

Příklady použití kouřové vizualizace proudění v experimentální mechanice tekutin

Smoke visualization as used in experimental fluid mechanics: Examples

Ing. Zdeněk TRÁVNÍČEK, CSc.
Ústav termomechaniky AV ČR,
Praha

Kouřová vizualizace proudění je relativně jednoduchá a levná metoda, která poskytuje výsledky převážně kvalitativního rázu. Může významně přispívat k pochopení dějů probíhajících v proudovém poli. Navíc může výrazně ulehčit plánování následujících experimentů, neboť může usnadnit výběr měřicích míst i volbu parametrů měření. Obzvláštní význam má vizualizace pro nastavení požadovaného typu proudového pole. Typickými příklady jsou nestabilita, bistabilita a hystereze v komplexních proudových polích, kdy okrajové podmínky nejsou postačující pro jednoznačné určení proudového pole. Kouřová vizualizace je doporučeným počátečním krokem mnohých experimentů. V článku je předvedeno deset vybraných příkladů použití metody „kouřícího drátu“, které se zabývají proudy a impaktními proudy (včetně jejich fluidického a akustického řízení), a dále neisotermickými případy úplavů za vyhříváním nebo chlazením válcem.

Klíčová slova: proudění tekutin, vizualizace, kouřová vizualizace

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Simple and cheap smoke visualization experiment renders primarily qualitative results. The method can contribute significantly to the understanding of mechanisms involved in flow fields. Moreover, it can be helpful in the selection of the flow parameters and regions of interest for local and detail point measurements. The visualization can be very beneficial for a precise adjustment of a chosen flow field pattern in a test section if alternative flow field modes are possible. Typical cases are unstable, bistable and hysteretic behavior of complex flows, when the boundary conditions are not sufficient for the flow field definition. Smoke visualization can be used as a recommendable initial step of various experimentations. The paper shows ten typical examples of „Smoke-Wire Visualisation“ of jet and wake flows, namely jets and impinging jets (including fluidic and acoustic control), and non-isothermal wake flows behind heated or cooled cylinders.

Key words: fluid flow, visualisation, smoke visualisation

1. ÚVOD

Vizualizace proudění je část experimentální mechaniky tekutin, která se opírá o optické metody vyšetřování obrazů proudových polí. Velmi často se uplatňuje v počátečních krocích experimentů. Význam vizualizace byl pojednán např. v monografii [1], kde je též přehled nejrůznějších používaných metod.

Tento článek se zaměřuje na „kouřovou vizualizaci“ metodou „kouřícího drátu“. Na souboru vybraných příkladů jsou ukázány výsledky, získané touto metodou.

Metoda „kouřícího drátu“ se používá již mnoho desítek let pro zviditelnění proudového pole vzduchu [2, 3, 4]. Tenký odporový drát (jeden nebo několik, obvykle o průměru kolem 0,1 mm) je napnut v proudovém poli a je natřen olejem. Obvykle se používá parafínový olej, popř. jeho roztok či emulze. Drát je elektricky ohříván a olej je teplem odpařován. Olejové páry vzápětí kondenzují v proudovém poli chladnějšího vzduchu na drobné kapičky, jejichž průměr bývá přibližně 1 μm – viz [3]. Bílá olejová mlha je unášena proudícím vzduchem, nejlépe se pozoruje na černém pozadí

Poznamenejme, že termín „kouřová vizualizace“ byl převzat z minulosti, kdy se k vizualizaci používalo skutečného kouře (např. vyráběného spalováním

sekvojového dřeva). Termín je tedy použit nepřesně, ovšem jeho použití je dnes již natolik rozšířené, že je běžné psát jej v současnosti i bez uvozovek.

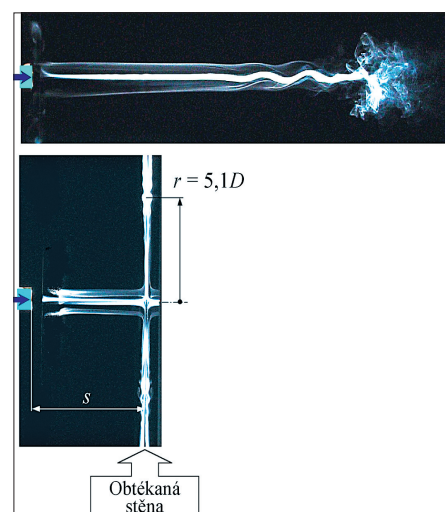
K osvětlení sledovaného proudového pole používáme 3 různé světelné zdroje:

- **Kontinuální (žárovkový) světelný zdroj**, který je vybaven objektivem soustředujícím světlo do měřicího prostoru. Použitím získáváme časově středované trajektorie částic (anglicky *pathlines*).
- **Fotografický blesk**, rovněž vybavený objektivem soustředujícím záblesk do měřicího prostoru. Výsledkem vizualizace jsou *emisní čáry* proudového pole (jiným názvem *průběžné čáry*, anglicky *streaklines*).
- **Stroboskopické osvětlení**, které má své opodstatnění v případech periodických dějů (používáme stroboskop Cole Parmer 87002). Při synchronizaci světelných záblesků s periodickým dějem dochází k *fázově vázané vizualizaci* (anglicky *phase-locked flow visualization*); získáváme pak tzv. *fázově vázané emisní čáry*. Zvláště výhodné je použití multiexpozice, která potlačí nahodilé poruchy (které se neopakují), a dochází tak k lepšímu vystižení podstaty zvolené fáze periodického proudového pole.

Fotografie předváděné v tomto článku byly zhotoveny digitálním fotoaparátem Olympus C-2500L Camedia.

2. PŘÍKLADY VIZUALIZACE METODOU „KOUŘÍČÍHO DRÁTU“

Příklad 1: Osově symetrický vyvinutý zatopený proud a jeho náraz do stěny – kruhový impaktní proud

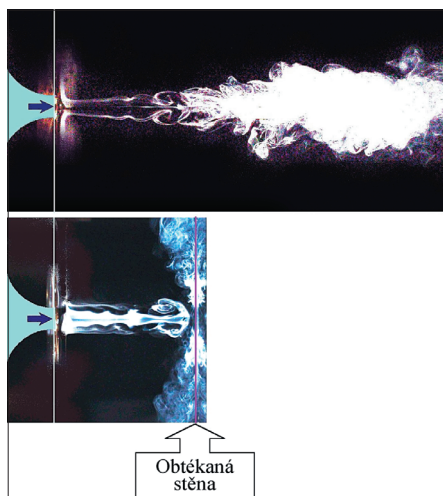


Obr. 1 Osově symetrický proud vzduchu vytéká z poměrně dlouhé trubky, ve které došlo k vývinu laminárního proudění (Reynoldsovo číslo počítané ze střední rychlosti $Re_D = v D / \nu = 1\,600$, vnitřní průměr trubky $D = 10\text{ mm}$, délka $l = 75 D$, střední rychlost $v = 2,5\text{ m/s}$).

a) Tři oblasti proudu jsou dobře patrné: zleva proudí vyvinutý laminární proud, ten posléze ztrácí stabilitu, což se projevuje jeho zvlněním (ve skutečnosti zde existuje třírozměrný spirálový mód), a poté dochází k rozpadu celé struktury. Frekvence spirálního módu činí $f = 101,2 \text{ Hz}$, Strouhalovo číslo $St = f D/v = 0,41$.

b) Impaktní proud; vzdálenost stěny od trysky byla $s = 6 D$. Stojí za povšimnutí, jak daleko se ztráta stability posunula od stagnačního bodu – leží v radiální stěnovém proudu zhruba na kružnici o poloměru $r \sim 5,1 D$.

Příklad 2: Osově symetrický zatopený proud vytékající z trysky a jeho náraz do stěny – kruhový impaktní proud.



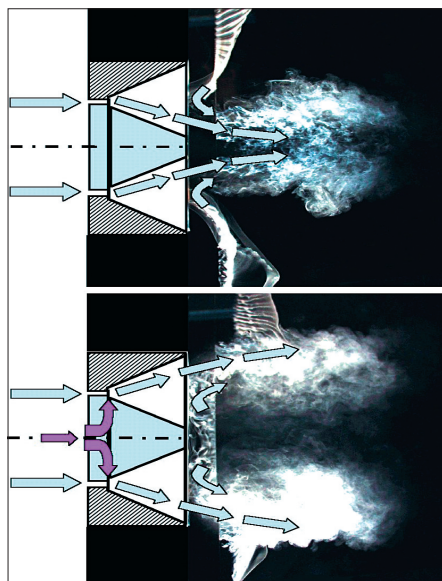
Obr. 2 Výték z trysky. Osově symetrický proud vzduchu vytéká z trysky, jeho parametry jsou stejné jako na předchozím obrázku ($Re_D = v D/v = 1\,600$). Vlivem kontrakce trysky má jádro proudu vyrovnaný rychlostní profil, u stěn trysky je naopak velký příčný gradient rychlosti.

a) Vizualizace ukazuje vírové kroužky postupující smykovou vrstvou podél proudu a rozpad celé struktury. Frekvence průchodu vírů činí $f = 58,6 \text{ Hz}$, Strouhalovo číslo $St = f D/v = 0,24$.

b) Impaktní proud, vzdálenost stěny od trysky byla $s = 6 D$. Proud dopadající na stěnu je lemován velkými vírovými kroužky. Při roztékání proudu po stěně a vývoji radiálního stěnového proudu dochází k rozpadu vírové struktury.

Příklad 3: Anulární proud s fluidickým řízením

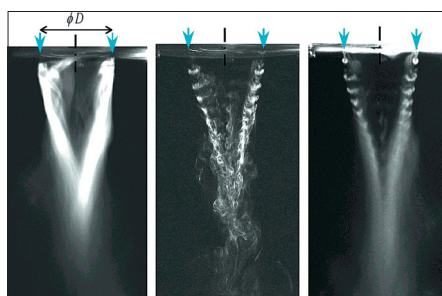
Obr. 3 Proud vytéká z anulární trysky o průměrech $D = 84 \text{ mm}$, $d = 74 \text{ mm}$, která je vybavena fluidickým řízením (radiální štěrbinou o šířce $0,5 \text{ mm}$) – [5]. Reynoldsovo číslo bylo $Re_D = v D/v = 23\,400$, střední rychlost $v = 4,4 \text{ m/s}$.



a) Stav proudu 1, řídicí proud je vypnut. Proud vytékající z hlavní trysky přilne v důsledku Coandova efektu k vnitřnímu kuželu trysky, postupuje podél tohoto kuželu a vystupuje koncentrovaný do osy trysky.

b) Stav proudu 2, řídicí proud je zapnut (průtok řídicí tryskou činí 9 až 10 % hlavního průtoku). Hlavní proud je řídicím proudem přeměrován k vnějšímu kuželu trysky, v důsledku Coandova efektu k němu přilne a postupuje dále ven z trysky. Výtok má diagonální směr.

Příklad 4: Anulární syntetizovaný proud



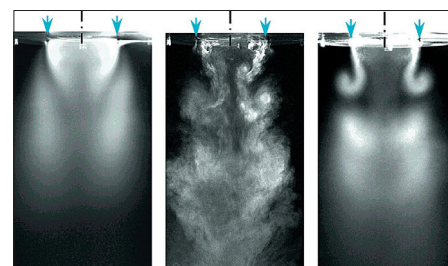
Obr. 4 Anulární syntetizovaný proud (střední výtoková rychlost v ústí trysky je nulová). Průměry trysky byly $D = 40 \text{ mm}$, $d = 38 \text{ mm}$, frekvence akustického buzení $f = 106 \text{ Hz}$, hladina akustického tlaku $L_p = 66 \text{ dB}$. Obr. 4 a, b, c se liší pouze použitým osvětlením a dobou expozice:

a) Časově středované trajektorie částic získané poměrně dlouhou expozicí (1 s). Obrázek dává dobrou představu o dráze, po které postupuje anulární proud „syntetizovaný“ z jednotlivých vírů vytvořených buzením.

b) Okamžitý obraz emisních čar ukazuje postup jednotlivých vírů od ústí trysky, ještě lépe je to patrné na obr. 4 c.

c) Fázově vázané emisní čáry, multiexpozice složená ze 106 snímků, snímání bylo synchronizováno s nulovým fázovým posuvem oproti počátku budicího cyklu. Jednotlivé vírové struktury postupují od ústí trysky za sebou a jsou velmi dobře rozlišitelné až do značné vzdálenosti od trysky (zhruba $1,5$ až $2 D$), poté dochází k jejich rozpadu. Celá vírová struktura se spojuje (uzavírá) na ose proudu, v místech zhruba $x \sim 2 D$ vzdálených od trysky, což je obdoba bodu splnutí běžného anulárního proudu (point of reattachment).

Příklad 5: Anulární proud s akustickým buzením



Obr. 5 Akusticky buzený anulární proud. Průměry trysky byly $D = 40 \text{ mm}$, $d = 38 \text{ mm}$, střední výtoková rychlost byla $v = 11 \text{ m/s}$, ($Re_D = v D/v = 28\,600$); frekvence akustického buzení byla $f = 106 \text{ Hz}$ a hladina akustického tlaku $L_p = 73 \text{ dB}$. Obrázky a, b, c se opět liší pouze použitým osvětlením a dobou expozice:

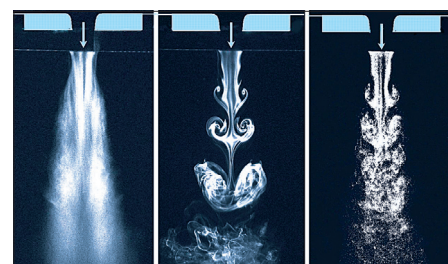
a) Časově středované trajektorie částic (expozice 1 s).

b) Okamžitý obraz emisních čar ukazuje postup velkých vírových struktur, ještě lépe je to patrné na obr. 5 c.

c) Fázově vázané emisní čáry, multiexpozice složená ze 106 snímků, snímání bylo synchronizováno s nulovým fázovým posuvem oproti počátku budicího cyklu. Velmi dobře je patrná velká vírová struktura toroidního tvaru, která se formuje za tryskou, a která má frekvenci průchodu přesně stejnou jako je budicí frekvence $f = 106 \text{ Hz}$.

Příklad 6: Zatopený proud vytékající ze štěrbinové trysky

Obr. 6 Dvourozměrný proud vzduchu o parametrech: $Re_b = v b/v = 1\,500$, šířka štěrbinové trysky $b = 10 \text{ mm}$, $v = 2,5 \text{ m/s}$.

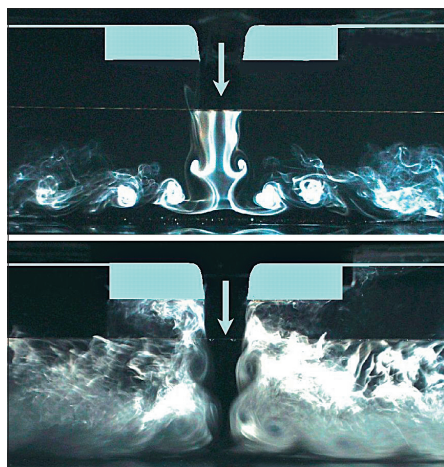


a) Časově středované trajektorie částic (expozice 0,125 s).

b) Okamžitý obraz emisních čar ukazuje postup vírů smykovou vrstvou podél proudu i rozpad celé struktury ve spodní části obrázku.

c) Fázově vázané emisní čáry, multiexpozice složená ze 19 snímků. Střední hodnota frekvence průchodu vírů byla $f = 76,3$ Hz, Strouhalovo číslo $St = f b/v = 0,30$. Jelikož frekvence poněkud kolísá kolem střední hodnoty, působí multiexpozice poněkud „rozmazaným“ dojmem. Principiálně odlišné jsou výše uvedené multiexpozice na obr. 4c, 5c, kdy se používalo vnějšího akustického buzení o zvolené frekvenci, a kdy frekvence vybuzeňovaných periodických dějů v proudovém poli byla stejná a nekolísala.

Příklad 7: Dvourozměrný impaktní proud

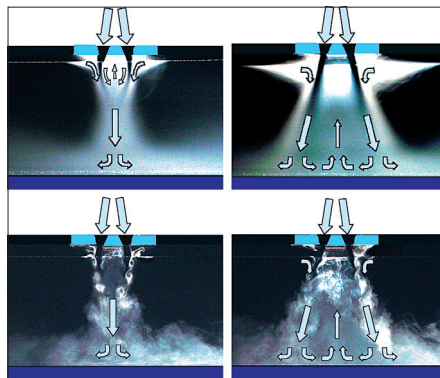


Obr. 7 Impaktní proud ze štěrbinové trysky – okamžitý obraz emisních čar. Šířka štěrbinové trysky $b = 10$ mm (tryska je stejná jako na předchozím obr. 6), vzdálenost stěny od trysky $s = 4$ b.

a) Reynoldsovo číslo $Re_b = v b/v = 1\,500$, $v = 2,5$ m/s. Jednotlivé víry postupují smykovou vrstvou proudu. Proud dopadá na stěnu, rozdělí se do dvou větví, ze kterých postupně vznikají dva stěnové proudy. Víry sledují tento děj, a i po rozdělení proudu si zachovávají svoji identitu – postupují vodorovně se vznikajícím stěnovým proudem směrem od stagnační linie, až nakonec dochází k jejich rozpadu.

b) $Re_b = v b/v = 9\,400$, $v = 15$ m/s. Proudění vlivem většího Reynoldsova čísla přechází rychle do turbulence, což znesnadňuje použití kouřové vizualizace. Přesto jsou ještě patrné jednotlivé víry postupující smykovou vrstvou. Poznamenejme, že tyto impaktní proudy mají obzvláštní význam pro přestup tepla a hmoty na obtékané stěně, a bývají používány v mnohých strojírenských aplikacích. V ČR byly zkoumány pro potřeby technologie sušení – viz např. Karger, Křížek, 1966 [6].

Příklad 8: Bistabilní impaktní proud vytékající ze dvojité štěrbinové trysky



Obr. 8 Impaktní proud z dvojité štěrbinové trysky vykazující bistabilní chování [7]. Bistabilita je označení existence dvou rovnovážných stabilních stavů soustavy; oba stavy jsou stacionární, v čase ustálené – např. u měření přenosu hmoty mohou experimenty trvat až několik hodin [7]. Při zcela stejných okrajových podmínkách dojde k ustavení jednoho ze dvou možných stavů proudového pole, existence konkrétního stavu závisí na způsobu nastavení parametrů (na „cestě“). Chování obvykle vykazuje hysterezi. Parametry: šířka každé ze dvou štěrbin $b/2 = 5$ mm, vzdálenost stěny od trysky $s = 8,5b$, $Re_b = v b/v = 6\,030$, $v = 10$ m/s.

Obr. 8 a, b (nahore) zachycují časově středované trajektorie částic (expozice 1 s).

Obr. 8 c, d (dole) jsou okamžité obrazy emisních čar. Víry postupující smykovou vrstvou proudu jsou v blízkosti trysky velmi dobře patrné, zvláště na obr. 8 c.

Experiment se sníženou rychlostí ($v = 2,5$ m/s, $Re_b = 1\,600$) umožnil též stroboskopické pozorování, při kterém byla vyhodnocena frekvence průchodu těchto vírů $f = 155,8$ Hz; Strouhalovo číslo bylo pak počítáno z šířky jedné štěrbin ($b/2 = 5$ mm) a činí: $St = f (b/2)/v = 0,31$ – viz [7].

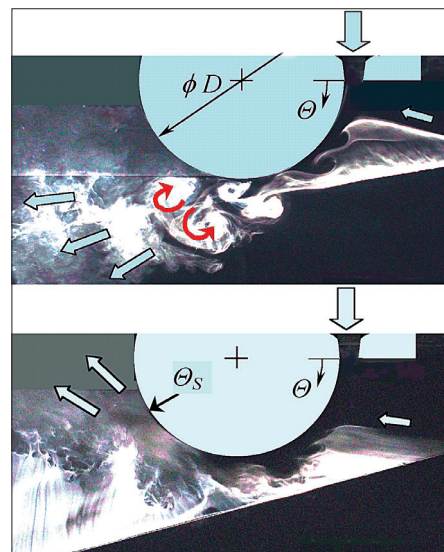
Obr. 8 a, c: Stav proudu A: „malá recirkulační oblast“, která je lokalizována pouze za vestavbou trysky.

Obr. 8 b, d: Stav proudu B: „velká recirkulační oblast“, která dosahuje od trysky až ke stěně.

Příklad 9: Dvourozměrný proud vytékající ze štěrbinové trysky zakřivený Coandovým efektem

Obr. 9 Proud vytéká ze štěrbinové trysky, na kterou navazuje válcová stěna. Vlivem Coandova efektu je proud odkláněn z přímého směru a postupuje kolem stěny. Parametry: šířka štěrbin $b = 6,5$ mm, průměr válcové plochy $D = 80$ mm.

a) Zakřivení proudu je poměrně malé pro nízké Reynoldsovo číslo $Re_b = v b/v = 1\,800$, $v = 4,3$ m/s;

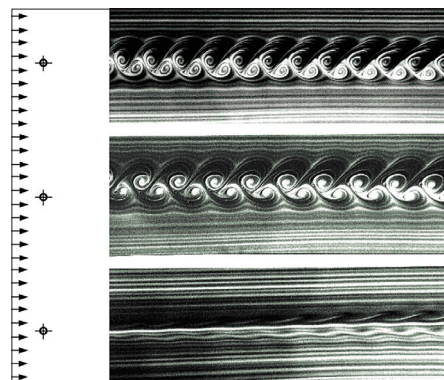


poznámenejme ještě velmi výhodné vyjádření charakteristického rozměru tohoto příkladu $H = 0,5 (bD)^{0,5}$ [8], které dává Reynoldsovo číslo $Re_H = v H/v = 3\,200$. Po výtoku z trysky se začíná vyvíjet stěnový proud na ploše válce. Víry postupují jeho vnější smykovou vrstvou. Poměrně brzy dochází k odtržení proudu od stěny válce ($\Theta_s < 90^\circ$). Po odtržení je ke každému víru generován vír protiběžný, dvojice vírů pak postupuje kolem válce, a nakonec odplová s hlavním proudem od válce pryč (jedna dvojice protiběžných vírů je vyznačena šipkami na obr. 9 a). Odtrhávání stěnového proudu má periodický charakter a tak připomíná vírovou řadu známou z obtékání válce příčným proudem – viz následující příklad 10.

b) Zakřivení proudu je podstatně větší pro vyšší Reynoldsovo číslo $Re_b = 5\,900$, ($v = 14,2$ m/s, $Re_H = 10\,300$). K odtržení proudu od stěny válce dochází později ($\Theta_s > 90^\circ$). Šipka $\Theta_s = 150^\circ$ označuje místo odtržení stěnového proudu od válcové plochy, které bylo převzato z výsledků vizualizace publikovaných Newmanem [8].

Příklad 10: Úplav za válcem – neisotermické případy

Obr. 10 Ohřev válce má stabilizující účinek na úplav, při dostatečně vysoké teplotě válce může dokonce

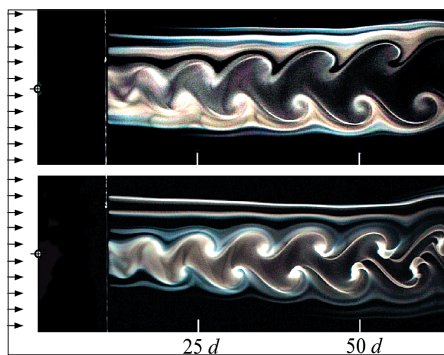


dojít i k úplnému potlačení vírové řady [9]. Průměr válce byl $d = 1,07$ mm, teplota nabíhajícího proudu $T = 28$ až 30 °C. Reynoldsovo číslo bylo počítáno z parametrů nabíhajícího proudu $Re_d = d/v = 67,6$.

a) Isotermická Kármánova vírová řada je běžně známý případ.

b) Kármánova vírová řada za válcem ohřátým na teplotu $T_w = 223$ °C. Stabilizující vliv teploty na úpravu je dobře patrný, neboť víry mají větší rozečty a tedy menší frekvenci (nabíhající proud je stejný). Proudění bylo kvalifikováno následným bodovým měřením LDA (v nabíhajícímu proudu) a žhaveným drátkem (v úplavu) – viz [9].¹⁾

c) Potlačení vírové řady ohřevem válce na teplotu $T_w = 297$ °C.



Obr. 11 Ochlazování válce má destabilizující účinek na úpravu. Průměr válce byl $d = 1,96$ mm, teplota nabíhajícího proudu $T = 144,5$ °C, $Re_d = 61$.

a) Kármánova vírová řada pro isotermický případ, $T_w = T = 144,5$ °C.

b) Destabilizující účinek při ochlazení válce na teplotu $T_w = 17,3$ °C. Z obrázku je patrné zmenšování rozečtů vírů. Jelikož nabíhající proud je stejný jako na obr. 11 a, dochází ke zvyšování frekvence průchodu vírů.

Článek předvádí použití vizualizace proudění na vybraných typických úlohách mechaniky tekutin. Byla použita metoda „kouřícího drátu“. Hlavní výhody, které jsou společné všem uvedeným úlohám, jsou následující:

- Vizualizace významně přispívá k pochopení dějů probíhajících v proudovém poli.
- Vizualizace může výrazně ulehčit plánování následujících experimentů, kterými mohou být například detailní bodová měření, dávající přesné kvantitativní údaje. Vizualizace usnadňuje výběr měřících míst i volbu parametrů měření.
- Obzvláštní význam má vizualizace pro nastavení požadovaného typu proudového pole.

¹⁾ Pozn. rec.: Označení anemometrů LDA (Laser Doppler Anemometer) a se žhaveným drátkem = CTA (Constant Temperature Anemometer).

Týká se to případů, kdy existuje několik různých módů vírových struktur nebo dokonce několik různých stavů celého pole. Typickými příklady jsou proudění v blízkosti ztráty stability, popřípadě bistabilní proudění s hysterezními projevy (okrajové podmínky neurčují jednoznačně proudové pole – to závisí ještě na způsobu nastavení parametrů).

Kouřová vizualizace se nejčastěji uplatňuje v počátečních krocích experimentů, kdy dává výsledky především kvalitativního rázu. Velmi dobré výsledky poskytuje pro laminární proudění, dobré výsledky možno získat též pro intermitentní proudové pole. Metody kouřové vizualizace jsou relativně levné a jednoduché. Při správném použití mohou být velmi účinným nástrojem experimentální mechaniky tekutin, jehož význam neklesá ani v dnešní době.

Tento článek vznikl při řešení projektu Grantové agentury AV ČR č. A2076301.

Kontakt na autora:

Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8, e-mail: tr@it.cas.cz, tel: 266 053 302.

Literatura:

- [1] ŘEZNIČEK, R.: *Vizualizace proudění*. Academia, Praha, 1972
- [2] CORKE, T., KOGA, D., DRUBKA, R., NAGIB, H.: *A new technique for introducing controlled sheets of smoke streaklines in wind tunnels*. IEEE 77CH 1251-8 AES, 1977
- [3] MUELLER, T. J.: *Smoke Visualization*. In: Handbook of Flow Visualization, Chapter 7, Ed. W-J. Yang, Hemisphere Publ., New York, Washington, London, 1989
- [4] TRÁVNÍČEK, Z.: *Smoke visualization of jet and wake flows*. In: Aktuální problémy mechaniky tekutin 2002, Ústav termomechaniky AV ČR, Praha, Ed.: Přihoda, J., Kozel, K. s. 83-86
- [5] TRÁVNÍČEK, Z., PESZYŃSKI, K., HOŠEK, J., WAWRZYŃIAK, S.: *Aerodynamic and mass transfer characteristics of an annular bistable impinging jet with a fluidic flip-flop control*. International Journal of Heat and Mass Transfer (in review process)
- [6] KORGER, M., KŘÍŽEK, F.: *Mass-transfer coefficient in impingement flow slotted nozzles*. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 9, No. 5, 1966, s. 337-344
- [7] TRÁVNÍČEK, Z., MARŠÍK, F.: *Flow visualization and mass transfer with a bistable two-slot impinging jet*. In: 10th Int. Symposium of the Flow Visualization, (ISFV 10), Kyoto, 2002
- [8] NEWMAN, B. G.: The deflection of plane jets by adjacent boundaries – Coanda Effect. Boundary layer and flow control, ed. Lachman G.V., Vol. I, 1961, s. 232-264
- [9] WANG A-B., TRÁVNÍČEK, Z., CHIA K-C.: *On the relationship of effective Reynolds number and Strouhal number for the laminar vortex shedding of a heated circular cylinder*. Physics of Fluids. Vol. 12, No. 6, 2000, s. 1401-1410.

Nové cesty přístupu ke kvalitě vnitřního ovzduší ve Finsku

New ways of attitude to the indoor air environment quality in Finland

Výtah z příspěvku předneseného na konferenci Clima 2000, konané v roce 2001 v Neapoli. Přístup Finska k řešení problematiky vnitřního klimatu je obdivuhodný a pro českého čtenáře poučný. Ukazuje, že základem úspěšného řešení problému je mezipředmětová spolupráce a koordinace. Nabízí se otázka, proč to stejně dobře nejde u nás.

Vzhledem k významu kvality vnitřního ovzduší z hlediska společenského, hospodářského a národního je k dosažení spolehlivých výsledků třeba plánovaných a koordinovaných akcí na celostátní úrovni. Ve Finsku postupuje vláda již 20 let na základě kooperačního programu pro koordinaci různých vládních, místních a soukromých akcí pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší v domácnostech, ve školách, na úradech, ve veřejných prostorách atd. Tento program pozitivně ovlivnil úroveň kvality vnitřního ovzduší ve Finsku, i když i zde stále ještě existují budovy, kde se vyskytuje vlhkost, plísně a další podobné problémy a ani kvalita stavebních prací vždy nedosahuje požadované úrovně.

Z pohledu finského zdravotnictví a národního hospodářství představuje dobrá kvalita vnitřního ovzduší důležitou otázku. Vzhledem k chladnému podnebí je nutno skloubit dobrou kvalitu vnitřního ovzduší s dobrým energetickým hospodářstvím. Severní poloha Finska a jeho chladné počasí je příčinou toho, že lidé tráví většinu života ve vnitřních prostorách. Fínové tudíž musí budovat své domy tak, aby jim poskytovaly ochranu před nepřízní počasí a zároveň zajišťovaly dostatečně dobrou kvalitu vnitřního ovzduší. Potřeba stavět domy s dobrou tepelnou izolací a minimálním únikem tepla nelze vždy snadno skloubit s nároky na zdravé vnitřní ovzduší, neboť ve finských chladných klimatických podmínkách má zachování energie ve vnitřních prostorách zvlášť velký význam. Ve Finsku je počet dnů, kdy se musí topit, o více než 50 % vyšší než evropský průměr.

Při projektování budovy je nutno ve všech fázích a u všech detailů myslet na konečný cíl, tedy na dobrou kvalitu vnitřního ovzduší. Toto hledisko je velmi důležité

- při volbě stavebního pozemku a vzájemné polohy místností různého druhu
- tepelné izolace zdí a oken
- ochrany oken proti slunci
- vzduchotěsnosti budovy
- ochrany proti vlhku
- možností udržování čistoty
- dobře fungujícího větracího systému.

Akce ministerstva životního prostředí

Nový zákon o využívání půdy a budov vstoupil v platnost na počátku roku 2001. Došlo v něm ke značnému rozšíření odpovědnosti vlastníka a stavitele budovy za kvalitu stavebních prací. Zákon stanoví náročnější požadavky na kvalifikaci projektantů a dodavatelů. K novým požadav-

kům patří také pořádání organizačních setkání všech účastníků, podílejících se na stavebních pracích, a to na počátku celého stavebního procesu.

Ministerstvo životního prostředí ve Finsku vydává oficiální stavební předpisy. Ty byly nově upraveny podle požadavků směrnice EU o stavebních materiálech. Nyní je k dispozici ucelený soubor předpisů pro kvalitu vnitřního ovzduší. Týkají se vnitřního klimatu a větrání, kontroly vlhkosti, tepelných izolací, úspor energie, využití a údržby staveb. (U větrání je např. povinné stanovení zpětné získávání tepla z použitého vzduchu, pokud se úsporného využití energie nedosáhne jinými prostředky).

Ministerstvo životního prostředí ve Finsku finančně podporuje výzkum v oblasti kvality vnitřního ovzduší a zdravotních budov, výzkum všeobecných a podrobných kontrol stávajících budov, výzkum vybraných ozdravných akcí v domech a kampaň za zdravé budovy a dobrou kvalitu vnitřního ovzduší.

Akce ministerstva zdravotnictví a sociálních věcí

Akce ministerstva zdravotnictví a sociálních věcí jsou úspěšně koordinovány s akcemi ministerstva životního prostředí. Nejvýznamnější roli hraje toto ministerstvo při akcích zaměřených na udržení dobré kvality vnitřního ovzduší v domácnostech, školách, kancelářích a na pracovištích. Obě ministerstva mají k dispozici komplexní legislativní nástroje i fungující kontrolní systém na regionální a místní úrovni.

V zákoně o ochraně zdraví jsou m.j. uvedena kritéria dobré kvality vnitřního ovzduší, podrobnější směrnice pak stanoví požadavky pro praxi. Pro hygienu práce vypracovalo ministerstvo podobné směrnice s požadavky na kvalitu vnitřního ovzduší na pracovištích.

Největší význam má pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší však nejnovější protikuřácký zákon. Akce zaměřené na zlepšení ochrany lidí před škodlivými účinky kouře v životním prostředí vedly k mnoha protikuřáckým omezením. Dřívější omezení kouření na pracovištích a na veřejných místech bylo oficiálně rozšířeno i na restaurace, kde již vstoupilo v platnost.

Působení okresních a obecních správních orgánů

Bez místní kontroly a řízení legislativa sama nic nezmuže. Ve Finsku jsou výkonnou mocí pověřeny správní orgány 420 obcí, které v místě vydávají stavební povolení a kontrolují celkovou stavební činnost. Nesmíme však zapomenout ani na obecní zdravotnické orgány. V posledních letech probíhalo měření v tisících domácnostech a vypracovaly směrnice pro jejich modernizaci. Tajemství finského úspěchu spočívá v úzké spolupráci mezi jednotlivými orgány a soukromými podniky na místní úrovni.

Hygienu práce a kvalitu vnitřního klimatu kontrolují vládní orgány v jednotlivých okresech, ale v menších podnicích je mohou vykonávat i orgány obecní správy.

Podpora výzkumu a rozvoj zdravých budov

Zavádění nových technických řešení do praxe není snadné. V terénu se mnohdy setkáváme s konzervativním postojem a neochotou využít nových řešení, která ještě nejsou dostatečně prověřena praxí. Podpora vlády, v některých případech i finanční, však při řešení tohoto problému pomohla. Použití nových stavebních materiálů, z kterých se podle finské klasifikace vnitřního ovzduší neuvolňuje tolik škodlivého záření, se však prosadilo velmi snadno i bez sebemenší finanční podpory ze strany vlády.

Velký význam má při řešení problému kvality vnitřního ovzduší intenzivní vědecký výzkum a uplatňování výsledků výzkumu v praxi. Rovněž přejímání mezinárodních poznatků se ve Finsku osvědčilo. V posledních letech byly ve Finsku uspořádány dvě velké mezinárodní konference, Vnitřní ovzduší 93 (Indoor Air 93) a Zdravé budovy 2000 (Healthy Buildings 2000), za podpory vlády i soukromého sektoru.

Působení různých organizací

Úloha finské společnosti pro kvalitu vnitřního ovzduší FISIAQ měla a má rozhodující význam. Aktivně působí již více než 10 let a každoročně pořádá za podpory obou ministerstev celostátní seminář pro šíření věd o vnitřním ovzduší. Zdarma vydává čtvrtletník o vědách a technologiích souvisejících s vnitřním ovzduším. FISIAQ rovněž zastává vedoucí postavení ve vývoji finské klasifikace vnitřního klimatu, která je však výsledkem společného úsilí mnoha organizací z oblasti stavebnictví.

Různé organizace pacientů, jako například Společnost pro alergii a astma a Společnost pro dýchání, ale i mnoho oborových organizací ze sektoru stavebnictví se rovněž zúčastnilo akcí koordinovaných zvenčí a podílelo se na nich. Mnohé z těchto organizací poskytují lidem rozsáhlou pomoc v podobě metodického vedení a zajištění měření při výstavbě zdravých budov a jejich údržbě.

Klasifikace vnitřního klimatu

Dobré klima uvnitř budov by mělo představovat jeden z důležitých cílů při jejich výstavbě. V roce 1995 vyšla první Klasifikace vnitřního klimatu a stavebních a interiérových materiálů. Vznikla díky těsné spolupráci společnosti FISIAQ s odbornými sdruženími pro technologii, stavební inženýrství a architekturu a z iniciativy a za podpory ministerstva životního prostředí. Klasifikace je nezávazná, ale měla by sloužit jako orientační materiál pro majitele budov, architekty, další projektanty, stavitele a výrobce stavebních materiálů a součástí, kteří usilují o dosažení dobré kvality vnitřního ovzduší. V roce 2001 vyšla nová verze této klasifikace, která má tři části:

1. udává cílové a projektové hodnoty v oblasti tepelných podmínek, pachové intenzity, hlukových hladin, větrání a výskytu škodlivin ve vnitřním ovzduší
2. předkládá směrnice pro projekt a stavbu včetně klasifikace čistoty stavby (definuje kategorie P1 a P2), uvádí zásady a postupy pro hlavní etapy stavebních prací.

3. klasifikuje interiérové materiály (stanoví přípustné emise z nich) a doporučuje maximální plochu, na které lze materiálů použít vzhledem k potenciálním emisím.

Každá část klasifikace se dělí do dvou až tří kategorií, přičemž vyšší kategorie vždy odpovídá lepší kvalitě vnitřního ovzduší a nejnižší kategorie minimálním požadavkům na kvalitu podle oficiálních stavebních předpisů.

Přijaté zásady a praktické použití klasifikačního systému bylo ověřeno na několika stavebních projektech. Zákazníci, majitelé budov a projektanti z nich vycházeli při stanovení cílových hodnot pro vnitřní ovzduší a dílčích cílů, kterých se má dosáhnout v průběhu stavebního procesu. Zejména první část klasifikace s cílovými hodnotami pro vnitřní klima našla široké využití při projektování nejrušnějších staveb.

Druhá část zabývající se směrnicemi pro lepší stavbu a čistotu např. požaduje, aby bylo klimatizační potrubí po ukončení výrobního procesu vyčištěno a aby veškerá manipulace na staveništi probíhala se zakrytými vyústkami. Velmi důležitý je také nový požadavek, že pro staveniště se musí vypracovat plán ochrany před vlhkem.

Třetí část, klasifikace interiérových materiálů, zaznamenala ve Finsku skutečný úspěch, a to jak na spotřebitelském, tak na odborném trhu. Do června 2001 bylo více než 450 materiálům přiznáno označení nejlepší třídy M1. Výrobci usilovali o zdokonalení svých výrobků, aby odpovídaly náročným požadavkům, a mohli je pak ve svých reklamách uvádět pod označením M1. Dnes je možné postavit dům za téměř výlučného použití klasifikovaných interiérových materiálů. Podíl klasifikovaných materiálů na celém trhu odpovídá 10 až 20 %, pokud vycházíme z jejich celkového počtu, je však mnohem vyšší, a to téměř 50 %, pokud vycházíme z jejich celkového prodeje na trhu stavebních materiálů. Podrobnější informace o klasifikaci lze nalézt na webové stránce www.rts.fi.

Klasifikační požadavky na větrání

Klimatizační systémy musí být celkově projektovány tak, aby bylo dosaženo požadované vysoké kvality vnitřního klimatu. Ve směrnících jsou uvedena pravidla pro volbu rychlosti proudění vzduchu ve větracím systému. V budovách s vybranými interiérovými materiály a normální vytížeností místností, musí být přiváděno ve třídě S 1 12 l/s na osobu a ve třídě S2 8 l/s na osobu. Ve třídě S3 bude stačit 6 l/s na osobu. Požadavky na filtraci přiváděného vzduchu často závisí na kvalitě venkovního ovzduší v místě. Za normálních okolností se ve větracích systémech ve Finsku vyžaduje třída filtru EU 8 pro kvalitu vnitřního ovzduší třídy S1 a EU 7 pro třídu S2. Na povrchu prvků větracího systému je povolen výskyt prachu pouze v množství 1 g/m² ve třídě P1 a 2,5 g/m² ve třídě P2. Podmínkou je správné konstrukční řešení a ochrana použitého materiálu před prachem a vlhkostí v průběhu stavby.

Ve směrnících je uvedeno mnoho dalších požadavků a doporučení, pokud jde o projektové a stavební detaily větracího systému. Větrací systém musí být předán do užívání spolu s návodem k obsluze a údržbě.

ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Zkušenosti ve Finsku ukázaly, že směrnice pro kvalitu vnitřního ovzduší a rozšiřování znalostí o jeho kvalitě má stejný význam jako zákonodárná a kontrolní činnost vlád a dalších orgánů. Všechna opatření pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší je nutno koordinovat.

Podstatné pro úspěšnou politiku kvality vnitřního ovzduší jsou:

1. Průběžná a fungující koordinace akcí různých orgánů
2. Dobrá spolupráce mezi veřejnými a soukromými institucemi
3. Šíření znalostí o vnitřním ovzduší a zlepšování informovanosti na všech úrovních
4. Podpora výzkumu a vývoje nových technických řešení.

Původní pramen:

Kauko, K., Kukkonen, E. New Features of the Indoor Air Quality Policy in Finland. In *Clima 2000*. Proceedings of the int. conf., Napoli 2001, Italy.

Literatura:

- [1] KUKKONEN, E., SÄTERI, J. and VIKSTROM, K., 1999, *The Practical uses and benefits of the classification of finishing materials*. Proceedings of Indoor Air 99 Edinburgh, Scotland, Vol. 1, pp 532–533

[2] NEUVONEN, P., 2000, *The classification of finishing materials*. Proceedings of HB 2000 Espoo Finland

[3] *Classification of Indoor Climate 2000*, Target Values, Design Guidance and Product Requirements, FISIAQ 2000. Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate (FISIAQ), Finnish Association of Construction Clients (RAKLI), Finnish Association of Architects, and Finnish Association of Consulting Firms (SKOL)

[4] NIEMELÄ, R. and RAILIO, J., 2001, *Target level concept and indoor air classification*. Proceedings of Climate 2000/ Napoli 2001 World Congress

[5] TUOMAINEN, M. & al. 2000, *Towards high IAQ using the Finnish classification: Experiences of the first two-year occupancy in a study building*. Proceedings of HB 2000, Espoo Finland.

Pozn.

Český čtenář si povšimne, že ve Finsku řeší problematiku vnitřního prostředí dvě dobře spolupracující ministerstva (zdravotnictví a životního prostředí). U nás se problematikou zabývá více centrálních orgánů a o spolupráci či koordinaci jejich akcí se nedá hovořit. Navíc nabídka odborné spolupráce jiných, byť odborných subjektů, je často vní-

mána jako nevhodné a nežádoucí vměšování. Poznáváme to v poslední době např. při přípravě nových legislativních dokumentů.

Asi ještě nějakou dobu potrvá, než se skutečně spolupracovat pro dobro věci naučíme.

Výtah z původního pramene a poznámka
A. Lajčíková

* Klimatizační jednotka ovládaná hlasem

Firma Daewoo Electronics vyvinula klimatizační jednotku ovládanou hlasem.

Vestavěným automatickým zařízením k rozpoznávání řeči se dají řídit teplota a 32 dalších funkcí. Kromě anglické verze se nabízejí ještě arabská a čínská verze. A tak se budou muset mnozí obsluhvatelé nejprve naučit příslušná slovíčka, než bude jednotka pracovat tak, jak má.

CCI 8/2002

(Ku)