



RESEARCH OF FREE NON-ISOTHERMAL AIR-JET SHAPES

Eva JANOTKOVÁ, Milan PAVELEK*

Summary: *This article deals with the interferometric research of free non-isothermal jets from the ventilating outlets and the visualization of air-jets by means of a smoke. The interferometric research is carried out using Mach-Zehnder interferometer. From the interferogram it is possible to specify the length of the marginal zone, the expansion angle of the main zone and in strongly non-isothermal jets the jet bend too. The interferometric research has proved that from the interferograms of free lightly non-isothermal jets the constants of the ventilating outlets can be defined. The visualization of air-jets by means of the smoke gives the qualitative information of the jet shapes.*

1. ÚVOD

Proudění vzduchu v místnostech při větrání, klimatizaci nebo teplovzdušném vytápění je velmi složitý jev. O charakteru proudění vzduchu v místnostech rozhoduje především způsob přívodu vzduchu. Základním prvkem přívodu vzduchu do větraných místností je proud vzduchu, který vytéká z vyústky. Při větrání a klimatizaci jde zpravidla o tzv. mírně neizotermní proud s teplotou přiváděného vzduchu jen o málo odlišnou od teploty vzduchu v místnosti, zatímco při teplovzdušném vytápění jsou proudy silně neizotermní. V příspěvku jsou uvedeny výsledky interferometrického výzkumu neizotermních proudů ze vzduchotechnických vyústek a také výsledky vizualizace proudů vzduchu pomocí kouře.

2. PROUDY Z VYÚSTEK

Vytéká-li z vyústky vzduch do volného prostoru, vytváří se tzv. volný proud, který vlivem turbulence na okrajích strhává do proudu také okolní, původně klidný vzduch. S rostoucí vzdáleností od vyústky se množství proudícího vzduchu stále zvětšuje a současně se také zvětšuje průřez proudu a naopak se zmenšuje jeho rychlost. Je-li teplota přiváděného vzduchu stejná jako teplota vzduchu v okolí, vytváří se proud izotermní, který se šíří v prostoru přímočaře ve směru osy vyústky. V proudu rozlišujeme krajní oblast s menším úhlem rozšiřování, v níž zůstává osová rychlost proudu konstantní a rovna výtokové rychlosti z vyústky a hlavní oblast, v níž se osová rychlost postupně zmenšuje. Při izotermním proudění nepůsobí na vzduch žádné vnější síly a jeho hybnost ve směru proudu zůstává konstantní.

Při přívodu teplejšího nebo chladnějšího vzduchu do místnosti se vytváří proud neizotermní. O stupni neizotermičnosti proudu rozhoduje poměr sil vztakových k silám setrvačným, působících na částice vzduchu, který je vyjádřen Archimédovým číslem. Pro poměry ve vyústce je Archimédovo číslo definováno vztahem

* Doc. Ing. Eva Janotková, CSc., Doc. Ing. Milan Pavelek, CSc., Odbor termomechaniky a techniky prostředí, Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství VUT, Technická 2, 616 69 Brno, ČR; Tel.: +420 5 4114 3268, + 420 5 4114 3272; E-mail: janot@dt.fme.vutbr.cz, pavelek@dt.fme.vutbr.cz

$$Ar_o = \frac{g l_o (T_o - T_i)}{w_o^2 T_i}, \quad (1)$$

v němž g je tíhové zrychlení, l_o je charakteristický rozměr vyústky, w_o je rychlost proudu z vyústky, T_o je teplota vzduchu ve vyústí a T_i je teplota okolního vzduchu. Proudění jsou mírně neizotermní při $Ar_o \leq 0,001$ a značně neizotermní při $Ar_o > 0,01$. Nejvýraznějším účinkem vztakových sil je vertikální ohyb proudu. U mírně neizotermních proudů lze předpokládat, že obdobně jako proudění izotermní, se v prostoru šíří přímočaře a že jejich hybnost ve směru proudění zůstává konstantní.

V neizotermním proudě se mezi proudem a okolím sdílí nejen hybnost, ale i teplo. Spolu s poklesem rychlosti se vyrovnávají teploty. Bezrozměrné teplotní profily v hlavní oblasti proudu jsou s profily rychlostí vázány vztahem [1]

$$\frac{T_{x,y} - T_i}{T_x - T_i} = \left(\frac{w_{x,y}}{w_x} \right)^{Pr_T}, \quad (2)$$

kde $T_{x,y}$, $w_{x,y}$ je teplota a rychlost v místě x, y , T_x , w_x je teplota a rychlost v ose proudu ve vzdálenosti x od vyústky, T_i je teplota okolního vzduchu a Pr_T je turbulentní Prandtlovo číslo. Pro bezrozměrný rychlostní profil lze v hlavní oblasti kruhového proudu použít Schlichtingův vztah [1]

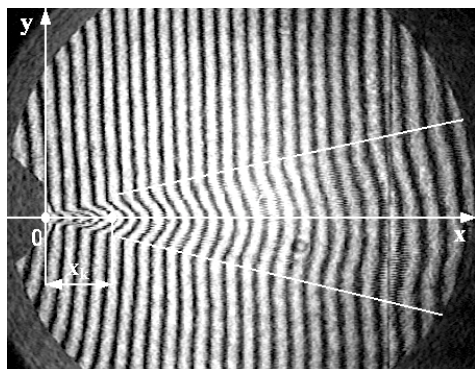
$$\frac{w_{x,y}}{w_x} = \left[1 - \left(\frac{y_x}{R_x} \right)^{1,5} \right]^2, \quad (3)$$

kde y_x je vzdálenost od osy proudu v příčném řezu vzdáleném o hodnotu x od vyústky a R_x je poloměr proudu v tomto řezu, tj. poloměr, na němž je rychlost nulová.

3. INTERFEROMETRICKÁ VIZUALIZACE PROUDŮ Z VYÚSTEK

K interferometrickému výzkumu neizotermních proudů z vyústek byl použit Machův-Zehnderův interferometr se zorným polem o průměru 200 mm [2]. Měření byla prováděna při seřízení interferometru na konečnou šířku interferenčních proužků s osnou proužků kolmou na směr proudění. Toto seřízení je velmi vhodné pro určování tvarů proudů, jelikož hranice proudů jsou dobře patrné, nachází se v místě, kde interferenční proužky se odcházejí od referenční (původní) osy proužků. Záznam interferogramů byl prováděn CCD kamerou připojenou k počítači. Vyústka byla umístěna do předmětového svazku Machova-Zehnderova interferometru tak, aby výstupní průřez vyústky byl s tímto svazkem paralelní. Současně se záznamem interferogramu se zaznamenávala teplota a objemový tok vytékajícího vzduchu a teplota a tlak vzduchu v okolí proudu.

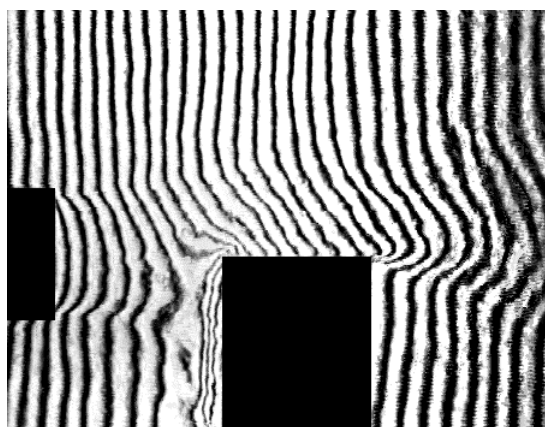
Interferogramy neizotermního proudu za vyústkou poskytují informace o rozložení teplot v proudu a na základě podobnosti teplotních a rychlostních polí, viz rovnice (2), také informace o rozložení rychlostí.



Obr. 1 Interferogram volného mírně neizotermního proudu ze štěrbinové vyústky s poměrem stran 37 : 1

Na obr. 1 je interferogram mírně neizotermního volného proudu ze štěrbinové vyústky. Z interferogramu jsou patrné hranice teplotního pole zviditelněného proudy, které se dle rovnice (2) shodují s hranicemi pole rychlostního a jsou navíc výraznější. Dále je z interferogramu patrná krajní oblast proudu o délce x_k a hlavní oblast s úhlem rozšíření $2\vartheta_i$.

Na obr. 2 jsou interferogramy mírně neizotermních horizontálních proudů z kruhových vyústek separovaných na překážkách ve tvaru kvádrů. Po dopadu vzduchového proudu z vyústky na překážku dojde na náběžné hraně k separaci proudu na dvě části. Směřuje-li osa proudu nad překážku (obr. 2a), šíří se po separaci proudu na náběžné hraně část proudu podél přední stěny překážky směrem dolů a druhá část proudu nejdříve podél horní stěny překážky a za odtokovou hranou se proud dále rozšiřuje. Směřuje-li osa proudu do překážky (obr. 2b), šíří se po separaci proudu na náběžné hraně část proudu podél přední stěny překážky směrem dolů a druhá část proudu od náběžné hrany šikmo vzhůru.

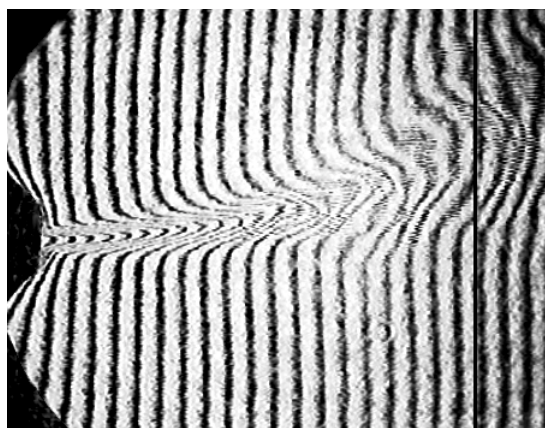


a)



b)

Obr. 2 Interferogramy mírně neizotermního proudu z kruhové vyústky o průměru 30 mm



Obr. 3 Interferogram volného silně neizotermního proudu ze štěrbinové vyústky s poměrem stran 37 : 1

Na obr. 3 je interferogram volného silně neizotermního proudu ze štěrbinové vyústky. Vzduch vytékající z vyústky je teplý a vlivem vztlačkových sil dochází k zakřivení osy proudu směrem vzhůru. Čím větší je teplotní diference mezi přiváděným a okolním vzduchem, tím je zakřivení osy proudu větší. Interferometrická vizualizace volných silně neizotermních proudů ukazuje, že proudy jsou velmi nestabilní.

Pro vyhodnocování interferometrických záznamů je používán vlastní software Interfer [3]. Tento software dokáže automaticky určovat polohy interferenčních proužků, což umožní efektivně stanovit např. hranice proudů. Hranice proudů je možné v daném software určovat také interaktivně a získaná data o tvaru proudů zaznamenat pro možnost jejich dalšího zpracování v programech Excel či Mathcad.

4. URČOVÁNÍ KONSTANT VYÚSTEK

Pro výpočty proudů šířících se z vyústek je nezbytné znát konstanty vyústek, které se stanovují pro každý typ vyústky experimentálně. Jedna z metod určování konstant vyústek vychází z úhlu rozšiřování proudů v hlavní oblasti volného proudy za vyústkou. Velmi efektivně lze určit úhel rozšiřování proudů a tím také konstantu vyústky z interferometrického zviditelnění volného mírně neizotermního proudy.

Pro konstantu vyústky K_s , vztaženou k počátečnímu průřezu proudy z vyústky lze dle lit. [4] odvodit vztah

$$K_s = \frac{C \beta_o^{0,5}}{\operatorname{tg} \vartheta_i} \sqrt{\frac{T_o}{T_i}}, \quad (4)$$

kde C je součinitel, který pro kruhový proud má hodnotu 1,54 a pro plochý proud hodnotu 1,005, β_o je opravný součinitel na hybnost ve vstupním průřezu vyústky, který při obdélníkovém rychlostním profilu ve výstupním průřezu má hodnotu $\beta_o = 1$, v jiných případech je $\beta_o = \xi^{0,5}$ (ξ je součinitel odporu vyústky). V rovnici (4) dále značí ϑ_i úhel rozšíření hlavní oblasti mírně neizotermního volného proudy, který určíme z interferogramu (viz obr. 1), T_o je teplota vytékajícího proudy a T_i je teplota vzduchu v okolí proudy.

5. VIZUALIZACE PROUDĚNÍ KOUŘEM

Zviditelnění proudů vzduchu u příváděcích a odsávacích vyústek pomocí kouře přináší velmi cenné kvalitativní informace o tvaru proudů, o jejich dosahu a také o jejich interakci s okolím. Tyto informace mohou současně sloužit i k upřesnění metodiky zkoumání vzduchových proudů jinými kvantitativními metodami.



Obr. 4 Zviditelnění lokálního odsávání kruhovým otvorem s přírubou

Na obr. 4 je příklad použití této vizualizace při výzkumu lokálního odsávání. Účelem lokálního odsávání je zachycení škodlivin co nejbližší místa jejich vzniku a tím omezení zátěže prostoru škodlivinami a snížení nároků na celkové větrání. Aby byly škodliviny odstraněny rychle a účinně, musí být lokální odsávání umístěno velmi těsně ke zdroji škodlivin, ale v praxi toto není

možné vždy zajistit. Zviditelnění proudění před sacím nástavcem umožní optimalizovat polohu a geometrii sacího nástavce s ohledem na praktické možnosti.

Na obr. 5 je další příklad vizualizace kouřem. Na tomto obrázku je zviditelněn svislý proud teplého vzduchu vytékající z vyústky konvektoru teplovzdušného vytápění. Je patrné, že proud se šíří z vyústky nerovnoměrně, což je v daném případě způsobeno vnitřním uspořádáním konvektoru.



Obr. 5 Zviditelnění proudu z vyústky teplovzdušného konvektoru

6. ZÁVĚR

Vizualizace volných neizotermních proudů ze vzduchotechnických vyústek byla provedena pomocí Machova – Zehnderova interferometru a pomocí kouře. Z vizualizace tvarů proudů lze určit délku krajní oblasti, úhel rozšíření proudu, dosah proudu a zakřivení osy silně neizotermních proudů. Z úhlu rozšíření proudu v hlavní oblasti volného mírně neizotermního proudu lze také velmi efektivně určovat konstanty vzduchotechnických vyústek, jejichž znalost je nezbytná při výpočtu proudů šířících se z vyústek. Vizualizace proudů vzduchu u příváděcích a odsávacích vyústek pomocí kouře přináší velmi cenné kvalitativní informace o tvaru proudů, o jejich dosahu a také o jejich interakci s okolím.

Příspěvek je založen na práci prováděné v rámci řešení projektu COST – OC G3.20/1999 a v rámci výzkumného záměru MŠMT – CEZ:J22/98:26100001.

7. LITERATURA

- [1] Chyský J., Hemzal K. a kol.: Větrání a klimatizace. Bolit, Brno 1993.
- [2] Pavelek M., Janotková E.: Interferometric visualization of dynamic temperature fields. 10th International Conference on Thermal Engineering and Thermogrammetry, pp. 123 – 128. Budapest 1997.
- [3] Pavelek M., Janotková E.: Software pro zpracování interferometrických měření v mechanice tekutin. Sborník konference Inženýrská mechanika'97, Vol. IV, s. 151 – 156. Svratka 1997.
- [4] Cihelka J. a kol.: Vytápění, větrání a klimatizace. SNTL, Praha 1985.