

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

# Hluk generovaný z potrubí

## Noise Generated from Ducts

Recenzent  
 Ing. Václav Šimánek

Problémy s hlukem u vytápěcích a vzduchotechnických zařízení mají řadu příčin. Jednou je hluk generovaný z povrchů potrubních systémů, ve kterých je vysoká hladina akustického tlaku způsobena především akustickým výkonem ventilátorů, nebo často u spalovacích zařízení hlukem, který souvisí s hořením plynů. Tento článek se zabývá případy, kdy je potrubí vyrobeno z relativně tenkého plechu.

**Klíčová slova:** hluk, potrubí, neprůzvučnost

*There are numerous reasons for problems with noise to occur in heating and air-handling equipment. One of them is a high acoustic pressure level inside ducts or pipes caused by the sound power of ventilating fans or by the noise generated from gas combustion in burning equipment. The surface of ducts or pipes then becomes a source of noise for the ambient environment. The paper is focused on those cases, where pipes or ducts are made from relatively thin metal sheet.*

**Key words:** noise, piping, sound transmission loss

### ÚVOD

Informace o vyzařování hluku ze vzduchotechnických potrubí se naleznou v publikaci (1), která byla vydána již v roce 1960. Hladinu akustického výkonu procházejícího stěnami potrubí směrem ven do okolního prostoru je možno odhadnout podle výpočetního vztahu

$$L_{W2} = L_{W1} - R + 10 \log \frac{S_2}{S} \quad (1)$$

kde

- $L_{W1}$  [dB] je hladina akustického výkonu přenášená vzduchem v potrubí,
- $L_{W2}$  [dB] hladina akustického výkonu vyzařovaná z potrubí do okolního volného prostoru,
- $S_2$  [m<sup>2</sup>] vnější plocha potrubí,
- $S$  [m<sup>2</sup>] průřez potrubí,
- $R$  [dB] vzduchová neprůzvučnost potrubí.

Na první pohled je řešení této úlohy podobné šíření hluku z hluché místnosti do místnosti chráněné. Existuje však řada odlišností. Vzduchová neprůzvučnost stavebních konstrukcí se vyznačuje postupným nárůstem zvukoizolačních schopností stěny při zvyšování kmitočtu. U vzduchotechnických potrubí to platí pouze v případě potrubí s rovinnými stěnami. U potrubí kruhového průřezu je situace opačná. Tento typ potrubí se ale používá nejčastěji.

Podle (2) lze pro vyzařování hluku z kruhového potrubí, viz schéma na obr. 1, stanovit snížení hluku ve tvaru

$$R = 10 \log \left( \frac{W_1 S_2}{W_2 S} \right) \quad (2)$$

kde

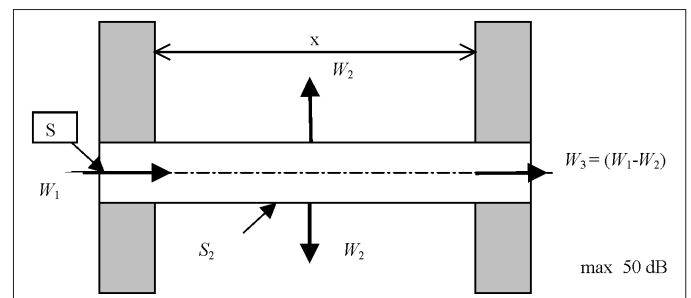
- $W_1$  [W] je akustický výkon vyzařovaný do potrubí na jeho začátku,
- $W_2$  [W] akustický výkon vyzařovaný z potrubí do jeho okolí,
- $R$  [dB] neprůzvučnost

### 1. NEPRŮZVUČNOST POTRUBÍ

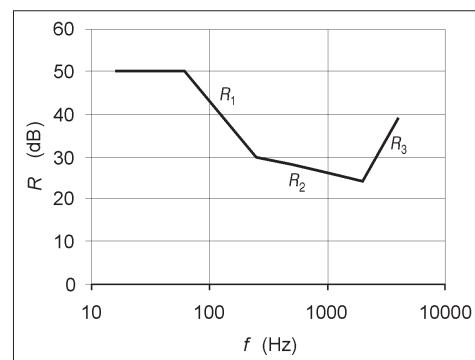
Postup stanovení neprůzvučnosti stěn kruhového potrubí dle (2) je založen na aproximaci zvukoizolační schopnosti pro jednotlivá oktávová pásma formou lomené čáry, jak je znázorněno na diagramu v obr. 2. Nutno zdůraznit, že potrubí kruhového průřezu vykazuje jinou neprůzvučnost při

šíření hluku z potrubí do jeho okolí a jiné hodnoty neprůzvučnosti pro jinak stejný případ se dostanou při šíření hluku z prostoru do potrubí. Tento článek věnuje hlavní pozornost nejběžnějšímu případu, kdy se jedná o vyzařování hluku z potrubí do venkovního prostoru.

V nízkých kmitočtových pásmech nepřekročí neprůzvučnost potrubí o kruhovém průřezu hodnotu 50 dB, jak je dokumentováno v diagramu na obr. 2. Ve středních kmitočtech je neprůzvučnost kruhového potrubí určena rovnicemi pro  $R_1$  a  $R_2$ . Pro výslednou neprůzvučnost platí vyšší hodnota ze dvou jmenovaných.



Obr. 1 Schéma vyzařování hluku z potrubí



Obr. 2 Spektrum vzduchové neprůzvučnosti kruhového potrubí

$$R_1 = 17,6 \log(m'') - 55,3 \log(D) - 49,8 \log(f_m) + 130,07 \quad (3)$$

$$R_2 = 17,6 \log(m'') - 36,9 \log(D) - 6,6 \log(f_m) + 26,4 \quad (4)$$

kde je

- $m''$  [kg/m<sup>2</sup>] plošná hmotnost stěny potrubí
- $D$  [m] průměr potrubí
- $f_m$  [Hz] střední kmitočtet v oktávě

Uvedené vztahy jsou použitelné pro potrubí do průměru  $D$  630. Pro větší potrubí se v oktávě 4000 Hz určí neprůzvučnost potrubí podle následující rovnice (5)

$$R_3 = 17,6 \log(m'') - 36,9 \log(D) + 19,62 \quad (5)$$

## 2. VYZÁŘENÝ AKUSTICKÝ VÝKON Z POTRUBÍ

Akustický výkon vyzářený z potrubí vyjádřený hladinou akustického výkonu v oktávovém pásmu se stanoví z rovnice (1), pokud lze počítat s konstantní hladinou akustického výkonu uvnitř potrubí.

Ze zákona o zachování energie potom vyplývá, že z potrubí o délce  $x$  [m] je vyzařován do dalších jeho úseků akustický výkon snížený o hodnotu akustického výkonu vyzářeného do jeho okolí, což lze vyjádřit rovnicí

$$L_{W3} = L_{W1} + 10 \log \left( 1 - \frac{S_2}{S} 10^{-0,1R} \right) \quad (6)$$

kde je

$L_{W1}$  (dB) hladina akustického výkonu na vstupu do potrubí

$L_{W3}$  (dB) hladina akustického výkonu vyzářená do další části potrubí

Plochu  $S_2$  možno vyjádřit vzorcem

$$S_2 = \pi D x \quad (7)$$

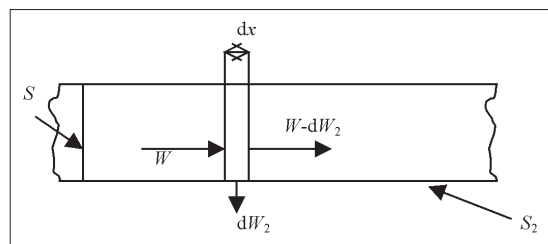
Plochu průřezu potrubí lze stanovit ze vztahu

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (8)$$

Rovnice (6) se po dosazení upraví do tvaru

$$L_{W3} = L_{W1} + 10 \log \left( 1 - \frac{4x}{D} 10^{-0,1R} \right) \quad (9)$$

Z podrobnějšího rozboru sledované problematiky vyplývá, že doporučený postup výpočtu dle lit. (2) má svoje omezení zejména z hlediska délky potrubí. Pro relativně krátká potrubí je možno prezentovaný výpočet použít bez větších chyb. U dlouhých potrubí je však nutno stanovit šíření hluku do jeho okolí a potrubím samotným na základě řešení rovnic, které budou respektovat postupný pokles hladiny akustického tlaku v potrubí. Příslušná diferenciální rovnice pro šíření akustického výkonu potrubím o elementární délce  $dx$  bude sestavena s ohledem na schéma na obr. 3.



Obr. 3  
Schéma  
šíření zvuku  
v průzvučném  
potrubí

Do kontrolního elementu vstupuje akustický výkon

$$W = \frac{p^2}{\rho c} S \quad (10)$$

kde

$p$  [Pa] je akustický tlak,

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] hustota vzduchu,

$c$  [m/s] rychlost zvuku.

Do okolí elementu je vyzařován elementární akustický výkon

$$dW_2 = 10^{-0,1R} \frac{W dS_2}{S} \quad (11)$$

Z kontrolního elementu ve směru osy  $x$  je vyzařován snížený akustický výkon o hodnotu

$$-dW = \frac{d}{dp} \left( \frac{p^2}{\rho c} S \right) dp = \frac{p^2}{\rho c} \pi D 10^{-0,1R} dx$$

Řešením této rovnice získáme výraz

$$\int_{p_1}^p \frac{1}{p} dp = -\frac{\pi D}{2S} 10^{-0,1R} \int_0^x dx \quad (12)$$

který vede na řešení, vyjadřující průběh akustického výkonu v potrubí jako funkce vzdálenosti

$$\ln \left( \frac{p}{p_1} \right) = -\frac{2}{D} 10^{-0,1R} x = -g(x) \quad (13)$$

Zjednodušeně zapsáno

$$p = p_1 e^{-g(x)}$$

Ve zkráceném zápisu lze vyjádřit průběh intenzity zvuku  $I$  [W/m<sup>2</sup>] podél potrubí ve tvaru

$$I = \frac{p^2}{\rho c} = \frac{p_1^2}{\rho c} e^{-2g(x)} \quad (14)$$

Hluk vyzářený do okolí potrubí obecných rozměrů bude potom možno stanovit z poklesu akustického výkonu po délce potrubí  $x$ .

Na začátku potrubí je úroveň hluku v potrubí dána hodnotou akustického výkonu  $W_1$ , což lze vyjádřit výrazem

$$W_1 = \frac{p_1^2}{\rho c} S \quad (15)$$

Na konci sledovaného úseku bude mít akustický výkon přenášený potrubím hodnotu  $W_3$

$$W_3 = \frac{p_1^2}{\rho c} e^{-2g(x)} S \quad (16)$$

Rozdíl těchto hodnot udává celkový vyzářený akustický výkon z povrchu potrubí  $W_2$

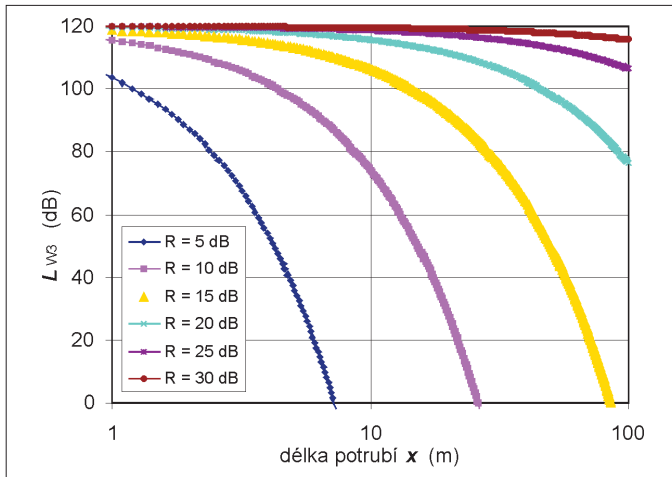
$$W_2 = W_1 (1 - e^{-2g(x)}) \quad (17)$$

Odvozené výrazy je možné převést do logaritmických stupnic, když se dosadí do definičních vztahů pro hladinu akustického výkonu (obr. 4)

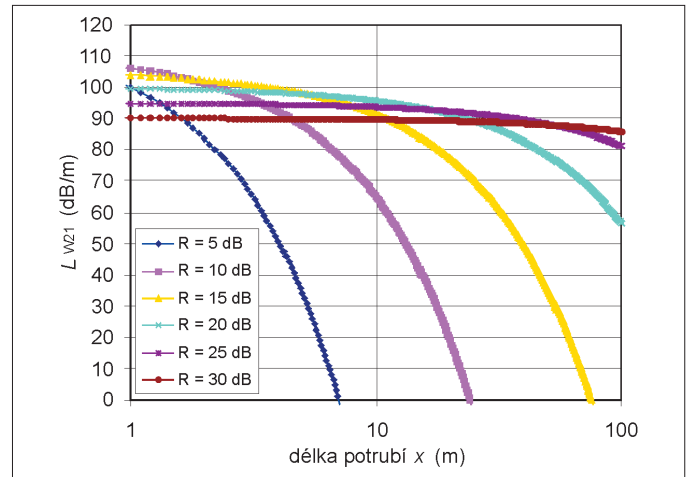
$$L_{W3} = L_{W1} - 17,372 \cdot 10^{-0,1R} \frac{x}{D} \quad (18)$$

Pro akustický výkon vyzářený z povrchu potrubí bude platit výraz

$$L_{W2} = L_{W1} + 10 \log (1 - e^{-2g(x)}) \quad (19)$$



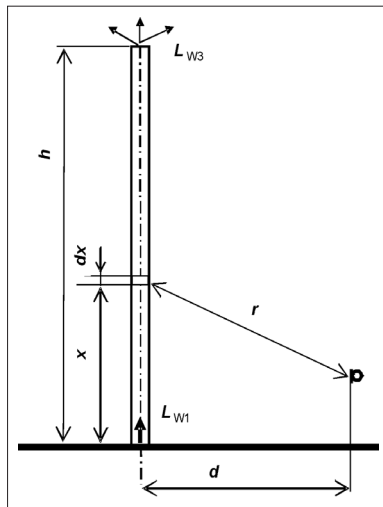
Obr. 4 Hladina akustického výkonu  $L_{W3}$  vyzařovaná z konce komína při určité jeho délce  $x$  (vztaheno hladině akustického výkonu na začátku potrubí  $L_{W1} = 120$  dB,  $D = 400$  mm)



Obr. 6 Rozložení hladiny akustického výkonu  $L_{W21}$  podél potrubí (vztaheno hladině akustického výkonu na začátku potrubí  $L_{W1} = 120$  dB,  $D = 400$  mm)

### 3. POTRUBNÍ ÚSEK JAKO LINEÁRNÍ ZÁŘIČ

Potrubí VZT nebo kouřovody spalovacích zařízení generují do venkovního prostředí nežádoucí hluk. Zkušení projektanti rozlišují při akustických výpočtech mezi bodovými a lineárními zářiči akustické energie. Při výpočtu akustických polí např. komínů z lehkých potrubí však většinou je generace hluku z povrchu komína zanedbávána a počítáno je pouze s generací hluku z konce komína. Vzhledem ke shora uvedeným informacím by se mělo akustické pole v okolí komínů počítat na základě interference hluku vyzařovaného z konce a z povrchu komína, jak je znázorněno na obr. 5.



Obr. 5 Schéma vyzařování hluku z komína

Z konce komína bude pouze vyzařován hluk na úrovni hladiny akustického výkonu  $L_{W3}$ . Hluk generovaný z povrchu komína nebude rovnoměrně rozdělen po jeho délce, ale jeho intenzita bude exponenciálně klesat.

Pokud by projektanta zajímalo rozložení intenzity zvuku na vnějším povrchu potrubí, mohl by použít výpočetní vztah

$$I_2 = I_1 \cdot e^{-2g(x)} \cdot 10^{-0,1R} \quad (20)$$

Hladina akustického výkonu  $L_{W21}$  vyzářená do okolí odpovídající 1 m délky komína bude dána výrazem

$$L_{W21} = L_{W1} + 10 \log(e^{-2g(x)}) - R + 10 \log\left(\frac{\pi \cdot D}{S}\right) \quad (21)$$

Příklad rozložení hladiny akustického výkonu  $L_{W21}$  je na diagramu obr. 6. Hluk, který bude v kontrolním místě vyvolán generací akustické energie z povrchu komína bude možno vyjádřit rovnicí pro intenzitu zvuku v kontrolním bodu

$$I = \frac{W_1}{\pi D} \int_0^h \frac{e^{-2g(x)}}{(x^2 + d^2)} dx \quad (22)$$

Dosazením tohoto výrazu do definičního vztahu pro hladinu akustického tlaku se získá již v praxi použitelný výraz, který podává informaci o vlivu vyzařování hluku z povrchu komína na hluk v kontrolním místě

$$L_{p2} = L_{W1} + 10 \log\left(\frac{1}{\pi D} \int_0^h \frac{e^{-2g(x)}}{(x^2 + d^2)} dx\right) \quad (23)$$

kde je  $L_{W1}$  (dB) hladina akustického výkonu na vstupu do komína

Do kontrolního místa přichází akustický výkon i z konce komína, jak je vyjádřeno vztahem (18).

Tomu odpovídající hladina akustického tlaku bude dána výrazem

$$L_{p3} = L_{W3} + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi(h^2 + d^2)}\right) \quad (24)$$

kde je

$h$  (m) výška komína

Z uvedených vztahů vyplývá, že za určitých okolností bude o výsledné hlukové situaci v kontrolním místě rozhodovat hluk vyzářený pláštěm komína (velká průzvučnost pláště a vysoký komín) v opačném případě konec komína (velká neprůzvučnost pláště komína a krátký komín).

### ZÁVĚR

Uvedené vztahy umožňují seriózně stanovit generaci hluku z potrubních systémů do kontrolního místa a zajistit již na úrovni projektu splnění hygienických hlukových limitů. Využití bude zejména při návrhu kouřovodů a lehkých komínů u kotelen větších výkonů.

Tento článek byl vypracován s podporou VZ MSM 6840770011

### Použité zdroje:

- [1] Beranek L.: Snižování hluku, SNTL Praha 1965
- [2] Reynolds D., Bledsoe M.: Ashrae 1991, Atlanta, Georgia
- [3] Nový, R.: Snižování hluku a chvění, Vydavatelství ČVUT v Praze, 2000