

Ing. Luděk TÓTH, Ph.D.
Ing. Jan SCHWARZER, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Proudění vzduchu v blízkosti vířivého anemostatu – Výsledky experimentu a zjednodušeného modelu v CFD



Ústav techniky prostředí

Air Flow in Vicinity with Swirl Diffuser – Results of Experiment and Simplified Model in CFD

Recenzent
Prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Příspěvek se zabývá výpočtem a experimentálním zjištěným charakterem proudění vzduchu v blízkosti vířivého anemostatu. Účelem experimentu je ověření okrajových podmínek, zadávaných do CFD výpočtů s využitím zjednodušeného modelu přívaděcího prvku. Výsledné rychlostní profily získané CFD jsou porovnány s experimenty.

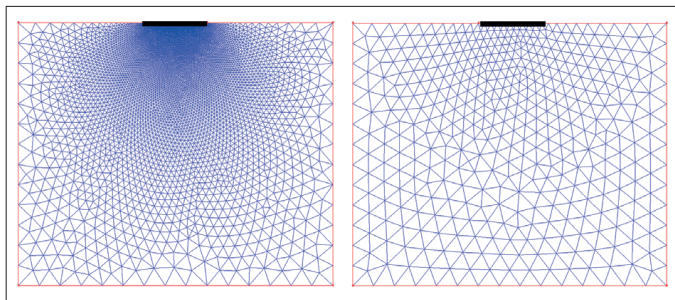
Klíčová slova: vířivý anemostat, CFD, rychlost, modelování, experiment

Authors deal with the calculation and the experimentally determined character of the air flow in the vicinity of the swirl diffuser in their contribution. The purpose of the experiment is the verification of periphery conditions entered in the CFD calculations with use of the simplified model of the supply element. Final velocity profiles obtained throughout the CFD are compared with experiments.

Key words: swirl diffuser, CFD (Computational Fluid Dynamics), velocity, modeling, experiment.

Pro předpověď proudění vzduchu v místnosti se často využívá počítačová mechanika tekutin (CFD). U CFD programů, kde není k dispozici předdefinovaný přívaděcí prvek, může být problém s tvorbou numerické sítě.

Vzdálenost uzlů jednotlivých kontrolních objemů numerické sítě může být u rozlehlejších prostor až desítky centimetrů. Je-li však jako přívaděcí prvek použit vířivý anemostat, vzdálenost uzlů kontrolních objemů v bezprostřední blízkosti jeho štěrbin by neměla přesáhnout řádově milimetry (obr. 1 vlevo). Následkem tohoto nepochopu může výsledná velikost numerické sítě klást zvýšenou náročnost na kapacitu výpočetní techniky a prodloužit dobu samotného výpočtu. S výhodou lze proto použít tzv. zjednodušenou metodu, jejíž podstatou je nahrazení detailní geometrie přívaděcího prvku zjednodušeným tvarem. Pak lze v blízkosti přívaděcího prvku použít hrubší numerickou síť (obr. 1 vpravo). Použití zjednodušeného tvaru přívaděcího prvku je však podmíněno zadáním správných (ekvivalentních) okrajových podmínek. Jedná se zejména o rychlost a směr proudění vystupujícího vzduchu a také o intenzitu turbulence. Správnost okrajových podmínek u zjednodušeného modelu přívaděcího prvku lze ověřit pouze na základě porovnání s experimentem.

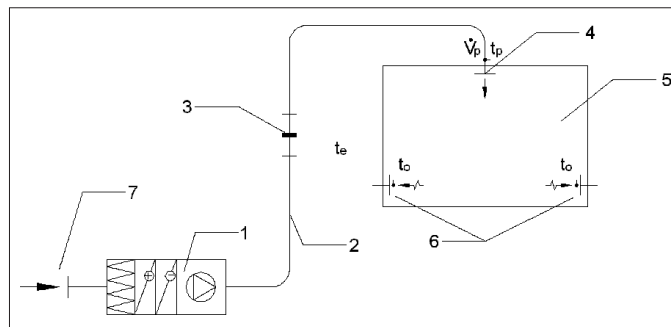


Obr. 1 Schematický obrázek hustoty numerické sítě

Vlevo – reálný model přívaděcího prvku. Vpravo – zjednodušený model přívaděcího prvku

EXPERIMENT

Pro účely experimentu byla použita vířivá výustň firma Trox WDV Q 400×16, o rozměrech 400 × 400 mm s 16-ti přívodními lamelami, jak je vidět na obr. 5a. Proměřován byl izotermní přívod vzduchu o objemovém průtoku $V_p = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Experiment probíhal v měřicí komoře o půdorysných rozměrech 4,2 m × 3,6 m a výšce 3 m. Stropní vířivý anemos-

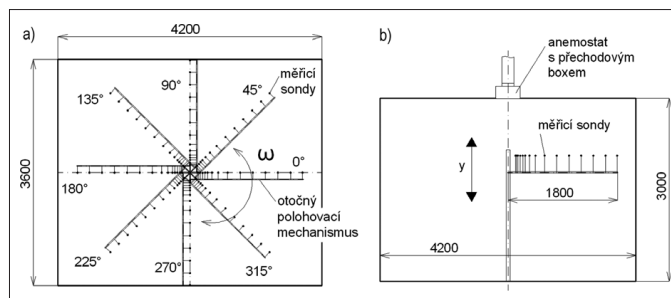


Obr. 2 Schéma experimentálního měření:

1. Vzduchotechnická jednotka, 2. Potrubní rozvody, 3. Clonková trať, 4. Vířivý anemostat, 5. Experimentální komora, 6. Odvodní otvory, 7. Nasávání vnitřního vzduchu

tat byl instalován do středu stropu měřicí komory. Schéma experimentálního měření je na obr. 2.

Rychlostní profily byly měřeny soustavou termoanemometrů. Použito bylo celkem 16 sond HT-412, každá se samostatným A/D převodníkem HT-428. Pro posun a rotaci termoanemometrů byl sestaven polohovací mechanismus. Rychlostní profil byl proměřován ve svislém směru do vzdálenosti $h = 0,6 \text{ m}$ od stropu. V každé svislé rovině byla rychlost zjišťována v sérii měření, kdy nosné rameno, na kterém jsou umístěny měřicí sondy, byly pootočený vždy o úhel $\omega = 45^\circ$. Schéma polohovacího mechanismu je na obr. 3. Na obr. 4 je vidět otočné nosné rameno s instalovanými sondami.



Obr. 3 Schéma polohovacího mechanismu:

a) Půdorys experimentální komory, měřicí sondy umístěny na otočném rameni, b) Bokorys měřicí komory



Obr. 4 Pohled na část polohovacího mechanismu – otočné nosné rameno se sondami

CFD – ZJEDNODUŠENÝ MODEL VÍŘIVÉHO ANEMOSTATU

Vířivý anemostat byl nahrazen čtvercovou plochou o stejných rozměrech jako výstř. Vzhledem k tangenciálnímu směru výstupního proudu vzduchu byla plocha rozdělena na 9 dílčích ploch. Každá dílčí plocha je charakterizována odlišnými okrajovými podmínkami, kterými jsou jednotlivé složky rychlosti, které určují směr vystupujícího vzduchu do prostoru. Pro středovou dílčí plochu je definován nulový průtok vzduchu. Vířivý anemostat a princip zjednodušené metody je vidět na obr. 5. Průtok vzduchu je rovnoměrně rozdělen mezi 8 dílčích ploch. Výpočetní síť v oblasti poblíž anemostatu byla pro zpřesnění výpočtu dvojnásobně adaptována, obr. 6. V tab. 1 jsou vidět okrajové podmínky zjednodušeného modelu vířivého anemostatu.

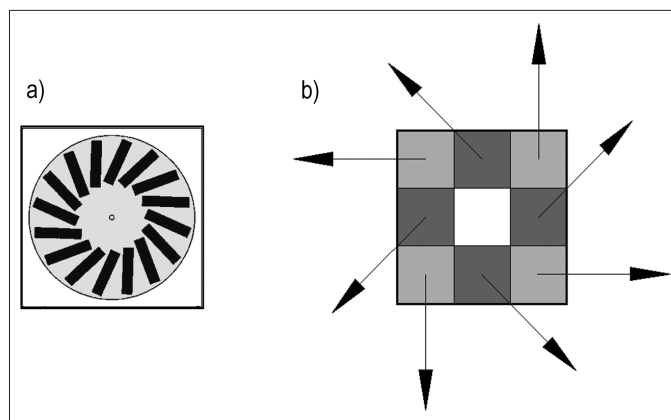
Tab. 1 Okrajové podmínky zjednodušeného CFD modelu

Rozměry celého modelu (shodné s experimentální komorou)	4,2 × 3,6 × 3 m
Charakter proudění	izotermní
Typ přiváděcího prvku	Vířivá výstř
Celkový průtok vzduchu výstř	200 m ³ /h
Celková velikost výstř	0,4 × 0,4 m ²
Počet dílčích ploch	8 (obr. 7 b)
Celkový průtok přiváděného vzduchu	200 m ³ /h
Průtok vzduchu na dílčí plochu	25 m ³ /h
Velikost dílčích ploch	0,133 × 0,133 m ²
Zadání rychlostí na dílčích plochách	Ve směru os x, y, z
Výchozí počet ploch kontrolních objemů na dílčí ploše	1 (před adaptací)
Počet ploch kontrolních objemů na dílčí ploše po adaptacích	16
Celkový počet kontrolních objemů výchozího modelu	19 872 (BA)

VYHODNOCENÍ

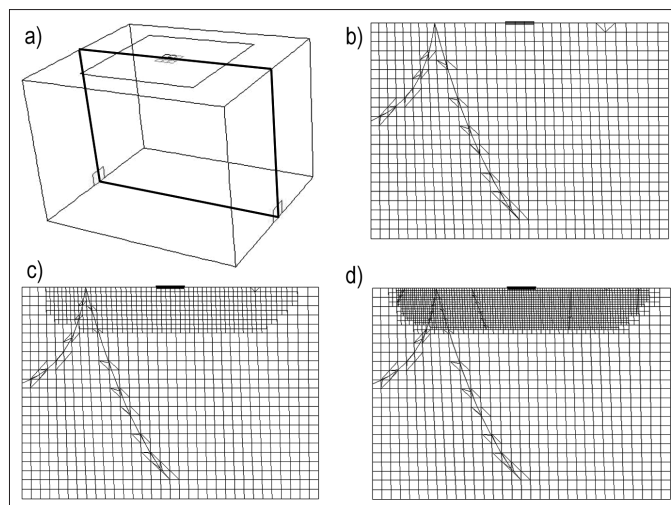
Při experimentálním měření bylo měřeno a vyhodnoceno celkem 16 vertikálních rychlostních profilů pro každé natočení nosného ramene polohovacího mechanismu. V textu je prezentován rychlostní profil, který byl naměřen ve vzdálenosti $r = 0,6$ m od středové osy anemostatu při úhlu natočení nosného ramene $\omega = 0^\circ$.

Na obr. 7 jsou vidět výsledné svislé rychlostní profily ve vzdálenosti od osy anemostatu $r = 0,6$ m. Úhel vystupujícího proudu vzduchu je v CFD



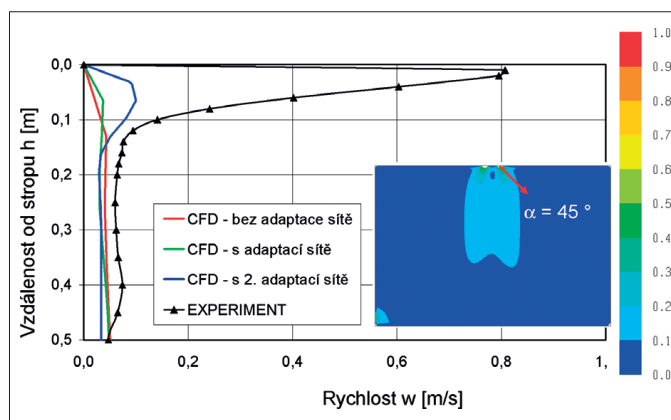
Obr. 5 Vířivý anemostat a princip zjednodušené metody;

a) Vířivá výstř Trox WDV Q 400x16, b) nahrazení vířivého anemostatu dílčími plochami



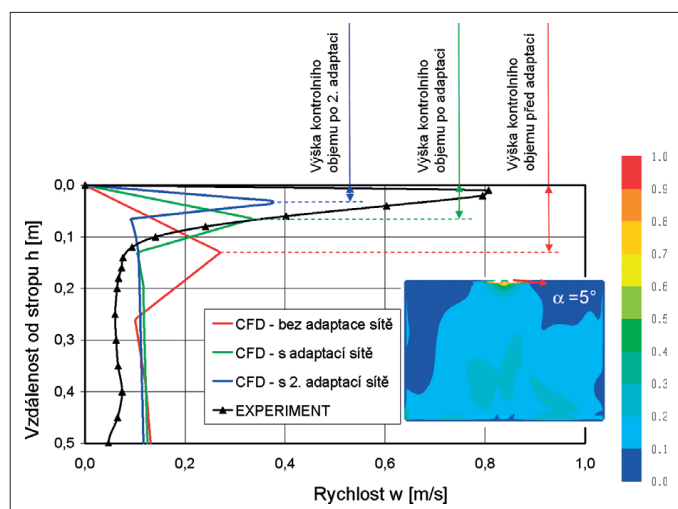
Obr. 6 Znáznornění dvojí adaptace výpočetní sítě v oblasti poblíž anemostatu;

a) Model měřicí komory s vyznačenou plochou řezu, ve kterém je charakter numerické sítě prezentován, b) Charakter numerické sítě bez adaptace, c) Numerická síť po první adaptaci vybrané oblasti, d) Numerická síť po druhé adaptaci vybrané oblasti

Obr. 7 Svislé rychlostní profily ve vzdálenosti $r = 0,6$ m od středové osy anemostatu; získané na základě experimentu a pro numerickou síť bez adaptace (BA), po první adaptaci vybrané oblasti (A1) a po druhé adaptaci vybrané oblasti (A2).

zadán podle skutečného experimentem zjištěného úhlu vystupujícího vzduchu z anemostatu $\alpha = 45^\circ$. Prezentované svislé rychlostní profily jsou získány na základě experimentu a na základě numerické analýzy pro numerickou síť:

- a) bez adaptace (BA),
- b) po první adaptaci vybrané oblasti (A1),
- c) po druhé adaptaci vybrané oblasti (A2).



Obr. 8 Svislé rychlostní profily ve vzdálenosti $r = 0,6$ m od středové osy anemostatu; získané na základě experimentu a pro numerickou síť bez adaptace (BA), po první adaptaci vybrané oblasti (A1) a po druhé adaptaci vybrané oblasti (A2), zadány úhel vystupujícího proudu vzduchu $\alpha = 5^\circ$

Jak je na obr. 7 vidět, rychlostní profily získané numerickou analýzou na základě použití zjednodušeného modelu se od experimentu značně liší. Vystupující proud vzduchu z výstky v CFD modelu (na rozdíl od experimentu) nepřilne ke stropu, neuplatňuje se tzv. Coandův efekt. Postupnou adaptací numerické sítě sice dochází ke vzniku výraznějšího rychlostního profilu, přesto rozdíl oproti skutečnosti je značný. Na základě těchto zjištění byly uskutečněny další numerické analýzy, kdy byl měněn úhel vystupujícího proudu vzduchu α . Pro výpočty byly měněny výstupní úhly $\alpha = 30^\circ$, 10° , 5° a 3° , a sice pro numerickou síť bez adaptace (BA) a po adaptacích (A1 a A2). Na obr. 8 je vidět porovnání rychlostního profilu získaného experimentem a numerickou analýzou pro $\alpha = 5^\circ$ (rychlostní profily ve vzdálenosti od středové osy anemostatu $r = 0,6$ m). Jak je vidět z obr. 8 i při malém výstupním úhlu α nedochází k přiblížení rychlostních profilů získaných numerickou simulací k experimentálně zjištěným. Proto byla změněna také okrajová vstupní podmínka intenzity turbulence. Vystupující proud vzduchu byl simulován s hodnotami intenzity turbulence 10 %, 20 % a 30 %, pro výstupní úhel $\alpha = 5^\circ$, obr. 9.

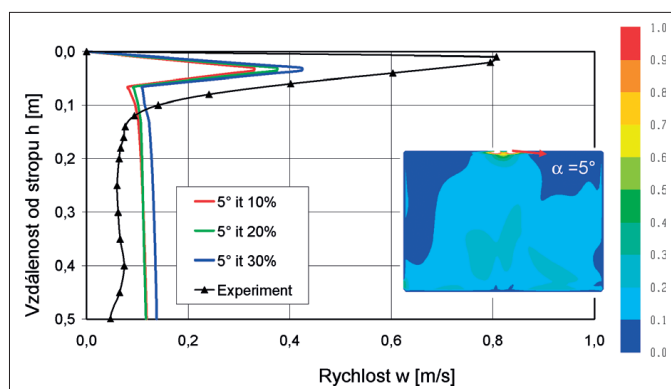
Z obr. 9 je zřejmé, že změna intenzity turbulence výstupního proudu vzduchu má vliv na velikost rychlostního profilu. Přesto však i pro vystupující proud vzduchu s intenzitou turbulence 30 % u výstupního úhlu $\alpha = 5^\circ$ je rozdíl oproti experimentu stále značný.

ZÁVĚR

Při numerických analýzách je počet kontrolních objemů jedním z důležitých parametrů, které ovlivňují rychlost výpočtu. Vzhledem k dosažení optimálního počtu kontrolních objemů při předpovědi charakteru proudění v místnosti s vířivými anemostaty může být vhodné použití tzv. zjednodušené metody modelování přiváděcích prvků.

Článek popisuje experimentální měření, kterými byla zjištěna rychlostní pole v blízkosti vířivého anemostatu. Výsledky experimentu slouží k ověření použití zjednodušené metody modelování přiváděcích prvků s ohledem ke vhodnému zadávání okrajových podmínek.

Na základě experimentu bylo prokázáno, že u vířivého anemostatu při úhlu vystupujícího vzduchu $\alpha = 45^\circ$ dochází k přilnutí ke stropu v důsledku Coandova jevu. V numerických analýzách při použití metody zjednodušeného modelování se však pro zadání úhlu vystupujícího vzduchu $\alpha = 45^\circ$ Coandův jev neprokázal. Pro přiblížení k reálnému charakteru rych-



Obr. 9 Svislé rychlostní profily ve vzdálenosti $r = 0,6$ m od středové osy anemostatu; získané na základě experimentu a pro numerickou síť po druhé adaptaci (A2), zadány různé hodnoty intenzity turbulence pro výstupní úhel $\alpha = 5^\circ$

lostního pole v blízkosti anemostatu je proto účelné v CFD analýzách úhel vystupujícího vzduchu optimalizovat. Avšak ani při zadání úhlu vystupujícího proudu vzduchu $\alpha = 5^\circ$ ani zvýšením intenzity turbulence přiváděného proudu vzduchu nebylo dosaženo shody rychlostních profilů ve zkoumaném místě ($r = 0,6$ m), jak je vidět na obr. 8 a 9. Výsledkem analýzy je skutečnost, že určité zjemnění výpočetní sítě v blízkosti anemostatu má své opodstatnění. Vyplývá to z průběhů rychlostních profilů na obr. 7 a 8, kde jsou vyznačeny i velikosti jednotlivých kontrolních objemů pro různé typy zasíťování.

Cílem další práce bude zjištění závislosti maximálních rozměrů jednotlivých kontrolních objemů v blízkosti vířivého anemostatu na velikosti adaptované oblasti tak, aby byla dosažena shoda s experimentem. Po dosažení shody s experimentem bude doporučena velikost oblasti a kontrolních objemů.

Kontakt na autory: Ludek.Toth@fs.cvut.cz, Jan.Schwarzer@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] Hemzal, K., *Vybrané stati z větrání*. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, 1973
- [2] Schwarzer, Jan, Tóth Luděk., *18. Konference klimatizace a větrání 2008*. Příspěvek Modelování koncových prvků ve vtechotechnice. Společnost pro techniku prostředí, 2008, ISBN 978-80-02-01978-7
- [3] Schwarzer, Jan, Tóth Luděk., *XII. Mezinárodní vědecká konference, Sekce 1 – Technická zařízení staveb a energie budov*, Příspěvek: Ověření charakteru proudění vzduchu v blízkosti vířivého anemostatu, Akademické nakladatelství CERM@, s.r.o. Brno, 2009, ISBN 978-80-7204-629-4
- [4] Schwarzer, Jan., 2006 „Vliv hustoty numerické sítě a metodiky výpočtu na charakter rychlostní mezní vrstvy“, *Simulace budov a techniky prostředí 2006*, Sborník 4. konference IBPSA-CZ, ISBN 80-01-03577-8

Seznam označení

V_p	objemový průtok přiváděného vzduchu	[m ³ /h]
h	svislá vzdálenost od stropu	[m]
r	vzdálenost od středové osy anemostatu	[m]
w	rychlost	[m/s]
α	úhel sklonu vystupujícího proudu vzduchu ke stropu, zadávaný jako okrajová podmínka v CFD analýzách	[°]
ω	úhel natočení ramene polohovacího mechanismu	[°]

Článek je součástí výzkumného záměru MŠM 6840770011 *Technika životního prostředí*. ■