V příspěvku je nejprve představen teoretický vliv intenzity větrání, jehož znalost umožňuje lépe kvantifikovat odvrácené dávky z inhalace vzduchu, pro osoby ukryté v budovách, po vzniku mimořádné události s následkem kontaminace venkovního vzduchu plynnou i aerosolovou formou radionuklidů. Na základě dosažených výsledků týdenních screeningových měření průměrné intenzity větrání v celkem 70 měřených objektech (rodinné domy a byty ve výškových domech) a přirozené infiltrace do 20 budov byly pro vybrané kategorie budov, lišících se těsností obálky, a otopnou a neotopnou sezónu vypočítány střední hodnoty intenzity větrání. Pro takto nalezené realistické hodnoty intenzit větrání byl pak ilustrován jejich vliv na velikost odvrácené dávky z inhalace pro obecný radioaktivní kontaminant v plynné i aerosolové formě a pro časově různou fázi doby ukrytí osob po naměřené vnější kontaminaci vzduchu v budovách.

Klíčová slova: intenzita větrání, odvrácená dávka, faktor ukrytí budov, venkovní plynný a aerosolový kontaminant, únik radioaktivity do atmosféry

Indoor air exchange rate is the crucial factor affecting also the averted dose for people hidden in a house after the occurrence of an extraordinary event resulting in contamination of the outdoor air by gaseous and aerosol form of radionuclides. After introduction of theoretical approaches giving the key formula for relationship between indoor air exchange rate and the averted dose the results of an average air exchange rate from conducted weekly screening measurements in 70 houses sorted according to tightness of their envelope and heating season are published. Based on realistically observed indoor air exchange rates the size of the averted dose from inhalation for general radioactive contaminants in both gas and aerosol form and for the different times of the hiding time of persons after the measured external air contamination in buildings is given.

Keywords: ventilation intensity, averted dose, buildings hidden factor, outdoor gaseous and aerosol contaminant, atmospheric radioactivity

ÚVOD

V případě mimořádné události s následkem významné kontaminace venkovního vzduchu radioaktivními látkami je nezbytné mít k dispozici i prostředky, které mohou pomoci zpřesnit stanovení odhadů dávek z inhalace obyvatelstvu z řad populace v obytných a pobytových místnostech všech typů budov.

Klíčovým faktorem, který zprostředkovává přenos kontaminovaného venkovního vzduchu do budov a dále tam ovlivňuje jeho další chování, je intenzita větrání nebo také jen větrání.

Větrání v budovách je způsobeno buď přirozenou infiltrací a exfiltrací vzduchu v důsledku venkovních povětrnostních podmínek, nebo chováním jejich uživatelů vč. používání vzduchotechnických zařízení. Vliv přirozené infiltrace vzduchu je dobře znám a řešen v příslušných stavebních normách v souvislosti s výpočty tepelných ztrát v budovách [1]. Úroveň znalostí popisujících vliv lidského faktoru na větrání je pak různá v jednotlivých státech. Zatímco například v německém bezpečnostním katalogu pro stanovení ochranné funkce budov [2] jsou udávány pro výpočty pouze dvě hodnoty větrání, tj. $0,5 \text{ h}^{-1}$ a $0,2 \text{ h}^{-1}$ pro

klimatizované budovy, resp. pro byty, pak v USA bylo proměřeno více než cca 150 000 bytů metodou pasivního integrálního měření větrání dle Dietze [3].

V příspěvku je nejprve představen teoretický vliv větrání, jehož znalost umožňuje lépe kvantifikovat odvrácené dávky z inhalace vzduchu, pro osoby ukryté v budovách, po vzniku mimořádné události s následkem kontaminace venkovního vzduchu plynnou i aerosolovou formou radionuklidů.

Na základě dosažených výsledků týdenních screeningových měření průměrného větrání v celkem 70 měřených objektech (rodinné domy a byty ve výškových domech) a přirozené infiltrace do 20 budov, metodami blíže popsány v dalším textu, byly pro vybrané kategorie budov, lišících se těsností obálky, a otopnou a neotopnou sezónu stanoveny střední hodnoty větrání.

Pro takto nalezené střední hodnoty větrání byl pak ilustrován jeho vliv na velikost odvrácené dávky z inhalace pro obecný radioaktivní kontaminant v plynné i aerosolové formě a pro časově různou fázi doby ukrytí osob po naměřené vnější kontaminaci vzduchu v budovách.

MATERIÁL A METODY

Model vlivu větrání budov na odvrácenou dávku z inhalace osob po jejich ukrytí v budovách

Při mimořádné události, v důsledku větrání budov, se vnitřní vzduch v budově postupně kontaminuje vzduchem venkovním, zamořeným. Vlastní kinetiku kontaminace interiéru budov radioaktivní látkou i-tého typu ve formě plynu i aerosolu z vnější kontaminované atmosféry pak popisuje následující bilanční rovnice podle [4]:

$$\frac{da_m(t,d)}{dt} = \lambda(t)P(d)a_{out}(t,d) - (K(t) + \lambda + \lambda_d(d))a_m(t,d) \quad (1)$$

kde je:

- $a_m(t,d)$ objemová aktivita radioaktivního plynu nebo aerosolu o velikosti d v interiéru budov v čase t [Bq/m³],
- $a_{out}(t,d)$ objemová aktivita radioaktivního plynu nebo aerosolu o velikosti d v atmosférickém venkovním vzduchu v čase t [Bq/m³],
- $K(t)$ vlastní intenzita větrání budovy v čase t [h⁻¹] definovaná jako podíl prošlého objemového toku vnějšího atmosférického vzduchu objemem budovy za jednotku času V [m³/h] a objemu této budovy O [m³],
- λ radioaktivní rozpadová konstanta i-tého kontaminantu [h⁻¹],
- $\lambda_d(d)$ efektivní depoziční konstanta pro aktivitu radioaktivní látky navázané na aerosol o velikosti d [h⁻¹],
- $P(d)$ bezrozměrný penetrační faktor pro průnik venkovního aktivního aerosolu velikosti d přes štěrbinu venkovní obálky budovy dovnitř.

I. Pro plynnou formu sledovaného venkovního $a_{out}(t)$ a vnitřního $a_m(t)$ kontaminantu se neuvvažují penetrační ztráty obálkou budovy, tj. $P(d) = 1$ a vliv depozice $\lambda_d(d) = 0$.

Z bilanční rovnice (1) je pak vidět, že nejvýraznější zdroj vnitřní kontaminace budov z vnějšího prostředí je realizován intenzitou větrání $K(t)$, která ale také společně s rozpadovou konstantou λ naopak zajišťuje odstranění vnitřní kontaminace z objemu budovy.

II. Pro aerosolovou formu sledovaného venkovního $a_{out}(t,d)$ a vnitřního $a_m(t,d)$ kontaminantu se pak oproti jeho plynné formě uvažuje navíc v bilanční rovnici (1):

- ☐ vliv aerosolových ztrát a změna venkovního aerosolového spektra v důsledku průchodu vnějšího aerosolu s nadeponovanou aktivitou kontaminantu štěrbinami obálky budovy dovnitř, které pak v rovnici (1) zahrnuje penetrace $P(d)$,
- ☐ vliv depozice $\lambda_d(d)$ aktivního aerosolu pro odstranění vnitřního kontaminantu z objemu interiérů budov na jejich vnitřní povrchy v důsledku fyzikálních procesů gravitačního usazování, vlivem elektrických sil apod.

Vliv dalších možných procesů, jako resuspenze aktivního aerosolu z povrchu interiérů budov zpět do jejich objemu, koagulace aerosolů aj., je v uvedené bilanční rovnici (1) zanedbán.

S uvážením základních vztahů pro výpočet dávky z inhalace a za předpokladu stejné rychlosti dýchání venku i uvnitř budov je možno po odvrácenou dávku P z inhalace v důsledku ukrytí osob v budovách pro i-tý radionuklidový kontaminant psát:

$$P = 1 - \frac{DCF(d) \int a_m(t,d) dt}{DCF(d) \int a_{out}(t,d) dt} \quad (2)$$

kde je:

- $a_{out}(t,d)$ a $a_m(t,d)$ ve vztahu (2) mají stejný význam jako v bilanční rovnici (1),
- $DCF(d)$ konverzní dávkové faktory pro přepočet příjmu radionuklidu na dávku v jednotkách [Sv/Bq].

Ve výrazu (2) se integruje přes dobu expozice a celé velikostní aerosolové spektrum.

Použité metody měření intenzity větrání vzduchu v budovách a dosažené výsledky jejího měření

V SÚRO Praha v.v.i. je dlouhodobě zavedena technika, umožňující kontinuální měření intenzity větrání v bytech a budovách na bázi indikačních plynů N₂O, SF₆ [5]. V průběhu několika posledních let zde byla vyvinuta a ověřena i technika pasivních integrálních měřidel větrání na bázi termické desorpce měřeného indikačního plynu (analytu) na vhodném sorbentu s chromatografickou koncovkou, podobná systému Dietz [3].

Tato technika umožňuje výrazné plošné rozšíření možnosti měření průměrného větrání v bytech a budovách vč. možnosti využití tzv. vícezónového přístupu měření objemových toků vzduchu i mezi jednotlivými zónami (poschodí, místnost, třída apod.).

V současné době pak SÚRO Praha v.v.i. aktivně používá 5 různých typů indikačních plynů na bázi chlorovaných a fluorovaných uhlovodíků ve vlastních vyvíječích s řízenou emisí. Pro vlastní detekci indikačních plynů jsou pak difuzním způsobem používány termo-desorpční trubice firmy MARKES (UK) s vhodným sorbentem.

Použitá metodika integrálního měření intenzity větrání v bytech a budovách byla v letošním roce certifikována a osvědčena Státním úřadem pro jadernou bezpečnost s č. SÚJB/RCHK/4581/2017 i na základě dosažené velmi dobré shody výsledků souměření, provedených v 8 bytech a 8 vícepodlažních rodinných domech s renomovanou americkou laboratoří National Brookhaven Lab. z NY U.S.A. v průběhu otopné i neotopné sezóny s dobami měření 7–40 dní.

Celkové nejistoty stanovení průměrných intenzit větrání se pohybují do 30 % pro koeficient rozšíření $k = 1$.

Výsledky měření

V průběhu let 2012–2014 bylo provedeno celkem 70 týdenních měření průměrného větrání v obydlených bytech strukturovaných dle

Tab. 1 Popisná statistika měřených týdenních průměrů větrání

Tab. 1 Descriptive statistics of measured weekly ventilation rate averages

| Typ objektu/sezóna | Nerozlišeno/NEOTOPNÁ | Objekty typ P/OTOPNÁ | Objekty typ NP/OTOPNÁ |
|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 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 | 0,50 |
| Max | 1,03 | 0,48 | 0,65 |
| IQR | 0,29 | 0,10 | 0,17 |

Q1 a Q3 jsou první, resp. třetí kvartil, IQR je mezikvartilové rozpětí. Objekty typ P jsou rodinné domy a výškové domy – novostavby a rekonstrukce s plastovými okny. Objekty typ NP jsou rodinné domy a výškové domy – stávající s původními okny, ne z plastu. OTOPNÁ sezóna – otopné období od 1. 9. – 31. 5. dle vyhlášky MPO 194/2007Sb. NEOTOPNÁ sezóna – roční období, které nezahrnuje otopné období.

různé těsnosti obálky a celkem 20 vícedenních kontinuálních měření v uzavřených a neobývaných bytech. Výběr bytů pak respektoval snahu o poměrné zastoupení podobné bytovému fondu v ČR k r. 2011, tzn. podíl bytů ve výškových domech k bytům v rodinných domech činil cca 50:50 (%)

V tab. 1 jsou uvedeny první výsledky týdenních screeningových měření průměrného větrání v bytech strukturovaných dle těsnosti pláště a topné sezóny. Objekty označené jako typ P jsou výškové domy i rodinné domy – novostavby nebo po rekonstrukci pláště osazené plastovými okny. Objekty označené jako typ NP jsou výškové domy i rodinné domy – stávající s původními okny, ne z plastu.

Z dosažených výsledků měření, ilustrovaných v tab. 1, jsou vidět očekávané rozdíly ve středních hodnotách průměrného větrání mezi otopnou a neotopnou sezónou a vliv zateplení plastovými okny. Rozpětí týdenních distribucí není neobvyklé a je dáno zvyklostmi rodin ve větrání.

Výsledky našich vícedenních kontinuálních měření přirozené infiltrace vzduchu s využitím indikačního plynu N₂O pak dále ukázaly:

- mediány hodinových průměrů intenzity větrání v rozpětí (0,05–0,2) h⁻¹ pro novostavby a rekonstrukce rodinných domů i bytů ve výškových budovách, osazených plastovými okny pro otopnou i neotopnou sezónu,
- mediány hodinových průměrů intenzity větrání v rozpětí (0,1–0,4) h⁻¹ pro stávající budovy s původními okny pro otopnou i neotopnou sezónu,
- velmi dobrou shodu měřených hodnot přirozené infiltrace vzduchu s hodnotami stanovenými výpočtem dle [1].

Vztah mezi kontaminací vzduchu vně a uvnitř budov a úspora dávky v případě kontaminace venkovního vzduchu plynnou radioaktivní látkou

Pro řešení v předchozím textu uvedené bilanční rovnice (1) při očekávané počáteční podmínce:

$$a_{in}(t=0) = 0 \text{ je možno psát:}$$

$$a_{in}(t) = K \cdot e^{-\kappa t} \int_0^t a_{out}(\tau) e^{\kappa \tau} d\tau \tag{3}$$

Kde $\kappa = K + \lambda$ [h⁻¹] je společný koeficient úbytku větráním vzduchu k a radioaktivní přeměnou λ .

Pokud se dá časový průběh venkovní kontaminace vzduchu popsat exponenciální funkcí

$a_{out}(t) = a_{out}(0)e^{-\mu t}$, kde $\mu = m + \lambda$ a m [h⁻¹] popisuje pokles atmosférického kontaminantu povětrnostními faktory, lze obecně řešení rovnice (3) vyjádřit funkcí:

$$a_{in}(t) = a_{out}(0) \frac{K}{\kappa - \mu} (e^{-\mu t} - e^{-\kappa t}) \tag{4}$$

kteřá z nulové hodnoty dosáhne maxima a pak klesne k nule. Pro podíl $a_{in}(t) / a_{out}(t)$, který popisuje kontaminaci vzduchu v měřené budově relativně vůči kontaminaci vně budovy, je pak možno psát následující vztah:

$$\frac{a_{in}(t)}{a_{out}(t)} = \frac{K}{\kappa - \mu} (1 - e^{-(\kappa - \mu)t}) \tag{5}$$

kteřý postupně pro $t \rightarrow \infty$ dosahuje limitní hodnotu:

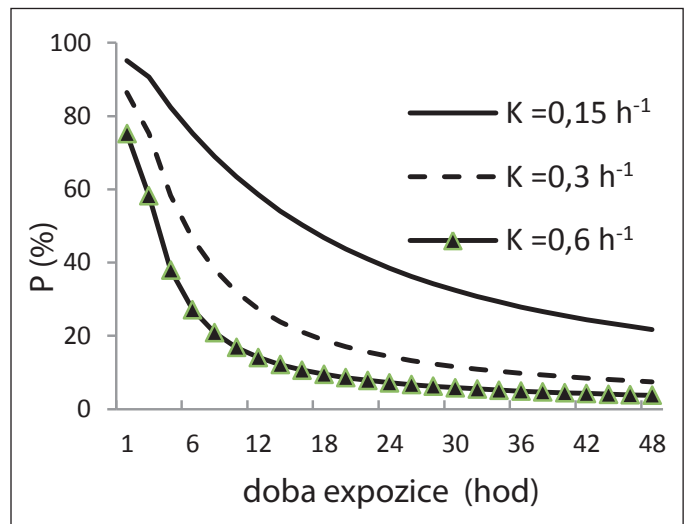
$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{a_{in}(t)}{a_{out}(t)} = \frac{K}{\kappa - \mu} = \frac{1}{1 - m/k} \geq 1 \tag{6}$$

Tedy při předpokládané trvalé, ale klesající venkovní kontaminaci a neměnných větracích poměrech bude v budově koncentrace kontaminantu (mírně) vyšší než ve venkovním vzduchu.

Pro zhodnocení radiační expozice obyvatelstva v budovách a bytech je však nutno stanovit časové integrály těchto koncentrací vně a uvnitř, tedy stanovit příjem aktivity A v [Bq], která umožní stanovit efektivní dávku násobením dávkovým konverzním faktorem DCF v [Sv/Bq]:

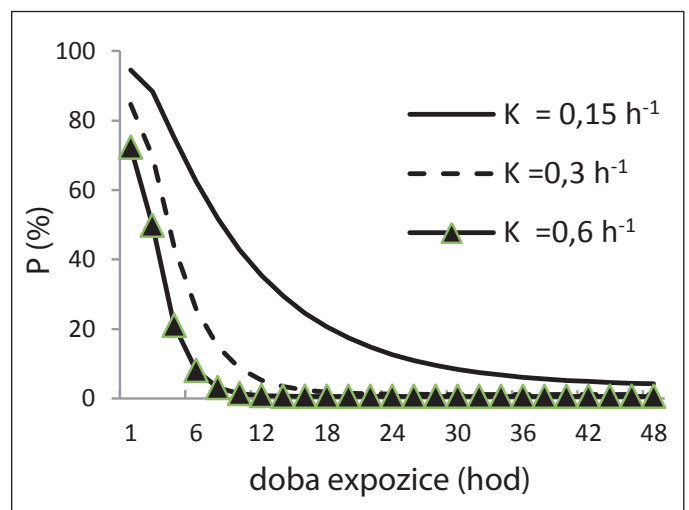
$$A_{out}(t) = \int_0^t a_{out}(\tau) e^{-\mu \tau} d\tau = a_{out}(0) \frac{1 - e^{-\mu t}}{\mu} \tag{7}$$

$$A_{in}(t) = \frac{K}{\kappa - \mu} a_{out}(0) \left(\frac{1 - e^{-\mu t}}{\mu} - \frac{1 - e^{-\kappa t}}{\kappa} \right) \tag{8}$$



Obr. 1 Vliv větrání (K) v budovách na odvrácenou dávku P z inhalace pro ¹³¹I (m = 0)

Fig. 1 Influence of ventilation (K) in buildings on the averted dose P from inhalation for ¹³¹I (m = 0)



Obr. 2 Vliv větrání (K) v budovách na odvrácenou dávku P z inhalace pro ¹³¹I (m = 0,8)

Fig. 2 Influence of ventilation (K) in buildings on the averted dose P from inhalation for ¹³¹I (m = 0.8)

S uvážením výrazu (2) lze pak pro odvrácenou dávku z inhalace v budovách psát:

$$P = 1 - \frac{A_{IN}(t)}{A_{OUT}(t)} \quad (9)$$

kde

$$\frac{A_{IN}(t)}{A_{OUT}(t)} = \frac{K}{\kappa - \mu} \left(1 - \frac{\mu(1 - e^{-\kappa t})}{\kappa(1 - e^{-\mu t})} \right) \quad (10)$$

Význam všech symbolů ve výrazech (7) až (10) je znám z předchozího textu. Obr. 1–2 pak ilustrují vliv námi realisticky měřeného větrání na odvrácenou dávku P , vypočítanou podle (2) pro případ úniku plynného ^{131}I např. v havarijní zóně JE pro dva různé případy rozptylových podmínek, popsané parametry $m = 0$, resp. $m = 0,8$, v jednotkách $[\text{h}^{-1}]$, během prvních 48 hodin po úniku.

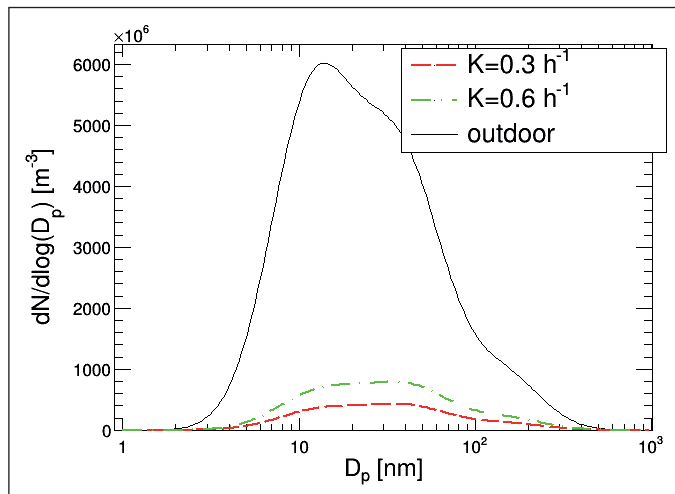
Z obr. 1–2 je vidět jasně patrný vliv více ušetřených dávek P pro těsnější byty řádu desítek procent během prvního dne po venkovní kontaminaci. Jejich hodnoty pak logicky klesají s rychlejším odstraňováním venkovního kontaminantu vlivem povětrnostních podmínek, kdy parametr m roste.

Vztah mezi kontaminací vzduchu vně a uvnitř budov a úspora dávky v případě kontaminace venkovního vzduchu radioaktivní látkou v aerosolové formě

Pro modelování vlivu větrání na úsporu dávky pro případ venkovního kontaminantu na bázi aerosolu byl použit model z již citované práce [4], který vychází z bilanční rovnice (1). Abychom mohli pro naše výpočty využít reálně měřená venkovní aerosolová spektra, která jsou publikována většinou na bázi jen měřené neaktivní velikostní aerosolové distribuce $dN/d\log(D_p)$, byla bilanční rovnice (1) vyjádřena pomocí venkovních C_{OUT} a vnitřních C_{IN} koncentrací neaktivních částic, které jsou pak úměrné relevantním celkovým aktivitám kontaminantu přes koeficienty navázání, následovně:

$$\frac{dC_{IN}(t)}{dt} = P(d)K(t)C_{OUT}(t) - (K(t) + \lambda_d(d))C_{IN}(t) \quad (11)$$

kde C_{OUT} a C_{IN} jsou koncentrace venkovních a vnitřních neaktivních částic v $[\text{m}^{-3}]$ s deponovanou aktivitou kontaminantu.



Obr. 3 Výsledek modelování průchodu aerosolového spektra částic o průměru D_p obálkou budovy jako funkce intenzity větrání K (1/h)

Fig. 3 Modelling result of penetration of the aerosol spectra of particle with diameter D_p through building envelope as a function of the ventilation intensity K (1/h)

Význam všech ostatních symbolů je stejný jako v rovnici (1).

Řešení bilanční rovnice (11) pro počáteční podmínku $C_{IN}(0) = 0$, je analytické a je možné zapsat jako:

$$C_{IN}(t) = \frac{C_{OUT} P K}{\lambda_d + K} (1 - e^{-(\lambda_d + K)t}) \quad (12)$$

Hodnoty koncentrace aerosolu C_{OUT} byly získány integrací v příslušném velikostním intervalu aerosolových částic pro publikovanou typickou venkovní aerosolovou velikostní distribuci částic $dN/d\log(D_p)$ v analytickém tvaru jako součet tří logaritmicko-normálních rozdění Nukleačního, Aitkenova a Akumulačního módu s příslušnými parametry [6]. Pro naše další výpočty byla použita hodnota penetrace $P = 0,8$ blízká rozpětí publikovaných 0,5–0,9 [7] a hodnoty depozice λ_d nahrazeny polynomem druhého stupně jako funkce velikosti částic, odvozeným v práci [8].

Na obr. 3 je vidět výsledek modelování průchodu původního venkovního aerosolového spektra obálkou budovy jako funkce intenzity větrání K , ze kterého je vidět znatelný posun původního spektra doprava a změna celkové koncentrace aerosolu.

Z výsledků práce [9] vyplývá, že typické aktivní aerosolové spektrum, reprezentované AMAD pro většinu radionuklidů, leží v intervalu (100–900) nm. V tab. 2 byly proto uvedeny výsledky modelování odvrácených dávek P , vypočítaných podle následujícího vztahu (13), již pro vhodně vybrané velikostní třídy aerosolu jako funkce očekávaného větrání K v bytech v době T od počátku venkovní kontaminace.

$$P = 1 - \frac{\int C_{IN}(t)d(t)}{\int C_{OUT}(t)d(t)} \quad (13)$$

Význam všech symbolů ve vztahu (13) je znám z předchozího textu.

Z tab. 2 byl vidět očekávaný vliv větrání v budovách na odvrácenou dávku P , která roste s klesajícím větráním, tedy pro těsnější objekty. Dále byly vidět větší hodnoty odvrácených dávek pro velikostní třídy aerosolu pod 100 nm ve srovnání s ostatními. To je důsledek parabolického průběhu závislosti depozice na velikosti aerosolu, která roste ve sledovaných třídách pod 100 nm a v dalším sledovaném intervalu 100–900 nm se příliš nemění.

Tab. 2 Výsledky modelování odvrácené dávky P v [%] v budovách pro vybrané velikostní třídy aerosolu, jako funkce intenzity větrání K pro prvních 100 hod od počátku kontaminace t in [hod]

Tab. 2 Modelling results of averted dose P in [%] in buildings for selected aerosol size classes, as a function of ventilation intensity K for the first 100 hours from the beginning of contamination t in [h]

| t [hod] | t [hod] | $K = 0,15$ [h^{-1}] | $K = 0,3$ [h^{-1}] | $K = 0,6$ [h^{-1}] |
|-----------|-----------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 1–100 | 97,2 | 94,4 | 89,5 |
| | 100–400 | 95,8 | 91,9 | 84,9 |
| 10 | 400–900 | 95,7 | 91,6 | 84,3 |
| | 1–100 | 96,2 | 92,8 | 86,6 |
| 100 | 100–400 | 93,0 | 87,8 | 77,0 |
| | 400–900 | 92,5 | 86,0 | 75,5 |
| | 1–100 | 96,1 | 92,6 | 86,3 |
| | 100–400 | 92,7 | 86,4 | 76,1 |
| | 400–900 | 92,1 | 85,4 | 74,5 |

DISKUZE A ZÁVĚR

Dosažené výsledky týdenních screeningových integrálních měření intenzity větrání, s využitím měřidel na bázi termické desorpce, uskutečněných v sezóně 2013–2014 SÚRO v.v.i. v 70 běžně užívaných obytných a pobytových místnostech bytů ve výškových domech a rodinných domech, indikovaly hodnoty mediánů:

- cca 0,6 h⁻¹ pro neotopnou sezónu a nerozlišené objekty dle těsnosti jejich obálky,
- cca 0,3 h⁻¹ pro otopnou sezónu v novostavbách a rekonstruovaných objektech s plastovými okny,
- cca 0,4 h⁻¹ pro otopnou sezónu a stávající rodinné domy a byty ve výškových budovách osazených původními okny.

Vlastní těsnost obálek novostaveb a rekonstruovaných rodinných a výškových domů, stanovená přímým vícedenním kontinuálním měřením s využitím indikačního plynu N₂O v cca 20 budovách, indikovala pro otopnou i neotopnou sezónu mediány hodinových průměrů intenzity větrání (0,05–0,2) h⁻¹ pro budovy nerozlišené nové a rekonstruované s plastovými okny a (0,1–0,4) h⁻¹ pro stávající budovy s původními okny.

Výsledky modelování odvrácených dávek z inhalace obyvatelstvu z řad populace pro případ plynného i aerosolového venkovního kontaminantu prokázaly očekávaný vliv intenzity větrání.

Rozdíly v odvrácených dávkách mezi těsnými a netěsnými objekty pro vybraný typický plynný venkovní kontaminant ¹³¹I a pro špatné rozptylové podmínky v počáteční časné fázi po úniku kontaminantu činily až 50 %. Nalezené cca 20% rozdíly v odvrácené dávce mezi těsnými a netěsnými objekty pro aerosolovou formu venkovního kontaminantu nebyly tak výrazné jako v případě jeho plynné formy, z důvodu významného vlivu depozice aktivního aerosolu na plochy. Větší hodnoty odvrácených dávek pro velikostní třídy aerosolu pod 100 nm ve srovnání s ostatními sledovanými nebyly překvapivé a byly jen důsledkem parabolického průběhu závislosti depozice na plochy na velikosti aerosolu, která roste ve sledovaných třídách pod 100 nm a v dalším sledovaném intervalu 100–900 nm se příliš nemění.

Významné rozdíly v odvrácených dávkách z inhalace osob v budovách z venkovního kontaminantu, nalezené pro kategorizované objekty dle reálné intenzity větrání, ukázaly na význam a potřebu jejího měření v budovách pro zpřesnění odvrácených dávek v důsledku očekávaných i neočekávaných mimořádných událostí, s následkem úniku významného množství kontaminantu do ovzduší.

Kontakt na autora: karel.jilek@suro.cz

Poděkování: Tento příspěvek vznikl z prostředků MV ČR v rámci smlouvy č. VI20172020085.

Použité zdroje:

- [1] ČSN 060210:94. Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. ČNI 1993.
- [2] BRENK, H.D. Untersuchung der unfallbedingten Inhalationsbelastung in Gebäuden. BS 8502/1, Aachen: Brenk Systemplanung, 1987.

- [3] DIETZ, R. N. et al. *Detailed description and performance of passive perfluorocarbon tracer system for building ventilation and air exchange rate measurements*. In: Trechsel, H. R., Lagus, P. L., Leds Measure Air Leakage of Buildings, ASTM STP 904 PA, ASTM Intl. 203-264 (1986).
- [4] HUSSEIN, T. et al. Urban aerosol number size distributions. *Atmos. Chem. Phys.* 2004, č. 4 s. 391–411.
- [5] BRABEC, M., JÍLEK, K. *Improved air ventilation rate estimation based on statistical model*. In: 4 th European Conference on Protection against radon at Home and at Work. Prague (2004). ISBN 80-01-03009-1.
- [6] HUSSEIN, T. et al. Particle size characterization and I/O relationship of atmospheric aerosols in Helsinki. *Environ. Health.* 2004, č. 30-2 s. 54–62.
- [7] HE, C, MORAWSKA, L., GILBERT, G. Particle deposition rates in residential houses. *Atmospheric Environment.* č. 39, s. 3891–3899.
- [8] MASSON, O. et al. Size Distributions of Airborne Radionuclides from the Fukushima Nuclear Accident at Several Places in Europe. *Environ. Sci. Technol.* č. 47, s. 10995–11003.
- [9] MALÁ, H. et al. Particle size distribution of radioactive materials after the Fukushima and the Chernobyl accidents. *Journal of Env. Rad.* 2013, č. 126, s. 92–98.

Prach v domácnostech

Pro pojem „domácí prach“ neexistuje žádná definice, nicméně obecně se za něj považuje prach usazující se uvnitř obytných budov, zejména na podlahách. Často je pak označován tímto pojmem obsah sáčků domácích vysavačů.

Vysavače pro domácnosti jsou často testovány s použitím tzv. testovacího prachu, což je daná směs skládající se z částic oxidu křemičitého, oxidů hliníku, železa a sodíku a dalších příměsí, jako je mastek, jemné piliny a chlorid draselný. Zkušební prachy jsou zaříděny podle rozsahu velikostí částic. Jemný zkušební prach podle normy ISO 12103-1 A2 obsahuje částice v rozsahu velikostí přibližně 1–80 μm.

Domácí prach je různorodá směs materiálu složená z celé škály organických a anorganických částic a vláken různé velikosti, tvaru a hustoty. Částice a obecně nečistoty představují kůže, vlasy, roztoči, bakterie, houby, pylová zrna, vlákna, půdní částičky, emise ze spalovacích zdrojů, emise z vaření, cigaretový kouř.

Zdroje domácího prachu se mohou značně odlišovat. Zahrnují materiál z vnějšího i vnitřního prostředí. Vnitřními zdroji jsou sami obyvatelé, domácí zvířata, emise ze spalovacích procesů, stavební materiály, bytové zařízení, rostliny i hmyz. Značná proměnlivost je pak dána lokalitou, např. zda se jedná o průmyslovou oblast nebo oblast bez velkých zdrojů znečištění, dále pak samozřejmě využíváním domácnosti.

Množství a složení domácího prachu se významně mění také se stářím domu, použitými stavebními materiály, zařízením domu, typem a kvalitou podlahové krytiny a způsobem údržby. Dále také záleží například na použití klimatizačního systému.

Pro běžné domácnosti bylo zjištěno, že při rozdělení dle objemu představují částice menší než 90 μm zhruba 45 % z celkového objemu a zhruba 1 % objemu tvoří částice menší než 2 μm, zatímco u jemného zkušebního prachu dle ISO normy představují částice menší než 90 μm většinu objemu – 99 %, přičemž téměř 20 % je tvořeno částicemi menšími než 2 μm. Hmotnostně je zhruba 50 % domácího prachu tvořeno částicemi menšími než 150 μm. Zkušební prach je tedy výrazně jemnější a objevují se návrhy, aby se reálný domácí prach používal rovněž při testování vysavačů pro získání důležitých doplňkových informací.

Ing. Pavel Vybíral, Ph.D.

Nejlepší portály

o stavebnictví



Největší stavební portál
pro odborníky v ČR

ESTAV.cz

Portál pro širokou
stavební veřejnost