

RÝCHLOSTNÝ PROFIL TEKUTINY V POTRUBÍ

Ciel' práce

1. Určiť rýchlostný profil vzduchu v kruhovom potrubí pomocou Pitotovej-Prandtlovej rúrky.
2. Pomocou nameraných hodnôt rýchlostí stanoviť koeficienty v rovniciach na výpočet rýchlostného profilu tekutiny v potrubí.
3. Integráciou rýchlostného profilu vypočítať objemový tok tekutiny.

TEORETICKÁ ČASŤ

Pohyb tekutiny

Tekutiny (ako telesá) sa deformujú pôsobením vonkajších síl, ktoré menia ich pohybový stav. Popri tepelnom pohybe molekúl nastáva potom translácia a často aj rotácia určitých elementov tekutiny oproti ostatným elementom prostredia. Takýto pohyb sa nazýva prúdenie. Vlastnosti elementov tekutiny (rýchlosť, hustota, tlak) sú všeobecne funkciou polohy, menia sa z miesta na miesto. Túto zmenu možno považovať za spojitú, každému bodu tekutiny možno priradiť určité hodnoty vlastností. Tým sú definované polia vlastností tekutiny, ktoré sa môžu meniť s časom. Napr. pre lokálnu (miestnu) rýchlosť v to zapisujeme v tvare:

$$v = v(x, y, z, \tau) \quad (1.1)$$

kde x, y, z sú súradnice bodu v tekutine a τ je čas. V takom prípade hovoríme o neustálenom prúdení. Ak hodnoty veličín nezávisia od času, prúdenie je ustálené. Stredovaním okamžitých lokálnych hodnôt veličín na určitom intervale času sa získajú stredné lokálne veličiny. Ak sa hodnota strednej veličiny na určitom mieste nemení s časom, je prúdenie z hľadiska tejto veličiny ustálené.

Rýchlostný profil tekutiny v potrubí

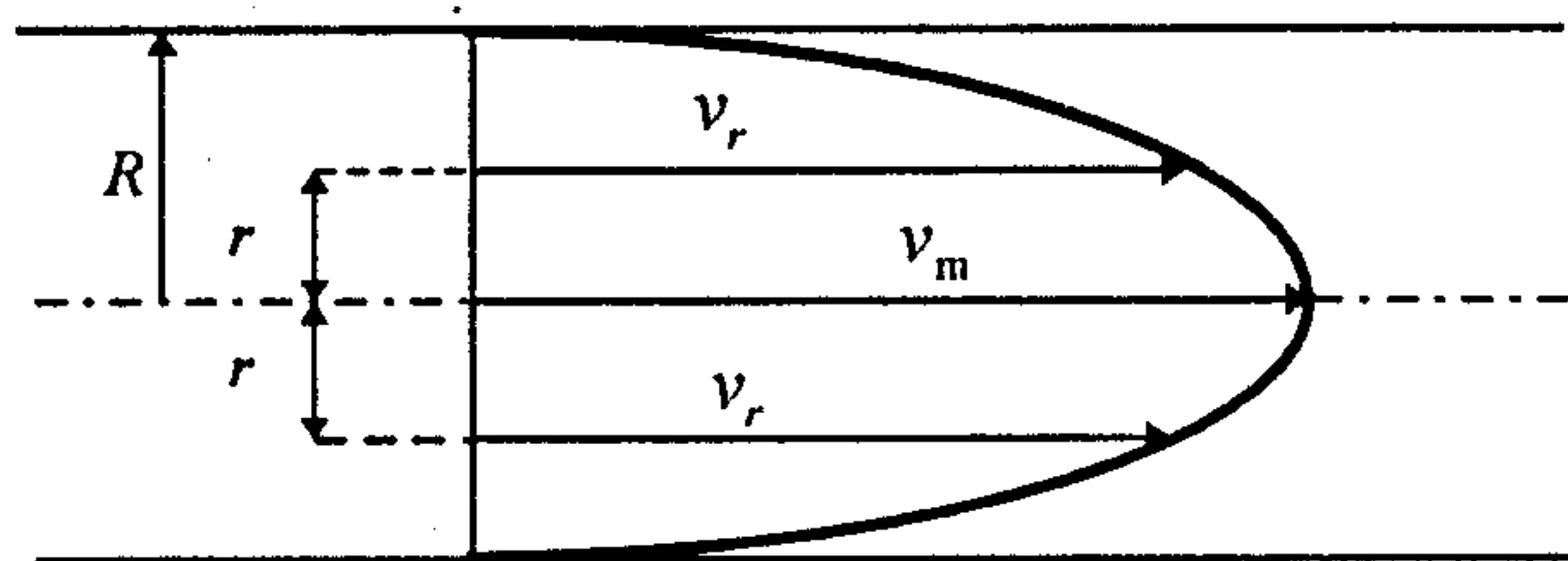
Ak vektory lokálnych rýchlostí v_r pre rad hodnôt $r \in \langle 0; R \rangle$, kde R je polomer potrubia, zakreslíme pozdĺž priemeru potrubia rovnobežne s jeho osou a spojíme koncové body vektorov rýchlostí, dostaneme čiaru, ktorá sa nazýva rýchlostný profil. Ak sa jeho tvar pozdĺž potrubia nemení, používame preň názov vyvinutý rýchlostný profil. Každý detail v potrubí a zmena

smeru potrubia zmení tvar rýchlostného profilu a vyvinutým sa stane až v určitej vzdialenosti od tohto miesta.

Vyvinutý rýchlostný profil pri laminárnom prúdení v rovnej rúre kruhového prierezu má tvar paraboly

$$v_r = v_m \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (1.2)$$

kde v_m je rýchlosť v osi potrubia, obr. 1.1. Plocha preložená koncami vektorov rýchlosti po celom priereze potrubia tvorí rotačný paraboloid.



Obr. 1.1. Rýchlostný profil tekutiny v potrubí pri laminárnom režime

Napriek neusporiadanosti pohybu elementov tekutiny pri turbulentnom prúdení nado- budnú v potrubí stredné lokálne rýchlosti hodnoty, ktoré sa nemenia s časom. Vzťah pre pres- ný všeobecný vyvinutý rýchlostný profil pri turbulentnom prúdení sa nepodarilo nájsť. Pomerne širokú platnosť má rovnica

$$\frac{v_m - v_r}{v^*} = -\frac{1}{k} \left[\ln \left(1 - \sqrt{\frac{r}{R}} \right) + \sqrt{\frac{r}{R}} \right] \quad (1.3)$$

odvodená Kármánom. Veličina v^* je tzv. dynamická rýchlosť; možno ju vypočítať pomocou koeficientu trenia λ a priemernej rýchlosti w zo vzťahu

$$v^* = w \sqrt{\frac{\lambda}{8}} \quad (1.4)$$

Empiricky stanovená hodnota koeficientu k v rovnici (1.3) je približne 0,36.

Pri prúdení v hladkých potrubíach možno rýchlostný profil pomerne dobre opísať rovni- cou, ktorú odvodil Prandtl:

$$\frac{v_r}{v_m} = \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1.5)$$

Koeficient n nadobúda hodnoty od $n = 6$ pri $Re = 10^4$ po $n = 10$ pri $Re = 3,2 \cdot 10^6$. Pri $Re = 10^5$ je $n \doteq 7$. Pre drsné potrubie je n väčšie.

Pri výpočte rýchlostného profilu podľa rovníc (1.3) a (1.5) treba okrem empirických súčiniteľov poznať okrajovú podmienku: rýchlosť v osi potrubia. V inžinierskej praxi sa táto hodnota pri známom prietoku tekutiny stanovuje najčastejšie zo závislosti

$$\frac{w}{v_m} = f(Re) \quad (1.6)$$

Ak je rýchlostný profil osovo-symetrický, ako napr. vyvinutý profil v potrubí kruhového prierezu, mení sa rýchlosť tekutiny pozdĺž polomeru R , ale na kružnici s polomerom r je konštantná. Objemový tok osovo-symetrického prúdu vypočítame zo vzťahu

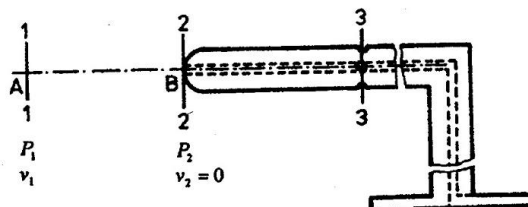
$$\dot{V} = 2\pi \int_0^R v_r r dr \quad (1.7)$$

Pri meraní lokálnych rýchlostí v potrubí, kde rýchlostné pole nie je symetrické, sa rýchlostný profil určuje najmenej pozdĺž dvoch na seba kolmých priemerov. Získajú sa tak rýchlostné profily v každom kvadrante potrubia. Z nameraných údajov môžeme numerickou integráciou podľa rovnice (1.7) vypočítať 4 objemové prietoky (z každého kvadrantu jeden). Symetriu rýchlostného profilu môžeme posudzovať aj na základe rozptylu objemových prietokov vzduchu vypočítaných podľa jednotlivých kvadrantov. Výsledný objemový prietok potrubím vypočítame ako aritmetický priemer uvedených 4 prietokov.

$$\dot{V} = \frac{\dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \dot{V}_3 + \dot{V}_4}{4} \quad (1.8)$$

Meranie lokálnych rýchlostí tekutiny

Ak do prúdiaceho prostredia zavedieme neprietokovú rúrku so zaobleným koncom, orientovanú otvorom proti smeru vektorov strednej lokálnej rýchlosti, vytvorí sa pri obtekaní tohto telesa rýchlostné pole, v ktorom má osobitný význam prúdnicu AB na priamke prechádzajúcej osou rúrky, *obr. 1.2*.



Obr. 1.2. Ilustrácia snímania tlaku pomocou Pitotovej-Prandtlovej rúrky

V bode B, v osi symetrie rúrky, má rýchlosť tekutiny v_2 nulovú hodnotu. Pozdĺž prúdnice AB dochádza k premene kinetickej energie na tlakovú energiu. Premenu mechanickej energie v prúdiacej tekutine kvantifikuje Bernoulliho rovnica, z ktorej dostaneme

$$\frac{P_1}{\rho_{A1}} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho_{A2}} \quad (1.9)$$

Pokles rýchlosti v prúdnici nastáva až v tesnej blízkosti bodu B, straty trením na tomto úseku sú zanedbateľné. Z rovnice (1.9) možno určiť strednú lokálnu rýchlosť tekutiny v mieste 1

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho_A}} \quad (1.10)$$

Rozdiel tlakov ($P_2 - P_1$), vyvolaný premenou kinetickej energie tekutiny pozdĺž prúdnice AB, sa nazýva dynamický tlak. Tlak P_1 sa nazýva statický tlak, tlak P_2 v bode B je tzv. celkový tlak. Symbol $\rho_A = \rho_{A1} \doteq \rho_{A2}$ označuje hustotu prúdiacej tekutiny.

Statický tlak P_1 možno snímať otvormi navŕtanými v stene potrubia v priereze 1. Zistilo sa však, že statický tlak na povrchu rúrky, vo vzdialenosti trojnásobku jej priemeru od miesta 2 (obr. 1.2), nadobúda hodnotu, ktorá sa nevýznamne líši od statického tlaku v mieste 1. Na tomto poznatku sa zakladá zisťovanie statického a celkového tlaku kompaktným snímačom, Pitotovou-Prandtlovou rúrkou, zostavenou z dvoch sústredných rúrok. Vnútoraná slúži na vývod celkového tlaku. Otvormi po obvode vonkajšej rúrky v priereze 3 sa do medzirúrkového priestoru uvedie statický tlak. Vývody celkového a statického tlaku sa často pripájajú k ramienam U-trubice, ktorá predstavuje tlmený snímač produkujúci strednú hodnotu lokálnej veličiny. Rozdiel hladín meracej kvapaliny s hustotou ρ_B v U-trubici je mierou dynamického tlaku. Dynamický tlak možno vypočítať z rovnice

$$P_2 - P_1 = (\Delta l - \Delta l_0) \sin \alpha \ g (\rho_B - \rho_A) \quad (1.11)$$

Δl je vzdialenosť meniskov meracej kvapaliny meraná pozdĺž ramien, ktoré zvierajú s horizontálnou rovinou uhol α ; Δl_0 je vzdialenosť meniskov meracej kvapaliny pri $\Delta P = 0$.

Vlastnosti prúdiacej tekutiny

V tejto práci sa meria rýchlostný profil vzduchu v potrubí. Atmosférický vzduch obsahuje okrem stálych zložiek premenlivé množstvo vodnej pary. Zastúpenie vodnej pary vo vzduchu charakterizuje relatívny hmotnostný zlomok vodnej pary \bar{Y} (voči suchému vzduchu), nazýva sa vlhkosť vzduchu. Vzduch v potrubí sa líši od vzduchu v okolí teplotou a tlakom, zloženie majú rovnaké. Stanovenie vlhkosti vzduchu v okolí je však experimentálne jednoduchšie. Údaje na výpočet hodnoty \bar{Y} získame v tomto prostredí psychrometricky.

Psychrometrická metóda je založená na poznatku, že ak okolo vlhkého materiálu alebo vody prúdi vzduch určitých vlastností a ak si táto látka môže vymieňať teplo len s prúdiacim

vzduchom, nadobudne vlhký materiál teplotu, ktorá závisí len od teploty a vlhkosti vzduchu a nazýva sa adiabatická saturačná teplota. Naopak, údaje o teplote prúdiaceho vzduchu a adiabatickej saturačnej teplote stačia na určenie vlhkosti vzduchu.

Zariadenie, pomocou ktorého sa zisťuje vlhkosť vzduchu na tomto princípe, sa nazýva psychrometer. Do jeho zostavy patria dva teplomery. Jedným z nich sa meria teplota vzduchu, nazýva sa suchý teplomer. Nádobka s meracou kvapalinou druhého teplomera je obalená mušelinom, nasiaknutým vodou, preto sa nazýva vlhký teplomer. Súčasťou psychrometra je ventilátor, ktorý zabezpečí primeranú cirkuláciu vzduchu z okolia. Teplota vlhkého teplomera sa po krátkom čase ustáli na hodnote adiabatickej saturačnej teploty.

Pomocou teploty suchého teplomera t_s a teploty vlhkého teplomera t_v možno vlhkosť vzduchu vypočítať z tepelnej bilancie procesu výmeny látky a tepla medzi vodou v mušeline a prúdiacim vzduchom v jeho okolí. Úpravou bilancie získame vzťah

$$\bar{Y} = \frac{0,622 \frac{P_v^o}{P - P_v^o} \Delta h_v - c_{ps}(t_s - t_v)}{c_{pv}(t_s - t_v) + \Delta h_v} \quad \Delta h_v = c_{pv} \cdot (t_s - t_v) + \bar{Y} (\Delta h_v + c_{ps}(t_s - t_v)) \quad (1.12)$$

kde P je tlak vlhkého vzduchu, P_v^o je tlak nasýtenej vodnej pary pri teplote t_v , Δh_v je výparné teplo vody pri teplote t_v , c_{ps} je špecifická tepelná kapacita suchého vzduchu pri teplote $(t_s + t_v)/2$, c_{pv} je špecifická tepelná kapacita vodnej pary pri teplote $(t_s + t_v)/2$. Hustotu vlhkého vzduchu možno vypočítať zo vzťahu, ktorý sa získa úpravou stavovej rovnice ideálneho plynu

$$\rho = \frac{P(1 + \bar{Y})}{RT \left(\frac{1}{29} + \frac{\bar{Y}}{18} \right)} \quad (1.13)$$

ZADANIE PRÁCE

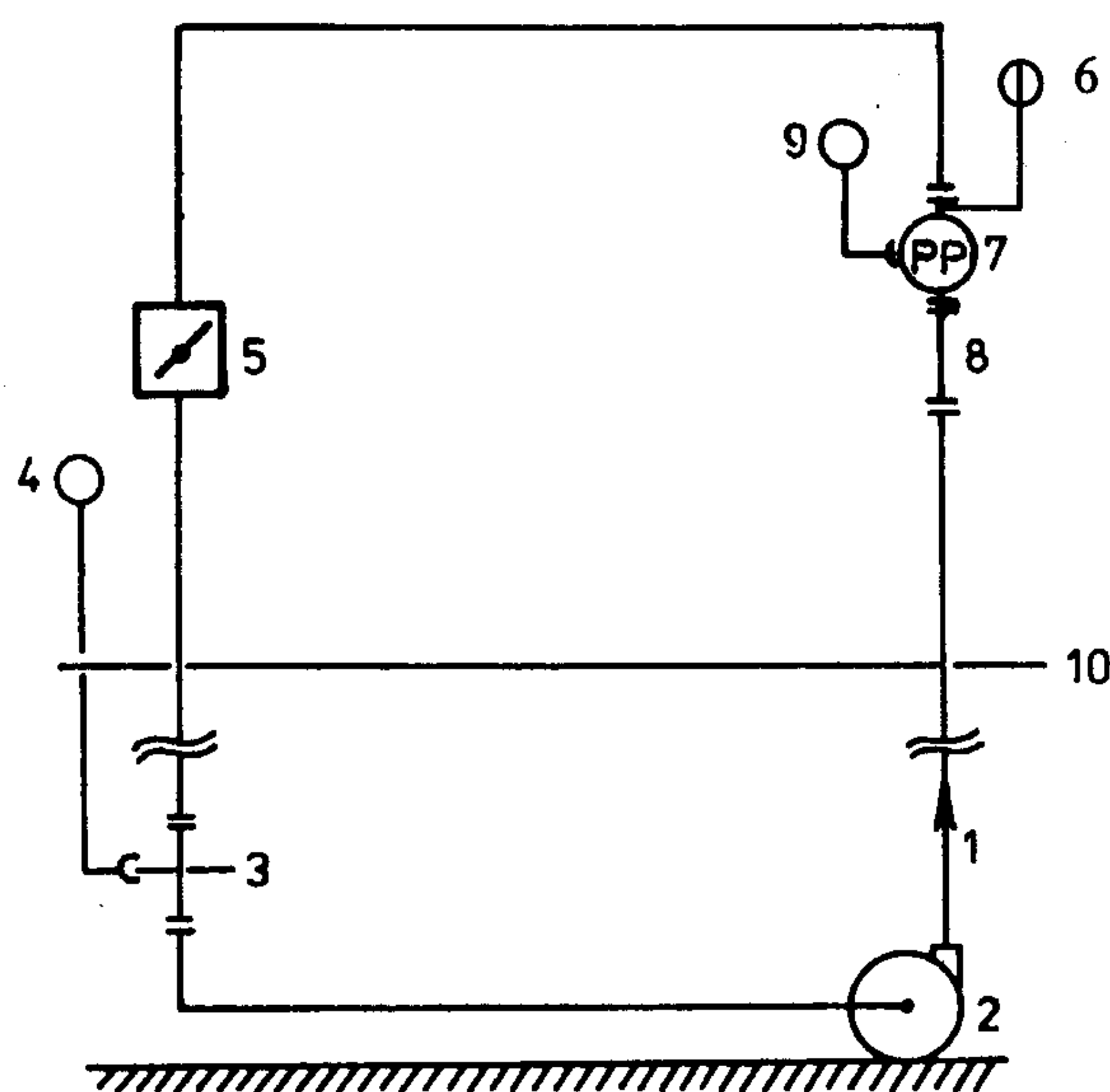
1. Určte pomocou Pitotových-Prandtlových rúrok rýchlostný profil vzduchu pozdĺž dvoch na seba kolmých priemerov potrubia pri polohe regulačnej klapky.
2. Z hodnôt stredných lokálnych rýchlostí určte objemový tok vzduchu potrubím \dot{V} a porovnajte ho s objemovým tokom \dot{V}_c stanoveným pomocou clonky.
3. Vypočítajte priemernú rýchlosť vzduchu v potrubí pre objemový tok \dot{V} . Pomocou závislosti $(w/v_m) = f(Re)$ určte osovú rýchlosť tekutiny a porovnajte ju s experimentálne stanovenou hodnotou osovej rýchlosti.

4. Pomocou nameraného rýchlostného profilu určte hodnoty koeficientov v rovniciach (1.3) a (1.5).
5. Z rovníc (1.3) a (1.5) vypočítajte rýchlostný profil vzduchu.
6. Zakreslite do grafu rýchlostné profily z experimentálne stanovených a z rovníc (1.3) a (1.5) vypočítaných stredných lokálnych rýchlostí vzduchu. Odlíšte ich napríklad farebne.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Zariadenie

Rýchlostný profil sa meria v zvislom úseku potrubia s vnútorným priemerom $D = 0,106$ m a dĺžkou 7,5 m vo vzdialenosti 5,5 m od vstupu vzduchu do zvislej rúry. Schéma zariadenia je na obr. 1.3.



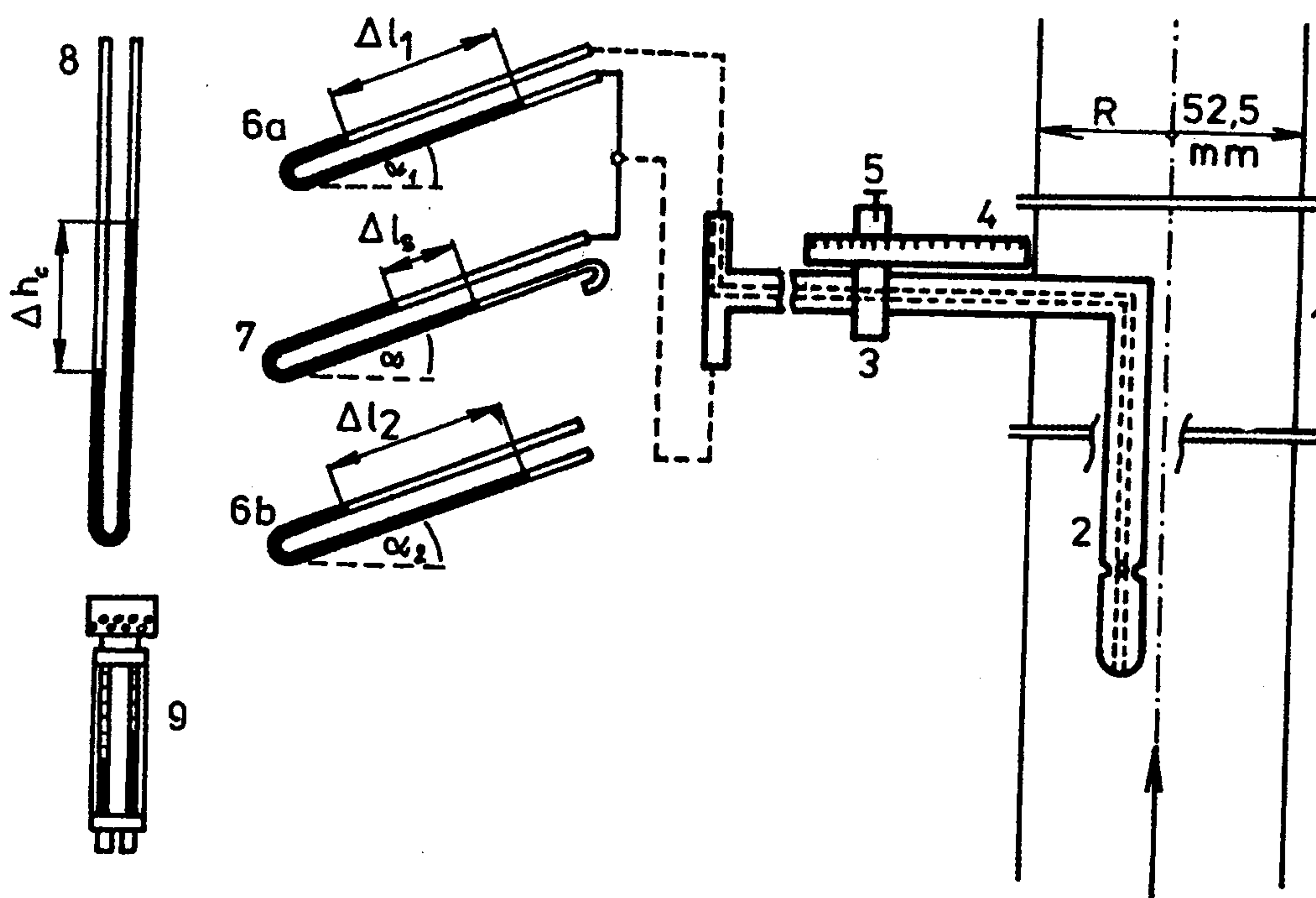
Obr. 1.3. Schéma zariadenia

1 - potrubie, 2 - ventilátor, 3 - clonka, 4 - U-manometer, 5 - regulačná klapka, 6 - teplomer, 7 - nosná vložka pre Pitotove-Prandtlove rúrky, 8 - úsek potrubia zo skla, 9 - U-manometer, 10 - úroveň 1. podlažia haly

Potrubím 1, upevneným na rúrkovom ráme, cirkuluje vzduch poháňaný ventilátorom 2. Prietok vzduchu možno merať clonkou 3 s pripojeným U-manometrom 4 a regulovať sedem-polohovou klapkou 5. Do nosnej vložky 7 sú kolmo na seba osadené dve Pitotove-Prandtlove rúrky orientované smerom nadol. Obe rúrky sú posúvateľné pozdĺž celého priemeru potrubia. Tesne pod nosnou vložkou je sklený úsek potrubia 8.

Schéma inštalácie Pitotovej-Prandtlovej rúrky pre meranie v pravoľavom smere a schéma rozmiestnenia meracích prvkov sú na obr. 1.4. Pitotova-Prandtlova rúrka je pevne spojená s držiakom 3, posúvateľným pozdĺž vodiacej lišty 4 so stupnicou na indikáciu polohy. Po nastavení určitej polohy meracej rúrky 2 v potrubí 1 sa rúrka upevní skrutkou 5. Pri inštalácii

tesne k stene potrubia je meracie miesto - stred otvoru na snímanie celkového tlaku - vzdialené od steny o hodnotu polomeru zvislej časti meracej rúrky. Otvor na snímanie celkového tlaku je vnútornou rúrkou v telese trubice 2 a gumenou hadicou pripojený k jednému ramenu šikmej U-trubice 6a. Statický tlak, vyvedený cez plášť meracej rúrky, je pripojený k druhému ramenu manometra 6a a k ramenu manometra 7. Druhé rameno šikmej U-trubice 7 je otvorené do atmosféry. Manometer 6a indikuje dynamický tlak. Rozdiel hladín meracej kvapaliny v manometri 7 je mierou rozdielu tlaku v systéme (statického tlaku) a atmosférického tlaku.



Obr. 1.4. Schéma inštalácie Pitotovej-Prandtlovej rúrky

1 - nosná vložka rúrky, 2 - Pitotova-Prandtlova rúrka, 3 - držiak rúrky, 4 - vodiaca lišta so stupnicou, 5 - upevňovacia skrutka, 6a, 6b - šikmé manometre na meranie dynamického tlaku, 7 - šikmý manometer na meranie statického tlaku, 8 - U- manometer pre clonku, 9 - aspiračný psychrometer

Meracia rúrka pre predozadný smer má vývod celkového tlaku prepojený na horné rameno trubice 6b. Statický tlak sa privádza na dolné rameno trubice 6b a na horné rameno trubice 7. Vývody statického tlaku z oboch Pitotových-Prandtlových rúrok sú vzájomne prepojené; statický tlak sa mení po priereze potrubia veľmi málo.

Pracovný postup

A. Príprava zariadenia na meranie

1. Na šikmých manometroch 6a, 6b, 7 odčítame hodnoty Δl_{10z} , Δl_{20z} , Δl_{s0z} . Na U-manometri 8 musí byť $\Delta h_c = 0$.

2. Pitotovu-Prandtlovu rúrku na meranie v predozadnom smere umiestnime do prednej krajnej polohy, rúrku na meranie v pravoľavom smere do ľavej krajnej polohy.
3. Regulačnú klapku 5 dáme do polohy predpísanej v zadaní práce. Na pokyn vedúceho cvičenia spustíme ventilátor vypínačom na stĺpe v blízkosti rozvodnej skrinky. Počas 15 až 30 min sa teplota prúdiaceho vzduchu mení, potom sa systém dostane do ustáleného stavu. Priebeh tohto procesu sledujeme na teplomere 6 v potrubí, *obr. 1.3*.
4. Počas obdobia neustáleného stavu stanovíme pomocou aspiračného psychrometra teplotu suchého teplomera t_{s1} a teplotu vlhkého teplomera t_{v1} vzduchu v miestnosti. Návod na obsluhu aspiračného psychrometra je v dokumentácii k práci.
5. Ak sa teplota vzduchu v potrubí počas 5 min nemení, možno teplotný a hydrodynamický režim považovať za ustálený.

B. Meranie

1. Na barometri odčítame atmosférický tlak P_{b1} . Stanovíme teplotu t_n vzduchu prúdiaceho v potrubí.
2. Na šikmom U-manometri 7 odčítame hodnotu Δl_{s1} na výpočet statického tlaku. Na manometri 8 odčítame hodnotu Δh_{c1} na výpočet prietoku clonkou. Namerané údaje zapíšeme do *tab. 1.1*.
3. Pitotova-Prandtlova rúrka na meranie v pravoľavom smere je umiestnená v ľavej krajnej polohe vo vzdialenosti 47 mm od osi potrubia. Na šikmom manometri 6a odčítame hodnotu Δl_1 na výpočet dynamického tlaku v tejto polohe a zapíšeme ju do druhého riadku prvého merania v *tab. 1.2*. Potom meraciu rúrku postupne umiestnime do miest vzdialených o 44, 40, 34, 25 a 15 mm od osi potrubia. V každom z nich odčítame hodnotu Δl_1 a zapíšeme do príslušných riadkov hornej polovice *tab. 1.2*. Hodnotu Δl_1 zmeriame aj v osi potrubia a potom v pravej časti potrubia. Vzdialenosti od osi potrubia sú rovnaké ako v ľavej časti. Pre $r = 53$ mm pri stene potrubia zapíšeme neskôr do tabuľky hodnotu Δl_{10} . Druhú sériu meraní pozdĺž pravoľavého priemeru potrubia vykonáme pri posúvaní meracej rúrky sprava doľava. Údaje Δl_1 zapisujeme do druhého stĺpca tabuľky zdola nahor. Tretiu sériu meraní vykonáme pri posune zľava doprava.
4. Pri meraní v predozadnom smere umiestňujeme meraciu rúrku v rovnakých vzdialenostiach od osi potrubia ako v pravoľavom smere. Prvú sériu meraní vykonáme spredu dozadu, druhú v opačnom smere a tretiu zasa dozadu. Hodnoty Δl_2 odčítané na U-manometri 6b zapíšeme do druhej časti *tab. 1.2*, pri druhej sérii zdola nahor. Po skončení

meraní presunieme rúrku do prednej krajnej polohy. Tabuľku neskôr doplníme hodnotami Δl_{20} pre $r = 53$ mm.

5. Na manometri 8 odčítame hodnotu Δh_{c2} , na šikmom manometri 7 hodnotu Δl_{s2} .
6. Stanovíme teplotu vzduchu t_{r2} v potrubí. Na barometri odčítame atmosférický tlak P_{b2} .

C. Ukončenie merania

1. Zastavíme ventilátor.
2. Na šikmých manometroch 6a, 6b, 7 odčítame hodnoty Δl_{10k} , Δl_{20k} , Δl_{s0k} a zapíšeme ich do *tab. 1.1*.
3. Aspiračným psychrometrom zistíme teplotu suchého teplomera t_{s2} a teplotu vlhkého teplomera t_{v2} .

SPRACOVANIE NAMERANÝCH ÚDAJOV

1. Z dvojíc údajov v *tab. 1.1* vypočítame aritmetické priemery.
2. Hustotu vody ρ_B v manometroch zistíme pri teplote okolia t_s .
3. Statický tlak P_s v potrubí vypočítame ako súčet atmosférického tlaku P_b a tlakového rozdielu ΔP_s indikovaného šikmým manometrom 7. Hodnotu ΔP_s vypočítame z rovnice (1.11) pomocou údajov Δl_{s0} a Δl_s z *tab. 1.1*. Pretože hustota vzduchu ρ_A je oveľa menšia ako hustota vody ρ_B a $\Delta P_s \ll P_b$, použijeme $\rho_B - \rho_A \doteq \rho_B$.
4. Z rovnice (1.12) vypočítame vlhkosť vzduchu. Hustotu vzduchu ρ_A v potrubí pri teplote t_r a tlaku P_s vypočítame pomocou vzťahu (1.13.)
5. Z hodnôt Δl_{1r} pre každú polohu meracej rúrky určíme aritmetický priemer Δl_1 a z hodnôt Δl_{2r} ich aritmetický priemer Δl_2 . Pomocou rovnice (1.11) zistíme dynamický tlak a zo vzťahu (1.10) vypočítame strednú lokálnu rýchlosť vzduchu v_r (v_{1r}) pre všetky meracie miesta v pravoľavom a predozadnom smere a získané údaje zostavíme do *tab. 1.3*.
6. Hodnoty strednej lokálnej rýchlosti v_r použijeme na výpočet objemového toku \dot{V} zo vzťahu (1.8). Integrály riešte numericky, lichobežníkovým pravidlom. Z objemového toku \dot{V} vypočítame priemernú rýchlosť w .
7. Z hodnôt strednej lokálnej rýchlosti vzduchu v tých miestach všetkých štyroch polomerov merania, ktoré sú rovnako vzdialené od osi potrubia, určíme aritmetický stred ako reprezentatívnu hodnotu. Z týchto rýchlostí stanovíme hodnotu pomeru v^*/k v rovnici (1.3) a koeficientu n v rovnici (1.5). Použijeme metódu najmenších štvorcov.

8. Hodnoty v^*/k a n a reprezentatívnu experimentálne stanovenú maximálnu rýchlosť v_m použijeme v rovniciach (1.3) a (1.5) na spätný výpočet stredných hodnôt miestnych rýchlostí v_{rk} a v_{rp} vo všetkých meracích vzdialenostiach od osi potrubia. Tieto údaje predstavujú štatisticky vyrovnané miestne rýchlosti v potrubí. Zapišeme ich do *tab. 1.4*.
9. Pri výpočte hodnoty univerzálneho koeficientu k z hodnoty v^*/k pomocou rovnice (1.4) použijeme priemernú rýchlosť vzduchu v potrubí w . Drsnosť stien ε je uvedená v dokumentácii. Funkciu $\lambda = f(Re, \varepsilon)$ nájdeme v učebnici výpočtov z chemického inžinierstva.
10. Do grafu zakreslíme rýchlostný profil vypočítaný podľa Kármánovho vzťahu (v_{rk}) a rýchlostný profil podľa Prandtlovho vzťahu (v_{rp}). Priemer potrubia zobrazíme v skutočnej veľkosti. Vektory miestnych rýchlostí zobrazíme v mierke $1 \text{ m.s}^{-1} : 1 \text{ cm}$. Do grafu zakreslíme experimentálne stanovené hodnoty strednej lokálnej rýchlosti. Hodnoty namerané v pravoľavom a predozadnom smere odlišíme symbolmi.
11. Objemový tok vzduchu \dot{V}_e z meraní na clonke určíme podľa vzťahu v učebnici Chemické inžinierstvo I.
12. Určíme relatívnu odchýlku δ_v objemového toku \dot{V} , vypočítaného zo vzťahu (1.8), od objemového toku \dot{V}_e z merania na clonke. Výsledky výpočtov zhrnieme do *tab. 1.5*.

Úlohy uvedené v bodoch 5 až 8 spracujeme na počítači. Údaje vstupujú do počítača, ako sú zapísané v *tab. 1.2*. Výpis je zhodný s usporiadaním *tabuliek 1.3* a *1.4*.

Záznam o pomocných meraniach

Tabuľka 1.1

Šikmý manometer, obr. 1.4		
6a	6b	7
$\Delta l_{10z} =$ mm	$\Delta l_{20z} =$ mm	$\Delta l_{s0z} =$ mm
$\Delta l_{10k} =$ mm	$\Delta l_{20k} =$ mm	$\Delta l_{s0k} =$ mm
$\Delta l_{10} =$ mm	$\Delta l_{20} =$ mm	$\Delta l_{s0} =$ mm
$\alpha_1 =$ °	$\alpha_2 =$ °	$\alpha =$ °
$\sin \alpha_1 =$	$\sin \alpha_2 =$	$\sin \alpha =$
Manometer clonky		Atmosférický tlak
$\Delta h_{c1} =$ mm	$P_{b1} =$ kPa	$\Delta l_{s1} =$ mm
$\Delta h_{c2} =$ mm	$P_{b2} =$ kPa	$\Delta l_{s2} =$ mm
$\Delta h_c =$ mm	$P_b =$ kPa	$\Delta l_s =$ mm
Údaje psychrometra		Teplota v potrubí
$t_{s1} =$ °C	$t_{v1} =$ °C	$t_n =$ °C
$t_{s2} =$ °C	$t_{v2} =$ °C	$t_n =$ °C
$t_s =$ °C	$t_v =$ °C	$t_r =$ °C

Záznam o meraniach na určenie rýchlostného profilu

Tabuľka 1.2

Pravoľavý smer				
$\Delta l_{10} =$ mm				
$\rho_A =$ kg.m ⁻³				
$\rho_B =$ kg.m ⁻³				
$\sin \alpha_1 =$				
$D =$ mm				
Poloha	r_1 [mm]	Číslo merania		
		1	2	3
		Δl_{1i} [mm]		
1	53			
2	47			
3	44			
4	40			
5	34			
6	25			
7	15			
8	0			
7	15			
6	25			
5	34			
4	40			
3	44			
2	47			
1	53			

Predozadný smer				
$\Delta l_{20} =$ mm				
$\rho_A =$ kg.m ⁻³				
$\rho_B =$ kg.m ⁻³				
$\sin \alpha_2 =$				
$D =$ mm				
Poloha	r_2 [mm]	Číslo merania		
		1	2	3
		Δl_{2i} [mm]		
1	53			
2	47			
3	44			
4	40			
5	34			
6	25			
7	15			
8	0			
7	15			
6	25			
5	34			
4	40			
3	44			
2	47			
1	53			

Vypočítané hodnoty lokálních stredných veličín

Tabuľka 1.3

Pravoľavý smer				Predozadný smer			
r_1 [m]	Δl_1 [mm]	P_{d1} [Pa]	v_{r1} [m.s ⁻¹]	r_2 [m]	Δl_2 [mm]	P_{d2} [Pa]	v_{r2} [m.s ⁻¹]
0,053				0,053			
0,047				0,047			
0,044				0,044			
0,040				0,040			
0,034				0,034			
0,025				0,025			
0,015				0,015			
0				0			
0,015				0,015			
0,025				0,025			
0,034				0,034			
0,040				0,040			
0,044				0,044			
0,047				0,047			
0,053				0,053			
$\dot{V} =$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$w =$	$m \cdot s^{-1}$	$v^*/k =$	$m \cdot s^{-1}$	$n =$	

Lokálne stredné rýchlosti z Kármánovho a Prandtľovho vzťahu

Tabuľka 1.4

r [m]								
v_{rk} [m.s ⁻¹]								
v_{rp} [m.s ⁻¹]								

Konečné výsledky meraní a výpočtov

Tabuľka 1.5

t_v	°C	P_b	Pa	\bar{Y}		k		\dot{V}	$m^3 \cdot s^{-1}$
t_s	°C	P_s	Pa	ρ_A	$kg \cdot m^{-3}$	n		\dot{V}_c	$m^3 \cdot s^{-1}$
t_f	°C	P_v^o	Pa	v_m	$m \cdot s^{-1}$	w	$m \cdot s^{-1}$	δ_v	