

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

Aerodynamický hluk při extrémně nízkých rychlostech proudění vzduchu



Ústav techniky prostředí

Aerodynamic Noise at Extremely Low Air Flow Velocity

Recenzent
Prof. ing. Karel Hemzal, CSc.

Článek se zabývá problematikou aerodynamických zdrojů hluku ve vzduchotechnických potrubních rozvodech a to vzhledem k dimenzování klimatizačních zařízení pro akusticky náročné prostory. Jsou zde prezentovány nejčastější zdroje hluku a jejich spektrum hladin akustického tlaku ve vztahu k limitům vyplývajícím z ČSN 73 0526 „Akustika–Projektování v oboru prostorové akustiky“. Uváděné hlukové limity ukazují na nutnost vnímání hlukových parametrů jako nejdůležitějších faktorů při dimenzování vzduchotechnických zařízení rozhlasových a televizních studií.

Klíčová slova: hluk, aerodynamický hluk, hlukové limity, dimenzování VZT

The author deals with problems of aerodynamic noise sources in the HVAC duct distribution systems namely as to the dimensioning (sizing) the HVAC equipment for acoustically demanding spaces, in his article. He presents the most frequent noise sources and their spectrum of sound pressure levels related to limits resulting from Standard ČSN 73 0526 “Acoustics – Designing in the Branch of Space Acoustics”. The specified noise limits point at the necessity to view noise parameters as the most important factors during the dimensioning the HVAC equipment in broadcasting and TV studios.

Key words: noise, aerodynamic noise, noise limits, HVAC dimensioning

1. ÚVOD

Pokud zájemce o tuto problematiku začne hledat informace v technické literatuře, bude velice zklamán, neboť naprostá většina publikovaných informací se zabývá aerodynamickým hlukem při obtékání karoserií automobilů, obtékání křidel a trupů letounů, hlukem turbokompresorů a trysek leteckých motorů. Pro tyto informace je jedna věc společná a to je vysoká rychlost proudění vzduchu, resp. vysoká rychlost obtékaného tělesa. Jedná se běžně o rychlosti vyšší než 100 km/h.

V technické praxi je sice méně časté navrhování klimatizačních zařízení pro koncertní sály, divadla, rozhlasová a televizní studia, ale s ohledem na přísné hlukové limity pro hluk pozadí, stávají se projekty VZT velice obtížnými. Pohoda prostředí v pásmu pobytu osob, odvod tepelné zátěže z klimatizovaného prostoru ustupují jako problém do pozadí a praxe ukazuje, že hlavním parametrem, na který je nutno klást důraz, je extrémně nízká hlukovost vzduchotechnického zařízení.

Pro ilustraci uvedeme limitní hodnoty hladin akustického tlaku v oktavových pásmech, která nesmí být překročena v případě studií a režii. Limitní hodnoty pro hluk pozadí jsou obsahem ČSN 73 0526 „Akustika–Projektování v oboru prostorové akustiky“. Limitní hodnoty pro hluk pozadí jsou stanoveny pro 4 skupiny studií a režii a to ve formě spektra hladiny akustického tlaku v oktavových kmitočtových pásmech 63 až 8000 Hz.

Tab. 1 Rozdělení studií a režii do skupin podle nejvyšší přípustné maximální hladiny akustického tlaku pozadí L_{pmax} [dB]

f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1 (hlasatelný, činoherní studia)	37	24	16	12	10	10	10	10
2 (hudební a diskusní studia)	41	29	21	16	12	10	10	10
3 (televizní a filmová studia, režie)	45	34	26	20	16	13	12	12
4 (místnosti pro stříh, přepis apod.)	48	38	31	24	20	17	15	15

Každému, kdo se alespoň seznámil se základními akustickými veličinami, musí být jasné, jak je obtížné pracovat s hladinami akustického tlaku nižšími než 10 dB. Z fyzikálního hlediska to odpovídá akustickému tlaku $6,32 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Hluk pozadí pro který byly stanoveny shora uvedené limity platí pro hluk pozadí jako celek. Na něm se podílí akustické signály šířící se do chráněného prostoru průzvučností obvodového pláště daného studia či režie, signály přenášené do obvodového pláště ve formě chvění přes uložení stavební konstrukce na základu a samozřejmě i hluk od vzduchotechnických zařízení, která jsou nezbytná pro každý chráněný prostor.

Znamená to, že je na začátku projektování nezbytné stanovit hlukové limity pro tři vyjmenované potenciální zdroje hluku pozadí. Při novostavbě by měli být projektantům stavební části stanoveny podmínky pro pružné oddělení obvodového pláště studia od okolních stavebních konstrukcí. Pokud je tato část zanedbána z jakéhokoliv důvodu, tak nelze počítat s tím, že existuje bezhlukové vzduchotechnické zařízení.

2. FUNKČNÍ ZÁVISLOSTI

2.1 Teoretické poznatky o aerodynamickém hluku

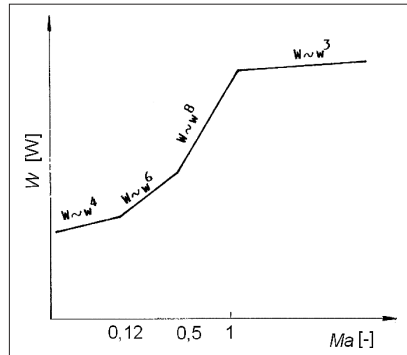
Z hlediska použitelnosti v technické praxi je nejpřijatelnější teorie, kterou presentoval Lighthill v 50. letech minulého století. Udává pro čtyři základní teoretické případy závislost akustického výkonu W (W) na rychlosti proudění. Jedná se ve všech případech o závislost exponenciální. V souhrnu nejlepší přehled o citované teorii podává obr. 1.

Pro praxi je nejdůležitějším poznatkem údaj v posledním sloupku tabulky, který udává hodnotu exponentu nad rychlostí proudění, se kterým úzce souvisí generace aerodynamického hluku. Problémem zůstává určení typu zářiče u konkrétního elementu vzduchotechnického potrubí. Je zřejmé, že nelze striktně oddělit od sebe jednotlivé typy zdrojů hluku. Z realizovaných akustických měření vychází poznatek např. pro hluk trysky, že v oblasti nízkých Machových čísel platí závislosti s nižší hodnotou exponentu. Doložit to lze diagramem na obr. 2.

Zdroj	Typ zdroje	Směrová charakteristika	Výkon [W]
0. řád	monopól	$Q=1$	$W \approx w^4$
1. řád	dipól	$Q \approx \cos^2 \vartheta$	$W \approx w^6$
3. řád	příčný kvadrupól	$Q \approx \sin^2 2\vartheta$	$W \approx w^8$
3. řád	podélný kvadrupól	$Q \approx \cos^4 \vartheta$	$W \approx w^8$

Obr. 1 Generace hluku u různých typů zdrojů hluku

V praktických případech vzduchotechnických zařízení je aerodynamický hluk vzduchotechnických elementů závislý na 5. až 6. mocnině. Nejvyšší hodnoty exponentu se dosahuje při rychlostech blízkých Machovu číslu $Ma = 1$.



Obr. 2 Závislost vyzařovaného akustického výkonu trysky na Ma číslu

Uvedené závislosti platí pro efektivní rychlosti proudění vyšší, než 3 m/s, pro které byla provedena řada experimentů. Měřit aerodynamický hluk odpovídající nižším rychlostem proudění vzduchu, naráží na problém přesnosti s ohledem na hluk pozadí. Pouze ve výjimečných případech rozhlasových a televizních studií, kdy je stavební uspořádání „dům v domě“, lze identifikovat s jistotou aerodynamický hluk např. koncového elementu. Pro projektanta nastává období nejistoty, protože publikované údaje o hlučnosti jednotlivých elementů potrubních sítí začínají až od rychlostí proudění vyšších než 2,5 až 3 m/s. V takových případech nutno extrapolovat na základě znalosti funkčního vztahu, který platí pro rychlosti vyšší než 2 až 3 m/s.

2.2 Aerodynamický hluk při průtoku vzduchu potrubím

Obecně je příčinou vzniku aerodynamického hluku turbulence proudícího vzduchu. Laminární proudění vzduchu přímým potrubím končí teoreticky při dosažení Reynoldsova čísla $Re = 2300$. Prakticky však k přechodu na turbulentní proudění dochází dříve. Pokud bychom pro jednoduchost zůstali u teoretické hodnoty $Re = 2300$, tak lze dojít k následujícímu rozboru problému.

Reynoldsovo kritérium je dáno vztahem

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (1)$$

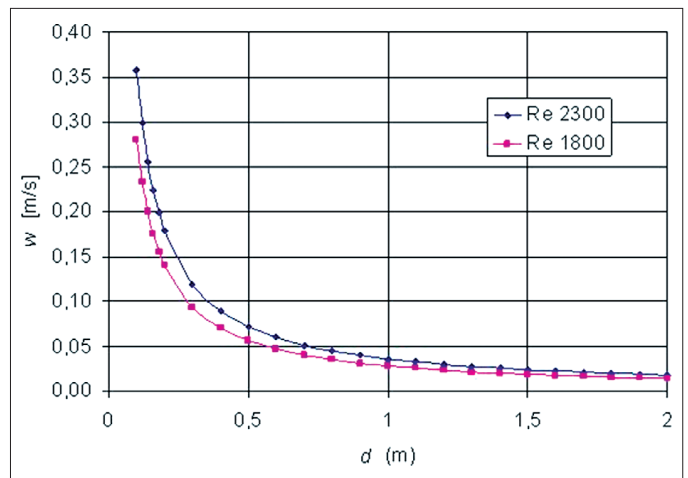
kde je

w [m/s] střední rychlost proudění v průřezu potrubí,
 d [m] průměr potrubí,
 ν [m²/s] kinematická viskozita vzduchu.

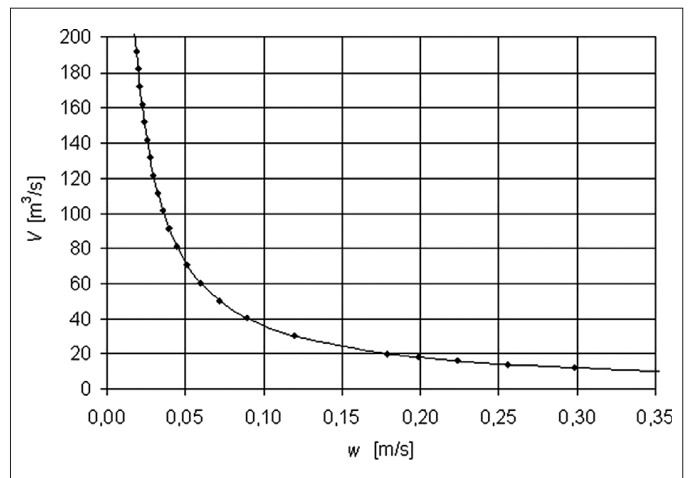
Pro další úvahy bude počítáno se vzduchem o teplotě 20 °C a barometrickém tlaku 98 kPa, ke kterému lze výpočtem stanovit kinematickou viskozitu vzduchu $\nu = 1,56 \cdot 10^{-5}$ m²/s.

Pro limitní hodnotu Re čísla $Re = 2300$ možno určit pole rychlostí v závislosti na průměru potrubí

$$w = \frac{3,58 \cdot 10^{-2}}{d}. \quad (2)$$



Obr. 3 Limitní hodnota rychlosti proudění vzduchu pro vznik turbulentního proudění



Obr. 4 Průtoky vzduchu při limitní rychlosti proudění vzduchu

Při grafickém vyjádření této závislosti se získá hyperbola, jak je uvedeno na diagramu obr. 3.

Jak z diagramu vyplývá, není z hlediska technické přesnosti rozhodující, při jaké hodnotě Re čísla dojde k turbulentnímu proudění. Je zřejmé, že při běžných rozměrech potrubí, by musely být rychlosti proudění nižší než cca 0,1 m/s, aby se dalo hovořit o laminárním proudění.

Pro projektanta je samozřejmě důležité dopravovat potrubím přijatelných rozměrů požadované množství vzduchu. Za předpokladu, že bude proudění vzduchu na limitní hodnotě $Re = 2300$, lze stanovit tomu odpovídající objemový průtok vzduchu,

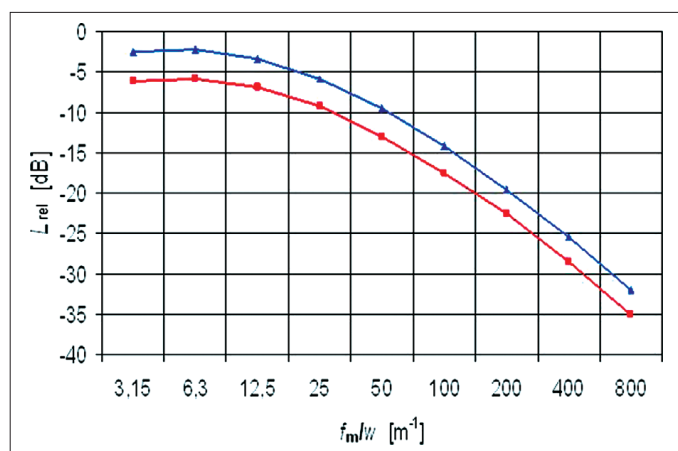
$$V = w \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} Re \cdot \nu \cdot d, \quad (3)$$

jež závislost na rychlosti proudění vyplývá z diagramu na obr. 4.

Z obou prezentovaných diagramů plyne, že není reálné potlačit aerodynamický hluk při proudění vzduchotechnickým potrubím tím, že zvolíme velké průřezy a nízké rychlosti proudění za účelem dosažení bezhlučného laminárního proudění.

Pro běžné případy, které se vyskytují u realizovaných vzduchotechnických zařízení, je možné stanovit celkový vyzařovaný akustický výkon při proudění vzduchu potrubím ze vztahu [2]

$$L_w = 50 \log w + 10 \log S + 7, \quad (4)$$



Obr. 5 Relativní spektrum hluku v potrubí

kde je

w [m/s] střední rychlost proudění,

S [m²] průřez potrubí,

L_w [dB] celková hladina akustického výkonu.

V praxi je při šíření hluku potrubím nutno znát rozložení akustického výkonu na kmitočtové ose. Hladinu akustického výkonu v oktaóvovém kmitočtovém pásmu možno stanovit ze vztahu

$$L_{w_{oct}} = L_w + L_{rel} \quad (5)$$

Relativní hladinu L_{rel} [dB] lze odečíst z diagramu na obr. 5. Pásmo mezi modrou a červenou křivkou ukazuje na rozptýlené reálné hodnoty získané experimentálně. Parametrem pro určení relativní rychlosti je poměr f_m/w [m⁻¹], kde f_m odpovídá střední frekvenci v dané oktávě a w [m/s] je střední rychlost proudění vzduchu potrubím.

Jak ze vztahu (4) vyplývá, je zde uplatněna 5. mocnina rychlosti proudění vzduchu. Pokud by byl tento akustický výkon vyzařován přímo do chráněné místnosti, tak bychom mohli pro pole odražených vln stanovit hladinu akustického tlaku v oktaóvovém pásmu a takto získané spektrum porovnat s přípustnými hodnotami z tab. 1. Je samozřejmě nutno počítat s útlumem hluku v chráněné místnosti.

Pokud by aerodynamický hluk z konce potrubí pronikal přímo do větrané místnosti (za předpokladu útlumu hluku v poli odražených vln 5 dB a průtok vzduchu potrubím $S = 0,2$ m² různými rychlostmi), tak by došlo k překročení hlukových limitů, jak ukazuje diagram na obr. 6.

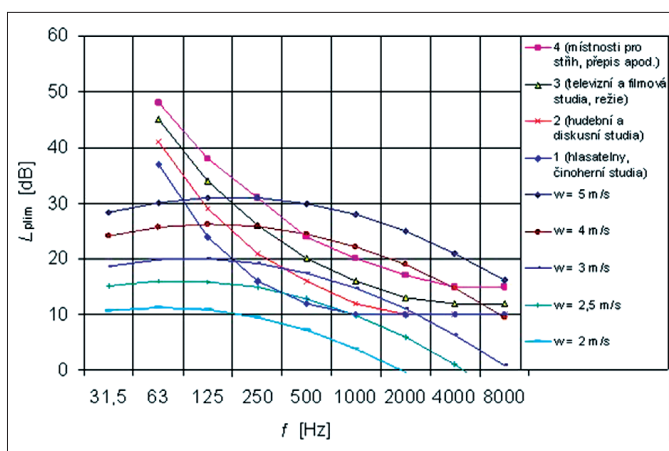
Je zřejmé, že je nezbytné při návrhu klimatizace akusticky náročných místností počítat s extrémně nízkými rychlostmi proudění vzduchu, aby byly splněny hlukové limity.

2.3 Omezení hluku ventilátoru

Výpočty šíření hluku vzduchotechnickým potrubím obvykle začínají u ventilátoru, který je významným zdrojem hluku. V posledních letech se velice často vybavují jednotky VZT plynulou regulací otáček ventilátorů. Je obecně známo, že průtok vzduchu je závislý na 1. mocnině otáček. Dopravní tlak ventilátoru narůstá s 2. mocninou otáček a aerodynamický hluk ventilátorů v návrhovém bodu roste s 5. mocninou otáček, což lze vyjádřit vztahem

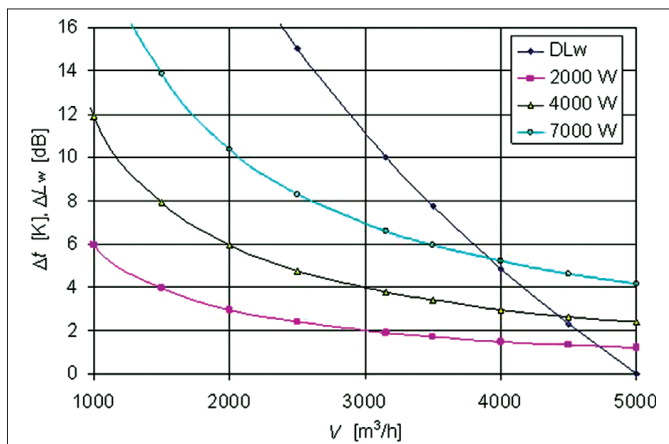
$$\Delta L_w = 50 \log \frac{n_1}{n_2} \quad (6)$$

Projektant VZT musí správně navrhnout průtok vzduchu klimatizovanou místností a to buď podle hygienických limitů, např. 50 m³/h na osobu a nebo je rozhodujícím požadavek na odvod tepelné zátěže. Odvod tepel-


Obr. 6 Překročení hlukových limitů prouděním vzduchu v potrubí o průřezu $S = 0,2$ m² rychlostmi 2 až 5 m/s

né zátěže souvisí i s distribucí vzduchu. Velice často se používají pro přívod vzduchu vířivé výusti, pro které je znám praktický poznatek, že umožňují pracovat s vyšším teplotním rozdílem mezi přiváděným vzduchem a vzduchem v pásmu pobytu osob. V případě klimatizace nahrávacích studií je hlavním požadovaným parametrem nízká hlučnost, jejíž limity jsou uvedeny v tab. 1. Pokud se ukáže, že zvolený pracovní rozdíl teplot vyžaduje větší průtok vzduchu, tak může nastat problém s hlukem ventilátoru a následně vlivem vyšší rychlosti proudění, se mohou, jiné části potrubního systému projevit zvýšenou generací hluku. Takže v obráceném pořadí si projektant klade otázku, o kolik musí snížit průtok vzduchu, aby se bezpečně dostal s hlukem pod limitní hodnoty v jednotlivých oktaóvových pásmech a přitom zajistil odvod tepelné zátěže za ještě přijatelného pracovního rozdílu teplot. Tady je třeba připomenout, že v klimatizovaném prostoru musí být zajištěna tepelná pohoda prostředí. Při vysokých výměnách vzduchu hrozí zvýšená rychlost proudění vzduchu v pásmu pobytu osob, což může vést k nežádoucímu ochlazovacímu účinku. Takže i z tohoto hlediska je třeba pohlížet na volbu průtoku vzduchu.

V diagramu na obr. 7 je prezentován případ, kdy byl původně navržen průtok vzduchu $V = 5000$ m³/h. V diagramu je při různých tepelných zátěžích větraného prostoru (2, 4 a 7 kW) uveden tomu odpovídající pracovní rozdíl teplot. Snížením průtoku vzduchu na cca 3150 m³/h je možné dosáhnout snížení hluku ventilátoru o cca 10 dB (změnou otáček) při současném zvýšení pracovního rozdílu teplot na cca 6,6 K (při tepelné zátěži 7 kW). Uvedený příklad ukazuje na možnost výrazného snížení hluku ventilátoru při dodržení tepelně technických podmínek. K podobnému hodnocení by mohlo dojít i při snižování aerodynamického hluku v potrubní síti, kde také platí podle vztahu (4) 5. mocnina závislosti hladiny akustického výkonu na rychlosti proudění vzduchu.



Obr. 7 Změna pracovního rozdílu teplot a změna generovaného hluku ventilátorem při poklesu dopravovaného množství vzduchu

2.4 Hluk oblouků

Z hlediska vzniku aerodynamického hluku v potrubních systémech vzduchotechnických zařízení jsou velmi významnými součástmi tvarovky – oblouky, kolena a rozbočky. Podle [1, 3] je možno stanovit aerodynamický hluk oblouku hladinou akustického výkonu v oktávních pásmech podle vztahu

$$L_{W_{obl}} = K_f + L_{sp}, \quad (7)$$

kde je

K_f [dB] korekce vyjadřující tvar spektra v závislosti na podobnostním čísle Sh ,

L_{sp} [dB] specifická hladina akustického výkonu.

Specifickou hladinu akustického výkonu možno stanovit ze vztahu

$$L_{sp} = 50 \log w_c + 10 \log S, \quad (8)$$

kde je

w_c [m/s] rychlost proudění vzduchu v zúženém průřezu vlivem odtržení proudnic,

S [m²] průřez potrubí.

Rychlost proudění vzduchu v zúženém průřezu za obloukem vlivem odtržení proudnic w_c se určí ze vzorce ve kterém je respektován součinitel místní tlakové ztráty oblouku ξ [-]

$$w_c = \frac{V}{S} (\xi + 1), \quad (9)$$

kde je

V [m³/s] průtok vzduchu,

S [m²] průřez potrubí,

ξ [-] součinitel místní tlakové ztráty oblouku.

Spektrální složení souvisí s hodnotou Strouhalova čísla.

$$K_f = 10 \log f_m - 13,5 - 7,69 (\log Sh)^{2,5}, \quad (10)$$

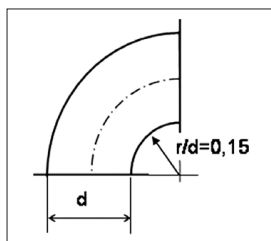
kde je f_m [Hz] střední kmitočet v oktávním pásmu,

Sh [-] Strouhalovo podobnostní číslo pro charakteristický rozměr oblouku podle obr. 8.

$$Sh = \frac{f_m d}{w_c}, \quad (11)$$

kde je d [m] šířka oblouku podle schématu na obr. 8.

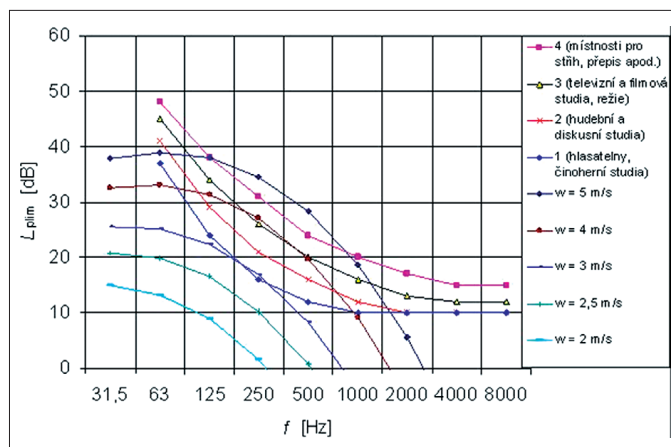
Za předpokladu, že by bylo potrubí zakončeno obloukem a jeho aerodynamický hluk by byl přímo vyzařován do chráněného prostoru, lze podobně za stejných podmínek, jak bylo na příkladu uvedeno pro potrubí, ukázat v grafu na obr. 9 problém s dodržением náročných hlukových limitů.



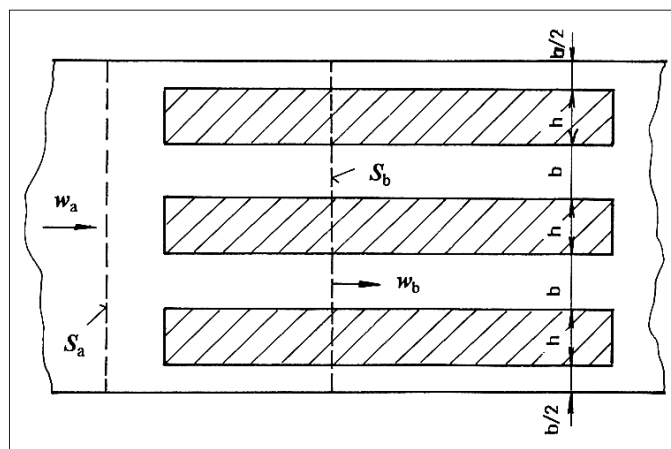
Obr. 8 Schéma oblouku

2.5 Hluk tlumičů hluku

Pokud si název tohoto odstavce přečte laik, tak pravděpodobně bude pochybovat o zdravém rozumu autora. Bohužel je tomu tak, že tlumiče hluku používané ve vzduchotechnických rozvodech za účelem potlačení hluku, který se šíří potrubím od zdroje k posluchači, sice vykazují útlum hluku, který dopadá na vstupní průřez tlumiče, ale vlivem proudění vzduchu, podobně jako v hladkém potrubí, dochází ke generaci aerodynamického hluku vlivem turbulence proudícího vzduchu. Oproti hladkému potrubí dochází v absorpčních tlumičích navíc k obtékání tlumicího tělesa, což zvyšuje nežádoucí generaci hluku. Kulisový tlumič hluku je z hlediska aerodyna-



Obr. 9 Překročení hlukových limitů prouděním vzduchu v oblouku o průřezu $S = 0,2 \text{ m}^2$ a $d = 0,25 \text{ m}$



Obr. 10 Schéma kulisového tlumiče

mických poměrů místem náhlého zúžení (vtok) a náhlého rozšíření (výtok z tlumiče), což samo o sobě vede k hydraulickým ztrátám. Tato místa jsou však také zdroji hluku, neboť tak dochází k místnímu zvýšení průměrné rychlosti proudění vzduchu a k výraznému zvýšení turbulence.

To se navenek projeví tím, že za tlumičem nemůže být nižší hladina akustického výkonu, než vytváří samotný tlumič. Pro běžné kulisové tlumiče, jejichž schématický náčrt je na obr.10, lze stanovit podle již publikovaných údajů, celkovou hladinu akustického výkonu aerodynamického hluku ze vztahu

$$L_w = 50 \log \left(\frac{b+h}{b} w_a \right) + 10 \log S_a - 3, \quad (12)$$

kde je

b [m] šířka mezery mezi kulisami,

h [m] tloušťka kulisy,

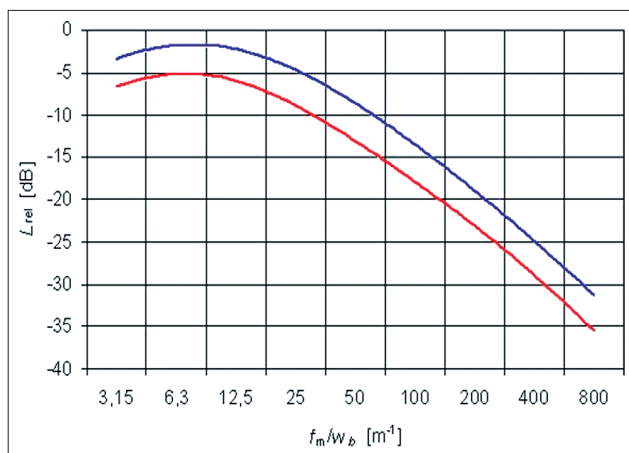
S_a [m²] průřez tlumiče na vstupu,

w_a [m/s] rychlost v průřezu S_a (před kulisami).

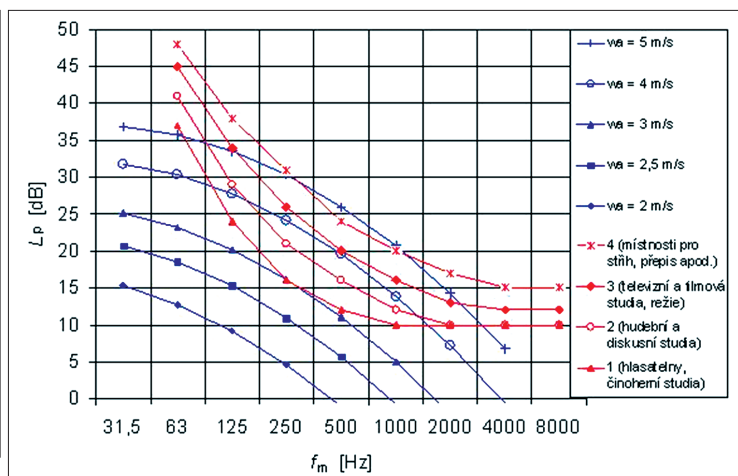
Spektrum hladiny akustického výkonu je možno opět určit podle vztahu (5), přičemž relativní spektrum kulisových tlumičů leží v pásmu, které je dáno diagramem na obr.11.

Pásmo mezi červenou a modrou křivkou odpovídá rozptylu experimentálně získaných dat.

Pokud by byl tlumič zároveň koncovým elementem, lze pro standardní místnost s útlumem hluku v prostoru $\Delta L = 5 \text{ dB}$ (pole odražených vln) porovnat limitní hodnoty hluku uvedené v tab. 1 s hlukem, generovaným kuli-



Obr. 11 Relativní spektrum hluku kulisového tlumiče


Obr. 12 Příklad překročení hlukových limitů kulisových tlumičů při různých rychlostech proudění vzduchu w_a

sovým tlumičem hluku, jehož kulisy mají tloušťku $h = 100$ mm a mezeru mezi kulisami $b = 100$ mm, viz obr. 12.

2.6 Hlučnost koncových elementů

Pro zajištění kvalitní distribuce vzduchu mají velký význam příváděcí i odváděcí výústky. Hlavním parametrem výústek pro přívod je pro většinu projektantů dosah a rovnoměrnost rychlostního pole v pásnu pobytu osob. Až jako druhořadý krok kontrolují obvykle jejich hlukové parametry. V případě prostor, u nichž je požadována extrémně nízká hlučnost (viz tab. 1) je nezbytné volit a navrhovat koncové elementy v první řadě podle jejich spektra hladiny akustického výkonu. Již vzniklý aerodynamický hluk koncového elementu nelze dodatečným opatřením, tj. aplikací tlumiče, potlačit.

Z aerodynamického hlediska se jedná v podstatě o obtékání lopatkových mříží, průtok vzduchu různě perforovanými otvory resp. tryskami. Ve většině případů se jedná o turbulentní proudění vzduchu, z čehož vyplývá generace nežádoucích zvukových signálů.

Příváděcí výústky se vyznačují různou konstrukcí lopatek a mříží, které jsou vkládány do jmenovitého průřezu větracího otvoru. Je proto složité zapracovat do výpočetních vztahů různé tvarové úpravy. Podle toho, jak je výústka aerodynamicky vyřešena, vykazuje větší nebo menší tlakovou ztrátu při průtoku vzduchu. S ohledem na tento parametr lze hlukovým vyhodnocováním výústek různých výrobců získat výpočetní vztah, kterým se určí celková hladina akustického výkonu v [dB]

$$L_w = 60 \log w + 30 \log \xi + 10 \log S + 10, \quad (13)$$

kde je

w [m/s] rychlost proudění vzduchu ve jmenovitém průřezu výústky,
 S [m²] jmenovitý průřez výústky,
 ξ [-] součinitel místní tlakové ztráty výústky.

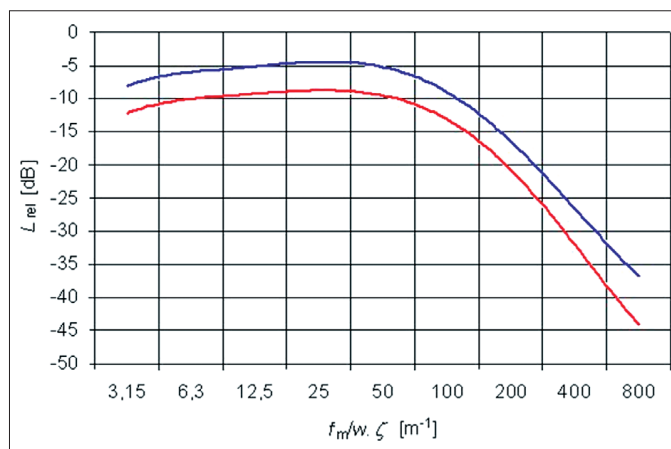
Součinitele místní tlakové ztráty lze určit při známosti tlakové ztráty výústky ze vztahu

$$\xi = \frac{2\Delta p}{\rho w^2}, \quad (14)$$

kde je

Δp [Pa] tlaková ztráta koncového elementu,
 ρ [kg/m³] hustota vzduchu.

Hladinu akustického výkonu v oktačovém pásnu možno stanovit z již citovaného vztahu (5), přičemž relativní hladina se odečte z diagramu na obr. 13 [2].



Obr. 13 Relativní spektrum hladiny akustického výkonu výústek [2]

Projektanti si velice často zjednodušují návrh přívodu vzduchu větším počtem výústek, aniž by potrubí navrhovali tak, aby před každou výústkou byl stejný statický přetlak vzduchu. Naopak počítají, že změnou nastavení regulačních klapek ve výústkách si zajistí požadovaný průtok vzduchu. To je ale zcela nepřipustné při přívodu vzduchu do akusticky náročných místností. Pokud by byla kladena otázka, které koncové elementy jsou nejméně hlučné, došlo by se k tryskám, které vykazují minimální hydraulické ztráty. Součinitel místní tlakové ztráty trysky se blíží hodnotě $\xi = 1$.

3. ZÁVĚR

Problematika návrhu klimatizačního zařízení pro akusticky náročné prostory je mnohem širší než je v tomto článku uvedeno. Nezanedbatelný vliv má na konečný výsledek i akustika vlastní klimatizované místnosti. Jak z tab. 1 vyplývá, norma ČSN 73 0526 „Akustika–Projektování v oboru prostorové akustiky“ se zabývá šířením zvuku pouze v rozsahu oktafových kmitočtových pásem 63 až 8000 Hz.

Zdroje hluku, jako jsou ventilátory a shora vyjmenované zdroje aerodynamického hluku generují akustickou energii i v 1/3 oktafových kmitočtových pásmech 20, 25, 31,5 a 40. Pro tato kmitočtová pásma neurčuje zmíněná norma hlukové limity. Pokud se však v nich objeví výrazné složky, bude hluková situace kritizována z hlediska vysoké hladiny akustického tlaku A. Pokud by se limitní hodnoty hladiny akustického tlaku obsažené v tab. 1 uvažovaly jako hladiny odpovídající spektru hluku, tak by pro jednotlivé

druhy místností vyšly limitní hodnoty hladiny akustického tlaku A uvedené v tab. 2.

Tab. 2 Hladiny akustického tlaku A odpovídající limitním hodnotám hladin akustického tlaku v oktaóvových pásmech podle ČSN 73 0526

f (Hz)	L_{pA}
1 (hlasatelný, činoherní studia)	18,7
2 (hudební a diskusní studia)	21,3
3 (televizní a filmová studia, režie)	25,3
4 (místnosti pro stříh, přepis apod.)	29,2

Z pohledu pozorovatele v chráněné místnosti se jeví jako zdroje hluku od VZT koncové elementy. Z toho vyplývá, že umístění výustek přívaděčích i odváděcích má zásadní význam. Pokud budou výustky umístěny v dolních partiích obvodového pláště místnosti, tak se stane, že kontrolní místa budou v poli přímých vln.

Tento případ je mnohem náročnější na ztlumení zdrojů hluku (který vychází z výustek) než řešení, kdy jsou výustky integrovány do stropu nebo stěn ve větších výškách. Ve druhém případě se dá očekávat, že kontrolní místa budou v poli odražených vln, které dává větší útlumy hluku.

Závěrem nutno konstatovat, že při návrhu klimatizačních zařízení pro studia a režie, obecně pro akusticky náročné prostory, musí být hlukové limity základním parametrem při práci projektanta.

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

Použité zdroje:

- [1] Nový R., Hluk a chvění, Vydavatelství ČVUT Praha 2009, ISBN 978-80-01-04347-9
- [2] Lips W., Lärmbekämpfung in der Haustechnik, Technische Akademie Esslingen, Expert Verlag 2001, ISBN 3-8169-2022-5
- [3] Brockmeyer H., Akustik für den Lüftungs- und Klimatechniker, Verlag C. F. Müller 1971, ISBN 3-7880-7029-3
- [4] Reynolds D., Bledsoe M., Algorithms for HVAC Acoustics, ASHRAE 1991, ISBN 0910110-75-1
- [5] ČSN 73 0526 „Akustika–Projektování v oboru prostorové akustiky“.

Ledová koule klimatizuje univerzitu v Salt Lake City

Podle patentovaného vynálezu prof. Kenta S. Udella z University of Utah v Salt Lake City byl v zimě 2011 spuštěn pilotní projekt sezónního zásobníku chladu v podzemní ledové kouli, která v létě klimatizuje budovu. Chladivo neničící ozónovou vrstvu země, zchlazené zimním chladem se vhání systémem 19 plastových trubek do hloubky asi 15 m v podzemí, kde zmrazí vodu a zeminu na teplotu $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ do ledové koule o průměru asi 10,5 m. V teplejším období se chladivo o teplotě max. $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ čerpá na povrch a slouží ke klimatizaci budovy. Proces běží, dokud se chladicí kapacita ledové koule nevyčerpá, příp. dokud potřeba klimatizace trvá a má ekonomický smysl. Klimatizace nevyžaduje externí primární energii; pohon čerpadel obstarává energie ze slunečního PV zdroje. Na univerzitě v Karlsruhe spočítali s použitím zvolených předpokladů, že teoretická chladicí práce koule objemu 1300 m^3 je 141 GJ , která při denní potřebě $1,8\text{ GJ}$ (plocha 1000 m^2 , chladicí výkon $50\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, doba chlazení 10 h denně) vystačí ke klimatizaci po dobu 78 dnů. Při nákladech projektu ca. $20\,000\text{ USD}$ vychází amortizace na 10 let.

Pramen: CCI 3/2011

(AB)

Máme rádi čerstvý vzduch.
Nejvíce, když jej můžeme regulovat.

TopVent®

Nejvyšší komfort s minimální spotřebou energie

Hoval

Správné klima je rozhodující pro naše pocity. Proto vyvíjíme technicky vylepšené systémy klimatizace hal, které zajišťují příjemné klima vždy tam, kde jste: při nakupování v supermarketu, při práci v průmyslové hale nebo při tréninku ve sportovní hale. TopVent® cirkulační a přívodní jednotky pro vytápění a chlazení vysokých hal jsou vybaveny regulovatelnou výustkou a ventilátorem šetřícím energii. Vířivou výustkou je vzduch rozdělován do haly bez průvanu, teplotní vrstvení vzduchu je odstraněno a spotřeba energie minimální. Můžete se tak cítit opravdu dobře i tam, kde počasí ukazuje svoji moc, například v Alpách.

