

Hluk generovaný do kouřovodů

Noise generated into flue gas ducting

Doc. Ing. Richard NOVÝ, CSc.
 ČVUT, Fakulta strojní v Praze, Ústav
 techniky prostředí

Autor uvádí nové poznatky o úrovni i kmitočtovém složení hluku, který je generován směrem do kouřovodů a komína. Ukazuje na možný výpočtový postup spektra hladiny akustického výkonu a určování základních rezonančních kmitočtů v soustavě kotel, kouřovod a komín. Upozorňuje na možnost vzniku čistých tónů v oblasti infrazvuku.

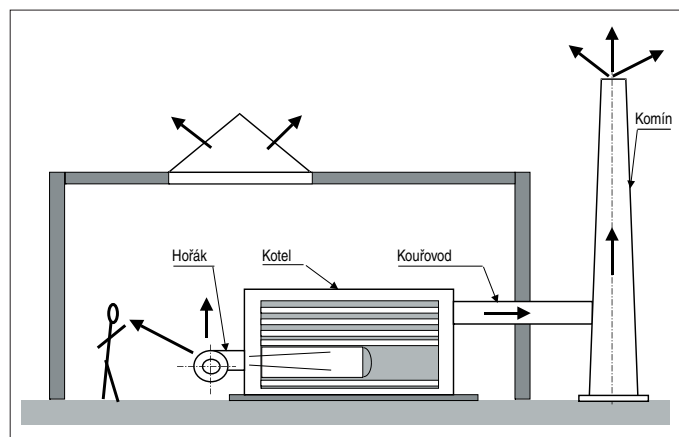
Klíčová slova: hluk spalování, rezonance, útlum hluku, komín

Recenzent
 doc. Ing. Karel Dedouch, CSc.

The author presents new knowledge concerning the level and frequency composition of noise generated in the direction inwards of flue gas ducting and stack. He indicates the possible calculation procedure of calculation of the acoustic power spectrum and determination of basic resonance frequencies of the system: boiler, flue gas ducting and stack. He draws the attention to the possibility of pure tones formation in the field of ultrasound.

Key words: noise of combustion, resonance, noise reduction, stack

Uživatelé vytápěcích zařízení, nebo občané bydlící v okolí plynových kotelen často vnímají jejich provoz prostřednictvím neúměrně vysoké emise akustické energie do venkovního i vnitřního prostředí. Akustická energie, která je doprovodným jevem spalovacího procesu např. v plynových kotlích, se šíří do chráněných prostor a obytných místností mnoha různými cestami, jak je schématicky dokumentováno na obr. 1. Z pohledu pozorovatele, který se nalézá ve venkovním prostoru, se jeví často jako nejvýznamnější vyzařování hluku z komína, kouřovodů, větracích otvorů, oken a dveří resp. vrat, které jsou komunikačními otvory přes obvodový plášť kotelny. Cílem tohoto článku je objasnit některé zvláštnosti v případě generace hluku do venkovního prostředí kouřovody a komínem.



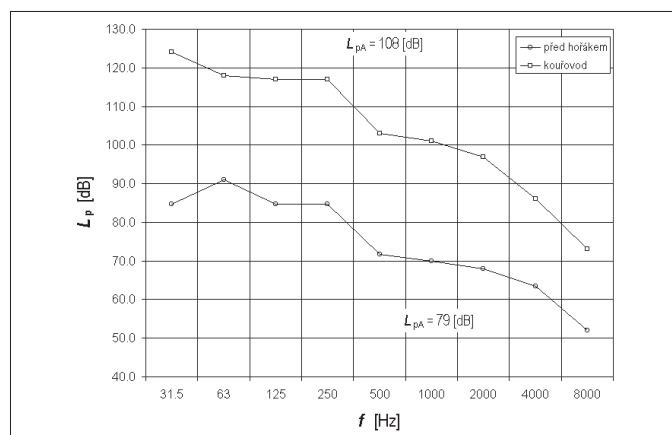
Obr. 1 Šíření hluku od spalovacího zařízení

Vlastním zdrojem hluku v případě plynových kotelen, které se nejčastěji v současné době projektují, je spalovací proces uvnitř kotle. Kotle s atmosférickými hořáky patří mezi méně významné zdroje hluku zejména z pohledu venkovního prostředí. Problémy se často vyskytují při použití tlakových plynových (nebo olejových) hořáků. U nich je nutno rozlišovat hluk ventilátoru, který dodává vzduch do spalovacího prostoru a hluk vlastního spalovacího procesu uvnitř kotle. Hluk vznikající při spalování plynu nebo topného oleje je aerodynamické povahy a vyznačuje se spojitým spektrem, což lze prokázat experimentem, kdy plamen z hořáku bude směřovat do volného prostoru. Při použití úzkopásmového filtru naměříme spojitě spektrum, které se vyznačuje pozvolným poklesem hladiny akustického tlaku s narůstajícím kmitočtem. Pokud je hořák připojen ke kotli, dochází k interakci, tj. vzájemnému působení kotle a hořáku. Kontrolou spektra hladiny akustického tlaku nebo výkonu v kouřovém hrdle kotle se

zjistí, že spektrum hluku obsahuje rezonanční kmitočty, které významným způsobem změni kmitočtové složení hluku vyzařovaného do komínu. Údaje o hluku, který je vyzařován z kotle směrem do kouřovodů, se vyskytují v technické literatuře zcela ojediněle a výrobci resp. dodavatelé těchto zařízení tyto informace ve většině případů nepodávají. Smyslem dále popsaných prací bylo zjistit na díle, neboť modelové zkoušky v určitém měřítku nelze realizovat s dostatečnou přesností, akustické vlastnosti kotle, který je běžně používán v praxi a získané poznatky pokud možno zobecnit i pro jiné případy.

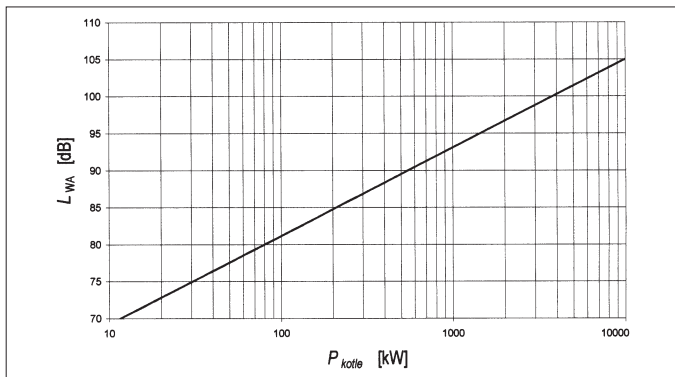
1. HLUK TLAKOVÝCH HOŘÁKŮ

Výrobci běžně udávají hlučnost hořáků vyjádřenou hladinou akustického tlaku A, naměřenou ve vzdálenosti 1 m před čelem tlakového hořáku. Tato hodnota má význam pro přibližné stanovení akustických poměrů uvnitř kotelny. Pokud by projektant chtěl kontrolovat šíření hluku směrem do přiléhajících prostor, jako je např. velín kotelny, sousedící kanceláře, nebo dokonce bytové prostory, musí znát jako výchozí výpočetní podklad spektrum hladiny akustického výkonu alespoň v oktávoých, lépe 1/3 oktávoých kmitočtových pásmech. Na obr. 2 je pro ilustraci uveden diagram vyjadřující spektrum hladiny akustického tlaku v oktávoých pásmech, které bylo naměřeno ve vzdálenosti 1 m před čelem tlakového hořáku Weisshaupt WG 40N/1-A LN. Pokud by bylo současně kontrolováno spektrum hladiny akustického tlaku v kouřovém hrdle kotle (Triplex TN 046), tak by bylo možné porovnat obě spektra.

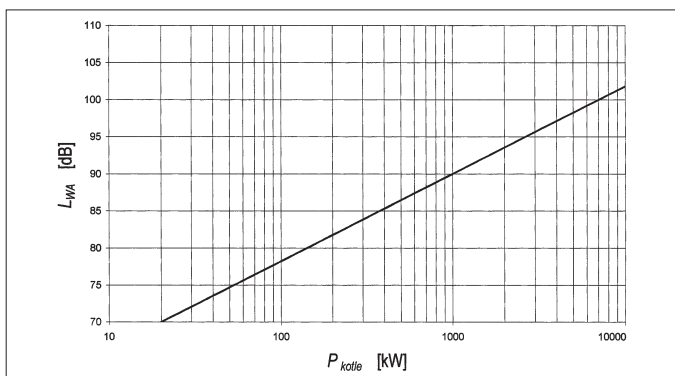


Obr. 2 Spektrum hladiny akustického tlaku hořáku G/1-D-ZM-NA, napojeného na kotel Triplex TN 046

Z uvedeného je zcela zřejmé, že se obě spektra svým tvarem významně liší zejména v nejnižších kmitočtových pásmech. V technické literatuře [1, 2] jsou informace o hladině akustického výkonu A, který je vyzařován jednak do prostoru kotelny a zvláště do kouřovodů. Jedná se o údaje získané na základě velkého počtu měření hluku v terénu. Tyto informace jsou shrnuty do dvou diagramů na obr. 3 a obr. 4. Hladiny akustického výkonu A je možno odečíst z diagramů jako funkci tepelného výkonu kotle a mohou sloužit pro odhad hlučnosti spalovacího zařízení.

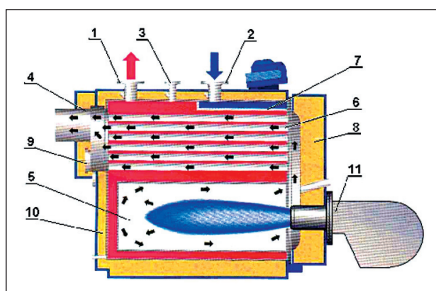


Obr. 3 Hladina akustického výkonu A hořáku vyzařovaná do kotelny



Obr. 4 Hladina akustického výkonu A kotle vyzařovaná do kouřovodu

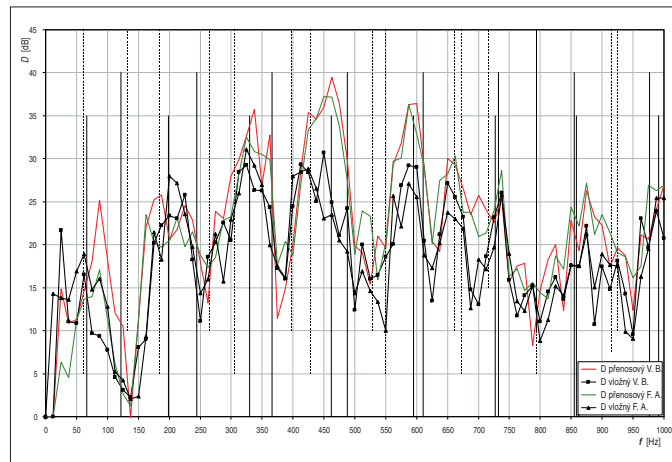
Pro návrh tlumiče hluku do kouřovodu je nezbytně nutné znát spektrum hladiny akustického výkonu v hrdle kouřovodu. V tomto směru se uskutečnila celá řada experimentů i teoretických úvah [3], [4]. Bylo prokázáno, že se vnitřní teplosměnná vestavba kotle (spalovací prostor, kotlové trubky, rozdělovací prostor i prostor za trubkami včetně hrdla kouřovodu, jak dokumentuje (obr. 5) chovají jako akustické elementy vykazující rezonanční i antirezonanční kmitočty. Na příkladech kotlů ČKD Dukla KDVE 16 a BUDERUS SK 425 – velikost 170 byla uskutečněna teoretická řešení i experimenty, které prokázaly dobrou shodu ve stanovení uvedených kmitočtů, což dává do budoucna předpoklad, že bude možno navrhovat kouřovody a komíny i s respektováním těchto skutečností. Je zcela zřejmé, že rezonanční efekty celého spalovacího zařízení, tzn. hořáku, kotle, kouřovodů a komínů se navzájem ovlivňují. Pro úspěšný návrh takového zařízení bude nezbytně dodržet zásadu, že jednotlivé akustické prvky (spa-



Obr. 5 Kotel Buderus SK 425
1 – výstup topné vody, 2 – vstup topné vody, 3 – pojišťovací potrubí, 4 – hrdlo kouřovodu, 5 – spalovací prostor, 6 – kotlové trubky, 7 – rozdělovač na vstupu, 8 – kotlové dveře, 9 – čistící otvor, 10 – tepelná izolace, 11 – plynový hořák

lovací prostor, kotlové trubky, rozdělovací prostor i prostor za trubkami včetně hrdla kouřovodu) řazené v řadě za sebou nesmějí mít totožné rezonanční kmitočty.

Na kotel je možné pohlížet také jako na rezonanční tlumič, který vykazuje výrazně odlišné útlumy hluku v závislosti na kmitočtu. Příklad experimentálně zjištěného průběhu vložného a přenosového útlumu kotle BUDERUS SK 425 různými metodami je na diagramu v obr. 6.



Obr. 6 Vložený a přenosový útlum kotle Buderus SK 425

V diagramu jsou vyznačeny rezonanční a antirezonanční kmitočty získané na základě teoretických vztahů pro jednotlivé díly kotle viz tab. 1.

Tab. 1 Teoreticky stanovené rezonanční a antirezonanční kmitočty ocelového kotle BUDERUS SK 425

		$n = 0$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	Pozn.
Spalovací prostor	f_r (Hz)	66,1	198,2	330,3	462,4		
	f_a (Hz)		132,1	264,2	396,4	528,5	
Kotlové trubky	f_r (Hz)		122,1	244,2	366,2	488,3	
	f_a (Hz)	61,0	183,1	305,2	427,3		
Sběrná komora spalin	f_r (Hz)		715,7	2 147,1	3 578,4		D_{max}
	f_a (Hz)		1 431,4	2 862,8	4 294,1		D_{min}

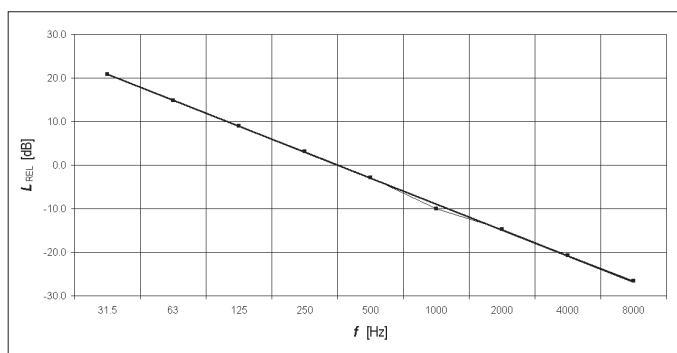
Výsledky elektroakustické analogie
 Rezonanční kmitočet kotle: $f_r = 29,30$ Hz
 Antirezonanční kmitočet kotle: $f_a = 9,75$ Hz

Je zde patrná poměrně dobrá shoda v oblasti nízkých kmitočtů, což dává předpoklad přepočtení těchto kmitočtů i pro různé teplé a vlhké spaliny (prezentované výsledky byly získány pro laboratorní podmínky, tj. 20 °C).

2. SPEKTRUM HLUKU VYZAŘOVANÉ DO KOUŘOVODU

Opakováním většího počtu měření hluku v hrdlech kouřovodů by se získaly statisticky významné údaje o spektrálním složení hluku, které by bylo vhodné zobecnit. Měření hluku v kouřovodu je však velice problematické z důvodu vysokých teplot a vlhkosti spalin. Z dosud získaných informací byl vypracován kvalifikovaný odhad tvaru spektra hladiny akustického výkonu, které je uvedeno v diagramu na obr. 7. Byl navržen následující postup výpočtu spektra hladiny akustického výkonu, který je vyzařován do kouřovodu.

Podle tepelného výkonu kotle se odečte z diagramu na obr. 4 hladina akustického výkonu $A_{L_{WA}}$ (dB) generovaná z kotle do kouřovodu. V diagramu na



Obr. 7 Relativní hladina akustického výkonu generovaná do kouřovodu

obr. 7 se odečtou relativní hladiny akustického výkonu L_{REL} (dB) v jednotlivých kmitočtových pásmech. Spektrum hladiny akustického výkonu L_{Woct} (dB) se určí z rovnice

$$L_{Woct} = L_{WA} + L_{REL} \quad (1)$$

Při výpočtech se nesmí zaměňovat pojem hladiny akustického výkonu A L_{WA} (dB) a hladiny akustického tlaku A L_{pA} (dB). Obecně platí přepočtení mezi uvedenými hladinami

$$L_{WA} = L_{pA} + 10 \log S \quad (2)$$

kde je S (m²) průřez kouřovodu.

3. NÁVRH TLUMIČE HLUKU

Pokud jsou známé požadavky na kmitočtové složení vložného útlumu hluku tlumiče do kouřovodu, není většího rozdílu mezi dimenzováním tlumiče hluku do potrubí VZT nebo kouřovodu. Problémem je znalost či neznalost spektra hladiny akustického výkonu. Oktávové spektrum hladiny akustického výkonu vyzařované z kotle v sobě skrývá rezonanční a antirezonanční kmitočty, které je možno početně stanovit podle obecně známých vztahů např. pro hudební nástroje. Pro vlastní návrh tlumiče je však problematické určení hladin akustického výkonu v užších kmitočtových pásmech. Je proto třeba rezonanční kmitočty kontrolovat preventivně tak, aby rezonanční kmitočty kotle a kouřovodu s komínem nebyly totožné. Pro shora uvedený kotol BUDERUS SK 425 byl zjištěn nejnižší rezonanční kmitočet 29,3 Hz (při teplotě 20 °C). Pokud budeme kontrolovat rezonanční kmitočty komínů podle vztahu pro varhanní píšťalu, pro kterou platí

$$f_n = \frac{c(2n + 1)}{4L_{ef}} \quad (3)$$

kde je f_n (Hz) n -tý rezonanční kmitočet,
 L_{ef} (m) efektivní výška určená ze vztahu

$$L_{ef} = L + \frac{8}{3\pi} d \quad (4)$$

kde je L (m) výška komína,
 d (m) průměr komína,

tak zjistíme, že nejnižší kmitočet odpovídá efektivní výšce komína L_{ef} (m) podle hodnot uvedených v tab. 2.

Podobně je možné určit antirezonanční kmitočty dle vztahu

$$f_n = \frac{cn}{2L_{ef}} \quad (5)$$

Tab. 2 Nejnižší rezonanční kmitočty varhanních píšťal pro různé teploty a efektivní délky

t [°C]	c [m/s]	L_{ef} [m]					
		10	20	30	40	50	60
20	343,5	25,8	12,9	8,6	6,4	5,2	4,3
30	349,3	26,2	13,1	8,7	6,6	5,2	4,4
40	355,1	26,6	13,3	8,9	6,7	5,3	4,4
50	360,7	27,1	13,5	9,0	6,8	5,4	4,5
60	366,2	27,5	13,7	9,2	6,9	5,5	4,6
70	371,7	27,9	13,9	9,3	7,0	5,6	4,6
80	377,1	28,3	14,1	9,4	7,1	5,7	4,7
90	382,4	28,7	14,3	9,6	7,2	5,7	4,8
100	387,6	29,1	14,5	9,7	7,3	5,8	4,8
110	392,8	29,5	14,7	9,8	7,4	5,9	4,9
120	397,9	29,8	14,9	9,9	7,5	6,0	5,0
130	402,9	30,2	15,1	10,1	7,6	6,0	5,0
140	407,9	30,6	15,3	10,2	7,6	6,1	5,1
150	412,8	31,0	15,5	10,3	7,7	6,2	5,2
160	417,6	31,3	15,7	10,4	7,8	6,3	5,2
170	422,4	31,7	15,8	10,6	7,9	6,3	5,3
180	427,2	32,0	16,0	10,7	8,0	6,4	5,3
190	431,8	32,4	16,2	10,8	8,1	6,5	5,4
200	436,5	32,7	16,4	10,9	8,2	6,5	5,5

Shora uvedený příklad rezonančního kmitočtu 29,3 Hz odpovídá efektivní výšce komína 10 m, při teplotě spalin 105 °C. Při větší délce komína se již jedná o případ infrazvuku, který není občany vnímán přímo sluchem, ale celým povrchem těla.

Z předložených informací vyplývá, že je možno za určitých podmínek navrhnout kotle včetně kouřovodů a komínů tak, aby nedocházelo k výrazným rezonančním jevům v celém spalovacím systému kotelny. Výrazné rezonanční jevy ve spalovacím prostoru mohou kromě nežádoucích akustických jevů nepříznivě ovlivňovat průběh hoření, což je další důvod k pečlivému návrhu všech komponent.

Použité zdroje:

- [1] NOVÝ, R. *Hluk a chvění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01306-5
- [2] SIEGFRIED, Jud. *Aktueller Stand des Schallschutzes in der Gebäude-technik aus der Sicht eines Regelsetzers*. Gesundheits-Ingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 123, 2002
- [3] PÁV, M.: *Ochrana proti hluku vytápěcích zařízení*. Diplomová práce, FS ČVUT v Praze 1999
- [4] DĚDOUREK, M.: *Rezonanční jevy ve spalovacím zařízení*. Diplomová práce, FS ČVUT v Praze, 2001.