

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

Hluk generovaný z potrubí obdélníkového průřezu

Noise Generated from Ducts of Rectangular Cross-section

Recenzent

prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Článek navazuje na příspěvek zabývající se průřezovostí potrubí kruhového průřezu, které je vyrobeno z relativně tenkého plechu. Hluk generovaný z povrchů potrubních systémů, ve kterých je vysoká hladina akustického tlaku způsobena především akustickým výkonem ventilátorů, nebo často u spalovacích zařízení hlukem, souvisejícím s hořením plynů, je velice často opomíjen z důvodu neznalosti mechanismu jeho vyzařování. Tento článek se zabývá případy, kdy je potrubí obdélníkového průřezu vyrobeno z ocelového plechu.

Klíčová slova: hluk, potrubí, neprůzvučnost

The author continues the article dealing with sound transmission of circular cross-section ducts manufactured of relatively thin sheet metal. The noise generated from duct systems surfaces, where the high level of acoustic pressure is caused first of all by the high acoustic output of fans, or frequently by noise related to gases combustion at combustion equipment, is very frequently left out on the ground of the unfamiliarity with the mechanism of its radiation. The article deals with cases when the duct of rectangular cross-section was manufactured of steel sheet.

Key words: noise, duct, noise no transmission

Informace o vyzařování hluku ze vzduchotechnických potrubí, která se vyrábějí z tenkého ocelového plechu, se nalezou v publikaci [1], která byla vydána již v roce 1960. Hladinu akustického výkonu procházejícího stěnami potrubí směrem ven do okolního prostoru je možno stanovit podle platného vztahu

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

kde je

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

U vzduchotechnických potrubí s rovinnými stěnami je kmitočtový průběh neprůzvučnosti opačný než u potrubí kruhového průřezu. Podle zdroje [2] lze pro vyzařování hluku z potrubí, viz schéma na obr. 1, stanovit vzduchovou neprůzvučnost potrubí ve tvaru

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

kde je

W_1 [W]	akustický výkon vyzařovaný do potrubí na jeho začátku,
W_2 [W]	akustický výkon vyzařovaný z potrubí do jeho okolí.

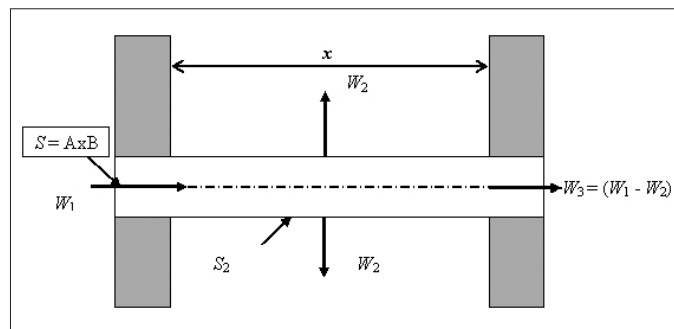
1. NEPRŮZVUČNOST POTRUBÍ

Postup stanovení neprůzvučnosti stěn potrubí s rovinnými stěnami dle [2] je založen na aproximaci zvukoizolační schopnosti pro jednotlivá kmitočtová pásma formou lomené čáry, jak je znázorněno na diagramu v obr. 2.

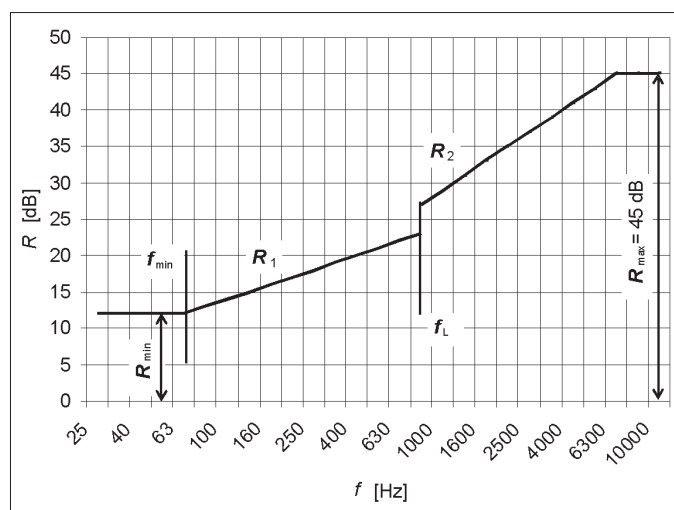
Nutno zdůraznit, že potrubí obdélníkového průřezu vykazuje jinou neprůzvučnost při šíření hluku z potrubí do jeho okolí a jiné hodnoty neprůzvučnosti pro jinak stejný případ, které se dostanou při šíření hluku

z prostoru do potrubí. Tento článek věnuje hlavní pozornost nejběžnějšímu případu, kdy se jedná o vyzařování hluku z potrubí do venkovního prostoru.

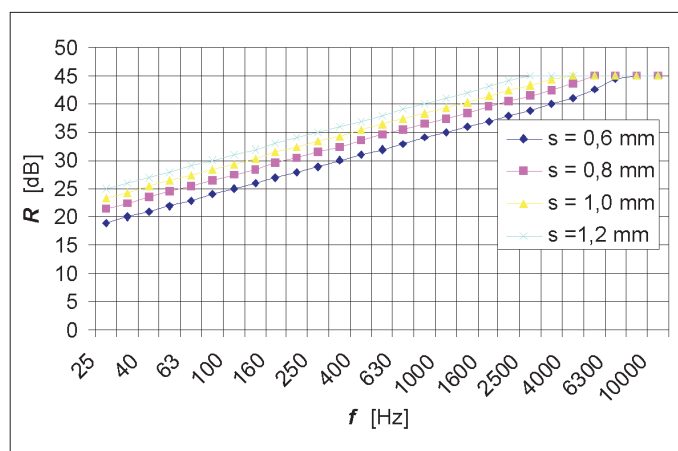
V nejvyšších kmitočtových pásmech nepřekročí neprůzvučnost potrubí obdélníkového průřezu hodnotu 45 dB, jak je dokumentováno v diagramu na obr. 2.



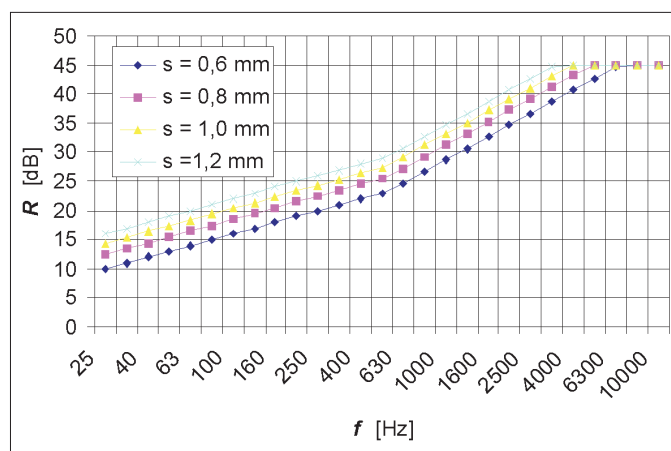
Obr. 1 Schéma vyzařování hluku z potrubí



Obr. 2 Spektrum vzduchové neprůzvučnosti kruhového potrubí



Obr. 3 Neprůzvučnost potrubí o průřezu 0,125 x 0,25 m při různé tloušťce plechu



Obr. 4 Neprůzvučnost potrubí o průřezu 2 x 1 m při různé tloušťce plechu

Ve středních kmitočtech je neprůzvučnost kruhového potrubí určena rovnicemi pro R_1 a R_2 . Změna neprůzvučnosti nastává pro kmitočet f_L [Hz], který lze stanovit z rovnice

$$f_L = \frac{613}{\sqrt{A \cdot B}} \quad (3)$$

kde

A, B jsou [m] rozměry průřezu potrubí.

Hraniční kmitočet f_L je nepřímo úměrně závislý na příčném průřezu potrubí. V oblasti nižších kmitočtových pásem ($f \leq f_L$) se určí neprůzvučnost z rovnice (4). V této oblasti narůstá neprůzvučnost o 3 dB/oktávu. Plošná hmotnost stěn souvisí s tloušťkou plechu. Pokud zvětšíme tloušťku plechu na dvojnásobek, naroste v této kmitočtové oblasti neprůzvučnost potrubí o 6 dB. Dále je zřejmé, že neprůzvučnost je ovlivněna příčnými rozměry potrubí.

$$R_1 = 20 \cdot \log(m'') + 10 \cdot \log(A + B) + 10 \cdot \log(f_m) - 12,74 \quad (4)$$

Pro kmitočtovou oblast ve které platí nerovnost $f \geq f_L$ se určí neprůzvučnost ze vztahu (5). Nárůst neprůzvučnosti se změnou kmitočtu odpovídá 6 dB/oktávu. Při zdvojnásobení plošné hmotnosti stěn potrubí naroste neprůzvučnost také o 6 dB. V této kmitočtové oblasti již neprůzvučnost nezávisí na příčném rozměru potrubí.

$$R_2 = 20 \cdot \log(m'') + 20 \cdot \log(f_m) - 44,79 \quad (5)$$

kde je

m'' [kg/m²] plošná hmotnost stěny potrubí

A, B [m] rozměry potrubí

x [m] délka potrubí

f_m [Hz] střední kmitočet v oktávě

U potrubí z tenkých plechů nelze očekávat vyšší neprůzvučnost než $R_{\max} = 45$ dB, což je hodnota omezující neprůzvučnost v oblasti vyšších kmitočtů.

V oblasti nejnižších kmitočtů neklesne neprůzvučnost $R_{\min}$ obdélníkového potrubí pod hodnotu danou výrazem (6)

$$R_{\min} = 10 \cdot \log \left[x \left(\frac{1}{A} + \frac{1}{B} \right) \right] + 3 \quad (6)$$

Příklad kmitočtového průběhu neprůzvučnosti potrubí o rozměrech $A \times B = 0,125 \times 0,25$ m při různé tloušťce ocelového plechu je na obr. 3.

Podobně je na dalším obr. 4 uvedeno spektrum neprůzvučnosti vzduchotechnického potrubí při průřezu 2 x 1 m.

Porovnáme-li údaje z obou posledních diagramů, tak je zřejmé, že stěny potrubí o velkých průřezích mají nízkou zvukoizolační schopnost a proto je třeba těmto případům věnovat zvýšenou pozornost. Neprůzvučnost stěn vzduchotechnických potrubí je možno zvyšovat jeho plošnou hmotností. Velice často se problémy s hlukem vyzařovaným z povrchu potrubí řeší vytvořením vrstvené konstrukce. Na potrubí z tenkého plechu se obvykle aplikuje vrstva minerální plstě (cca 50 až 60 mm) překrytá dalším tenkým plechem. O neprůzvučnosti takto upravených potrubí však nejsou podrobnější informace.

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 přitom 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

$$L_{W3} = L_{W1} + 10 \cdot \log \left(1 - \frac{S_2}{S} 10^{-0,1R} \right) \quad (7)$$

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

$$S_2 = 2(A + B) \cdot x \quad (8)$$

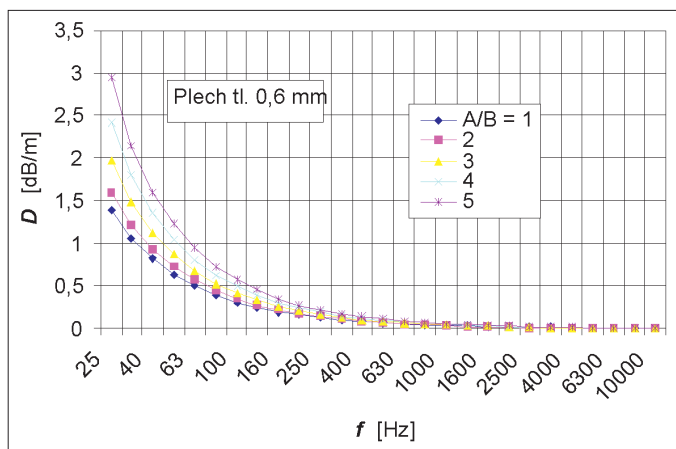
Plocha průřezu potrubí je dána součinem

$$S = A \cdot B \quad (9)$$

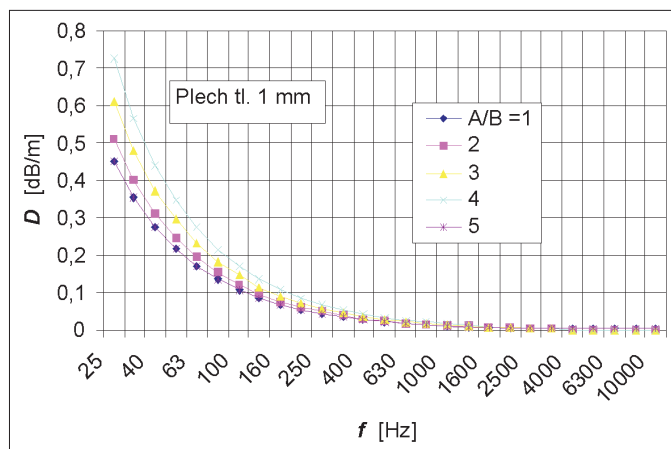
Rovnice (7) se po dosazení upraví do tvaru

$$L_{W3} = L_{W1} + 10 \cdot \log \left(1 - \frac{2(A + B)x}{A \cdot B} 10^{-0,1R} \right) \quad (10)$$

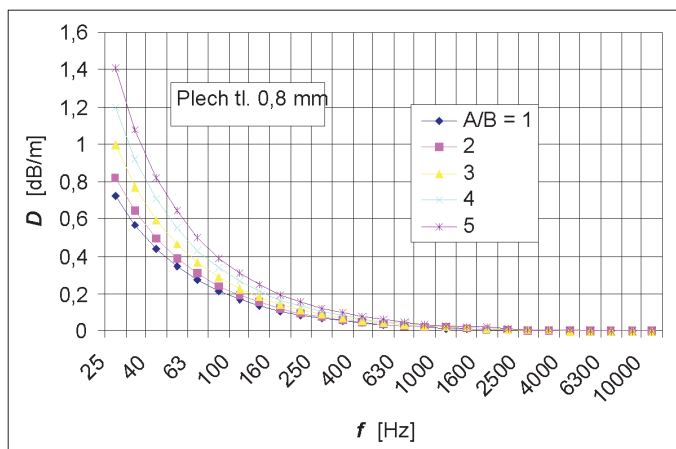
Z podrobnějšího rozboru sledované problematiky vyplývá, že doporučený postup výpočtu dle [2] má svoje omezení zejména z hlediska děl-



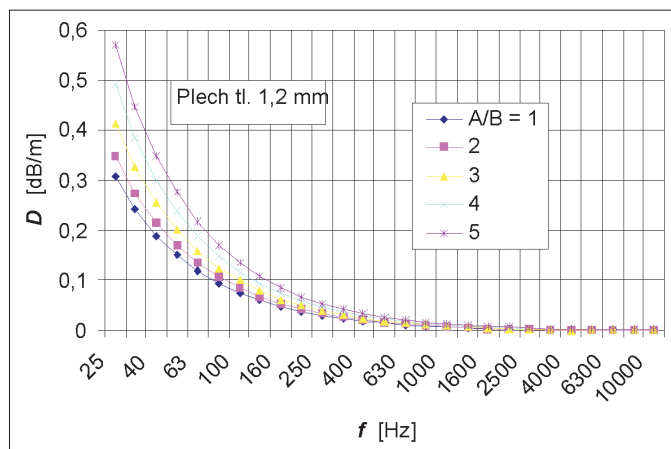
Obr. 5 Přirozený útlum hluku ve vzduchotechnickém potrubí čtyřhranného průřezu při různém poměru stran A/B, tloušťka plechu 0,6 mm



Obr. 7 Přirozený útlum hluku ve vzduchotechnickém potrubí čtyřhranného průřezu při různém poměru stran A/B, tloušťka plechu 1 mm



Obr. 6 Přirozený útlum hluku ve vzduchotechnickém potrubí čtyřhranného průřezu při různém poměru stran A/B, tloušťka plechu 0,8 mm



Obr. 8 Přirozený útlum hluku ve vzduchotechnickém potrubí čtyřhranného průřezu při různém poměru stran A/B, tloušťka plechu 1,2 mm

ky 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.

Tento výpočetní postup byl prezentován v souvislosti s vyzařováním hluku z potrubí kruhového průřezu v literatuře [4] a nebude v tomto článku znovu uváděn. Pozornost bude upřena k otázce přirozeného útlumu hluku v potrubí. Prakticky každé vzduchotechnické zařízení by v rámci projektu mělo být kontrolováno z hlediska ochrany proti nadměrnému hluku. V technické literatuře jsou pro některé skupiny rozměrů kruhového i čtverhranného potrubí uváděny přirozené útlumy hluku. Řada projektantů chápe tento útlum jako přeměnu akustické energie na energii tepelnou. Což není v souladu se skutečností. Jedná se o pokles hladiny akustického výkonu v potrubí po jeho délce vlivem vyzáření části energie z vnitřního prostoru potrubí do jeho okolí. To může mít v některých případech neblahé důsledky. Aby bylo zcela jasné, jak přirozené útlumy v potrubí stanovit, tak tomuto problému bude věnována následující kapitola.

3. PŘIROZENÝ ÚTLUM HLUKU V POTRUBÍ ČTYŘHRANNOHO PRŮŘEZU

Je zvykem uvádět přirozený útlum hluku ve vzduchotechnickém potrubí v závislosti na kmitočtu pro délku potrubí 1 m. Shora uvedené vztahy je možné k určení přirozeného útlumu využít. Definici přirozeného útlumu v potrubí lze vyjádřit obecným vztahem

$$D = 10 \cdot \log \left[\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right] = 10 \cdot \log \left[1 - \frac{S_2}{S} 10^{-0,1R} \right] \quad (11)$$

Pokud do tohoto vztahu dosadíme pro potrubí čtyřhranného průřezu a jeho délku $x = 1$ m získáme spektrum přirozeného útlumu hluku v dB/m.

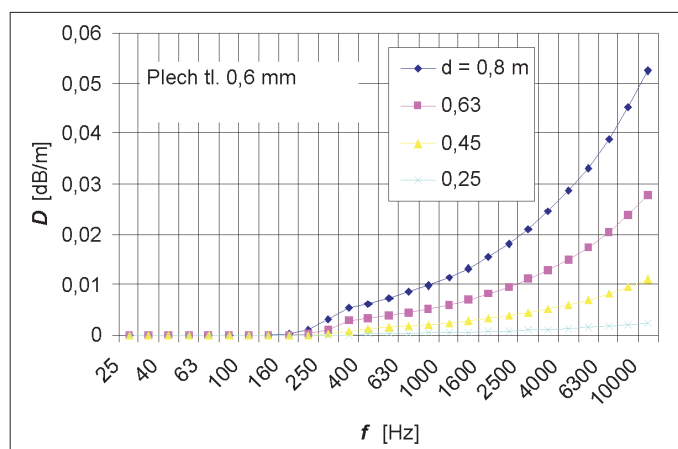
Je zcela zřejmé, že potrubí obdélníkového průřezu vykazuje nízké hodnoty neprůzvučnosti v nízkých kmitočtových pásmech. V důsledku toho jsou přirozené útlumy ve stejné kmitočtové oblasti vysoké.

4. PŘIROZENÝ ÚTLUM HLUKU V POTRUBÍ KRUHOVÉHO PRŮŘEZU

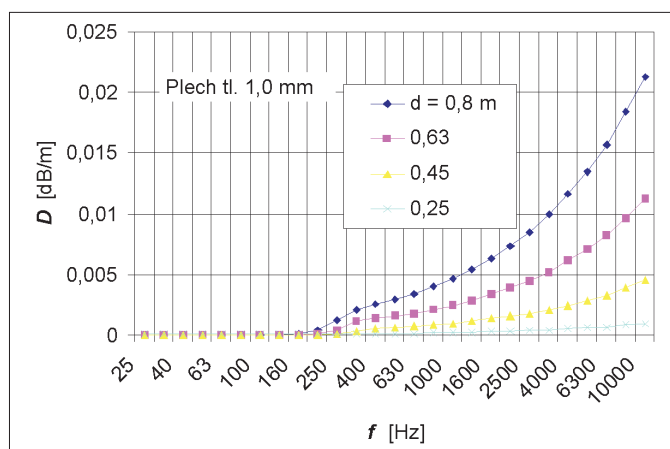
Stejným postupem jako tomu bylo u čtyřhranného potrubí lze stanovit přirozený útlum v potrubí kruhového průřezu. Základní rozdíl spočívá v opačném průběhu neprůzvučnosti. Neprůzvučnost potrubí kruhového průřezu dosahuje nejvyšších hodnot v nízkých kmitočtových pásmech. V důsledku toho je přirozený útlum hluku v potrubí nízký v nízkých kmitočtových pásmech a vysoký v oblasti vyšších kmitočtů. Výsledky výpočtů pro potrubí různých průměrů jsou shrnuty do diagramu na obr. 9 až 12.

ZÁVĚR

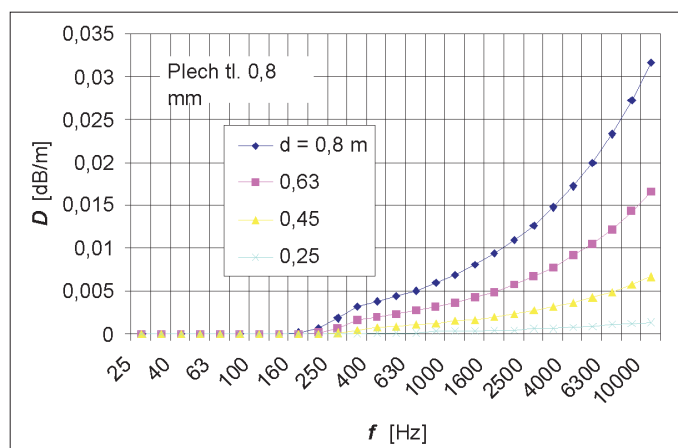
Uvedené vztahy umožňují seriózně stanovit generaci hluku z potrubních systémů do kontrolního místa a zajistit již na úrovni projektu splnění hy-



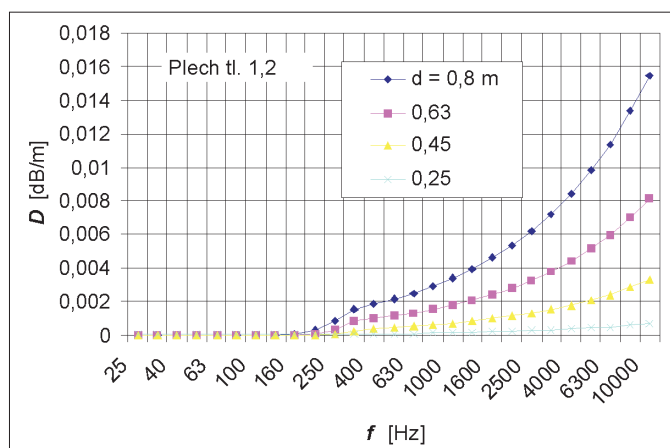
Obr. 9 Přirozený útlum hluku ve vzduchotechnickém potrubí kruhového průřezu ($d = 0,25$ až $0,8$ m), tloušťka plechu $0,6$ mm



Obr. 11 Přirozený útlum hluku ve vzduchotechnickém potrubí kruhového průřezu ($d = 0,25$ až $0,8$ m), tloušťka plechu $1,0$ mm



Obr. 10 Přirozený útlum hluku ve vzduchotechnickém potrubí kruhového průřezu ($d = 0,25$ až $0,8$ m), tloušťka plechu $0,8$ mm



Obr. 12 Přirozený útlum hluku ve vzduchotechnickém potrubí kruhového průřezu ($d = 0,25$ až $0,8$ m), tloušťka plechu $1,2$ mm

gienických hlukových limitů. Je nutno zdůraznit, že neprůzvučnost potrubí kruhového průřezu je v oblasti nízkých kmitočtů vysoká, což je jejich výhoda, neboť většina zdrojů hluku ve VZT, zejména ventilátory, mají spektra hladiny akustického výkonu posunuta do nízkých kmitočtových pásem.

Nehrozí proto ve větší míře nežádoucí vyzařování hluku do jejich okolí.

Opakem jsou potrubí obdélníkového průřezu, která je nutno opatřovat na jejich povrchu tlumicí vrstvou (minerální plst' + plech), neboť v nízkých kmitočtech vykazují nízkou zvukoizolační schopnost, pokud potrubí prochází chráněným prostorem.

Nebezpečí vyzařování hluku z povrchu potrubí je znásobena skutečností, že se potrubí chovají jako lineární zdroje hluku, od kterých klesá hladina akustického tlaku o pouhé 3 dB při zdvojnásobení vzdálenosti.

Tento článek byl vypracován s podporou VZ MSM 6840770011.

Kontakt na autora: Richard.Novy@fs.cvut.cz

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
- [4] Nový R.: Hluk generovaný z potrubí, VVI č. 4/2007, ISSN 1210-1389.