

Produkce a odvod škodlivin při vytápění krbovou vložkou



Ústav techniky prostředí

Production and Off-take of Harmful Substances at Fireplace Insert Heating

Recenzent
Ing. Jiří Hejma, CSc.

Prvotním cílem práce bylo zmapování změn koncentrace aerosolových částic v prostoru vytápěném krbovou vložkou, resp. zjistit, jak je přesahován 24hodinový imisní koncentrační limit PM_{10} $50 \mu g/m^3$ za běžného provozu domu. Na tato měření navazoval řízený experiment mající za cíl stanovit, jak se na snižování koncentrací podílí přirozená infiltrace, průtok spalovacího vzduchu krbem a depoziční procesy.

Klíčová slova: vytápění, krby, koncentrace aerosolu, PM_{10} , $PM_{2,5}$

Primary aim of the work was the charting of the aerosol particles concentration changes in the room heated by fireplace insert, or more precisely to find out how the 24-hours imissions concentration limit PM_{10} $50 \mu g/m^3$ under common house operation. These measuring were followed by the controlled experiment having the aim to state how the natural infiltration, combustion air flow through the fireplace and depositing processes participate on concentration reducing.

Key words: heating, fireplaces, aerosol concentration, PM_{10} , $P_{2,5}$

V posledních letech se stále více dostává do popředí odborného i laického zájmu problém znečištění vnějšího a venkovního vzduchu aerosolovými částicemi, jejichž velmi negativní vliv na lidské zdraví je v současnosti nezvratitelně prokázán. Vzhledem k tomu, že průměrný Evropan stráví ve vnitřním prostředí přibližně 85% času a vnitřní koncentrace díky vnitřním zdrojům často přesahují koncentrace venkovní, je zřejmé že nejvyšší rizika plynoucí ze zvýšené koncentrace částic jsou právě ve vnitřních prostorech. V návaznosti na vzrůstající zájem o vliv aerosolových částic na lidské zdraví roste i potřeba plného pochopení a posouzení vlivu jednotlivých mechanismů určujících vnitřní koncentraci částic, kterými jsou zejména emise škodlivin z vnitřních zdrojů, odvod škodlivin větráním a depozice částic na vnitřních površích.

V rámci řešení výzkumného záměru na Ústavu Techniky prostředí jsem provedl několik měření početní koncentrace aerosolů v prostoru (chalupě) vytápěném v současnosti stále populárnějšími a široce rozšířenými krbovými kamny. Ačkoliv šlo v daném případě o moderní krbovou vložku uzavřenou prosklenými litinovými dvířky a opatřenou ovládacími prvky pro regulaci průtoku vzduchu a komínovou klapkou, tak za provozu kamen byly naměřeny koncentrace nárazově vysoce přesahující obvyklé koncentrace v obytných prostorech. V zásadě každé otevření kamen kvůli přiložení způsobí náhlý nárůst koncentrace, která pak klesá jednak depozicí částic na vnitřních površích a jednak provětráváním prostoru infiltrací. Infiltrace je při zapáleném krbu zvýšena oproti normálu o tah krbem.

K měření jsem používal optický počítací částic GRIMM 1.109. Přístroj umožňuje měřit v reálném čase početní koncentraci v 31 velikostních kanálech ve velikostním rozsahu 0,2 až 32 μm . První měření probíhala za běžného provozu chalupy (pohyb lidí, vaření, atd...), druhé za – v rámci možností – řízených podmínek, kdy byl jediným zdrojem aerosolových částic krb.

POPIS MĚŘENÍ

V tomto článku blíže popisují dvě měření. První – **měření za provozu** – probíhalo dva dny, byla sledována koncentrace za běžného provozu chalupy, tedy při obvyklých činnostech přítomných osob. V domě bylo 9 osob, bez zaznamenávání probíhaly všechny obvyklé činnosti mimo těch nejvíce ovlivňujících koncentraci – např. vaření.

Druhé – **řízené měření** – probíhalo cca 20 hodin, byl simulován jeden cyklus zátop – provoz – vyhasnutí krbu. Ve sledovaném prostoru byl pouze experimentátor, po dobu experimentu nebyla otevírána okna a dveře

(mimo jednoho vyvětrání), ani nebyly provozovány žádné činnosti ovlivňující vnitřní koncentraci aerosolů. Cílem tohoto experimentu bylo zejména určení rychlosti poklesu koncentrací jednotlivých frakcí ve vnitřním prostoru, ze kterých by bylo možné posoudit vliv krbu na zvýšení provětrávání prostoru. Příkladáno bylo, pokud to bylo možné, v takových intervalech, aby v časovém průběhu koncentrace byly vidět ustálené poklesy. Z tohoto důvodu byla regulace komínovou klapkou nastavována buď na maximální, nebo minimální možný průtok.

Pokles koncentrace probíhá při určitých zjednodušeních (v regulární fázi) podle exponenciální křivky

$$C_i(t) = C_0 \exp(-\lambda^* t) \quad (1)$$

C_i	– vnitřní koncentrace	[n/cm ³]
C_0	– počáteční vnitřní koncentrace	[n/cm ³]
t	– čas	[h]
λ^*	– celková intenzita poklesu koncentrace	[1/h]

Celkový pokles koncentrace ve vnitřním prostoru λ^* [1/h] můžeme v našem případě přičíst třem aditivně působícím vlivům: depozici částic na vnitřních površích, infiltraci přirozenou a infiltraci způsobenou tahem krbu.

$$\lambda^* = \lambda_{krb} + \lambda_i + \beta \quad (2)$$

λ_{krb}	infiltrace způsobená krbem,	[1/h]
λ_i	přirozená infiltrace,	[1/h]
β	depoziční tok,	[1/h]

Parametr λ je intenzita větrání, daná průtokem větracího vzduchu a objemem místnosti O.

Depoziční tok (deposition rate) je koeficient vyjadřující rychlost úbytku částic vlivem depozice.

$$\frac{dN}{dt} = -\beta \cdot N \quad (3)$$

N – počet částic v objemu [n/cm³]

Celkový pokles koncentrace ve vnitřním prostoru λ^* je směrnici přímky proložené daty vyneseny do semilogaritmických souřadnic. Dále jsou

prokládána programem Gnuplot, který používá Marquardt-Levenbergův algoritmus. V *tab. 1* jsou výsledky získané z jednotlivých úseků poklesových křivek (označení úseků viz *obr. 2*) pro 4 velikostní frakce a pro celkovou koncentraci částic.

OBECE O MĚŘENÍ

Experimenty probíhaly v centrální místnosti (cca 120 m³) moderně zrekonstruované vesnické chalupy – nové dveře, dřevěná vakuová okna. Vytápění zajišťuje krbová vložka na tuhá paliva s přídavným výměníkem tepla napojeným na kombinovanou akumulaci nádobu pro vytápění a přípravu TV. Krb je situován ve středu místnosti.

Počítač částic GRIMM 1.109 kontinuálně vyhodnocoval koncentraci každých 6 s v celém měřicím rozsahu, tedy 0,25 až 32 μm. Počítač byl umístěn při obou popisovaných měřeních cca 3 metry od krbové vložky. Při měření za provozu na polici u zdi 180 cm nad podlahou, při druhém měření na jídelním stole – tedy v oblasti, kde se obvykle zdržuje nejvíce osob. Před vlastním experimentem bylo provedeno krátké ověřovací měření, při kterém nebyly zjištěny výrazné prostorové koncentrační rozdíly. Pro popisované měření a vyhodnocování byla koncentrace brána jako jednotná v celém objemu místnosti.

VÝSLEDKY

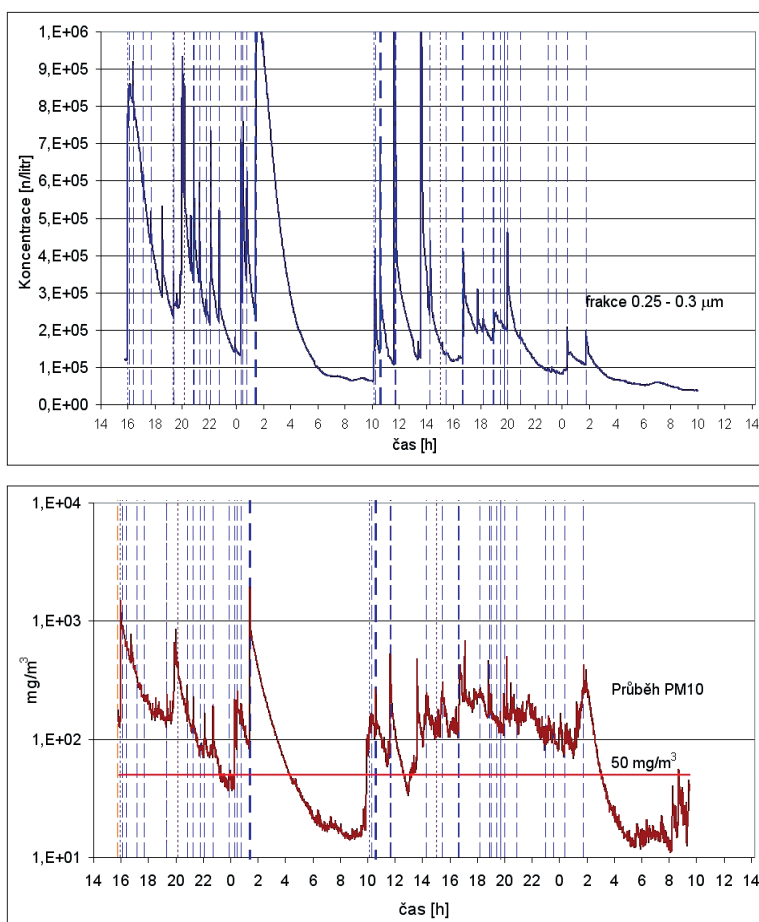
Měření za provozu

Na *obr. 1* je ukázka průběhu koncentrací během dvou dnů. V horním grafu je početní průběh koncentrace nejmenších částic, které je přístroj schopen detekovat, v dolním grafu je přepočítaná hmotnostní koncentrace PM10 v μg/m³. Svislé přerušované čáry naznačují časy otevření krbu (přikládání) a některé další činnosti významněji ovlivňující vnitřní koncentraci (např. smažení 19:20 až 20:10 první den). Vzhledem k počtu osob pohybujících se během měření v domě, nebylo možné pořídit záznam o krátkodobých otevřeních dveří, oken atp. Podle provedeného měření koncentrace během dne značně kolísá. Z grafů je jednoznačně patrný jednak rapidní nárůst koncentrace téměř při každém otevření krbu, jednak zvýšení koncentrace PM10 v době provozu krbu (zátop 15:07 resp. 10:07, poslední přiložení 01:25 resp. 01:45). V grafu PM10 je vodorovnou linkou naznačen 24hodinový koncentrační limit PM10–50 μg/m³, během provozu krbu je tento limit překračován v průměru 3x až 4x, krátkodobě až 20x. Po posledním přiložení následuje během obou sledovaných dní pokles koncentrace vlivem větrání a depozice na úroveň pozadových hodnot, které jsou cca 20 μg/m³.

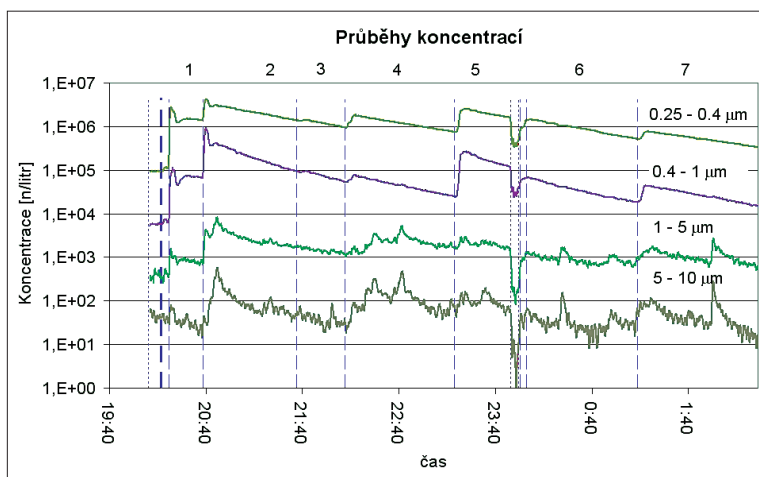
Řízené měření

Na *obr. 3* je ukázka naměřených spekter v semi-logaritmických a v logaritmických souřadnicích. Na grafu je vidět rozdíl mezi koncentrací před a po zapálení krbu. Největší vývin částic v krbu je ve velikostech menších než 1 μm, poměrně málo jsou ovlivněny částice ve velikostech 5 μm a větších.

Na *obr. 2* jsou průběhy početních koncentrací pro jednoduchost a přehlednost přepočítané na velikostní frakce 0,25 až 0,4; 0,4 až 1; 1 až 5; 5 až 10 μm. Svislé přerušované čáry označují časy otevření krbu. Vždy po otevření následuje nárůst ve všech sledovaných velikostních frakcích. Nejvyšší nárůsty jsou v oblasti jemných částic. Nárůst počtu jemných částic je téměř okamžitý, nárůst hrubších částic je vždy nepatrně zpožděn. V čase 23:30 až 23:35 bylo otevřeno okno (patrný koncentrační pokles), po dalším přiložení koncentrace opět stoupla na vysoké hodnoty. Poslední přilo-



Obr. 1 Průběhy koncentrace jemné frakce a PM₁₀, svislé čáry označují časy otevření krbu



Obr. 2 Průběhy početních koncentrací částic při řízeném experimentu

Frakce 0,25 až 0,4; 0,4 až 1; 1 až 5; 5 až 10 μm. Číslice nad grafem označují úseky poklesových křivek použitých pro vyhodnocování, svislé čáry pak otevření krbu

žení proběhlo v 01:09, koncentrační nárůst v 06:57 je umělé navýšení koncentrace vypálením několika zápalů. Po navýšení koncentrace následují poklesy. U jemných částic jsou poklesy exponenciální, koncentrace hrubších částic více kolísá, u částic v intervalu 5 až 10 μm je kolísání tak vysoké, že jsou poklesy nezřetelné.

Na *obr. 2* jsou čísla vyznačeny intervaly, ve kterých byly z ustálených částí poklesových křivek počítány poklesy koncentrace jednotlivých velikostních frakcí ve vnitřním prostoru, získané hodnoty jsou pak uvedeny v *tab. 1*.

Kolísání koncentrace hrubších částic odpovídají i získané hodnoty λ*. Ačkoliv by teoreticky měly být díky deponičním procesům několikanásobně

Tab. 1 Celkové intenzity poklesu koncentrace λ^* [$1/h$] v závislosti na režimu krbu. Plný výkon – komínová klapka otevřená, minimální výkon – komínová klapka na minimum

	Režim krbu	0,25 až 0,4	0,4 až 1	1 až 5	5 až 10	Celková koncentrace
		μm				
1	Rozhořivání	0,29	0,61	1,16	5,67	0,44
2	Plný výkon	0,95	1,87	1,11	1,54	1,03
3	Plný výkon	0,95	1,38	0,45	0,07	0,97
4	Maximální výkon	0,85	1,07	0,59	1,39	0,85
5	Plný výkon	0,96	1,68	0,55	0,75	1,09
6	Plný výkon	0,94	1,16	0,32	0,37	0,95
7	Minimální výkon	0,72	0,93	0,77	1,21	0,73
8	Vyhaslý	0,43	0,36	0,27	0,07	0,43
9	Vyhaslý	0,70	0,71	0,61	0,96	0,70

vyšší než pro částice jemné (pod $1 \mu m$), tak jak vychází pro interval 1, ve většině případů vychází zhruba stejně, nebo dokonce nižší než u jemných částic. Je to dáno tím, že produkce hrubších částic krbem není taková, aby zvýšila koncentraci dostatečně vysoko nad úroveň koncentrace pozadí a bylo možné správně vyhodnotit data. Svou roli také hraje nižší statistická přesnost počítací částice pro nízké početní koncentrace hrubších částic.

Naopak pro jemné částice a pro celkovou početní koncentraci (ovlivněnou zejména jemnými částicemi) získané výsledky odpovídají předpokladům. Průměrné zjištěné celkové intenzity poklesu početních koncentrací pro krb v režimech *Plný výkon* / *Minimální výkon* / *Vyhaslý* jsou $1,01/0,79/0,56 h^{-1}$.

ZÁVĚR

V rámci řešení výzkumného záměru na Ústavu Techniky prostředí byla měřena početní koncentrace aerosolů ve vnitřním prostoru (chalupě) vytápěné krbovou vložkou. V podstatě od podpálení krbu až po vyhasnutí byla ve zkoumaném vnitřním prostoru zvýšená koncentrace zejména jemných částic do $1 \mu m$, imisní koncentrační limit $50 \mu g/m^3 PM_{10}$ je v průměru přesahován 3 až 4x. Použitý přístroj Grimm 1.109 sice neumožňuje měřit koncentrace pod $250 nm$, ale podle tvaru spektra je zřejmé, že i koncentrace vysoce nebezpečných nanočástic je velmi vysoká.

Z křivek poklesu koncentrace se zatím nepodařilo zjistit podíl depozičních procesů na celkovém úbytku částic v prostoru. Zjištěná součtová hodnota depozice a intenzity větrání infiltrací s vyhaslým

krbem je $\sim 0,6 h^{-1}$. Vliv krbu na větrání není oproti laicky přijímanému názoru vysoký, při plném průtoku regulovaném komínovou klapkou zvýšil depozici a infiltraci pouze 2x na $\sim 1 h^{-1}$. Než stačí koncentrace významněji poklesnout, je potřeba přiložit a koncentrace škodlivin se opět zvýší.

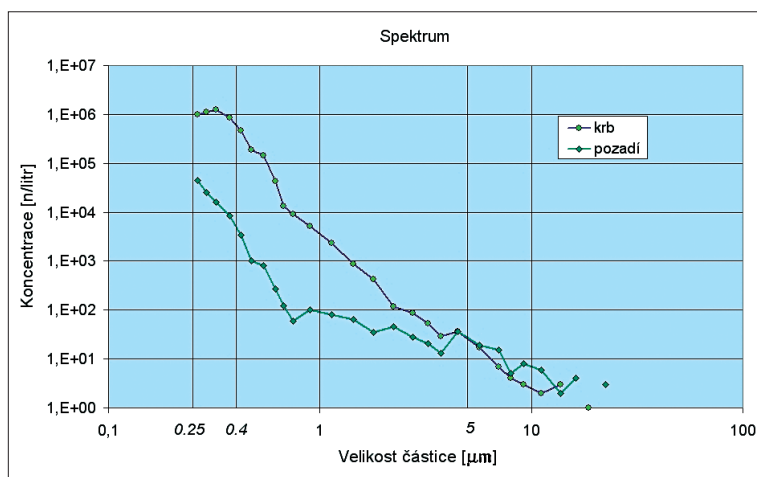
Při vyhodnocování dat jsem musel přijmout několik zjednodušujících předpokladů. Nejvýznamnější je ten, že venkovní koncentrace je v porovnání s koncentrací vnitřní nulová, další pak předpoklad, že průtok vzduchu krbem (a dalšími částmi domu) je stálý. Vnitřní koncentrace je vnější koncentrací nepochybně ovlivňována, bohužel přístrojové vybavení zatím neumožňuje měřit současně koncentraci ve dvou místech. Na řešení tohoto problému se dále pracuje. Až bude možné měřit obě koncentrace zároveň, půjde posoudit vliv vnitřního zdroje (krbu) mnohem lépe. Další možností je použít při vyhodnocování komplikovanější model zahrnující nenulovou koncentraci v infiltrujícím vzduchu.

Seznam označení

C_i	vnitřní koncentrace,	$n/litr$
C_0	počáteční vnitřní koncentrace,	$n/litr$
t	čas,	h
β	depoziční tok,	h^{-1}
λ_i	přirozená intenzita větrání (infiltrace),	h^{-1}
λ^*	celková intenzita poklesu koncentrace,	h^{-1}
λ_{krb}	intenzita větrání způsobená krbem,	h^{-1}

Poděkování

Práce vznikla za podpory výzkumného záměru MŠM 6840770011.



Obr. 3 Srovnání koncentračních spekter pozadí a po zapálení krbu
V grafu jsou naznačena velikostní pásma použitá při vyhodnocování