

Technická měření v bezpečnostním inženýrství

Čís. úlohy:

3

Název úlohy:

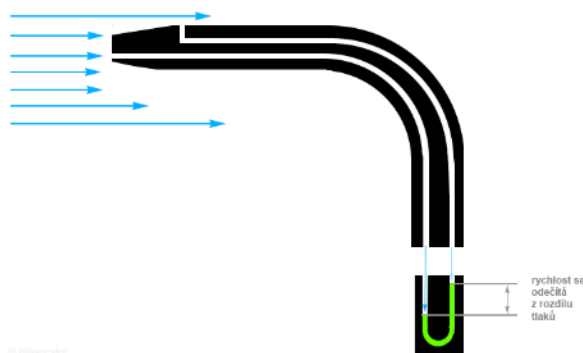
Měření rychlostního profilu aerodynamického tunelu

Úkol měření

- Nakreslete průřez potrubí s měřicími (vzorkovacími) body, v obrázku zakótuje vzdálenosti jednotlivých měřicích bodů.
- Provedte měření rychlostního profilu volného proudu v potrubí kruhového průřezu, nakreslete rychlostní profil.
- Z hodnot naměřených pomocí přístroje ALMEMO vypočítejte střední rychlost, objemový a hmotnostní průtok.
- Porovnejte hodnoty získané pomocí přístroje ALMEMO s hodnotami získanými pomocí lopatkového anemometru AIRFLOW.

Obecná část

Prandtl navrhl trubici, u níž je odběr celkového i statického tlaku soustředěn v jednom měřidle (obrázek 1). Prandtlůva trubice je tvořena válcovým tělesem s parabolickým nebo půlkulovým ukončením. V ose trubice je otvor pro odběr celkového tlaku p_c , který je vyveden vnitřní trubí. Statický tlak p_s se snímá v drážce nebo otvoru na plášti vnější trubice a je vyveden druhou trubí. Aby tlak p_s byl roven tlaku nerozrušeného proudu, je odběr statického tlaku umístěn ve vzdálenosti rovnající se minimálně třem průměrům trubice od jejího ústí.



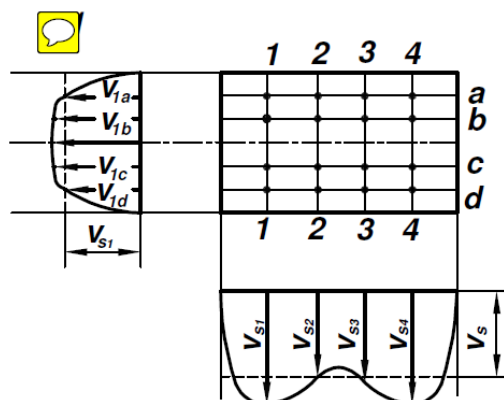
Obrázek 1 Prandtlůva trubice

Při jednorozměrném proudění, např. v uzavřených kanálech nebo potrubích, při obtékání těles skutečná tekutina na stěně lpí a následkem viskozity je rychlost na stěně nulová. V ostatním průřezu je rychlost nerovnoměrně rozložena po průtočném průřezu. Prandtlůvou trubicí se určuje rychlost v místě, v němž je čelo trubice. Posouváním trubice se změní rychlosti, které jsou závislé na souřadnicích. Grafické znázornění průběhu rychlostí po průtočném průřezu se nazývá rychlostní profil.

Má-li se z naměřeného rychlostního profilu vypočítat střední rychlost, zvolí se v průtočném průřezu vhodný počet bodů, ve kterých se změní rychlost (viz obrázek 2). Střední rychlost se pak stanoví integrací přes celý průtočný průřez:

$$v_s = \frac{1}{S} \int_S v \, ds$$

Volba počtu bodů nebo rovin je závislá na konkrétních podmínkách. Je-li rychlostní profil nesymetrický, případně vzniká-li zpětné proudění, volí se počet bodů obvykle větší.



Obrázek 2 Určení střední rychlosti z rychlostního profilu

Celkový objemový průtok je dán vztahem $Q_v = S \cdot v_s$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Hmotnostní průtok je hmotnostní množství tekutiny, které proteče daným průtočným průřezem potrubí za jednotku času. Pro hmotnostní průtok pak platí vztah $Q_m = \frac{m}{t}$ [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$].

Z definice hustoty získáme závislost mezi hmotnostním a objemovým průtokem

$$\rho = \frac{\frac{m}{V}}{\frac{t}{V}} = \frac{Q_m}{Q_v} \Rightarrow Q_m = Q_v \cdot \rho.$$

Po úpravě hmotnostní průtok tekutiny je $Q_m = S \cdot \rho \cdot v_s$, kde S [m^2] je průtočná plocha, ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] je hustota tekutiny a v_s [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] je střední rychlost proudění tekutiny potrubím.

Hustota plynu se odvodí ze stavové rovnice:

$$pV = nRT, \text{ kde}$$

p je tlak měřeného plynu v potrubí [Pa],

t je teplota měřeného plynu v potrubí [K],

$$M = 28,95 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1},$$

$$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

Použité přístroje

Aerodynamický tunel s frekvenčně řízeným ventilátorem, lopatkový anemometr AIRFLOW TA460 (Obrázek 3), Prandtlova trubice, přístroj ALMEMO (Obrázek 4) se snímačem diferenčního tlaku AHLBORN ALMEMO FDA602S6K +6800 Pa, ocelové měřítko



Obrázek 3 Lopatkový anemometr AIRFLOW



Obrázek 4 Přístroj ALMEMO

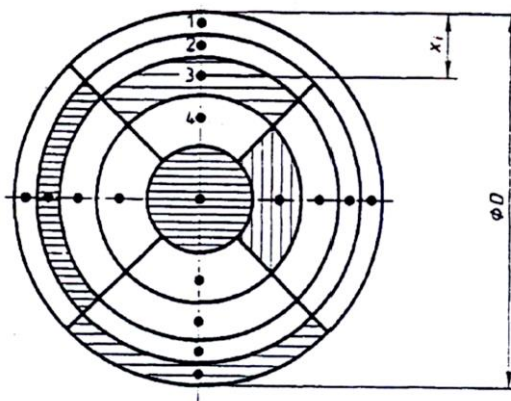
Postup práce**Ad a) Měřicí body potrubí**

1. Vnitřní průměr tunelu je **380 mm**, vypočítejte plochu rychlostního profilu.
2. Načrtněte průřez potrubí, určete počet měřících bodů dle tabulky 1 a zrnačte polohu (zakótuujte) vzorkovacích bodů. Minimální počet vzorkovacích (měřících) bodů je určen rozměry měřícího profilu. Obecně tento počet stoupá s rostoucí plochou průřezu potrubí.

Tabulka 1 Nejmenší počet měřících (vzorkovacích) bodů pro potrubí kruhového průřezu o ploše => 0,07 m².

Plocha měřícího profilu m ²	Průměr potrubí m	Nejmenší počet měřících přímk (průměrů)	Nejmenší počet měřících bodů na průměr střední bod		Nejmenší počet měřících bodů na průřez střední bod	
			včetně	bez	včetně	bez
0,07 až 0,38	0,3 až 0,7	2	3	2	5	4
0,38 až 0,79	0,7 až 1	2	5	4	9	8
0,79 až 3,14	1 až 2	2	7	6	13	12
> 3,14	> 2	2	9	8	17	16

Plocha měřícího profilu musí být rozdělena na rovnoploché části a měření musí být provedeno ve středu každé části (viz Obrázek 5). Žádný ze vzorkovacích bodů však nesmí ležet ve vzdálenosti menší než 2 cm od stěny potrubí. Pokud se tento případ vyskytne, musí být Prandtlova trubice umístěna 2 cm od stěny potrubí. Vzdálenost vzorkovacích bodů od stěny potrubí je uvedena v tabulce 2.



Obrázek 5 Rozmístění vzorkovacích (měřících) bodů v potrubí kruhového průřezu – Základní rozdělení

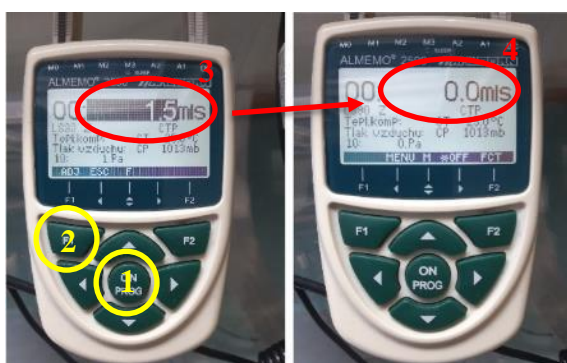
Poznámka – Šrafované části mají stejnou plochu; $D > 2$ m

Tabulka 2 Vzdálenost vzorkovacích (měřících) bodů (v procentech průměru D) od stěny potrubí, základní rozdělení

Počet měřících bodů	% D			
	Počet měřících bodů, n_i , na jeden průměr			
	3	5	7	9
<i>i</i>				
1	11,3	5,9	4,0	3,0
2	50,0	21,1	13,3	9,8
3	88,7	50,0	26,0	17,8
4		78,9	50,0	29,0
5		94,1	74,0	50,0
6			86,7	71,0
7			96,0	82,2
8				90,2
9				97,0

Ad b) Měření rychlostního profilu

- Nastavte ústí Prandtlovy trubice pohybem po posuvném zařízení do 1. měřicího bodu – **nejlépe do bodu ve středu průřezu potrubí**. Při nastavování polohy prvního bodu použijte značek nakreslených na svislém a vodorovném měřítku. Ústí Prandtlovy trubice musí ležet rovnoběžně s osou měřeného tunelu.
- Zapněte lopatkový anemometr AIRFLOW a přístroj ALMEMO. Přístroj ALMEMO na displeji zobrazuje přímo rychlost proudění odpovídající změřenému diferenčnímu tlaku. Zobrazení rychlosti proudění provedte přepínáním měřených veličin pomocí šipek nahoru a dolů. Před dalším postupem proveďte vynulování měřené rychlosti krátkým stisknutím tlačítka „PROG“ (černě se podbarví údaj o rychlosti a na levé spodní části displeje se zobrazí text „ADJ“) a následným delším stiskem tlačítka F1. Tento postup je obvykle potřeba několikrát zopakovat, až je na displeji zobrazena nulová rychlost (Obrázek 6).



Obrázek 6 Nulování přístroje ALMEMO

- Stisknout tlačítko „PROG“
- Stisknout tlačítko „F1“
- Text se podbarví
- Rychlost se vynuluje, pokud ne, postup zopakovat

- Privolejte pedagoga a pod jeho dohledem zapněte ventilátor přepnutím spínače do polohy „I“. Na regulátoru otáček nastavte hodnotu doporučenou pedagogem a vyčkejte na ustálení rychlosti proudění v tunelu.
- Prandtlovou trubicí změřte rychlost proudění v již nastaveném bodě (bod ve středu průřezu potrubí) a následně postupně změřte rychlost proudění v ostatních vzorkovacích bodech profilu potrubí. **Hodnoty rychlosti v jednotlivých měřicích bodech měřených pomocí přístroje ALMEMO zaznamenejte.**
- Po změření proudění ve všech vzorkovacích bodech **zaznamenejte také rychlost** změřenou lopatkovým anemometrem **AIRFLOW TA460** a odpovídající **objemový průtok**.
- Ze zařízení **AIRFLOW TA460** si taktéž zaznamenejte **teplotu a barometrický tlak vzduchu v potrubí** pro výpočet hustoty plynu a posléze hmotnostního průtoku.
- Postup podle bodu 6 až 8 zopakujte 3x při stále stejně nastavené rychlosti proudění – pro výpočet průměrné rychlosti v jednotlivých bodech.
- Na regulátoru otáček změňte rychlost o 10 % a posléze o 20 % z původně nastavené hodnoty (nebo dle pokynu pedagoga a opakujte postup měření dle bodu 6 až 9).
- Vypněte ventilátor otočením spínače do polohy „0“, vypněte přístroj ALMEMO a lopatkový anemometr AIRFLOW vytažením ze zásuvky.
- Vypočítejte průměrné rychlosti v jednotlivých vzorkovacích bodech pro daná procenta otáček a vykreslete rychlostní profily do grafu.

Ad c) Výpočet střední rychlosti rychlostního profilu

13. Vypočtete **střední rychlost proudění** profilu pro všechna měřená procenta otáček, při kterých probíhalo měření a následně vypočtete **objemový průtok** pro daná procenta otáček. Vypočtete **hustotu proudícího plynu** z hodnot získaných pomocí lopatkového anemometru AIRFLOW, a nakonec vypočtete **hmotnostní průtok** pro daná procenta otáček.

Ad d) Porovnání výsledků měření

14. Porovnejte vypočtené údaje středních rychlostí a objemových průtoků s hodnotami zapsanými z lopatkového anemometru AIRFLOW. Okomentujte výsledky.

Výsledky – tabulky naměřených hodnot