

## Několik poznámek k výpočtům koncentrací škodlivin při vyústění odvodu spalin od plynových spotřebičů na fasádu

Some remarks concerning the calculations of harmful substances concentrations at the outlet of combustion gases exhaust from gas appliances to facade

Ing. Vladimír JIROUT

Článek pojednává o problematice vyústění odtahu spalin na fasádu – turbokotle. Postup výpočtu není zatím dotažen do závazné metodiky. Na příkladu autor uvádí možnost řešení problému.

**Klíčová slova:** komín, turbokotel, emise

Recenzent

Dr. Ing. Petr Fischer

The article deals with problems of combustion gases exhaust ending to facade – turbo-boiler. The calculation procedure has not yet been followed through to binding methodology. The author demonstrates by an example that it is possible to solve this problem.

**Key words:** chimney, turbo-boiler, emission

Pro rozptylové studie exhalací a výpočty znečištění ovzduší od koruny komínů nad střechou nebo volně stojících komínů byla zpracována celá řada metodik a výpočtových programů.

V současnosti se bere za základ zpravidla metodická příručka SYMOS '97, zpracovaná v Českém hydrometeorologickém ústavu kolektivem autorů, vedeným RNDr. Jiřím Bubníkem. Tyto metodiky i výpočetní programy umožňují poměrně přesně stanovit koncentrace škodlivin v ovzduší vznikající provozem zdrojů tepla. Poněkud jiná je situace při vyústění odtahů spalin na venkovní zeď (fasádu). GAS, s.r.o. a COPZ sice vydaly nedávno revidované TPG 800 01 „Vyústění odtahů spalin od plynových spotřebičů na venkovní zdi (fasádě)“, které doporučují ochranné vzdálenosti vyústění spalin od oken, dveří, balkonů apod., ale neberou při tom ohled ani na velikost zdroje ani na hodnoty emisí, které daný zdroj vypouští. Přitom je zcela samozřejmé, že jinak vypadají koncentrace v blízkém okolí výústky od kotle 11 či 24 kW a kotle s hodnotami  $\text{NO}_x$  20, 80 či 120  $\text{mg.kWh}^{-1}$  při spalování zemního plynu.

Je tedy naprosto přirozené a logické, že velice často využije příslušný hygienik plně svého práva a na základě pochybnosti o dodržení emisních limitů požaduje doložit rozložení škodlivin na fasádě výpočtem, i když jsou jinak splněny podmínky dané TPG 800 01.

Závazné pokyny pro výpočty rozložení škodlivin na fasádě od spotřebičů typu WAW, GAMAT, atmosférických kotlů s ventilátorem za přerušovačem tahu, turbokotlů a podobných nejsou žádné.

Důvodem je, že se z tepelně hydraulického pohledu jedná o gravitační neizotermní proudění ve volném poloprostoru a u kotlů s ventilátorem za přerušovačem tahu, či u turbokotlů kombinované ještě s kruhovým nuceným proudem z výústky, popř. šikmé trysky.

Nejedná se o problém nikterak nový. Zatím nejuplněji, pokud je mi známo, byla tato tematika rozebrána v závěrečné zprávě

vývojové úlohy „Abgaskonzentration an Gebäuden bei Abgasaustritt über Dach oder Gebäudewang“ z roku 1986 na katedře mechaniky proudění na TU München páry Jacobsem a Perpeintnerem. I u nás je tato zpráva dosud hojně citována a jsou z ní přebírány obrázky i celé pasáže. U nás se touto záležitostí jak matematicky, tak podrobnými měřeními dosud nikdo nezabýval (nebo alespoň nejsou publikovány výsledky těchto prací), zřejmě z finančních důvodů.

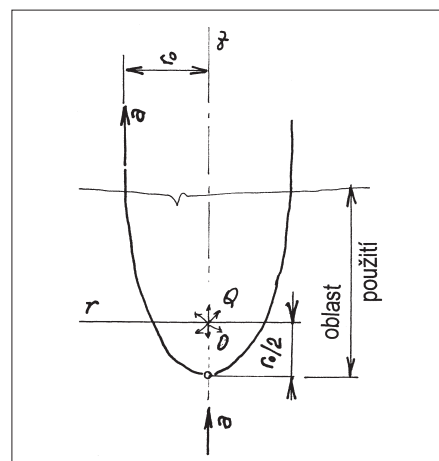
Existuje celá řada matematicko fyzikálních přiblížení např. superpozice zřídla a paralelního proudění. Viz publikace Domu Techniky – Ježek, Středa „Mechanika tekutin a termodynamika 4. část“.

Dále se však budu zabývat jinou metodou, která dává docela spolehlivé výsledky. Pro vlastní výpočty v konkrétní případech jsem použil údaje uvedené ve vysokoškolských skriptech Smolíka a kolektiv „Technika prostředí“, Michejev „Základy sdílení tepla“ a Handbuch Buderus für Heizung und Klimatechnik.

Údaje o konkrétních emisích z jednotlivých typů kotlů poskytl nejvíce firmy Vaillant a Junkers (daly k dispozici zkušební protokoly z měření v SZÚ Brno, zkušebna č. 202).

V idealizovaném případě, tj. za bezvětří nebo velmi mírného vánku lze matematicky popsat tok spalin jako volný proud s konečným počátečním průřezem. (Ten se s dostatečnou přesností shoduje s teoretickým proudem tekutiny z bodového zdroje.) Proud si přisává okolní vzduch a strhovaným částicím předává část své hybnosti, přičemž celková hybnost proudu se nemění a zůstává rovna počáteční hybnosti. S rostoucím objemem proudu se proud zpomaluje.

I když je vyústka vodorovná dochází k zakřivení proudu směrem vzhůru vlivem gravitačních sil, protože spaliny jsou teplejší než okolní vzduch. Současně však spaliny předávají teplo přisávanému vzduchu do proudu, postupně rychlost klesá a teploty se vyrovnávají. K zakřivení proudu může přispět i to, je-li vyústka konstruována jako šikmá tryska.

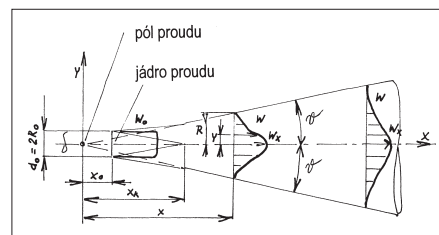


Obr. 1 Superpozice bodového pramene a paralelního proudu (potenciální proudění)

$Q$  – vydatnost pramene ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$a$  – rychlost paralelního proudu

$$v(r) = r_0 = \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot a}}$$



Obr. 2 Izotermní proud

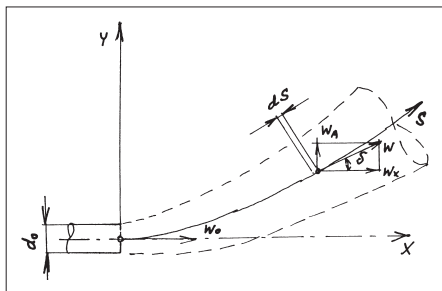
$$w_x = w_0 \cdot K_s \cdot \frac{\sqrt{S_0}}{x} \quad (\text{rychlost v ose proudu}),$$

kde

$K_s = 7$  – údaj z literatury

$x$  – vzdálenost od počátku po ose  $x$

Vrcholový úhel izotermního proudu je asi 25°, proudu neizotermního při parametrech běžně užívaných zdrojů tepla (plynových spotřebičů) asi 30° (obr. 3).



Obr. 3 Neizotermní proud

$$w_A = g \cdot \frac{K_t \cdot K_w \cdot \Delta t_o}{T_i \cdot \beta_o \cdot w_o} \cdot x$$

kde

$g$  – gravitační konstanta

$K_t = 0,318$  (údaj z literatury)

$K_w = 0,89$

$\Delta t_o = t_o - t_i$

$T_i = 273 + t_i$

$$V^x = k \cdot w_o \cdot \frac{K_s \cdot \sqrt{S_o}}{x} (x \cdot \text{tg } \vartheta) \cdot \pi \cdot 3600$$

$k = 0,258$  (z literatury)

Celkové množství škodlivin v proudu zůstává samozřejmě stejné, ale vlivem rostoucího objemu proudu se vzdáleností od vyústky se jejich koncentrace snižuje.

Požadavek hygieniků sledovat ve vertikální rovině vrcholový úhel 60° o poloměru do 5 m je dán výběrem nejčastějších praktických případů. Za běžných povětrnostních podměrů se jádro proudu neodchyluje více jak o 30° od svislice a k vyrovnání teploty proudu a okolí dochází též mezi 4 až 5 m od vyústky.

Současně může být proud přitlačován nebo odkláněn od zdi, podle toho, zda se jedná o závětrnou či návětrnou stranu budovy.

Je ovšem nutné pamatovat i na to, že v praxi při různých konfiguracích terénu, vlivem úplavu proudění za sousední budovou atd., se může, byť ve výjimečných případech, vyskytnout jakýkoliv hodinový úhel osy proudu. Známa je např. často publikovaná fotografie, zachycující proudění spalin od vyústky na fasádě směrem dolů.

Abychom mohli vypočítat předpokládaný rozptyl škodlivin v okolí vyústění spalin na fasádu potřebujeme k tomu znát:

Tab. 1 Výsledky

Vzdálenost od ústí spalin [m] (... sféra)	0	1	2	3	4	5
Převýšení teploty proudu nad okolím [°C]	127	6,67	1,84	1,27	0,92	0,76
Objem proudu vč. přisátého vzduchu [m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]	62,94	2 117	4 234	6 351	8 468	10 585
Max. špičkové hodinové koncentrace NO <sub>x</sub> [mg·m <sup>-3</sup> ]	16,02	0,476	0,238	0,1587	0,119	0,095
Průměrné roční koncentrace NO <sub>x</sub> [mg·m <sup>-3</sup> ]	2,95	0,111	0,056	0,037	0,028	0,022

- konfiguraci fasády (vzájemnou polohu vyústění spalin, oken, balkonů ap.);
- typ kotle, jeho výkon a účinnost, tvar a rozměry vyústky, přebytek vzduchu nebo obsah CO<sub>2</sub> ve spalinách, teplotu spalin;
- emise kotle, tj. NO<sub>x</sub> či CO např. v mg·kW<sup>-1</sup>.

Pro získání lepšího přehledu o probírané problematice uvádím ještě výpočet pro konkrétní případ.

Zadáno

Kotel ZWR 24–5 AE 23, výkon 24 kW, teplota spalin 127 °C,  $\lambda = 1,79$ , NO<sub>x</sub> = 42 mg·kW<sup>-1</sup>, odtah spalin  $\varnothing$  63 mm, V<sub>N</sub> = 42,96 Nm<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>.

Vypočteno

Hodinový úlet škodlivin Ex = 24 · 42 = 1 008 mg·h<sup>-1</sup>

$$\text{Počáteční průřez proudu } S_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,0031 \text{ m}^2$$

Skutečné množství spalin při teplotě t<sub>o</sub>

$$V = V_N \cdot \frac{273 + t_o}{273} = 62,94 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Počáteční rychlost } w_o = \frac{V}{3600 \cdot S_o} = 5,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost v ose proudu (viz obr. 2) pro náš případ  $w_x = \frac{2,2}{x}$ ,

kde x je vzdálenost od vyústky.

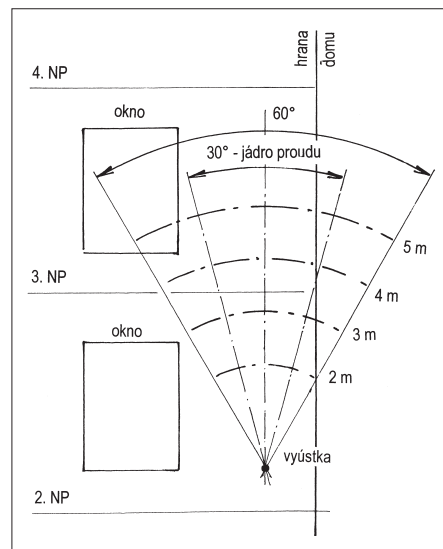
Přídavná gravitační rychlost (od výtlačkových sil) pro střední teplotu otopného období t<sub>i</sub> = 3 °C (viz obr. 3), pro náš případ w<sub>A</sub> = 0,2217 x.

Objem proudu včetně přisátého okolního vzduchu (viz obr. 2 a 3) po dosazení pro náš případ V<sup>x</sup> = 2 117 x.

$$\text{Koncentrace } k = \frac{V^x}{Ex} \text{ (NO}_x \text{ v mg} \cdot \text{m}^{-3}\text{)}$$

Obvykle se připouští ve sledovaném místě špičková koncentrace NO<sub>x</sub> 0,1 mg·m<sup>-3</sup>.

Vzhledem k tomu, že v našem případě, zasahovalo okno souseda ve druhém patře část sledované plochy od sféry 4,5 m, bylo kritické místo v této oblasti. Špičková mezní koncentrace byla sice na mezi, ale průměrná roční koncentrace je hluboko pod touto hranicí. V daném případě není k dispozici žádný volný komínový průduch a ani vedení tříšlůžkového komína po fasádě vzhledem k posledním dvěma ústupovým patřům se nejevilo jako vhodné. Po zvážení všech okolností, hygienik instalaci turbokotle povolil. Závěrem bych chtěl podotknout, že cca 70 % případů vychází méně příznivě, než uvedený konkrétní případ z Prahy 5. Osobně se příkláním také k odvodu spalin nad střechu a ne do ulice. V exhalacích totiž není zahrnu-



Obr. 4 Pohled na fasádu domu

to ani vymrzání kondensátu v omítce, ani rezavé fleky na fasádě a další nepříjemnosti. Může však nastat nezbytí a jinou rozumnou možností, než vyvedení spalin přes fasádu nemáme. V žádném případě si nečiním nárok na absolutorium, pouze jsem ukázal jednu z cest jak situaci doložit výpočtem.

Mým přáním je vyvolat odbornou diskusi, která by vyústila ve zpracování oficiálního postupu výpočtu jako je např. SYMOS '97 pro běžné komíny. ■

## \* Technika tepelné sběrnice

Vytápěcí zařízení s více tepelnými zdroji stavějí projektanty a instalátéry před specifické úkoly hydrauliky a regulační techniky. Přitom je kaskádní regulace identických kotlů ještě relativně jednoduchá. Obtížné je, mají-li být kombinovány zdroje tepla různých typů. Takováto zařízení se ovšem vyskytují častěji, přičemž zpravidla nebývají různé zdroje tepla provozovány současně, ale alternativně. Regulační systém má přitom za úkol volit právě ten nejpříznivější zdroj tepla s ohledem na aktuální podmínky a ostatní zdroje uzavřít.

Spolehlivé, předem konfigurované systémové řešení, které by bylo možno pružně použít pro různé kombinace zařízení a bylo hydraulicky přehledně strukturováno, by bylo pro projektanty a instalátéry ideální.

Tzv. „technika tepelné sběrnice“ takového řešení umožňuje: Hydraulické zapojení se děje přitom současně pro všechny zdroje tepla, vytápěcí okruhy a zásobníky. Jsou připojeny paralelně prostřednictvím zástrčkových modulů hydrauliky na společnou větev přívodu a zpátečky. Sled je přitom libovolný, čímž je realizovatelné i libovolné dodatečné rozšíření. Společný rozvod přívodu a zpátečky tvoří centrální vedení „tepelné sběrnice“.

CCI 6/2001

(Ku)