

PŮVODNÍ A METODICKÉ PRÁCE

MODELOVÁNÍ ZÁVISLOSTI KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO VE STÁLÝCH ÚKRYTECH NA ČASE

MICHAL ŠMEREK^a a JAN KYSELÁK^b

^a *Katedra kvantitativních metod, Fakulta vojenského leadershipu, Univerzita obrany, Kounicova 65, 662 10 Brno,*

^b *Ústav ochrany obyvatelstva, Fakulta logistiky a krizového řízení, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Studentské náměstí 1532, 686 01 Uherské Hradiště.*

michal.smerek@unob.cz

Došlo 23.11.20, přijato 20.1.21.

Klíčová slova: filtroventilace, izolace, koncentrace, modelování, odvětrání, oxid uhličitý, provozní režim, stálý úkryt

Obsah

1. Úvod
2. Stanovení nárůstu a poklesu koncentrace oxidu uhličitého v úkrytu výpočtem
 - 2.1. Model zvyšování koncentrace oxidu uhličitého při pobytu osob v úkrytu při provozním režimu izolace
 - 2.2. Model zvyšování koncentrace oxidu uhličitého při pobytu osob v úkrytu při provozním režimu filtroventilace
 - 2.3. Model snižování koncentrace oxidu uhličitého po opuštění úkrytu ukryvanými osobami při provozním režimu filtroventilace
 - 2.4. Model snižování koncentrace oxidu uhličitého po ukončení provozního režimu izolace, tj. při pobytu osob v úkrytu při provozním režimu filtroventilace
3. Stanovení doby nárůstu koncentrace oxidu uhličitého při pobytu osob v úkrytu při provozním režimu izolace odečtem
4. Diskuse
5. Závěr

1. Úvod

První světová válka přinesla několik nových rysů na poli vojenství. Nejednalo se jen o pokusy s prvotním nasazením těžké pásové techniky (tanků) v bojích, ale také o použití prvních chemických zbraní a letectva. Především

na případné opětovné použití zmíněných chemických zbraní a letecké techniky v dalším válečném konfliktu (ke kterému se na základě vývoje mezinárodní vojensko-politické situace v polovině třicátých let minulého století zejména v Evropě schylovalo) musely zákonitě reagovat i vrcholné orgány výkonné a zákonodárné moci tehdejší Československé republiky. V oblasti ochrany obyvatelstva se toto mj. odrazilo v přijetí zákona o ochraně a obraně proti leteckým útokům¹. Tento zákon mj. zdůrazňoval ochranu před leteckými útoky prostřednictvím ať již úkrytů jako součástí nově budovaných staveb nebo úkrytů, které měly vznikat úpravou vybraných prostorů stávajících objektů. Dokonalé úkryty pak neměly zajišťovat pouze ochranu proti klasickým leteckým výbušným pumám (tříštivým, trhavým, tříštivo-trhavým) nebo pumám zápalným, ale také proti plynovým, tj. proti pumám s chemickými zbraněmi².

Od samotného počátku se museli odborníci při návrzích těchto úkrytů (dnes bychom v této souvislosti mohli hovořit o kategorii tzv. stálých úkrytů) zamýšlet nejenom nad nejvhodnějším konstrukčním řešením, dispozičním uspořádáním či vybavením – zde pak zejména filtroventilačním zařízením (FVZ). Byli nuceni se také zabývat problematikou poklesu koncentrace kyslíku nebo naopak nárůstu teploty a vlhkosti při nedostatečné obměně vzduchu nebo při provozním režimu izolace³, tj. hermetickém uzavření úkrytu a přerušení provozu FVZ. Zvláště velká pozornost byla v tomto směru ovšem věnována problematice oxidu uhličitého (CO₂), jenž mohl ukryvané osoby rovněž při nedostatečné obměně vzduchu svou vzrůstající koncentrací podstatně vážněji ohrožovat na zdraví nebo i na životě, než zatížení vyšší než optimální teplotou, popř. vlhkostí nebo poklesem koncentrace kyslíku. Při překročení přípustné koncentrace CO₂ v úkrytu, která byla od samotného počátku stanovena na 2 %, se u ukryvaných osob začíná postupně projevovat ztížené dýchání, zrychlení tepu, bolest hlavy a fyzická únava. Zdravotní mez koncentrace CO₂ v úkrytu je pak 5 %.

Stanovením doby provozního režimu izolace (tj. určením doby, za kterou koncentrace CO₂ v úkrytu dosáhne maximální povolené hodnoty) se odborné materiály tak jako v minulosti i v současné době sice zabývají, dnes již ale ne všemi možnými způsoby. Jak ovšem určit, jestli FVZ má na počet ukryvaných osob dostatečný výkon? Jak se vypořádat s určením doby potřebné k odvětrání úkrytu po jeho opuštění ukryvanými osobami na v atmosféře běžných 405 až 410 ppm CO₂, či jak určit dobu potřebnou k odvětrání úkrytu (snížení dosažené koncentrace CO₂) po ukončení provozního režimu izolace (jestliže není v úkrytu k dispozici regenerační zařízení), se dostupné aktuální odborné materiály nezabývají. Právě na tyto otázky se snaží nabídnout odpovědi tento příspěvek.

2. Stanovení nárůstu a poklesu koncentrace oxidu uhličitého v úkrytu výpočtem

2.1. Model zvyšování koncentrace oxidu uhličitého při pobytu osob v úkrytu při provozním režimu izolace

Matematickým stanovením doby provozního režimu izolace, tj. určením maximálního času, po který je možno úkryt hermeticky uzavřít aniž by došlo k ohrožení zdraví či životů ukryvaných osob v relaci k nárůstu koncentrace CO_2 , se v současné době z platných dokumentů zabývá norma³. V této normě je také definován provozní režim izolace, a to jako provozní režim zamezující průchodu oxidu uhelnatého přes filtry FVZ a také rychlému zanesení těchto filtrů vysokými koncentracemi prachu, radioaktivního prachu, otravných látek a bakteriologických (biologických) prostředků. Tento režim je zaváděn prostředně po kontaminaci okolí úkrytu, při poruchách zařízení a při přípravě FVZ na jiné provozní režimy.

Dobu provozního režimu izolace v souladu s touto normou můžeme stanovit rovnicí (1) následovně:

$$t = \frac{C_{\text{CO}_2} V}{m_{\text{CO}_2} n} \quad (1)$$

Význam symbolů je: t – doba provozního režimu izolace v hodinách; V – objem čistých prostor úkrytu v m^3 (čistý prostor – hlavní část stálého úkrytu, jež poskytuje ochranu proti kontaminaci otravnými a radioaktivními látkami a bakteriologickými prostředky); n – počet ukryvaných osob; m_{CO_2} – množství CO_2 v m^3 vydýchaného jednou ukryvanou osobou za hodinu, tj. pro pasivně ukryvané osoby je $m_{\text{CO}_2} = 0,02 \text{ m}^3 \text{ os}^{-1} \text{ h}^{-1}$, pro pracovníky v chráněných pracovištích (CHP) – stálých tlakově odolných úkrytech pro zabezpečení činnosti orgánů krizového řízení při řešení krizových situací a ve speciálních úkrytech (SpÚ) – stálých tlakově odolných úkrytech určených pro obsluhu důležitých nepřetržitých nebo dohánajících provozů a zařízení je $m_{\text{CO}_2} = 0,025 \text{ m}^3 \text{ os}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a konečně C_{CO_2} – dovolené zvýšení obsahu (maximální přípustná koncentrace) CO_2 v ovzduší (je stanoveno na nejvyšší hodnotu CO_2 pro pasivně ukryvané osoby 2 % = 0,02 a pracovníky CHP a SpÚ 1 % = 0,01).

Když pro příklad výpočtu zvolíme $V = 1000 \text{ m}^3$, $n = 200$, $m_{\text{CO}_2} = 0,02 \text{ m}^3 \text{ os}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a $C_{\text{CO}_2} = 2 \text{ \%} = 0,02$, pak po dosazení do rovnice (1) dostaneme výsledek $t = 5 \text{ h}$.

Z výpočtu vyplývá, že koncentrace 2 % (tj. 0,02) CO_2 dosáhneme při provozním režimu izolace při daných parametrech příkladu teoreticky za 5 h. Potom je potřeba buďto přejít z režimu izolace do režimu regenerace³ (provozní režim zajišťující po skončení provozního režimu izolace úpravu vzduchu uvnitř úkrytu odstraněním CO_2 a doplněním kyslíku – jestliže je úkryt zařízením pro regeneraci vybaven) nebo alespoň na krátkou dobu do režimu filtroventilace³ (provozní režim zajišťující filtraci vzduchu od radioaktivního prachu ze spadů, od bojových otravných látek a bojových biologických látek; při tomto provozním režimu je atmosférický vzduch filtrován pomocí pracho-

vých filtrů a pomocí soustavy kolektivních – protichemických filtrů).

2.2. Model zvyšování koncentrace oxidu uhličitého při pobytu osob v úkrytu při provozním režimu filtroventilace

K nárůstu koncentrace CO_2 v úkrytu může ovšem dojít i při pobytu ukryvaných osob za provozního režimu filtroventilace, tj. i za provozu FVZ (např. při nedostatečném výkonu FVZ v souvislosti s výpadkem elektrické energie a nutností zabezpečit provoz FVZ ručně, překročením povoleného maximálního množství ukryvaných osob apod.).

Změna koncentrace CO_2 v úkrytu je pak určena diferenciální rovnicí:

$$Vdc = nm_{\text{CO}_2} dt + Q(c_0 - c) dt \quad (2)$$

Výraz na levé straně rovnice (2) značí přírůstek CO_2 v průběhu časového intervalu (infinitesimálně malé) délky dt , během které dojde ke změně dc koncentrace CO_2 . První výraz na pravé straně rovnice vyjadřuje navýšení množství CO_2 , způsobené dýcháním n ukryvaných osob během časového intervalu délky dt . Druhý výraz na pravé straně rovnice značí úbytek ($c > c_0$) CO_2 způsobený provozem FVZ (s výkonem Q , $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$) za časový interval délky dt .

V rovnici (2) jsou jedinými proměnnými čas t a koncentrace c , na ostatní veličiny pohlížíme jako na konstanty (jsou to parametry rovnice). Koncentrace c je závisle proměnná na čase t , tedy $c = c(t)$. Závislost koncentrace CO_2 na čase se získá řešením diferenciální rovnice (2), kde se uplatní počáteční podmínka $c(0) = c_0$ (počáteční koncentrace CO_2 v úkrytu je rovna běžné venkovní koncentraci CO_2 , tedy $c_0 = 0,04 \text{ \%} = 0,0004$, tj. 400 ppm). Řešením rovnice (2) je pak:

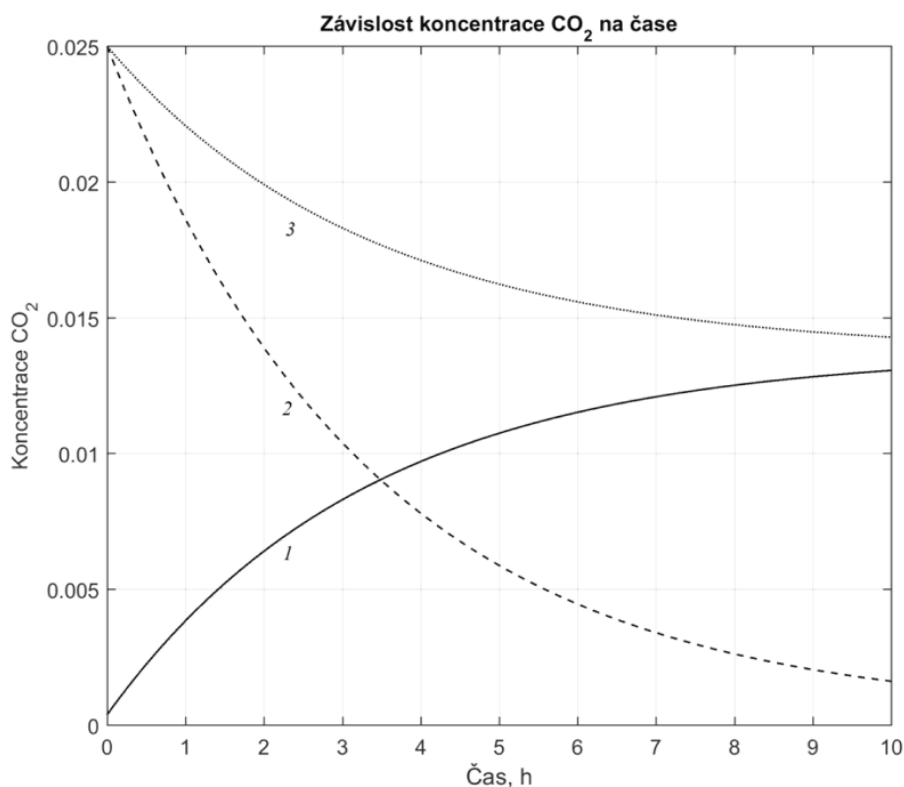
$$c = \frac{nm_{\text{CO}_2}}{Q} \left(1 - e^{-\frac{Q}{V}t} \right) + c_0 \quad (3)$$

Graf této závislosti pro hodnoty $V = 1000 \text{ m}^3$, $n = 200$ osob, $m_{\text{CO}_2} = 0,02 \text{ m}^3 \text{ os}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $c_0 = 0,0004$ a $Q = 300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ je znázorněn na obr. 1, křivka 1.

Ze vzorce (3) vyplývá např., že koncentrace 1 % CO_2 bude dosaženo při provozním režimu filtroventilace a daném objemu čistých prostor úkrytu a počtu ukryvaných osob za 4 h 14,5 min. V modelovém příkladu by koncentrace s časem rostla až do limitní hodnoty 0,013733; FVZ má tedy dostatečný výkon a dokáže pro ukryvané osoby z pohledu koncentrace CO_2 zajistit přijatelné vnitřní klima.

2.3. Model snižování koncentrace oxidu uhličitého po opuštění úkrytu ukryvanými osobami při provozním režimu filtroventilace

Podobně jako v podkapitole 2.2., lze modelovat průběh poklesu koncentrace CO_2 prostřednictvím FVZ v úkrytu po jeho opuštění ukryvanými osobami.



Obr. 1. Grafy závislostí koncentrace CO_2 na čase (křivka 1 – viz podkap. 2.2.; křivka 2 – viz podkap. 2.3.; křivka 3 – viz podkap. 2.4.). Zdroj: vlastní

Změna koncentrace CO_2 v úkrytu je pak určena diferenciální rovnicí:

$$Vdc = Q(c_0 - c)dt \quad (4)$$

Výraz na levé straně rovnice (4) značí úbytek CO_2 během časového intervalu (infinitesimálně malé) délky dt , během které dojde ke změně dc koncentrace CO_2 . Výraz na pravé straně rovnice značí úbytek CO_2 způsobený provozem FVZ za časový interval délky dt .

V rovnici (4) jsou jedinými proměnnými čas t a koncentrace c , na ostatní veličiny pohlížíme jako na konstanty (parametry rovnice). Koncentrace c je opět závisle proměnná na čase t , tedy $c = c(t)$. Závislost koncentrace CO_2 na čase se získá řešením diferenciální rovnice (4), kde se uplatní počáteční podmínka $c(0) = c_1$ (počáteční koncentrace CO_2 v úkrytu po jeho opuštění ukryvanými osobami). Řešením rovnice (4) je pak:

$$c = (c_1 - c_0)e^{-\frac{Q}{V}t} + c_0 \quad (5)$$

Graf této závislosti pro hodnoty $V = 1000 \text{ m}^3$, $c_0 = 0,0004$, $Q = 300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a $c_1 = 0,025$ je znázorněn na obr. 1, křivka 2. Bude-li nás zajímat, za jak dlouho v prostorách úkrytu dojde k poklesu koncentrace CO_2 z počáteční hod-

noty např. $c_1 = 0,025$ na hodnotu $c = 0,01$, lze takto zjistit, že to bude za 3 h 8 min.

Můžeme tedy vždy určit, po jaké době bude úkryt v relaci k úrovni koncentrace CO_2 opět pro ukryvané osoby použitelný.

2.4. Model snižování koncentrace oxidu uhličitého po ukončení provozního režimu izolace, tj. při pobytu osob v úkrytu při provozním režimu filtroventilace

Podobně jako v podkapitolách 2.2. a 2.3., lze modelovat i průběh poklesu koncentrace CO_2 v úkrytu při pobytu ukryvaných osob prostřednictvím FVZ. Např. lze si představit situaci, kdy v úkrytu byl nastaven provozní režim izolace (FVZ nebylo v provozu), proto koncentrace CO_2 stoupala (viz podkap. 2.2.), později vnější podmínky dovolily FVZ spustit a tudíž snižovat koncentraci CO_2 z hodnoty c_1 .

Změna koncentrace CO_2 v úkrytu je pak určena diferenciální rovnicí (2) (stejně jako v podkap. 2.2.), počáteční podmínka je nyní $c(0) = c_1$. Řešením je pak:

$$c = \left(c_1 - c_0 - \frac{nm_{\text{CO}_2}}{Q} \right) e^{-\frac{Q}{V}t} + \frac{nm_{\text{CO}_2}}{Q} + c_0 \quad (6)$$

Graf této závislosti pro hodnoty $V = 1000 \text{ m}^3$, $n = 200$ osob, $m_{\text{CO}_2} = 0,02 \text{ m}^3 \text{ os}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $c_0 = 0,0004$, $c_1 = 0,025$ a $Q = 300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ je znázorněn na obr. 1, křivka 3. Bude-li nás zajímat, za jak dlouho v prostorách úkrytu dojde k poklesu koncentrace CO_2 z počáteční hodnoty např. $c_1 = 0,025$ na hodnotu $c = 0,015$, lze zjistit, že to bude za 7 h 17 min. Dále by koncentrace s časem klesala až do limitní hodnoty 0,013733.

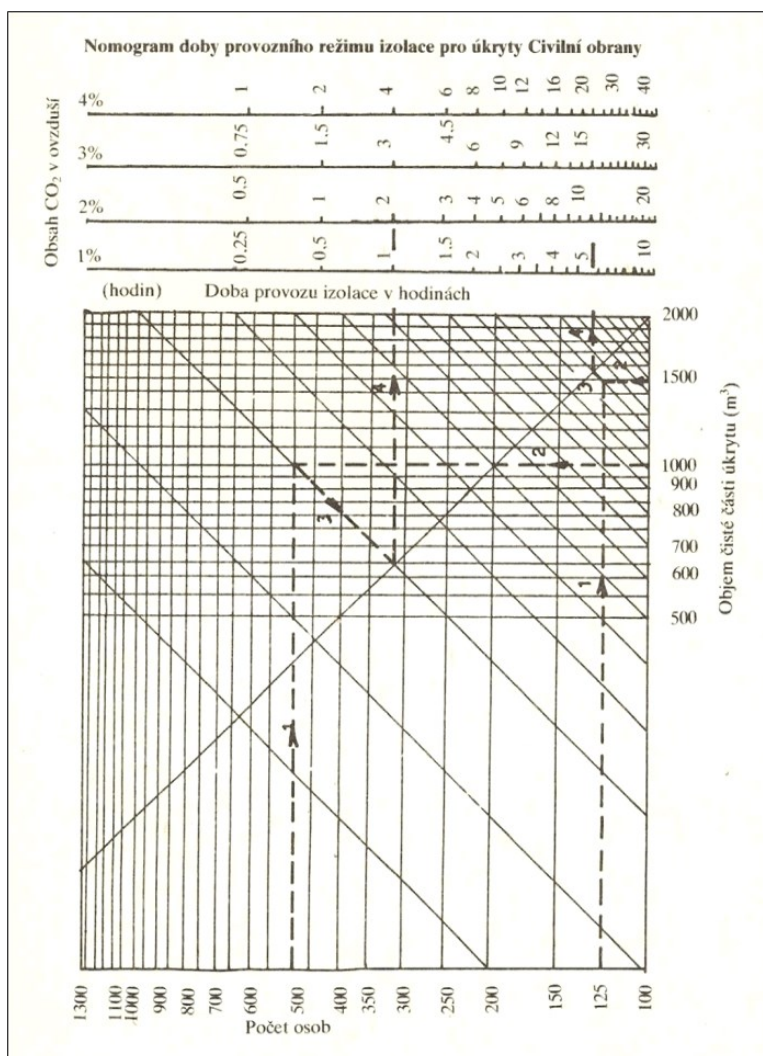
Tímto způsobem lze vždy stanovit, po jak dlouhé době poklesne koncentrace CO_2 na přijatelnou hodnotu a bude např. možné opět zavést režim izolace.

3. Stanovení doby nárůstu koncentrace oxidu uhličitého při pobytu osob v úkrytu při provozním režimu izolace odečtem

Jiným možným způsobem určení doby nárůstu koncentrace CO_2 v úkrytu za provozního režimu izolace na kritickou mez (1 % nebo 2 %) je odečet z nomogramu nebo tabulky.

Jeden z prvních předpisů, jenž potřebný nomogram obsahoval, byl předpis⁴. Nomogram byl v nepatrně obměně také součástí předpisu⁵ – viz obr. 2, je dohledatelný např. i v publikaci⁶.

Původní nomogram, byl postupně upravován. Úprava spočívala v rozšiřování možnosti odečtu. Toto má své racionální odůvodnění. Jedná se o materiály z let 1958, 1971 a 1991, kdy technologický pokrok postupně umožnil výstavbu nových úkrytů s vyšší kapacitou – běžně pro 600,



Obr. 2. Určení doby provozu izolace v úkrytu v závislosti na objemu čisté části úkrytu a počtu ukryvaných osob pomocí nomogramu⁵

900 i více než 1250 ukryvaných osob (v současné době např. největší v Praze s kapacitou 2800 ukryvaných osob) – samozřejmě i s odpovídajícím objemem, nebudeme-li řadit k těmto úkrytům ochranný systém Pražského metra – okolo 250 000 ukryvaných osob nebo Strahovského tunelu – 15 000 ukryvaných osob. Na tomto místě je nutno zdůraznit, že všechny zde uvedené předpisy se značkou ŠCOS (vydávané v 50. až 70. letech minulého století) i se značkou CO (vydávané od konce 40. let do konce 90. let minulého století), jsou dnes již zrušeny. Předpisy značky CO, které se týkaly oblasti navrhování, výstavby a údržby úkrytů, pak byly po jejich zrušení nahrazeny normami^{3,7}.

Předpis⁵ mj. v době své platnosti zakotvoval povinnost mít předem pro daný úkryt vypočítanou dobu provozního režimu izolace, za kterou se dosáhne při naplnění stanoveným počtem ukryvaných osob v závislosti na objemu čistých prostor úkrytu koncentrace 2 % CO₂. Při obsazení úkrytu jiným než stanoveným počtem ukryvaných osob se přípustná doba tohoto provozního režimu měla operativně určit právě z uvedeného nomogramu. Proto tento nomogram, i když to daný předpis⁵ vyloženě nenařizoval, býval dosti často (a v některých případech stále ještě je) v úkrytech k dispozici. Leč matematický výpočet předpis neobsahoval. Je možné jej ale dohledat opět v dnes již také zrušeném předpisu⁸. Rozdílná dislokace výpočtu a nomogramu v těchto dvou předpisech je vcelku logická. Předpis⁸ byl určujícím v rámci projektové fáze těchto typů úkrytů, předpis⁵ byl pak využíván v rámci údržby a zajištění provozu již dokončených úkrytů. Z aktuálně platných dokumentů je tento výpočet zakotven (jak již bylo výše uvedeno) pouze v normě³.

Dalším možným způsobem stanovení doby provozního režimu izolace je jednoduchý odečet z tabulky – viz tabulka I, kterou nabízí publikace⁶. Tabulka udává dobu (v hodinách) provozního režimu izolace, za kterou dojde ke zvýšení koncentrace CO₂ o 1 % a o 2 %, v závislosti na objemu čistých prostor úkrytu na jednu ukryvanou osobu. Jestliže tedy zvolíme příklad uplatněný v podkapitole 2.1. (200 ukryvaných osob a objem čistých prostor úkrytu 1000 m³), potom jak pomocí nomogramu na obr. 2, tak i pomocí tab. I, docházíme ke stejným výsledkům, tj. že doba provozního režimu izolace pro pasivně ukryvané osoby by měla být maximálně 5 hodin.

Tabulka I
Stanovení doby provozního režimu izolace v závislosti na objemu čistých prostor úkrytu a počtu ukryvaných osob⁶

Objem čistých prostor úkrytu na 1 osobu [m ³ os ⁻¹]	Doba zvýšení obsahu CO ₂ v úkrytu	
	o 1 % [h]	o 2 % [h]
1,0	0,5	1,0
2,0	1,0	2,0
3,0	1,5	3,0
4,0	2,0	4,0
5,0	2,5	5,0

4. Diskuse

Na základě výše uvedeného je zřejmé, že v praxi může nastat více případů (viz podkapitoly 2.1. až 2.4.), kdy je třeba stanovit dobu nárůstu či poklesu koncentrace CO₂ v úkrytech. Uvedenými matematickými metodami se již v předválečném období zabývali ve svých příspěvcích např. Roedler⁹ nebo Janko¹⁰, dnes ve velmi omezené míře (pouze pro jeden případ) toto řeší pouze norma³. Aktuálně platné materiály (normy, vyhlášky apod.) stanovení doby nárůstu koncentrace CO₂ při provozním režimu izolace odečtem (pravděpodobně v praxi by bylo nutno řešit nejjednodušší) neobsahují.

Zde je nutno zdůraznit, že všechny výše uvedené výpočty či odečty jsou vždy jen teoretické (orientační). Vycházejí z ideálních podmínek, které není možno v tomto typu úkrytů (v podstatě v žádném typu úkrytů) zejména vzhledem k jejich prostorovému uspořádání nikdy dosáhnout. Ani v jednom z úkrytů nebude koncentrace CO₂ v ovzduší v čase t ve všech jeho částech stejná. To závisí především na koncentraci ukryvaných osob v čistých prostorech těchto úkrytů (v místnostech pro ukryvané), která nemusí být rovnoměrná, na rozvodu vzduchu od FVZ, ale také na minimální difuzi CO₂ (zejména při vypnutém FVZ – režimu izolace). V těchto místnostech pro ukryvané se pak koncentrace CO₂ bude zvyšovat samozřejmě nejrychleji a bude také dosahovat nejvyšších hodnot. Naopak, v ostatních místnostech čistého prostoru (např. strojovna FVZ, místnost vodního hospodářství apod. – blíže viz norma³), kde by se ukryvané osoby nevyskytovaly a kde se v těchto místnostech předpokládá pouze sporadicky pohyb příslušníků krytového družstva, se koncentrace CO₂ bude zvyšovat ať již při provozním režimu izolace nebo filtroventilace pomaleji a bude také dosahovat nižších hodnot.

Skutečné hodnoty koncentrace CO₂ v úkrytu by bylo samozřejmě nejvhodnější ověřit v případě potřeby měřením. Základní necertifikované přístroje pro toto měření lze pořídit již od cca 2000 Kč, u podstatně kvalitnějších je však cena několikanásobně (i desetinásobně) vyšší. Případně dovybavení přístroji střední cenové relace je tak u všech stálých úkrytů (v České republice dosahuje tento počet necelých dvou tisíc) v případě jejich zphotovení jistě reálné.

V průběhu přípravy tohoto článku se autorům podařilo z posledního období dohledat pouze jeden experiment, který byl realizován ve stálých úkrytech. Tento experiment sice nebyl zaměřen na v příspěvku prezentovanou oblast (byla verifikována reakce ukryvaných osob na diskomfort v těchto typech úkrytů), ale i tak je ve výstupu¹¹ z tohoto experimentu zdůrazňováno úskalí, jež s sebou pobyt v úkrytech může přinášet.

5. Závěr

V příspěvku byly nastíněny možné způsoby určení nárůstu či poklesu koncentrace CO₂ v úkrytech v závislosti na čase. Zde je možno rovněž zdůraznit, že všechny uvedené způsoby (jak matematické, tak založené na prostém

odečtu) lze kromě využití v problematice úkrytí aplikovat na další obdobné případy. Zejména uvedené matematické modely (viz podkap. 2.1. až 2.4.), budou ovšem v reálné situaci poněkud problematictější aplikovatelné bez dalších pomocných nástrojů. Proto jako podpora tomuto modelování byl vypracován softwarový nástroj (na platformě MS Excel, dostupný na webové adrese¹²), kde je možno při zadání základních parametrů pro jednotlivé případy jednoduše získat potřebné výsledky.

Vzhledem k uvolnění mezinárodního napětí (především v Evropě) po ukončení studené války na přelomu 80. a 90. let minulého století (a také na základě ekonomické situace v České republice) se v následujícím období problematika stálých úkrytů dostala na samý okraj priorit ochrany obyvatelstva. Výstavba nových stálých úkrytů již více než dvě desetiletí neprobíhá a počet těchto úkrytů (a tím samozřejmě také i jejich celková kapacita) se z celkového množství 5172 v roce 1990 snížil na 1845 v roce 2017 (cit.¹³). Jedná se tak o úbytek přibližně 65 % stálých úkrytů. Tyto typy úkrytů, zejména pak stále tlakově odolné úkryty, jsou přitom neodmyslitelnou součástí zajištění kolektivní ochrany obyvatelstva za válečného stavu, a to zejména proti zbraním hromadného ničení. V tomto smyslu o těchto úkrytech hovoří i vyhláška¹⁴. V souvislosti s poklesem zájmu státu o úkrytový fond se logicky změnil také přístup subjektů odpovědných za přípravu personálu, který by měl zabezpečovat provozuschopnost těchto úkrytů apod. Tím se samozřejmě částečně vytrácí nejenom praktické zkušenosti s údržbou těchto úkrytů, obsluhou zařízení nebo zajištěním celkového provozu těchto úkrytů, vzájemně předávaných po celá desetiletí, ale rovněž teorie, potřebná pro podporu zabezpečení kvalitativního rámce problematiky úkrytí.

Autoři proto skromně předpokládají, že tento příspěvek bude přínosem pro zachování, spíše však rozšíření, některých teoretických znalostí u odborníků na oblast úkrytí obyvatelstva v České republice.

LITERATURA

1. Zákon č. 82/1935 Sb. z. a n. ze dne 11. dubna 1935, *o ochraně a obraně proti leteckým útokům*.
2. Směrnice CPO-5 ze dne 15. června 1936, *Ochrana proti bojovým látkám*, Zemský úřad v Praze, Praha 1936.
3. ČSN 73 9010: *Navrhování a výstavba staveb civilní ochrany* (prosinec 2010).
4. Předpis ŠCOS Tech-3-16. *Předpis pro obsluhu a údržbu filtroventilačních zařízení 300c – typ 55 ve zvláštních stavbách CO (Bojový provoz)*. Ministerstvo vnitra – Štáb CO státu, Praha 1958.
5. Předpis CO-4-2/č. *Údržba a provoz stálých úkrytů civilní obrany*, Federální ministerstvo obrany, Praha 1991.
6. Ondřej L., Rus Č., Pelant B., Kšáda B.: *Příručka k odborné normě znalostí pro krytové jednotky CO objektů*, Federální ministerstvo vnitra – Štáb civilní obrany ČSSR, Praha 1971.
7. ČSN 73 9050: *Údržba stálých úkrytů civilní ochrany* (červenec 2004).
8. Předpis CO-6-2. *Projektování a výstavba úkrytů CO 3., 4. a 5. třídy odolnosti*, Ministerstvo národní obrany, Praha 1980.
9. Roedler F.: *Gasschutz Luftschutz* 8, 228 (1938).
10. Janko L.: *Obrana obyvatelstva IV*, 107 (1938).
11. Pokorný V., Ullrich D., Kyselák J.: *The Science for Population Protection* 5, 81 (2013).
12. <https://user.unob.cz/files/koncentrace-co2h.xlsx>, staženo 20.11.20.
13. Usnesení č. 730/2018 ke *Zprávě o stavu ochrany obyvatelstva v České republice*. Vláda České republiky, Praha 2018.
14. Vyhláška č. 380/2002 Sb. *k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva*. Sbirka zákonů 2002, částka 133, str. 7730-7752.

M. Šmerek^a and J. Kyselák^b (^a *Department of Quantitative Methods, Faculty of Military Leadership, University of Defence, Brno*, ^b *Department of Population Protection, Faculty of Logistics and Crisis Management, Tomas Bata University in Zlín, Uherské Hradiště*): **Modelling the Time-Dependent Concentration of Carbon Dioxide in Permanent Shelters**

The article deals with modelling the time-dependent concentration of carbon dioxide in permanent shelters. Various prospective scenarios have been modelled for shelters, e.g., comparing empty ones with those occupied by hidden people, or filter-ventilated ones with those having their ventilation out of operation. The individual selected methods and ways of modelling are proposed and discussed. Mainly mathematical methods based on the solution of differential equations, but also easier methods based on simple reading necessary measured values have been used.

Keywords: filter-ventilation, insulation, concentration, modelling, ventilation, carbon dioxide, operating mode, permanent shelter