

Prof. ing. František DRKAL, CSc.,
Ing. Luděk MAREŠ
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Riziko vzniku toxické koncentrace CO při provozu plynového spotřebiče s přerušovačem tahu



Ústav techniky prostředí

Risk of CO Toxic Concentration Rise during Operation of Gas Consumer with Flue Gas Draft Breaker

Recenzent
Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.

Příspěvek předkládá výpočtovou analýzu provozu plynového spotřebiče s přerušovačem tahu v prostoru se sníženou infiltrací venkovního vzduchu spárami oken. Řešení prokazuje, že důsledkem takového provozu může být pronikání spalin z přerušovače tahu spotřebiče do místnosti, kde ze spalin se hromadí oxid uhelnatý.

Klíčová slova: větrání, plynové spotřebiče, přerušovač tahu, oxid uhelnatý

Authors submit the calculation analysis of the operation of the gas consumer (appliance) equipped with the flue gas draft breaker in the space with the outside air decreased infiltration through window slots, in their contribution. They evidenced in the solution that the consequence of such an operation may result in the infiltration of combustion gases from the flue gas draft breaker into the room, and carbon monoxide (CO) accumulates from combustion gases there.

Key words: ventilation, gas consumers (appliances), flue gas draft breaker, carbon monoxide

1. ÚVOD

Tendence snižování potřeby energie vedou v budovách k instalacím oken s maximálně těsnými spárami, s minimální infiltrací. U starších konstrukcí budov vznikaly (a pravděpodobně ještě vznikají) nežádoucí nadměrné tepelné ztráty při vysokém, až nežádoucím, průtoku venkovního vzduchu spárami netěsných oken do bytových prostorů.

V současné době instalací maximálně těsných oken, bez jiné koncepce větrání, se vytváří v obytných budovách opačná situace – šetří se energie, ale do bytových prostorů se nepřivádí venkovní vzduch pro větrání. Důsledky této situace jsou nejlépe pozorovatelné ve dvou oblastech.

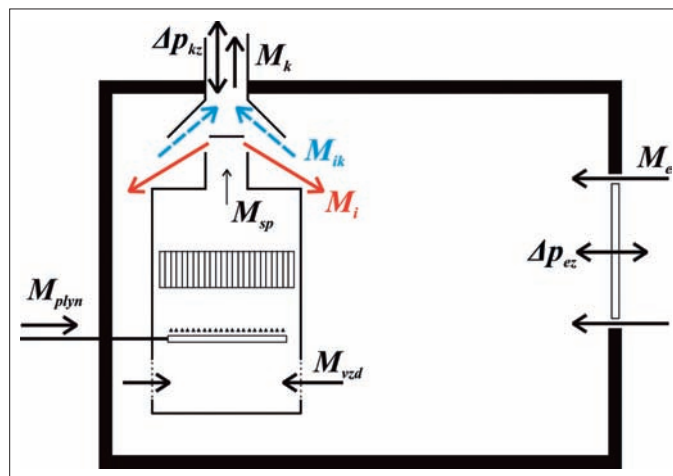
Na vnitřních stěnách budov, v místech tepelných mostů, dochází v zimním období ke kondenzaci vlhkosti, vzniku plísní. Souvisejícím, méně viditelným, ale prokazatelným důsledkem, nedostatečného větrání jsou zdravotní problémy populace – nárůst alergických a respiračních onemocnění [1].

Dalším důsledkem potlačeného větrání jsou problémy, které vznikají v prostorech s plynovými spotřebiči. Vnitřní ovzduší je znehodnocováno produkty spalování plynu (převážně u otevřených spotřebičů – plynových sporáků), a u plynových spotřebičů s přerušovačem tahu (plynových kotlů, průtokových ohřivačů) může docházet k pronikání spalin, které mají být odváděny komínem, přerušovačem tahu nebo jinými otvory v plášti kotle do vnitřního prostředí.

Následující text je zaměřen na poslední uvedený problém, tj. na analýzu situace, kdy mohou spaliny z přerušovače tahu pronikat do prostoru, kde je spotřebič umístěn.

2. PLYNOVÉ SPOTŘEBIČE S PŘERUŠOVAČEM TAHU

ČSN 06 1002 [4] a TPG 704 01 [5] rozděluje plynové spotřebiče, podle konstrukčního uspořádání, do tří provedení A, B, C. U spotřebičů provedení A (např. plynových sporáků) se vzduch pro spalování odebírá z místnosti do níž také proudí spaliny. Spotřebiče provedení B (např. závěsné plynové kotle, průtokové ohřivače) odebírají vzduch pro spalování z místnosti, spaliny proudí do komínu. Spotřebiče provedení B s atmosférickými hořáky jsou vybavovány přerušovači tahu. Právě tyto spotřebiče předsta-



Obr. 1 Schéma proudění vzduchu a spalin
(M_i – průtok spalin do místnosti, M_k – průtok vzduchu do komínu)

vuji při instalaci v prostorech s nedostatečně zajištěným přívodem venkovního vzduchu riziko pronikání spalin do vnitřního prostoru. U spotřebičů provedení C se spalovací vzduch přivádí přímo k hořákům z venkovního prostředí potrubím, spaliny se odvádí komínem; vnitřní prostředí, kde je spotřebič umístěn není ovlivněno spalinami, a ani přívod spalovacího vzduchu neovlivňuje větrání.

Na obr.1 je schématicky znázorněn spotřebič provedení B s atmosférickým hořákem a přerušovačem tahu. Spalovací vzduch se přivádí k hořákům z místnosti, spaliny po průchodu výměníkem tepla jsou vedeny přes přerušovač (usměrňovač) tahu vertikálně do sopouchu, na který navazuje komín. Přerušovač tahu propojuje spalinový prostor s vnitřním ovzduším místnosti. Účelem přerušovače tahu je zabránit, aby při zpětném proudění spalin, např. při krátkodobém negativním působení větru, nedošlo k ovlivnění funkce plynových hořáků (případně až k zhašení plamene). Zpětný průtok spalin je vyveden v přerušovači tahu do místnosti, hořáky nejsou zasaženy. Přerušovač tahu omezuje vliv proměnného tahu komína na spalování a usnadňuje počáteční provoz kotle při nulovém tahu komína. V přerušovači tahu je umístěna pojistka proti zpětnému toku spalin. Za správných funkčních podmínek se může v přerušovači tahu přisávat do komínu vzduch z místnosti. Na obr.1 je čárkovanou šipkou vyznačeno proudění vzduchu z místnosti do přerušovače tahu.

3. RIZIKA, KTERÁ VZNIKAJÍ PŘI NESPRÁVNÉM PROVOZOVÁNÍ PLYNOVÝCH SPOTŘEBIČŮ S PŘERUŠOVAČEM TAHU

Závažné poruchy při provozu vedou k proudění spalin ze spotřebiče do prostoru, kde je umístěn, k nárůstu koncentrace oxidu uhelnatého v tomto prostoru a u osob k otrávám, až smrtelným.

Zdůvodnění, vysvětlení těchto stavů, které v poslední době nejsou výjimečné, jsou publikovány, např. podle experimentů v [2] jsou uvedeny dvě možné příčiny pronikání spalin do vnitřního prostoru:

- Znečištěný výměník tepla na straně spalin. Spaliny obtékají výměník ve spodní části, odcházejí prostorem mezi výměníkem a krytem kotle do vnitřního prostředí. Důsledkem toho nedojde k aktivaci pojistky proti zpětnému toku spalin.
- Porucha v odvodu spalin (nepřůchodný kouřovod, komín, apod.), kotel s průchodným výměníkem. V tomto případě spaliny procházejí výměníkem, do vnitřního prostoru pronikají kolem čidla pojistky proti zpětnému toku spalin; při její aktivaci dojde k odstavení kotle z provozu.

Jak prokazuje předložená výpočtová analýza, existuje další možná příčina pronikání spalin do vnitřního prostoru při nesprávném provozování plynového spotřebiče. Rozborem reálného případu předkládají autoři analýzu stavu, kdy spotřebič má funkční, neznečištěný výměník, nejsou zjištěny poruchy systému odvodu spalin, ale přesto dochází k pronikání spalin do vnitřního prostoru. Z analýzy vyplývá, že příčinou takového stavu je nedostatečný přívod venkovního vzduchu pro spalování.

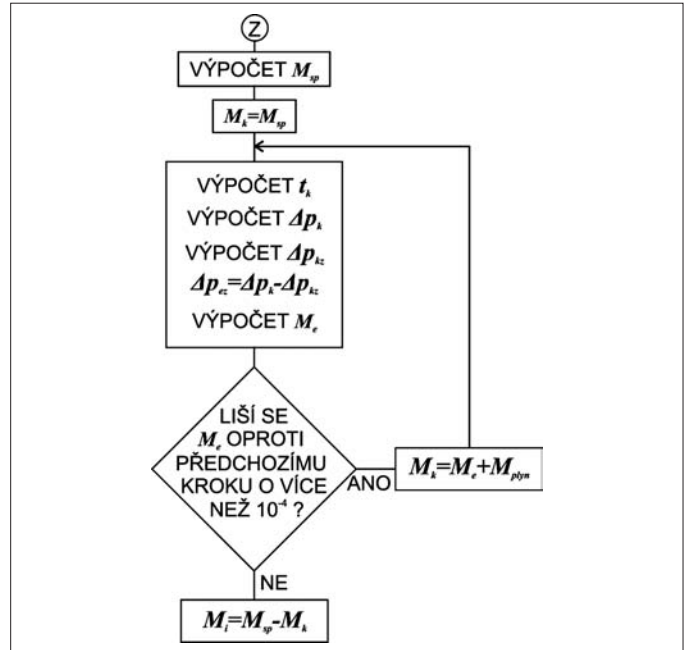
4. KONCEPCE VÝPOČTU

Schéma proudění spalin a vzduchu u plynového spotřebiče s přerušovačem tahu je na obr. 1.

- a) Za **správných funkčních podmínek** je vzduch pro spalování M_{vzd} (průtok potřebný pro spalování) přiváděn infiltrací (dostatečně dimenzovanými okenními spárami). Statický tah komínu Δp_k postačuje pro krytí tlakové ztráty komínu Δp_{kz} při průtoku spalin M_{sp} a tlakové ztráty Δp_{ez} při průtoku venkovního vzduchu (spárami oken) M_e . Neboli účinný tah komínu (statický tah zmenšený o tlakové ztráty v komíně) vytvoří v místnosti dostatečný podtlak na to, aby se infiltrací dostalo do prostoru dostatečné množství venkovního vzduchu M_e . Z místnosti se do komínu přisává vnitřní vzduch o průtoku M_{ik} . Hmotnostní průtok přiváděného plynu je M_{plyn} . Pro bilanční rovnováhu platí

$$\begin{aligned} M_k &= M_{sp} + M_{ik} \\ M_{sp} &= M_{plyn} + M_{vzd} \\ M_k &= M_e + M_{plyn} \\ M_{vzd} &= M_e - M_{ik} \\ M_e &\geq M_{vzd} \\ \Delta p_k &= \Delta p_{kz} + \Delta p_{ez} \end{aligned}$$

- b) Při **vysoké těsnosti vnitřního prostoru** (vysoká tlaková ztráta okenních spár Δp_{ez}) se ustaví nová rovnováha průtoku vzduchu, spalin a rovnováha statického tahu komínu, tlakové ztráty komínu a tlakové ztráty oken. Vlivem vysokého Δp_{ez} se sníží průtok venkovního vzduchu spárami oken na nižší hodnotu. Protože do hořáku přichází nezměněný průtok plynu M_{plyn} , přisává si hořák také původní množství spalovacího vzduchu M_{vzd} , které zčásti tvoří přívod venkovního vzduchu spárami oken M_e a zčásti vzduch nasávaný z vnitřního prostoru, který je nahrazován spalinami o průtoku M_i (průtok M_i má opačný směr než M_{ik}) které do prostoru pronikají z přerušovače tahu, případně volnými otvory v krytu plynového spotřebiče. Pro zjednodušení se při výpočtu uvažuje vychlazení pronikajících spalin M_i na teplotu vzduchu v místnosti. Produkce spalin v hořáku je nezměněná M_{sp} . Komínem prochází zmenšený průtok spalin, což vede ke snížení teploty spalin a tím i k zmenšení statického tahu komínu na nižší hodnotu.



Obr. 2 Vývojový diagram výpočtu

tu. Zmenšený průtok spalin snižuje tlakovou ztrátu komínu. Bilanční rovnováha je popsána následujícími vztahy.

$$\begin{aligned} M_k &= M_{sp} - M_i \\ M_{sp} &= M_{plyn} + M_{vzd} \\ M_k &= M_e + M_{plyn} \\ M_{vzd} &= M_e + M_i \\ M_e &< M_{vzd} \\ \Delta p_k &= \Delta p_{kz} + \Delta p_{ez} \end{aligned}$$

Spaliny pronikající do vnitřního prostoru obsahují oxid uhelnatý, jehož koncentrace v prostoru se při provozu plynového spotřebiče cyklicky zvyšuje. Vzduch pro spalování pak obsahuje stále vyšší koncentraci CO, což zhoršuje podmínky spalování a vede k vyšší produkci CO.

Zcela hypoteticky krajní situace vzniká při provozu plynového spotřebiče provedení B s přerušovačem tahu napojeným na komín, který je umístěn ve zcela těsném prostoru ($M_e = 0$). Pak $M_{vzd} = M_i$, $M_k = M_{plyn}$ - podstatná část spalin se navrací do vnitřního prostoru.

5. VÝPOČET

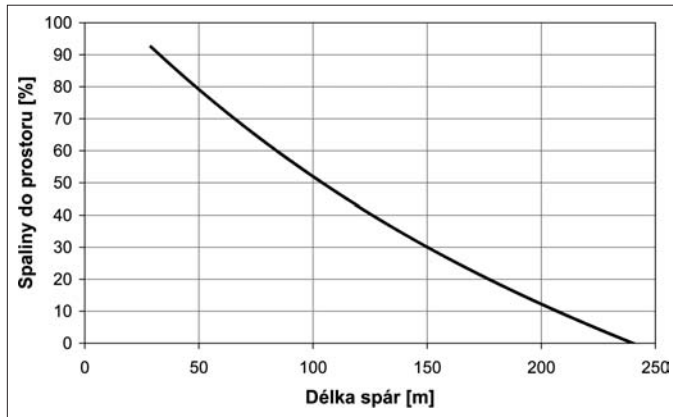
Výpočtový algoritmus byl napsán v programu Excel na základě bilančních rovnic uvedených v kap. 4. Výpočet probíhá iteračně pro kvazi stacionární stav podle vývojového diagramu na obr. 2, naprogramován byl max. počet iteračních kroků 20, což při všech výpočtech vyhovělo. Algoritmus zahrnuje test odchylky výsledné hodnoty proti předchozímu kroku. Výpočet dobře konvergoval, nepatrné odchylky řádu 10^{-4} (0,1 %) se dosáhlo již po 4 až 8 krocích.

5.1 Rozsah platnosti výpočtu, vstupní hodnoty, použité vzorce

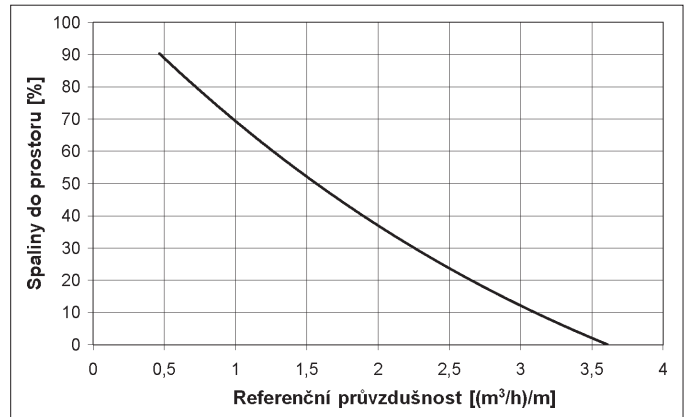
Rozsah platnosti výpočtu

Minimální hodnota M_e byla stanovena pro podmínku, aby statický tah komínu byl kladný, tj. $\Delta p_k > 0$; při výpočtu nebyl tedy uvažován obrácený tah komínu ($\Delta p_k < 0$), kdy by se všechny spaliny dostávaly do prostoru,

Maximální hodnota M_e byla stanovena pro podmínku, aby proudění spalin M_i přerušovačem (otvory pláště kotle) směřovalo do místnosti. Opačný případ, kdy vzduch z místnosti M_{ik} proudí přerušovačem tahu do komínu nebyl pro výpočet uvažován, jde o normální, žádoucí provozní stav.



Obr. 3 Závislost $(M_i/M_{sp})_{100}$ (%) na l (m); $V_{i,100} = 0,75 \text{ m}^3/\text{h m}$, $Q = 15 \text{ kW}$, $h_k = 9 \text{ m}$, $d_k = 120 \text{ mm}$



Obr. 4 Závislost $(M_i/M_{sp})_{100}$ (%) na $V_{i,100}$ ($\text{m}^3/\text{h m}$); $l = 50 \text{ m}$, $Q = 15 \text{ kW}$, $h_k = 9 \text{ m}$, $d_k = 120 \text{ mm}$

Vstupní hodnoty, použité vzorce

Výkon kotle (kW), spotřeba plynu (objemový průtok) (m^3/h) (stav při $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a 101325 Pa), objemový průtok spalovacího vzduchu (m^3/h), objemový průtok spalin (m^3/h), teplota spalin ($^\circ\text{C}$) – podle technické dokumentace kotle.

Výška komínu (m), vnitřní průměr (mm), tepelný odpor izolace komínu ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) – podle projektu (skutečnosti).

Prostor, ze kterého plynový kotel nasává venkovní vzduch – půdorys (m^2), výška (m).

Charakteristika okenních spár, případně dveří – referenční průvzdušnost podle ČSN EN 12207 ($\text{m}^3/\text{h m}$) při tlakovém rozdílu 100 Pa .

Teplota venkovního vzduchu t_e ($^\circ\text{C}$).

Měrná tepelná kapacita spalin c_{sp} ($\text{J}/\text{kg K}$) je přibližně brána jako pro vzduch.

Hustota plynu (na základě podkladů Pražské plynárenské): $0,69 \text{ kg}/\text{m}^3$ při teplotě $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 101325 Pa .

Hustota spalin podle [3]

$$\rho_{sp} = 1,27 \frac{(273 + 15)}{273 + t_{sp}}$$

Střední teplota spalin v komíně podle [3]

$$t_{k \text{ stf}} = t_e + \frac{1}{K} (t_{sp} - t_e) (1 - e^{-K})$$

kde ochlazovací součinitel komínu K je

$$K = \frac{h_k \pi d_k}{R_k M_k c_{sp}}$$

h_k (m) je výška komínu, d_k (m) – průměr komínu, R_k (m) – obvod komínu.

Statický tah komínu

$$\Delta p_k = (\rho_e - \rho_{sp}) g h_k$$

Hmotnostní průtok vzduchu spárami výplň otvorů (přepočet průtoku podle ČSN EN 12207)

$$M_e = \rho_e \sum (V_{i,100} l_i) \left(\frac{\Delta p_{ez}}{100} \right)^{2/3}$$

kde $V_{i,100}$ ($\text{m}^3/\text{h m}$) je jednotková (pro 1 m délky) průvzdušnost spár při tlakovém rozdílu 100 Pa , l_i (m) – délka spár výplně otvorů.

Tlaková ztráta komínu

$$\Delta p_{kz} = \frac{\rho_{sp}}{2} \left(\frac{V_{sp}}{S_k} \right)^2 \left(\lambda \frac{h_k}{d_k} + \sum \zeta \right)$$

kde S_k (m^2) je průřez komínu, λ (-) – součinitel třecích ztrát komínu, ζ (-) – součinitel ztrát místními odpory komínu.

5.2 Výsledky výpočtu

Příklad 1

Plynový kotel o výkonu 15 kW s přerušovačem tahu je umístěn v koupelně; připojený komín o průměru 120 mm má výšku 9 m . Průtok plynu $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$, teplota spalin $110 \text{ }^\circ\text{C}$.

Půdorysné rozměry koupelny: $3 \times 3 \text{ m}$, výška $2,65 \text{ m}$. Koupelna má 1 okno (průvzdušnost $2,25 \text{ m}^3/\text{h m}$, při tlakovém rozdílu 100 Pa , délka spár $6,3 \text{ m}$) a 1 dveř (průvzdušnost $2,25 \text{ m}^3/\text{h m}$, při tlakovém rozdílu 100 Pa , délka spár $5,1 \text{ m}$); údaje průvzdušnosti podle ČSN EN 12207.

Koupelna je propojena s venkovním prostředím spárami uzavřeného okna a uzavřených dveří. Za dveřmi je prostor bytu, který je dostatečně propojen s venkovním prostředím, tj. za dveřmi koupelny se předpokládá stejný atmosférický tlak, jako za oknem. Venkovní vzduch se přivádí spárami okna koupelny a spárami dveří.

Výsledkem výpočtu je, že při venkovní teplotě $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ se $88,4$ hmotnostních % spalin produkovaných kotlem ($M_i = 0,884 M_{sp}$) vrací nazpět do prostoru koupelny. Objemový průtok těchto spalin pronikajících do bytu je $73,3 \text{ m}^3/\text{h}$ při stavu za kotlem ($56,1 \text{ m}^3/\text{h}$ stav odpovídající vnitřní teplotě). Při venkovní teplotě $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ se do prostoru koupelny prakticky vrací $100 \text{ } \%$ spalin.

Příklad 2

Dispozice koupelny i kotle je stejná jako v příkladu 1. Rozdíl je v tom, že dveře koupelny jsou plně otevřeny do prostoru bytu; dveře mezi jednotlivými místnostmi v bytě jsou rovněž plně otevřeny. Byt má těsná okna, průvzdušnost (ČSN EN 12207) je $0,75 \text{ m}^3/\text{h m}$ při tlakovém rozdílu 100 Pa , koupelna má okno v provedení totožném s příkladem 1. Venkovní vzduch se přivádí spárami všech oken – koupelny i ostatních místností bytu (délka spár ostatních místností bytu je $54,6 \text{ m}$).

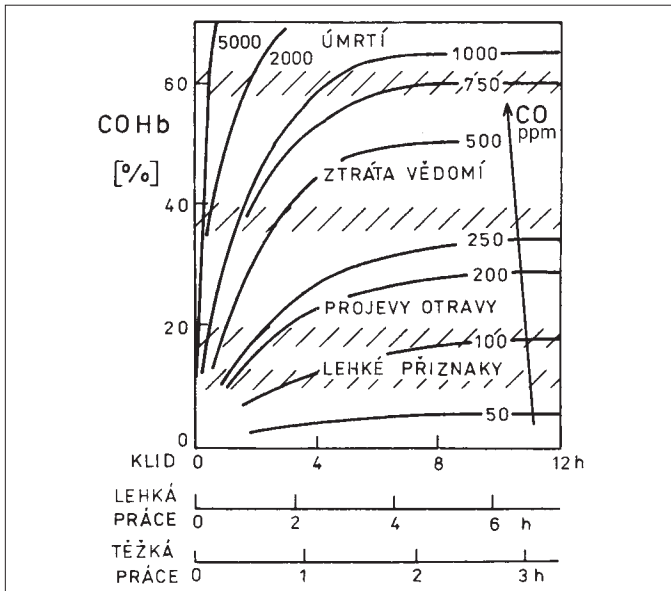
Výsledkem výpočtu je, že $67,6$ hmotnostních % spalin produkovaných kotlem se vrací nazpět do prostoru koupelny. Objemový průtok těchto spalin pronikajících do bytu je $56,1 \text{ m}^3/\text{h}$ při stavu za kotlem ($42,9 \text{ m}^3/\text{h}$ při vnitřní teplotě).

Při venkovní teplotě $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ se do prostoru bytu vrací $71,5 \text{ } \%$ spalin.

Závislosti funkčních veličin

Na následujících dvou grafech jsou znázorněny, podle výsledků výpočtu, závislosti funkčních veličin bilance pro vybrané (zvolené) okrajové podmínky. V obou případech je v bytovém prostoru instalován kotel o výkonu $Q = 15 \text{ kW}$, výška komínu $h_k = 9 \text{ m}$, průměr komínu $d_k = 120 \text{ mm}$.

Graf na obr. 3 znázorňuje závislost průniku spalin $(M_i/M_{sp})_{100}$ (%) do prostoru na délce spár l (m); referenční průvzdušnost okenních spár $V_{i,100} = 0,75 \text{ m}^3/\text{h m}$.



Obr. 5 Koncentrace C_{COHb} (%) v krvi v závislosti na koncentraci C_{CO} (ppm) při dýchání po dobu τ (min, hod) (WHO Ženeva)

Graf na obr. 4 znázorňuje závislost průniku spalin (M_i/M_{sp}), 100 (%) do prostoru na součiniteli referenční průvzdušnosti okenních spár $V_{i,100}$ ($m^3/h\ m$); délka okenních spár $l = 50\ m$.

6. DISKUSE

Popsaná analýza vzniku rizika otravy oxidem uhelnatým se zakládá na poznatcích zjištěných při řešení reálného případu smrtelné otravy v rodinném domě. Plynový kotel s přerušovačem tahu o výkonu 24 kW byl umístěn v koupelně s jedním oknem 900x1500 mm s průvzdušností podle ČSN EN 12207 třídy 4 (velmi těsné spáry). Koupelna byla propojena těsnými dveřmi se sousední ložnicí, kde došlo k smrtelné otravě. Spaliny byly odváděny komínem o průměru 140 mm. Jednalo se o novostavbu, prakticky o nové zařízení, znečištění výměníku nebylo zjištěno. Toxická koncentrace oxidu uhelnatého vznikla v koupelně při uzavřeném okně a uzavřených dveřích. V nočních hodinách, po otevření dveří mezi koupelnou a ložnicí pronikal oxid uhelnatý o vysoké koncentraci do ložnice, kde došlo k otravě.

Při pronikání spalin do vnitřního prostoru se podmínky pro spalování na hořáku zhoršují, do spotřebiče se nasává směs plynů, která se vyznačuje sníženým obsahem kyslíku, zvýšeným obsahem oxidu uhličitého a přimíšeným oxidem uhelnatým. To zvyšuje produkci CO při spalování, důsledkem je nárůst koncentrace CO ve spalinách a zvýšená koncentrace CO v místnosti.

Ve výše uvedeném případě byla dodatečně měřeními zjišťována koncentrace oxidu uhelnatého v koupelně při uzavřeném okně a dveřích. Měřeními byly zjištěny koncentrace CO za 30 min. 500 ppm, za 60 min. 1800 ppm, za 90 min. 3500 ppm, což jsou vysoce, smrtelně rizikové koncentrace (obr. 5). Vdechováním oxidu uhelnatého, vazbou na hemoglobin vzniká v krvi karboxylhemoglobin (COHb). Vazba CO na hemoglobin je 250 až 300 krát silnější než vazba kyslíku; dochází tak k blokování schopnosti krve vázat a přenášet kyslík. Na obr. 5 je podle pramenů WHO, Ženeva, 1979 graf koncentrace COHb v krvi při dýchání osoby v klidu, koncentrace CO ve vdechovaném vzduchu se mění v rozsahu $C_{CO} = 50\ ppm$ až $5000\ ppm$.

7. ZÁVĚR

Bilanční výpočet toku spalin a vzduchu u plynového spotřebiče provedení B s přerušovačem tahu v místnosti s nízkou, až minimální infiltrací prokázal, že může docházet k pronikání spalin s obsahem CO ze spotřebiče do

místnosti. Přitom nemusí být závada na spotřebiči (znečištěný, ucpaný výměník) nebo závada na komínu (spalinové cestě). Riziko představuje těsný prostor s omezeným přístupem venkovního vzduchu pro spalování.

Podmínkám provozu plynových spotřebičů v objektech, kde se instalují těsná okna, je nutno věnovat maximální pozornost, v některých případech by spotřebiče provedení B s přerušovačem tahu vůbec neměly být použity. Pozornost této problematice by měla věnovat i technická pravidla TPG 704 01.

Kontakt na autory: Frantisek.Drkal@fs.cvut.cz, Ludek.Mares@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] Sundell, J., at al., Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature. Indoor air. 21, 191–204
- [2] Buchta, J., Podmínky bezpečného provozu spotřebičů kategorie B a C, 14. 4. 2011. Dostupné z: <<http://vytapani.tzb-info.cz>>
- [3] Schramek, E. R., Recknagel, Sprenger Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2007. ISBN 10:3-8356-3104-7
- [4] ČSN 06 1002 Evropský systém třídění spotřebičů na plyná paliva podle způsobu odvádění spalin (provedení spotřebičů). ČNI 2006
- [5] TPG 704 01 Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plyná paliva v budovách. GAS s. r. o. 2009
- [6] ČSN EN 12207 Okna a dveře – Průvzdušnost – Klasifikace. ČNI 2001. ■



**VYTÁPĚNÍ
VĚTRÁNÍ
INSTALACE**

Vážení přátelé,
Společnost pro techniku prostředí nabízí
2. přepracované vydání
Názvoslovného výkladového slovníku
z oboru Technika prostředí
v Č-N-A, A-Č-N, N-Č-A mutacích

Obsahuje terminologii oborů:
 Vytápění, Solární technika, Tepelné izolace, Chladicí technika, Tepelná čerpadla, Větrání, Klimatizace, Hluk a otřesy, Průmyslová vzduchotechnika, Pneumatická doprava, Čistota ovzduší, Odprašování, Hygiena, Automatická regulace, Ekonomika investic, Domovní vodovody, Plynovody, Kanalizace.

Slovník je možno zakoupit:

- v Univerzitním knihkupectví ČVUT, budova NTK, Technická 6, 160 80 Praha 6 nebo si nechat zaslat dobírkou: e-mail: vera.mikulkova@ctn.cvut.cz – tel. 224 355 003;
- osobně v sekretariátu Společnosti pro techniku prostředí: Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1 nebo
- v redakci VVI – Fakulta strojní, 8. p., Technická 4, 166 07 Praha 6.

Cena 220 Kč vč. DPH