

Ing. Miroslav KUČERA, Ph.D.
 Doc. Ing. Richard NOVÝ, CSc.
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí

Hluk regulačních klapek



Ústav techniky prostředí

Noise of circular control damper

Recenzent
 Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Autoři se zabývají hlukem klapek kruhového průřezu, který ověřovali experimentálně. Současně dávají podklady pro porovnání převzaté z publikace ASHRAE, která se zabývá hlukem klapek obdélníkového průřezu. V závěru prezentují postup jak dát do souvislosti tlakovou ztrátu klapy a spektrum generovaného aerodynamického hluku.

Klíčová slova: klapy, hluk, tlaková ztráta

Authors deal with noise circular control damper which was attested experimentally. At the same time there is allowed groundwork adopted from ASHRAE covering witj noise of oblong control damper. At the close they present method to také connection between pressure losses of control damper and generated aerodynamic soud pressure level.

Key words: control damper, noise, pressure loss

1. ÚVOD

Ve vzduchotechnických zařízeních je velice často používána regulace průtoku vzduchu potrubí klapkami, jejichž list má tvar průřezu potrubí. Průtok vzduchu před klapky je doprovázen zvýšeným hlukem aerodynamického původu.

Konstrukce klapek používaných ve vzduchotechnice bývá ta nejjednodušší možná. Do potrubí je zasazena osička, na které je upevněn list z tenkého plechu obvykle o rozměru odpovídajícím průřezu potrubí. Jedná se o jednoduchý regulační orgán pracující na principu vytváření místní tlakové ztráty v potrubní síti. Principem regulace průtoku je tzv. škrcení, které ve formě místní tlakové ztráty zvyšuje celkovou tlakovou ztrátu potrubí. Je zřejmé, že tato regulace zvyšuje energetické ztráty. Bohužel je stále využívána zejména při zareglování jednotlivých odboček z hlavní potrubní trasy.

Doprovodným nežádoucím jevem je vznik aerodynamického hluku. V posledních letech se rozmáhá používání regulátorů průtoků, které pracují na principu klapky. O hluku klapek není v technické literatuře mnoho údajů. Výjimkou jsou materiály ASHRAE [1], kde je možné nalézt informace o hlučnosti klapek obdélníkového průřezu. Použití doporučených vztahů má svá úskalí a to zejména v použití angloamerické měrové soustavy jednotek. Tento článek se pokouší přiblížit výpočet při použití SI soustavy jednotek.

2. HLUK KLAPEK OBDELNÍKOVÉHO PRŮŘEZU

Hluk klapek souvisí s dvěma efekty proudění vzduchu potrubím. Jedná se v naprosté většině případů o proudění turbulentní, které je samo o sobě příčinou vzniku aerodynamického hluku.

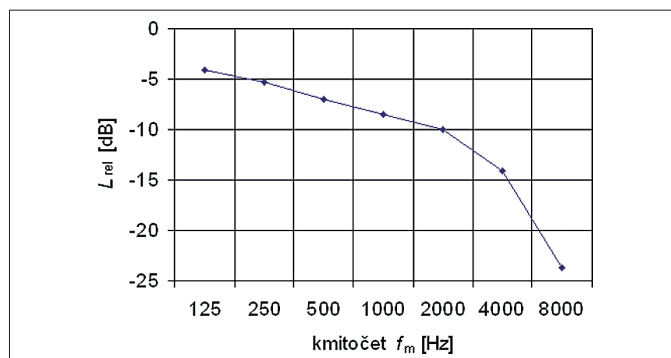
Pro proudění vzduchotechnickým potrubím je možno stanovit hluk uvnitř kanálu ze znalosti průřezu potrubí a rychlosti proudění. Celkovou hladinu akustického výkonu L_W [dB] v přímém potrubí vznikající v důsledku turbulentního proudění vzduchu možno vyjádřit vztahem

$$L_W = 50 \cdot \log(w) + 10 \cdot \log(S) + 10 \quad (1)$$

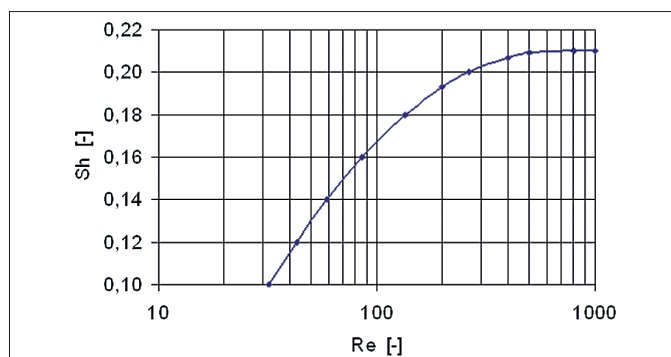
kde je

w [m/s] rychlost proudění vzduchu,
 S [m²] průřez potrubí.

Pokud je třeba stanovit spektrum hladiny akustického výkonu, lze použít zápis pro hladinu akustického výkonu v oktaóvém pásmu L_{Woct} [dB]



Obr. 1 Relativní spektrum hluku v potrubí



Obr. 2 Závislost Strouhalova čísla na hodnotě Reynoldsova čísla pro případ obtékání válce

$$L_{Woct} = L_W + L_{rel} \quad (2)$$

kde je

L_{rel} [dB] relativní hladina, kterou lze odečíst z diagramu (na obr. 1).

Hluk klapek je ovlivněn i druhým případem generace aerodynamického hluku. Jedná se o vznik hluku vlivem obtékání těles, za nimiž se vytváří nestabilní vírové pole, které je základní příčinou vyzařování hluku. Klasickým případem je obtékání válce, při němž vznikají diskrétní složky zvuku. Za obtékáním válce se v pravidelném rytmu utrhávají víry, které vytvářejí tzv. Kármánovu vírovou cestu. Vyzařovaný akustický výkon je funkcí 6. mocniny rychlosti proudění vzduchu (měřeno před válce). Pro obtékání válce platí podobnostní Strouhalovo číslo

$$Sh = \frac{f_m \cdot D}{w} \quad (3)$$

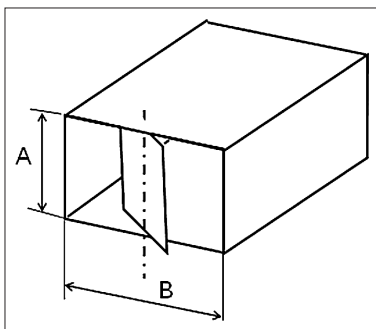
kde je

f_m [Hz] kmitočet,

D [m] průměr válce,
 w [m/s] náběhová rychlost proudění vzduchu.

Hodnota Strouhalova čísla závisí na velikosti Reynoldsova čísla, jak je dokumentováno na diagramu (v obr. 2).

Při obtékání listu klapky, který je uvnitř potrubí se oba diskutované jevy objeví současně. Tzn. že hluk klapky bude větší než hluk volného proudění potrubím. Podle ASHRAE [1] lze stanovit výpočet hluk generovaný čtyřhrannou klapkou (viz obr. 3), následujícím postupem.



Obr. 3 Schéma regulační klapky obdélníkového průřezu

Celkovou hladinu akustického výkonu v oktafóvém pásmu L_{Woct} možno určit z výrazu

$$L_{Woct} = K_D + 10 \log \left(\frac{f_m}{63} \right) + 50 \log(w_c) + 10 \log(S) + 10 \log(B) \quad (4)$$

kde je

f_m [Hz] střední kmitočet v oktafóvém pásmu,
 w_c [m/s] rychlost proudění vzduchu v zúženém průřezu klapky,
 S [m²] jmenovitý průřez klapky,
 B [m] šířka klapky měřená kolmo na osu otáčení listu klapky,
 K_D [dB] udává tvar spektra hluku.

Výpočet je založen na znalosti tlakové ztráty klapky, ze které se stanoví ztrátový součinitel.

Nejprve je třeba stanovit požadovanou tlakovou ztrátu klapky Δp [Pa]. Z této hodnoty se stanoví součinitel tlakové ztráty ξ [-] podle vzorce

$$\xi = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot S^2}{V^2 \rho} \quad (5)$$

Rychlost proudění v zúženém průřezu klapky se určí ze vztahu

$$w_c = \frac{V}{S \cdot K_c} \quad (6)$$

kde hodnota K_c je pomocnou veličinou závisící na součiniteli tlakové ztráty ξ podle výrazu

$$K_c = \frac{1}{(\sqrt{\xi} + 1)} \text{ pro případ, že } \xi < 4 \quad (7)$$

Pokud je koeficient $\xi > 4$, možno uplatnit rovnici

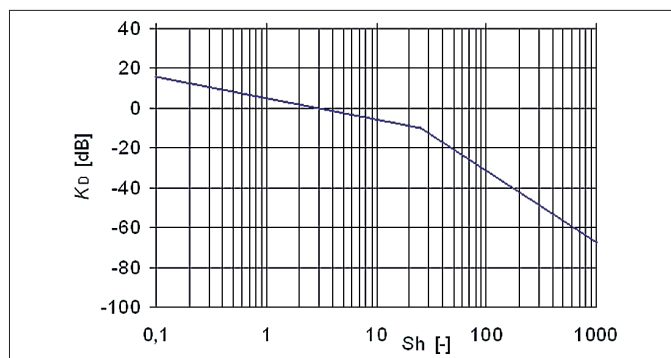
$$K_c = 0,68 \cdot \xi^{0,15} - 0,22 \quad (8)$$

Pro určení spektra hluku je třeba určit hodnotu Strouhalova čísla, které je pro tento případ definováno vztahem

$$Sh = \frac{f_m \cdot B}{w_c} \quad (9)$$

Tvar spektra lze odečíst z diagramu (na obr. 4) v závislosti na hodnotě Strouhalova čísla.

Početně lze hodnotu K_D určit z následujících vztahů.



Obr. 4 Součinitel K_D zahrnující tvar spektra v závislosti na Strouhalově čísle

$$\text{Pro } Sh < 25 \quad K_D = 5,04 - 10,7 \cdot \log(Sh) \quad (10)$$

$$\text{Pro } Sh > 25 \quad K_D = 40,26 - 35,9 \cdot \log(Sh) \quad (11)$$

3. Klapky kruhového průřezu

Z hlediska teorie není v současné době k dispozici ucelený soubor informací popisující vznik a generaci akustické energie pro malé rychlosti proudění. Existuje pouze teorie popisující některé dílčí děje vstupující do problému. Tyto teorie platí v mnoha případech jen pro určité okrajové podmínky, které se ne vždy shodují s naším řešeným případem.

Nutno konstatovat, že se nepodařilo najít informační zdroj zabývající se popisem stanovení akustického výkonu, resp. spektrální hladiny akustického výkonu kruhové klapky.

Výrobci vzduchotechnických elementů v projekčních podkladech uvádí experimentálně zjištěné hodnoty hladin akustického výkonu jimi vyráběných vzduchotechnických klapek. Vždy jsou to údaje, které se vztahují na ten konkrétní výrobek a postrádají tak obecnější platnost. Z toho plyne snaha o hledání obecných pravidel, která by umožnila předpovědět, jak se bude z hlediska hlukového daný regulační prvek v potrubní síti projevoval, či jak tento nepříznivý vliv v co nejvyšší míře bude možné snížit.

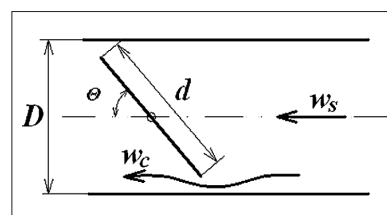
To je také důvodem, proč byla na tuto problematiku zaměřena pozornost v rámci řešení dílčího úkolu Výzkumného záměru VZ MSM 6840770011, tedy na problematiku stanovení akustické energie generované kruhovou klapkou.

3.1 Experimentální ověření

Stanovení akustických vlastností vzduchotechnických klapek je vícerozměrný problém, který je teoreticky obtížně řešitelný s ohledem na neznalosti všech okrajových podmínek. Proto bylo zvoleno teoreticko-experimentální řešení. Na základě dosud známých informací byla navržena experimentální trať, na které bylo modelováno obtékání listu klapky při základních změnách parametrů proudícího vzduchu.

Hlavní část experimentální práce spočívala v kontrole hluku generovaného klapkou kruhového průřezu, vložené do potrubí s různým geometrickým řešením regulačního listu. Základním případem byla klapka s plným regulačním listem a rozměrem shodným s rozměrem potrubí.

Měřená klapka byla konstrukčně řešena jako jednolistá (viz obr. 5). List klapky má vnější průměr 0,175 m a tloušťku 2 mm.



Obr. 5 Konstrukční schéma jednolisté klapky

Důležitou informací o hlučnosti daného zařízení je jeho spektrální závislost hladin akustického výkonu na frekvenci. Akustický výkon či hladina akustického výkonu je veličina, kterou není možné přímo měřit. Je tedy nutné ji stanovit výpočtem z naměřené hladiny akustického tlaku v určité vzdálenosti na měřicí ploše kulového tvaru (viz schéma měření na obr. 6).

Podmínky měření byly navrženy v souladu s normou řady ČSN ISO 3740. Jednalo se o měření v poli přímých vln. Měřicí plocha S [m²] byla zvolena kulového tvaru s měřicí vzdáleností $r = 1$ m. Provedené experimenty byly realizovány v bezdovukové komoře Ústavu techniky prostředí.

Měřena byla hladina akustického tlaku ve čtyřech bodech s ohledem na 4-kanálovou soupravu PULSE od firmy Brüel a Kjaer. Zvláštním měřením byla ověřována směrovost zdroje. Bylo prokázáno, že hodnoty hladiny akustického tlaku na měřicí ploše odpovídají měřeným hodnotám ve čtyřech bodech.

Spektrum hladiny akustického výkonu má významný vliv při analýze výskytu diskretních tónových složek, které jsou příčinou uplatnění přísnějších hlukových limitů. Ve frekvenčním průběhu je možné hledat příčiny vzniku hluku, případně určit zdroje, které tento jev způsobují. Tento soubor dat je však při srovnání s jinými typy zdrojů méně výhodný a proto je spektrum přepočítáváno na celkové hladiny akustického výkonu užitím definičních vztahů. Celková hladina akustického výkonu dává jednočíslnou formou představu o celkové akustické energii emitované zdrojem.

3.2 Celkové hladiny akustického výkonu klapky

Z naměřených hladin akustického tlaku v 1/3 oktaóvových pásmech byla stanovena průměrná hodnota hladiny akustického tlaku L_{pm} [dB] na měřicí ploše podle vztahu

$$L_{pm} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{pi}} \right) \quad (12)$$

Hledaná hladina akustického výkonu byla následně určena ze vztahu

$$L_w = L_{pm} + 10 \cdot \log(S) \quad (13)$$

kde

S [m²] je velikost měřicí plochy.

Při vyhodnocení naměřených dat vznikl na základě regresní analýzy výpočtový vztah, obecně použitelný pro libovolné vstupní parametry. Vyjadřují závislost celkové hladiny akustického výkonu kruhové klapky na Reynoldsově čísle při zvoleném úhlu natočení regulačního listu

$$L_{wc} = K_1 \cdot \log(Re) + 10 \log(S_p) + K_2 \quad (14)$$

kde jsou

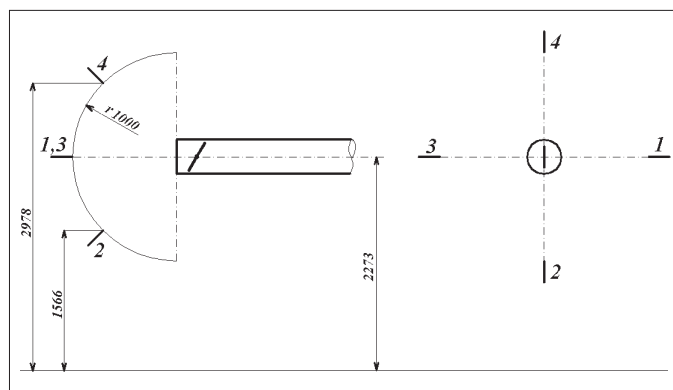
K_1, K_2 [dB] konstanty zohledňující úhel natočení klapky,

Re [-] Reynoldsovo číslo,

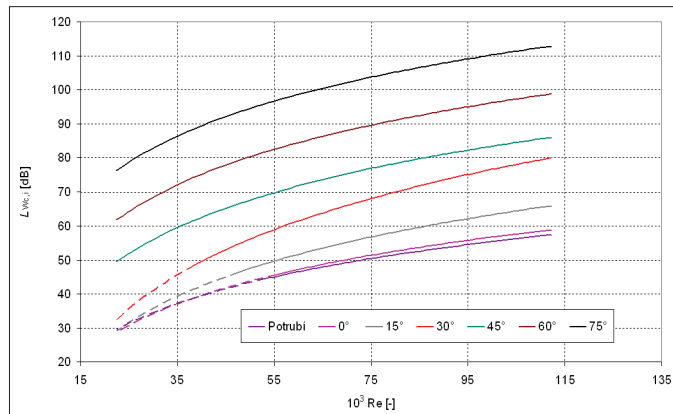
S_p [m²] průřez potrubí.

Vztah byl sestaven pro střední rychlost proudění vzduchu w_s v potrubí před klapkou, ve výpočtovém vztahu reprezentovanou Reynoldsovým číslem. Vliv úhlu natočení klapky zohledňují konstanty K_1 a K_2 , které jsou pro jednotlivé úhly natočení klapky uvedeny v tab.1.

Těsnost vzájemné vazby mezi naměřenými daty a matematickou náhradou popsanou výše uvedeným vztahem (14) vyjadřuje rozptyl R^2 , jehož hodnoty jsou též uvedeny ve stejné tabulce. Pro geometricky podobné klapky je vztah rozšířen o vliv rozměru vyjádřený plochou průřezu potrubí S_p .



Obr. 6 Schéma umístění mikrofonů pozice 1 až 4(označují jednotlivé mikrofony)



Obr. 7 Celkové hladiny akustického výkonu kruhové klapky v závislosti na Re při různých úhlech natočení klapky s uplatněním regrese

Tab. 1 Konstanty určující průběh celkové hladiny akustického výkonu klapky pro různé úhly nastavení klapky

θ [°]	K_1 [-]	K_2 [-]	R^2 [-]
0	43	-142,7	0,9809
15	53	-183,6	0,9802
30	68	-245,9	0,9955
45	52	-161,4	0,9936
60	53	-152,1	0,9964
75	52	-135,9	0,9835

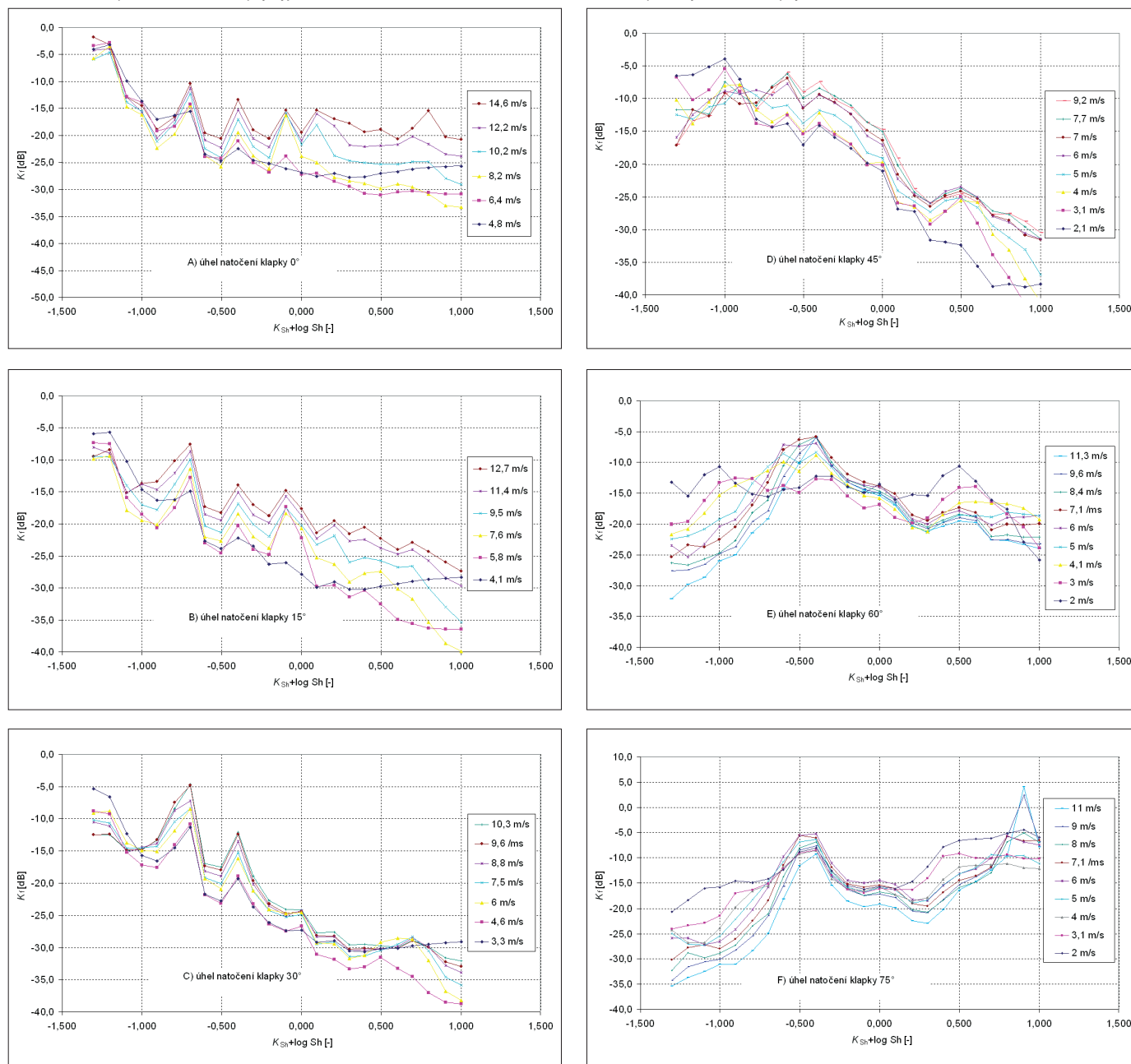
Získané výsledky celkových hladin akustického výkonu kruhové klapky jsou grafickou formou prezentovány (v obr. 7), které je možno číselně alternativně vyjádřit matematickou funkcí (14).

Čárkovaná křivka naznačuje kvalifikovaný odhad průběhu L_{wc} na Re v případech, kdy nebylo z objektivních příčin možno výsledné hladiny stanovit nebo naměřit. Odhad je dán funkční závislostí pro daný úhel natočení listu.

Pro zobecnění spektrální závislosti hladin akustického výkonu je používáno Strouhalovo bezrozměrné podobnostní číslo. Přední odborná literatura preferuje vyjádření spektra hladin akustického výkonu korekcí, respektující tvar spektra K_f . Výsledné spektrum hladiny akustického výkonu je možné při znalosti korekce K_f pro jednotlivá 1/3 oktaóvová kmitočtová pásma popsat vztahem

$$L_{wi} = L_{wc} + K_{f,i} \quad (15)$$

Pro jednotlivé měřené úhly natočení klapky byla korekce K_f zohledňující tvar spektra vyjádřena v závislosti na bezrozměrném parametru ($K_{Sh} + \log Sh$).

Obr. 8 Relativní spektrum kruhové klapky vyjádřené koeficientem K_t v závislosti na Strouhalově čísle pro úhly natočení klapky 0 až 75 °


Tato úprava dat je provedena proto, aby bylo možno vzájemně srovnávat jednotlivé průběhy spektra, které by v závislosti na parametru Sh byly vzájemně posunuty. Vynesení korekce K_t na bezrozměrné Strouhalově čísle umožňuje přepočet pro libovolný rozměr klapky a rychlost proudění vzduchu. Do Strouhalova čísla je nutné dosadit rychlost v zúženém průřezu klapky. K tomu je výhodné použít modifikovaný vztah, používaný v podkladech ASHRAE 1/1

$$w_{c,i} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{ki}}{\rho}} + w_{s,i} \quad (16)$$

Zde Δp_{ki} představuje tlakovou ztrátu klapky a $w_{s,i}$ střední rychlost v potrubí před klapkou. Tímto postupem je možno stanovit spektrum hladiny akustického výkonu kruhové klapky pro libovolné rozměry klapky a parametry proudění. V následujících diagramech v obr. 8 A) až F) jsou v grafické podobě prezentována relativní spektra hladin akustického výkonu kruhové klapky pro jednotlivé úhly natočení regulačního listu.

4. ZÁVĚR

Z předložených skutečností je možno učinit tyto závěry:

- Při plném otevření těsné klapky je akustický výkon generovaný regulačním listem zdrojem tónových složek. Je proto nevhodné osazovat klapku do potrubí v případě, že by měla být při provozu nastavena na otevřenou polohu a neplnila svou funkci.
- Nenavrhovat klapku tak, aby pracovala při provozu v rozsahu úhlů blízkých 75 ° a větších až do 90 °. Výrazná kontrakce proudu zvyšuje rychlost v zúženém průřezu klapky a tím zvýšený výskyt výrazných tónových složek. Při úhlech natočení klapky téměř před uzavřením je příčina generace akustické energie dána vyzařováním akustické energie extrémně malými otvory (štěrbínami).

Výsledky výzkumu hluku klapky kruhového průřezu doplňují informace prezentované v publikacích ASHRAE pro klapky obdélníkového průřezu.

Hlučnost klapek úzce souvisí s možností jejich využití jako regulačního orgánu. Nevhodný průběh součinitele místní tlakové ztráty klapky, kdy klapka začíná regulovat až při úhlech natočení větších než 45°, což je oblast, kde výrazně narůstá její hlučnost, vyvolává myšlenku na změnu konstrukce klapky tak, aby se jednak zlepšila její regulační charakteristika při současném snížení hlučnosti.

V tomto směru pokračují výzkumné práce zabývající se optimalizací navrhovaných klapky.

Kontakt na autory: Richard.Novy@fs.cvut.cz, Miroslav.Kucera@fs.cvut.cz

Prezentované práce byly vypracovány v rámci plnění výzkumného záměru VZ MSM 6840770011.

Použité zdroje:

- [1] Reynolds D.D., Bledsoe J.M., Algorithms for HVAC Acoustics, ASHRAE 1991, ISBN 0-910110-75-1
- [2] Kučera, M., Aerodynamické zdroje hluku při nízkých Machových číslech [Diplomová práce]. Praha, 2010. 167 s. ČVUT v Praze. Fakulta strojní
- [3] Nový R., Hluk a chvění, Vydavatelství ČVUT Praha, 2005, ISBN 978-80-01-04347-9

*Švýcarský vědec získal Balzanovu cenu v oboru solárních článků

Švýcarský vědec Michael Grätzel, profesor švýcarského federálního institutu v Lausanne obdržel 7. září mezinárodní Balzanovu cenu, která je dotována milionem franků.

Grätzel vyvinul od roku 1990 solární článek, který pracuje s organickým barvivem. Nanočástice jsou stonásobně poskládané z polovodičového kyslíčnicku titanu a propojeny s barvivem. Barvivo absorbuje světlo podobně jako chlorofyl v rostlinách a elektrony mohou být dále dopravovány pomocí nanočástic.

Grätzelovy články, které byly pojmenovány po svém objeviteli, byly mezitím solárním výrobním podnikem Konarka z Massachusetts vyráběny v malých sériích (1 MW fotovoltaické kapacity ročně). Než si budeme moci Grätzelovy články koupit, ještě pár let uběhne.

Výrobní náklady Grätzelových článků jsou 4 až 5x menší než v tradiční fotovoltaické technice, která používá surový křemík a vyrábí kysličník křemíku. Kysličník titanu podle Grätzela již v přírodě existuje. Také lze barvivo v relativně jednoduchém výrobním procesu vložit mezi dvě skleněné desky. Články mohou být vyrobeny tak, že vypadají jako barevné sklo. Nechájí se použít pro okna vyrábějící elektřinu, pro světlíky nebo fasády. Protože barevná látka je tekutá, je opravdu těžké utěsnit články tak, aby tekutina během let neunikla.

Konvenční solární články, které jsou na bázi křemíku, mají přibližně dvakrát větší energetickou účinnost. Grätzelovy články mohou jímát světlo ale dříve ráno a později večer. Nemá na ně vliv teplota. Mohou pracovat jak při 65 °C tak při 25 °C. Křemík má při změnách teploty nejméně 20% ztráty. Křemík má o 20 až 30 procent vyšší energetickou účinnost. Když se např. nahradí normální sklo, sklem s Grätzelovými články, získáme následující výhody: Sklo musíme tak, jako tak zaplatit mimo to se nechají články umístit na ohebné folie, cely nebo části oděvu.

Zdroj CCI, 2009

(Fisch)

...něco je ve vzduchu



Na veletrhu „AQUA-THERM 2010“ výrobek získal Čestné uznání za nejlepší exponát.



EHR 275 Ekonovent

REKUPERAČNÍ JEDNOTKA

Účinnost až 95 %, jednoduchá montáž

- stejnosměrné EC motory s nízkou spotřebou
- nový typ mikroprocesorové bezdrátové regulace
- funkce zvýšeného provětrávání
- protiproudý rekuperační výměník
- automatický by-pass
- vysoká účinnost
- trvalý provoz

Nástěnná jednotka je určena pro řízení větrání bytů a rodinných domů. Díky své kompaktnosti se vyznačuje snadnou montáží, velmi jednoduchou obsluhou, tichým provozem a vysokou spolehlivostí.