

POČÍTAČOVÉ VYHODNOCOVÁNÍ DYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ PROUDÍCÍHO VZDUCHU

Mgr. David Zacho a kolektiv

Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

2009

Obsah

Cíl cvičení.....	3
Zadání:.....	3
Návod k provedení experimentu:.....	3
1 Stanovení charakteristik simulované atmosférické mezní vrstvy	3
1.1 Sestavení měřicí linky.....	3
1.2 Postup měření	4
1.3 Zpracování naměřených dat.....	5
2 Stanovení větrné pohody v úrovni chodů.....	6
2.1 Sestavení měřicí linky.....	6
2.2 Postup měření	6
2.3 Zpracování dat.....	7
3 Využití rychlých kamer pro sledování vzduchových částic	7
3.1 Instalace systému sledování vzduchových částic	7
Časová náročnost celého cvičení	8
Literatura:.....	9

Cíl cvičení

Seznámit se oborem větrného inženýrství a s oblastí fyzikálního modelování atmosférické mezní vrstvy. Seznámit se s aplikací počítače v měřicí lince. Seznámit se s programováním analogově digitálních převodníků a jejich využitím. Seznámit se s využitím optických metod při zviditelňování turbulentního proudění a stopování proudících vzduchových částic.

Zadání:

1. Ve větrném tunelu bude instalována simulace pro předměstský terén (kategorie III dle ČSN), nebo pro městský terén (kategorie IV dle ČSN). Změřte základní charakteristiky proudění v simulované atmosférické mezní vrstvě. Odhadněte měřítko simulace.
2. Instalujte model dvou výškových budov a 6 měřicích sond (Irwinovi sondy). Změřte proudění vzduchu v úrovni chodců v průchodu mezi modelovanými objekty. Porovnejte proudění větru pro několik modifikací průchodu.
3. Pomocí systému sledování částic unášených proudem (generátor Heliových bublinek, rychlé kamery a osvětlení), zaznamenejte proudění v průchodu mezi výškovými objekty. V programu v LabView zpracujte záznam rychlé kamery tak aby ukazoval historii pohybu vzduchových částí. Výstupem je videosekvence sledující stopující částice.

Návod k provedení experimentu:

1 Stanovení charakteristik simulované atmosférické mezní vrstvy

1.1 Sestavení měřicí linky

Použité vybavení:

- Větrný tunel se simulovanou atmosférickou mezní vrstvou
- Měřicí počítač
- A/D převodník a propojovací USB kabel
- Hot Wire Anemotr DANTEC Dynamics a příslušenství
- Sonda se žhaveným drátkem 55P11 a propojovací koaxiální kabel
- Kalibrační trať

Zkontrolujte propojení všech součástí měřicí linky, především měřicího počítače s A/D převodníkem a dále s anemometrem DANTEC Dynamics.

Měřicí sondu s jedním žhaveným drátkem 55P11 umístíte pomocí suportu na traverozovací zařízení v měřicím prostoru větrného tunelu. Zvolte vhodný vstup na A/D převodníku a k němu pomocí koaxiálního kabelu přiveďte signál z měřicí sondy. A/D převodník naprogramujte pomocí rozhraní Measurement and Automation tak, aby mohl správně vzorkovat analogový napěťový signál ze sondy.

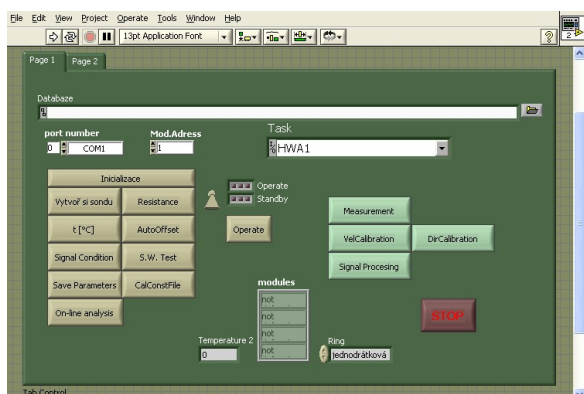
1.2 Postup měření

Postup měření je dán měřicím programem. Měřicí program vyžaduje postupně několik nastavení tak, aby na výstupu byly zpracované výsledky.

1.2.1 Měřicí program a jeho nastavení

Na měřicím počítači spusťte program Dantec.vi. Pak plňte následující instrukce:

Nastavte cestu k adresáři, kam budou ukládána všechna data a nastavení provedená během tohoto experimentu



Obr. 1. Náhled programu pro měření rychlosti proudění

Proveďte nastavení anemometru DANTEC, tj. změřte odpor sondy se žhaveným drátkem, proveďte vyvážení můstku a pokračujte v programu měření (tlačítko Resistance).

Tlačítkem VelCalibration otevřete okno rychlostní kalibrace. Kalibrační trať (je k dispozici na pracovišti větrného tunelu) umístíte před anemometrickou sondu. Nastavte pole kalibračních rychlostí. Měření proběhne v rozsahu rychlostí cca 3 – 15 m/s. Pro kalibraci nastavte 20 hodnot rychlostí v rozsahu 1 – 20 m/s a spusťte kalibraci. Ta proběhne

automaticky. Výsledkem jsou kalibrační konstanty, které odpovídají Collis - Williamsovu ochlazovacímu zákonu

$$E^2 = A - B \cdot U^N,$$

kde E je napětí naměřené na sondě, U je rychlost proudění a A , B , N jsou kalibrační konstanty.

Dle instalované kategorie terénu nastavte minimální výšku sondy nad povrchem. Tlačítkem Measurement otevřete okno měřicího podprogramu. Pro měření připravte tabulku s posuvy ve vertikální ose z v souřadném systému tunelu. Tyto posuny jsou hustější u povrchu a rozestupy se zvětšují s výškou. Maximální souřadnice nechť je $z = 900$ mm. Tuto výšku pokládáme za okraj simulované atmosférické mezní vrstvy.

Vzorkovací frekvenci a počet vzorků volte s ohledem na maximální zobrazovanou frekvenci na spektru. V tomto případě budeme signál filtrovat na hodnotě 0,3 kHz. Vzorkovací frekvence musí splňovat pravidlo

$$f_{vz} > 2 \cdot f_{cutoff}.$$

Měřicí karta i kapacita disku počítače nám umožňuje nastavit vzorkovací frekvenci tak abychom dostali až 10 bodů na nejrychlejší periodu v signálu. Další kritérium je doba vzorkování. Ze zkušeností víme, že je třeba cca 30 s měření pro ustálenou střední hodnotu.

Nyní již spusťte větrný tunel, rychlost nastavte dle údaje z Prandtlovy sondy na 15 m/s. Spusťte měření.

1.3 Zpracování naměřených dat

Změřené hodnoty budou uloženy ve zvoleném adresáři na disku počítače. S využitím programu a kalibračních konstant stanovte střední rychlosti a standardní odchylky signálu v měřených bodech. Vše je opět součástí měřicího programu.

Výsledný soubor zpracovaných dat obsahuje souřadnice proměřených bodů střední hodnoty podélné složky vektoru rychlosti U standardní odchylky signálu U_{sd} a intenzitu turbulence It .

$$U = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n u_i, U_{sd} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (u_i - U)^2}, It = \frac{U_{sd}}{U} \cdot 100\%.$$

Z profilu středních rychlosti nyní odhadněte parametr drsnosti z_0 . To proveďte následovně.

Naměřeným profilem proložte logaritmu (například v excelu) a z nalezených konstant pak stanovte souřadnici z_0 , které odpovídá nulová rychlost. Vertikální profil střední hodnoty podélné složky vektoru rychlosti je dán vztahem

$$U(z) = u^* \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z-d}{z_0} \right),$$

kde u^* je tzv. třetí rychlost

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}},$$

kde τ je tečné napětí na povrchu a ρ je hustota proudící tekutiny. κ je von Karmánova konstanta ($\kappa = 0,4$). z_0 je parametr drsnosti povrchu, z je souřadnice výšky nad povrchem a d je posunutí povrchu.

Proložením naměřených hodnot logaritmu získáte konstanty a a b ve výrazu

$$U = a \cdot \ln(z) + b.$$

Hledáme hodnotu z_0 simulace pro $U=0$ m/s ze vztahu

$$z_0 = \exp \left(\frac{U-b}{a} \right).$$

Parametr drsnosti pro předměstský terén v plném měřítku (kategorie III dle ČSN) je $z_0=0,3$ m. Parametr drsnosti pro městský terén v plném měřítku (terén kategorie IV dle ČSN) je při používané simulaci $z_0=1$ m.

Poměr mezi parametrem drsnosti simulace a parametrem drsnosti terénu dle ČSN je odhadem měřítka simulace.

Při návrhu modelu měřeného v takto simulované atmosférické mezní vrstvě je nutné respektovat odhadnuté měřítko simulace.

(Celková doba měření cca 60 minut)

2 Stanovení větrné pohody v úrovni chodů

2.1 Sestavení měřicí linky

Použité vybavení

- Větrný tunel se simulovanou atmosférickou mezní vrstvou
- Měřicí počítač
- A/D převodník a propojovací USB kabel
- Tlakové snímače Honeywell (rozsah ± 1 "vodního sloupce)
- 6 Irwinových sond
- Plastové hadičky
- Model dvou výškových budov s možností zvětšení jejich výšky na dvojnásobek

Umístěte modely budov do modelového prostoru větrného tunelu dle výkresu a Irwinovy sondy do vzniklého průchodu mezi budovami. Poloha sond je naznačena v obrázku. Výkres zachycující aktuálně sledovanou konfiguraci průchodu bude k dispozici na pracovišti s větrným tunelem. Výšku Irwinových sond nastavte tak aby odpovídala přibližně výšce chodce (cca 1.75 m) a to v měřítku odhadnutém z předchozího měření.

Irwinovy sondy propojte pomocí plastových hadiček s tlakovými snímači Honeywell. Signál z tlakových snímačů připojte k analogovým vstupům A/D převodníku. A/D převodník naprogramujte v prostředí Measurement and automation pro vzorkování signálu ze šesti kanálů.

2.2 Postup měření

K měření využijte program Pressure.vi. Program vyžaduje několik nastavení.

Prvním krokem je nastavení adresáře, kde budou uložena sejmutá data a nastavení měření. Následuje nastavení vzorkovací frekvence a počtu vzorků. Tlakové snímače Honeywell jsou připojeny přes analogový filtr s hodnotou cca 0.3 kHz. Výstupem z měření jsou střední hodnoty a standardní odchylky signálu z jednotlivých Irwinových sond. Nestanovujeme spektrum. Vzorkovací frekvence 1 kHz bude v tomto případě dostatečná. Počet vzorků

souvisí s dobou měření. Dle zkušeností postačí 30 s měření pro stanovení ustálené střední hodnoty.

Spusťte větrný tunel a rychlost na Prandtlově sondě nastavte na 15 m/s. Spusťte měření.

Změňte šířku průchodu mezi budovami a opakujte měření.

Výstupní soubory obsahují tabulky s čísly pozic Irwinových sond a jim příslušné střední hodnoty tlaku a standardní odchylku tlakového signálu.

2.3 Zpracování dat

Z tlakových hodnot stanovte pomocí kalibračních konstant α a β hodnoty středních rychlostí a standardních odchylek signálu dle rovnic

$$\bar{U} = \alpha + \beta \sqrt{\Delta p - \frac{\Delta p'^2}{\Delta p}}, \quad u_{SD} = \frac{\beta}{2} \sqrt{\frac{\Delta p'^2}{\Delta p}}.$$

Konstanty α a β jsou určeny z kalibrace, která se provádí svázáním tlakového signálu z Irwinových sond se známým rychlostním signálem stanoveným pomocí HWA v pozicích IRS.

Graficky znázorněte výsledky a porovnejte vliv měnící se šířky průchodu mezi výškovými objekty.

(doba měření cca 60 min)

3 Využití rychlých kamer pro sledování vzduchových částic

3.1 Instalace systému sledování vzduchových částic

Použité vybavení

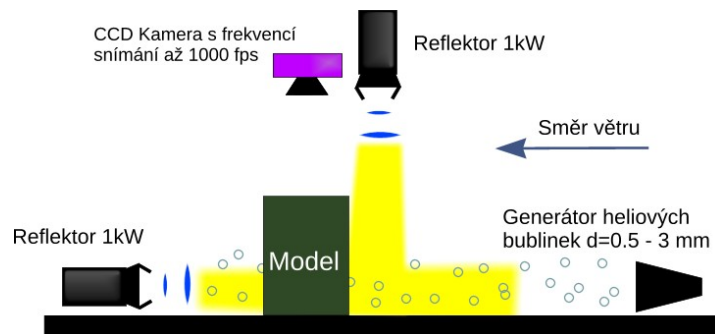
- Větrný tunel se simulovanou atmosférickou mezní vrstvou
- Rychlá kamera až 1000 fps
- Osvětlovací technika včetně vybavení ke směřování svazků světla
- Generátor Heliových bublinek a příslušenství

Zájmová lokalita bude průchod mezi modely výškových objektů.

Nejprve instalujte osvětlení sledované scény a to tak, aby byl osvětlen právě celý prostor zájmu. Všechny prvky umístěné v kanále větrného tunelu musí být pevně uchyceny.

Dále instalujte rychloběžnou kameru tak aby zabírala sledovanou scénu.

Instalujte generátor heliových bublinek a vylad'te ho tak, aby produkoval dostatečné množství stopujících částic. Stopujícími částicemi pak dotujte proud vzduchu nabíhající do sledovaného prostoru.



Obr. 2. Schéma instalace systému pro sledování vzduchových částic

Po té spus'te větrný tunel a rychlost měřenou na Prandtlově sondě nastavte na cca 5 m/s a proved'te záznam rychloběžnou kamerou.

Následně použijte program připravený v programovacím prostředí LabView a proved'te následující operace:

Vytvořte průměr ze všech obrázků vybrané části záznamu a tento odečtete od každého ze zmíněných obrázků. Nastavte prahovou hodnotu a převed'te obrázek do úrovní černá bílá. Tím budou zvýrazněny jednotlivé vzduchové částice.

Po té můžete vytvořit vizualizaci proudění pomocí plovoucího součtu vhodného počtu snímků.

Další možností programu je lokalizace jednotlivých částic proudění.

K dispozici máte zdrojový soubor programu a je možno provádět úpravy a nastavby programu pro další operace s pořízeným záznamem.

(doba měření cca 120 min)

Časová náročnost celého cvičení

Samotná exkurze na pracovišti AER zabere cca 45 min. Celková doba pobytu studentů na pracovišti s větrným tunelem je 5 hodin. V případě nedostatku času lze cvičení omezit pouze na zadání bodu 2 a 3. Parametry simulace atmosférické mezní vrstvy jsou průběžně stanovovány pracovníky obsluhujícími větrný tunel se simulovanou atmosférickou mezní vrstvou a jsou k dispozici.

Vlakové spojení mezi Olomoucí a Prahou umožňuje při odjezdu z Olomouce v 6:08 a návratu do Olomouce v 19:54 pobyt až 6 hodin na pracovišti s větrným tunelem.

Literatura:

- [1] ASCE Manuals & Reports on Eng. Practice, No 67 Wind Tunnel Studie sof Buildins, American Society of civil engineers, Reston, Virginia
- [2] Dyrbye C., Hansen O. S., *Wind load on structures*, West Sussex, England, 1997.
- [3] ČSN 73 0035 Zatížení staveních konstrukcí, ÚNM Praha, 1986.