

Meranie prietoku, pretečeného množstva (1)

Definícia a jednotky

Kvapaliny, pary a plyny označujeme spoločným názvom tekutiny.

Pojmom prietok rozumieme množstvo tekutiny, pretekajúce za určitú časovú jednotku cez potrubie alebo otvorený kanál. Prietok sa môže vyjadrovať v objemových alebo v hmotnostných jednotkách. Hovoríme potom o objemovom, resp. o hmotnostnom prietoku.

Objemový prietok q_v sa podľa normy STN ISO 31-3 (ktorú neskôr nahradila norma ISO 80000-4: 2006) definuje ako podiel objemu látky, ktorá prechádza daným prierezom, a času:

$$q_v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

kde

ΔV je elementárny objem pretekajúcej tekutiny,
 Δt – časový interval.

Jednotkou objemového prietoku je $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (m^3/s).

Hmotnostný prietok q_m sa podľa tej istej normy definuje ako podiel hmotnosti látky, ktorá prechádza daným prierezom, a času:

$$q_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{dm}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

kde

Δm je elementárna hmotnosť pretekajúcej tekutiny,
 Δt – časový interval,
 ρ – hustota pretekajúcej tekutiny.

Jednotkou hmotnostného prietoku je $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ (kg/s).

V praxi prúdi meraná tekutina zvyčajne v uzavretých potrubíach alebo otvorených kanáloch. Pri známej hodnote plošného obsahu prierezu potrubia (resp. kanála) a strednej rýchlosti prúdenia tekutiny sa objemový prietok q_v vypočíta zo vzťahu:

$$q_v = \frac{dV}{dt} = S \frac{ds}{dt} = S \cdot \bar{w} \quad (3)$$

kde

S je plošný obsah prierezu potrubia,
 $\bar{w}$ – stredná rýchlosť prúdu tekutiny v danom priereze.

Obdobne sa dá vypočítať hmotnostný prietok q_m :

$$q_m = \frac{dm}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} = \rho \cdot S \frac{ds}{dt} = \rho \cdot S \cdot \bar{w} \quad (4)$$

Pre pretečené množstvo tekutiny, ktoré prejde daným prierezom S za konečný časový interval $t_2 - t_1$ a je dané priamym meraním objemu, resp. hmotnosti, platí:

$$V = \int_{t_1}^{t_2} q_v dt \quad (5)$$

$$m = \int_{t_1}^{t_2} q_m dt \quad (6)$$

Veličiny *prietok tekutiny* a *pretečené množstvo* tekutiny sa v bežnej praxi často zamieňajú, takisto ako meradlá, ktoré sa používajú na ich meranie. Prístroje na meranie prietoku tekutiny sa nazývajú prietokomery, prístroje na meranie pretečeného množstva sa nazývajú meradlá pretečeného množstva, niekedy sa označujú podľa konkrétnej meranej tekutiny (napr. plynometry). Prístroje na meranie rýchlosti prúdenia tekutiny sa označujú ako rýchlostné sondy, v špeciálnom prípade merania rýchlosti prúdenia plynov sa nazývajú anemometre.

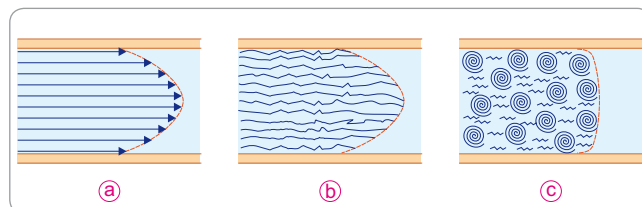
Okamžitá rýchlosť vrstvy prúdu tekutiny na danom mieste kruhového potrubia sa dá určiť podľa vzťahu:

$$w = w_{\max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{1/n} \quad (7)$$

kde

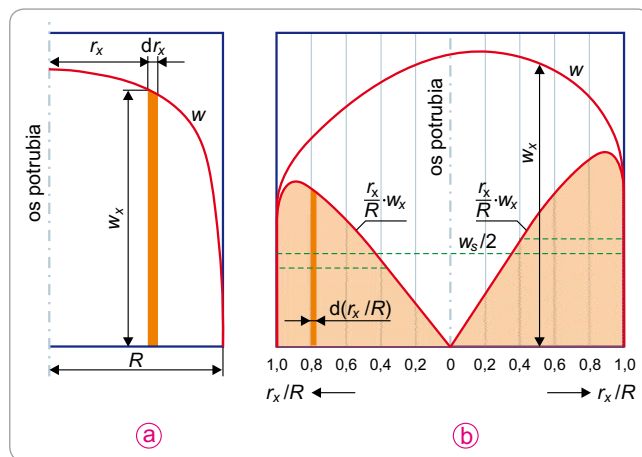
w je okamžitá rýchlosť vrstvy prúdu tekutiny,
 $w_{\max}$ – maximálna rýchlosť prúdu tekutiny v danom priereze potrubia,
 r – vzdialenosť vrstvy prúdu tekutiny od osi kruhového potrubia,
 R – polomer potrubia,
 n – exponent závisiaci od typu prúdenia.

Vo vzťahoch (3) a (4) sa na výpočet používa stredná rýchlosť prúdenia $\bar{w}$. Nedá sa totiž predpokladať konštantná rýchlosť prúdenia tekutiny w v celom priereze potrubia. Takýto stav nastáva iba v ideálnom prípade tzv. jednorozmerného prúdenia (obr. 1a). V skutočnosti sa rýchlosť prúdu tekutiny w v celom priereze potrubia (resp. kanála) neustále mení. Rozloženie rýchlosti závisí pritom od viacerých faktorov. Patria medzi ne tvar profilu potrubia (kanála), vlastnosti jeho povrchu, blízkosť zdroja tekutiny, prítomnosť regulačných prvkov a podobne.



Obr. 1 Prúdenie tekutiny v uzavretom potrubí
a) laminárne prúdenie, b) prechodové prúdenie, c) turbulentné prúdenie

Na získanie strednej rýchlosti prúdenia preto treba stanoviť rýchlostný profil potrubia (obr. 2), resp. kanála (obr. 3). Ide o grafické znázornenie nameraných hodnôt rýchlosti prúdenia tekutiny vo viacerých bodoch jedného prierezu (vo vodorovnom alebo v zvislom smere). Rýchlosť prúdiacej tekutiny v danom bode sa zisťuje rýchlostnými sondami.



Obr. 2 Pribeh rýchlosti prúdenia
a) v potrubí, b) v závislosti od odľahlosti

Častice tekutiny môžu v ustálenom stave v zásade prúdiť dvoma spôsobmi (obr. 1). V prípade laminárneho prúdenia sa častice tekutiny pohybujú po rovnobežných dráhach, v prípade turbulentného prúdenia dochádza ku kríženiu dráh jednotlivých častíc tekutiny. Medzi týmito dvoma stavmi sa nachádza tekutina v prípade takzvaného prechodového prúdenia.

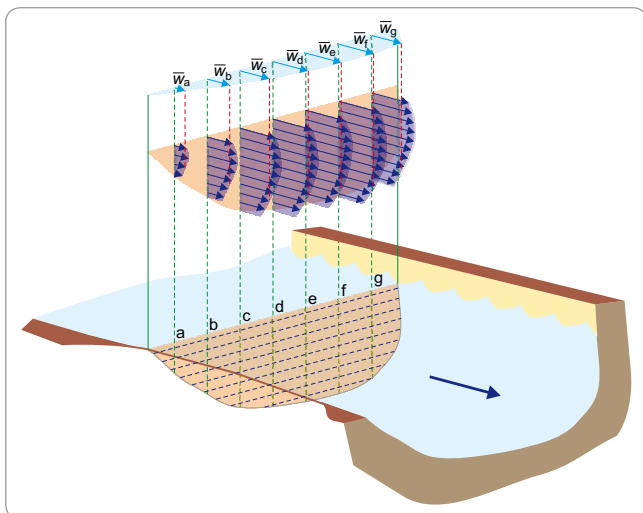
Typ prúdenia pre daný tvar potrubia, resp. kanála, sa dá posúdiť podľa hodnoty Reynoldsovho čísla. Toto číslo vyjadruje pomer medzi zotrvačnými a trecími silami vnútri tekutiny:

$$Re = \frac{D\bar{w}}{\nu} \quad (8)$$

kde D je charakteristický rozmer, napríklad vnútorný priemer potrubia, hĺbka kanála a podobne,
 $\bar{w}$ – stredná rýchlosť prúdiacej tekutiny v danom priereze,
 ν – kinematická viskozita.

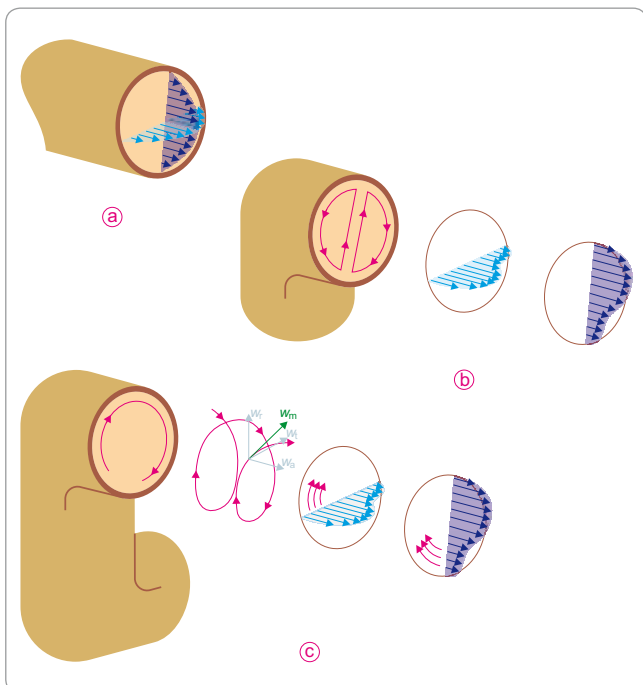
Pre prietok kruhovým potrubím je kritické Reynoldsovo číslo $Re = 2300$. V prípade kruhového potrubia sa dá prúdenie tekutiny v závislosti od hodnoty Reynoldsoho čísla rozdeliť do troch skupín:

- laminárne prúdenie, kde $Re < 2300$,
- prechodové prúdenie, kde $2300 < Re < 10^4$,
- turbulentné prúdenie, kde $Re > 10^4$.



Obr. 3 Prúdenie v otvorenom kanále

Rýchlostný profil prúdiacej tekutiny výrazne ovplyvňuje metrologické charakteristiky prietokomerov. Prejavuje sa najmä vtedy, keď je asymetrický, prípadne sa v prúde tekutiny nachádzajú víry (obr. 4).

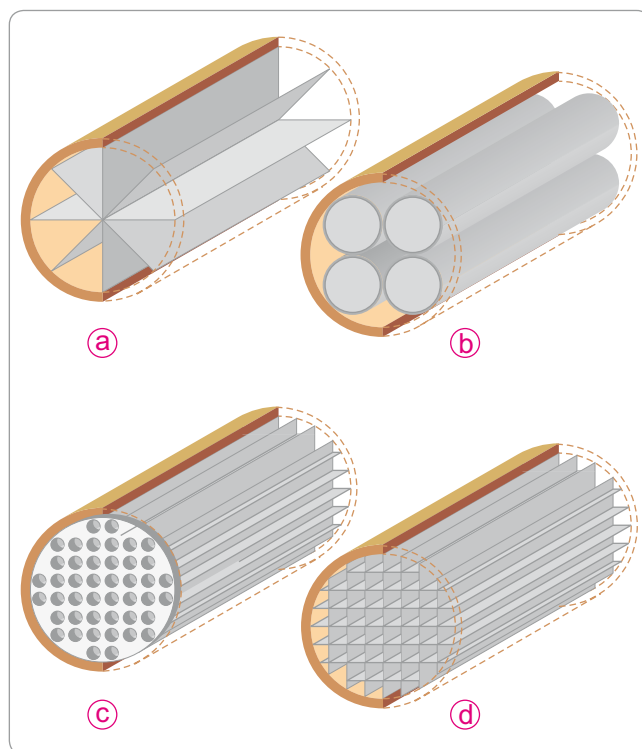


Obr. 4 Poruchy symetrického rýchlostného profilu prúdiacej tekutiny
a) symetrický profil v rovnom potrubí, b) jednoduchý ohyb, c) dvojitý ohyb

w_r – radiálna zložka rýchlosti, w_t – tangenciálna zložka rýchlosti,
 w_a – axiálna zložka rýchlosti, w_m – výsledná rýchlosť hmotného bodu

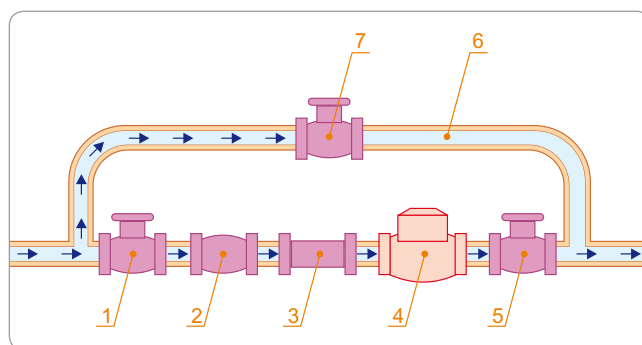
K častým príčinám porúch rýchlostných profilov patrí prítomnosť spájacích kusov potrubí, redukcií, rozšírení, umiestnenie sít na zachytávanie nečistôt a ohnuté potrubia. Výrobcom preto v pokynoch

na montáž uvádzajú určitú minimálnu vzdialenosť meradla od takýchto zvrátených úsekov potrubia. Ak sa z nejakého dôvodu nedá v prevádzke dodržať výrobcom požadovaná dĺžka priameho potrubia, používajú sa rôzne usmerňovače prúdu (obr. 5).



Obr. 5 Príklady usmerňovačov prúdu
a) Etoile, b) AGA/ASME, c) Zanker (ISO), d) AMCA

Podľa pokynov výrobcu sa okrem usmerňovača prúdu odporúča aj použitie filtra znižujúceho riziko upchatia alebo poškodenia meradla cudzími časticami (obr. 6).



Obr. 6 Typická inštalácia meradla prietoku alebo pretečeného množstva

1, 5 uzatvárací ventil, 2 – filter, 3 – usmerňovač prúdu, 4 – meradlo, 6 – obtoková vetva potrubia, 7 – obtokový ventil

doc. Ing. Martin Halaj, PhD.

Slovenský metrologický ústav
Karloveská 63
842 55 Bratislava 4
halaj@smu.gov.sk

doc. Ing. Eva Kureková, PhD.

Strojnícka fakulta STU
nám. Slobody 17
812 31 Bratislava
eva.kurekova@stuba.sk

Meranie prietoku, pretečeného množstva (4)

Prietokomery využívajúce tlakovú stratu tekutiny

Prietokomery využívajúce tlakovú stratu tekutiny patria pre svoju jednoduchú konštrukciu a obsluhu medzi najpoužívanejšie. Ich nevýhodou je generovanie tlakovej straty v potrubnom systéme. Používajú sa na meranie prietoku kvapalín aj plynov. Patria sem dve veľké skupiny prietokomerov – prierezové a kolenové.

Prierezové prietokomery

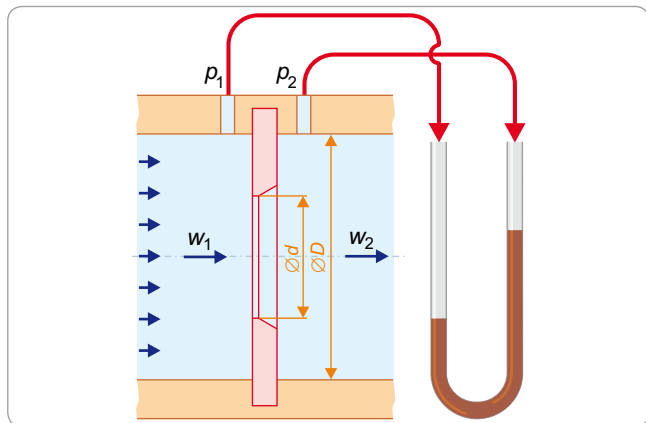
V prierezových prietokomeroch sa meria rýchlosť prúdiacej tekutiny w a zo známej geometrie potrubia sa stanovuje objemový (resp. hmotnostný) prietok. Rýchlosť prúdiacej tekutiny (resp. jej pretečené množstvo) sa stanovuje na základe zmeny tlakovej energie tekutiny na kinetickú energiu. K zmene dochádza na škrtiacom orgáne pevne zabudovanom v potrubí, kde pri náhlom zúžení prietokového prierezu nastane miestne zvýšenie kinetickej energie. Niektoré škrtiace orgány sú normalizované, teda norma definuje ich rozmery aj vzťah na výpočet prietoku z nameranej tlakovej straty. Patrí medzi ne clona, dýza a Venturiho dýza. Medzi nenormalizované škrtiace orgány patrí dvojité clona, štvrtkruhová dýza, segmentová clona, meracia kapilára a pod. Používajú sa najmä na špeciálne účely, napr. v sťažených podmienkach či pri zvýšených nárokoch na prostredie.

Nutnou podmienkou použitia prierezových prietokomerov je stály (resp. pomaly sa meniaci) prietok v úplne zaplnenom potrubí. Nehodia sa preto na meranie pulzujúceho prietoku. Takisto výrobcovia uvádzajú určité požiadavky na miesto zabudovania škrtiaceho orgánu, najmä na minimálnu dĺžku priameho potrubia pred škrtiacim orgánom a za ním.

Pri odvodzovaní prietokovej rovnice škrtiaceho orgánu sa vychádza z použitia dvoch rovníc hydrodynamiky:

- z Bernoulliho rovnice,
- z rovnice kontinuity.

Ak je rýchlosť prúdiacej tekutiny pred škrtiacim orgánom w_1 a jej tlak p_1 , za ním poklesne tlak na p_2 a rýchlosť sa zvýši na w_2 (obr. 26).



Obr. 26 Pomery na škrtiacom orgáne

Teoretický objemový prietok sa dá vyjadriť vzťahom:

$$q_v = \frac{c \cdot \varepsilon}{\sqrt{1 - \beta^4}} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \frac{p_1 - p_2}{\rho}} \quad (9)$$

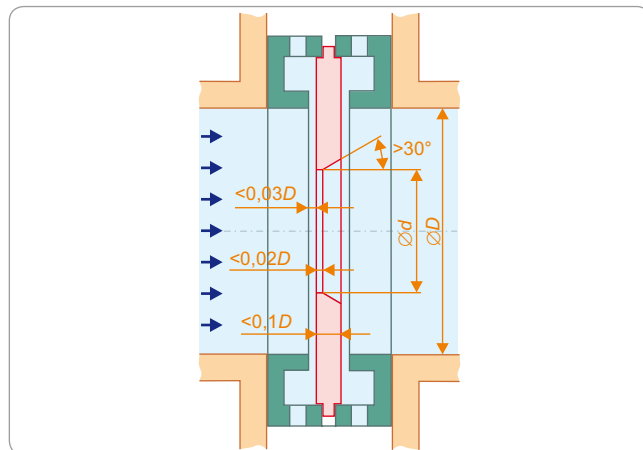
kde c je prietokový koeficient škrtiaceho orgánu, $c = f(Re_D, \beta^2, D)$,
 ε – expanzný koeficient, pre kvapalinu $\varepsilon = 1$, $\varepsilon = f(\beta^2, \Delta p/p_1, \chi)$,
 β – pomer priemerov, $\beta = d/D$,
 p_1 – tlak tekutiny pred škrtiacim orgánom,
 p_2 – tlak tekutiny za škrtiacim orgánom,
 ρ – hustota meranej tekutiny,
 d – vnútorný priemer škrtiaceho orgánu,
 χ – izentropický koeficient,
 D – vnútorný priemer potrubia.

Pre hmotnostný prietok platí:

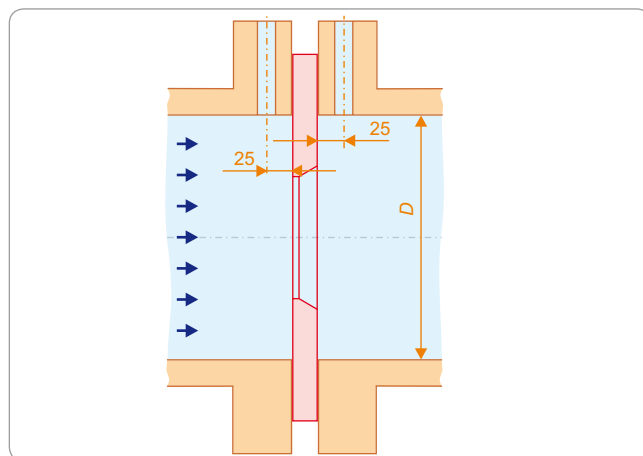
$$q_m = \frac{c \cdot \varepsilon}{\sqrt{1 - \beta^4}} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \rho \cdot (p_1 - p_2)} \quad (10)$$

Normalizovaná clona

Normalizovaná clona patrí medzi najjednoduchšie a najčastejšie používané škrtiace orgány pre kruhové potrubia (obr. 27). Je to doska so stredovým kruhovým otvorom a ostrou vstupnou nábežovou hranou, zabudovaná kolmo na os potrubia.



Obr. 27 Normalizovaná clona



Obr. 28 Prírubový odber tlaku

Rozmery clony sa odvodzujú podľa priemeru potrubia D . Normalizovaná clona sa používa pre potrubia s priemerom od 50 mm až do 1 m, pri pomere priemerov β od 0,2 až do 0,75 pri rôznych Reynoldsových číslach.

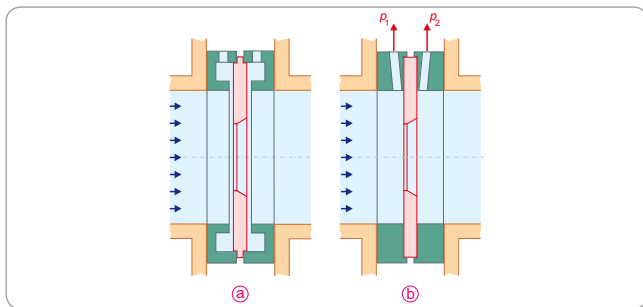
Miesta na odber tlaku sú zabudované pred clonou a za ňou. Norma povoľuje tri typy odberu tlaku:

- prírubový odber (obr. 28),
- kútový odber (obr. 29),
- s odberovými otvormi vo vzdialenosti D a $D/2$ – používajú sa najmä pre potrubia, ktorých vnútorný priemer D presahuje 600 mm (obr. 30).

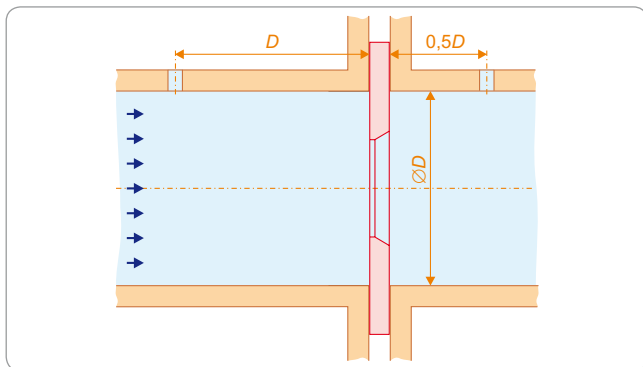
Rôzne typy vyhotovenia prípojok na odber tlaku znázorňuje obr. 31.

Nevýhodou normalizovanej clony je spôsobenie pomerne veľkej trvalej tlakovej straty Δp_t .

$$\Delta p_t = (1 - \beta^2) (p_1 - p_2) \quad (11)$$

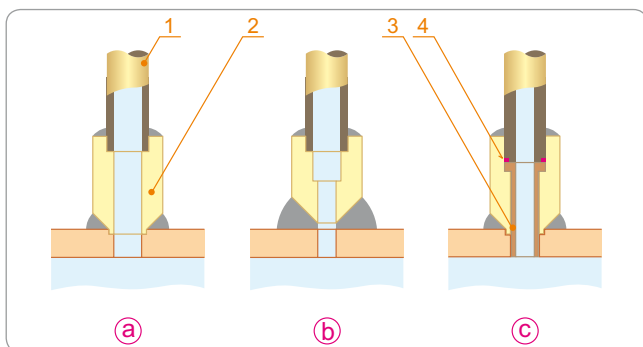


Obr. 29 Kútové odbery tlaku v prípade normalizovanej clony
a) komorový odber s prstencovou štrbinou, b) bodový odber

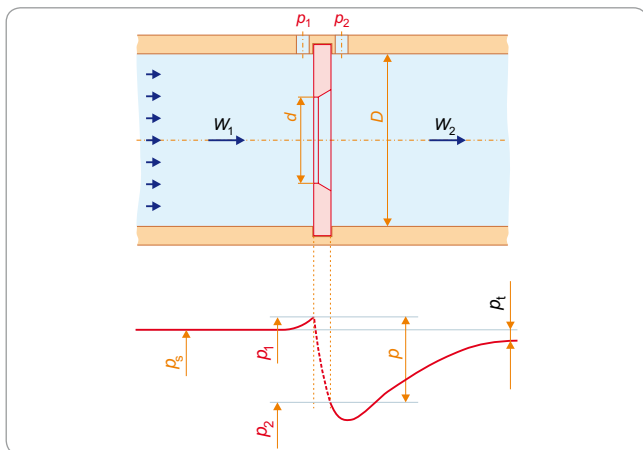


Obr. 30 Vzdialené odbery tlaku pre normalizovanú clonu

Priebeh tlakov v blízkom okolí clony znázorňuje obr. 32. Čím je väčší pomer priemerov β , tým je trvalá tlaková strata menšia.



Obr. 31 Vyhodenie odberov tlakov
a) pre teploty do 700 °C, b) s úplným prevarením,
c) pre teploty nad 700 °C
1 – odberová rúrka, 2 – nadstavec, 3 – vložka, 4 – tesnenie



Obr. 32 Priebeh tlakov v okolí clony

Normalizovaná dýza

Vstupná časť dýzy má tvar rotačnej plochy, ktorá prechádza do valcovej plochy a je zakončená ostrou výstupnou hranou. Geometrické

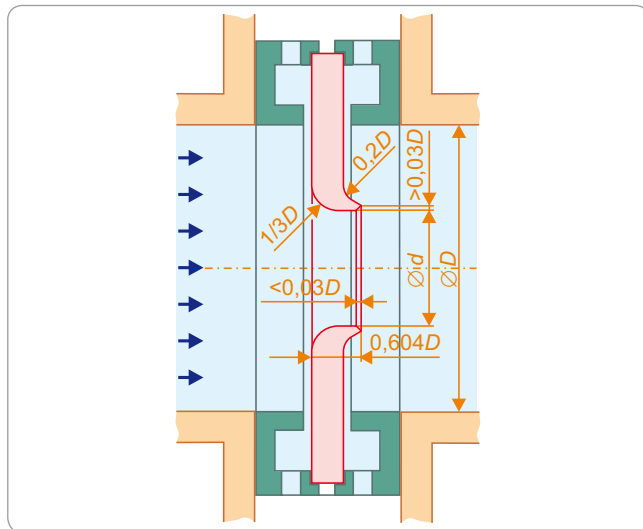
rozmery dýzy sa takisto odvídzajú od priemeru potrubia a musia sa presne dodržiavať. Norma uvádza dva typy normalizovaných dýz:

- 1) normalizovaná dýza ISA 1932 (obr. 33),
- 2) dýza s dlhým polomerom – má predĺženú valcovú plochu.

Trvalá tlaková strata Δp_t sa dá približne vyjadriť vzťahom:

$$\Delta p_t = (1 - 1,4 \beta^2) (p_1 - p_2) \quad (12)$$

Normalizovaná dýza sa používa na meranie prietoku tekutín v potrubí, ktorých vnútorný priemer sa pohybuje v rozmedzí od 50 do 500 mm pri pomere priemerov β od 0,2 do 0,8 a $10^4 \leq Re \leq 10^7$. Oproti clone majú merania menšiu neistotu. Používa sa v energetike pri meraní prietoku pary s vysokou teplotou a tlakom ($p > 10$ MPa).

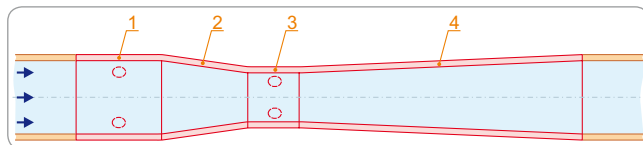


Obr. 33 Normalizovaná dýza ISA 1932

Normalizovaná Venturiho trubica

Existujú dva typy normalizovaných Venturiho trubíc:

- a) klasická Venturiho trubica (obr. 34),
- b) Venturiho dýza (obr. 35).

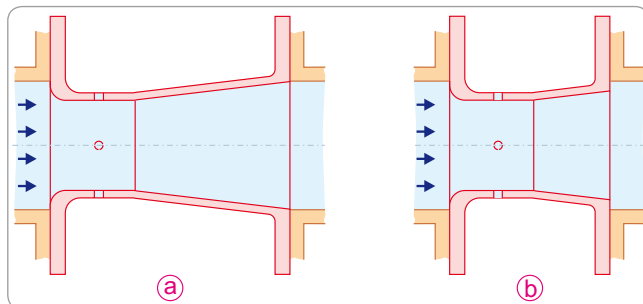


Obr. 34 Normalizovaná Venturiho trubica; 1 – vstupný valec, 2 – kuželový konfúzor, 3 – valcové hrdlo, 4 – kuželový difúzor

Klasická Venturiho trubica sa používa v potrubí s vnútorným priemerom 50 až 1 200 mm pri pomere priemerov β od 0,3 do 0,75 a Reynoldsovom čísle $2 \times 10^5 \leq Re \leq 2 \times 10^6$.

Normalizovaná Venturiho dýza sa skladá z normalizovanej dýzy a z difúzora. Difúzor môže byť čiastočne (obr. 35b) alebo úplne rozvinutý (obr. 35a), s uhlom sklonu od 7° do 30°.

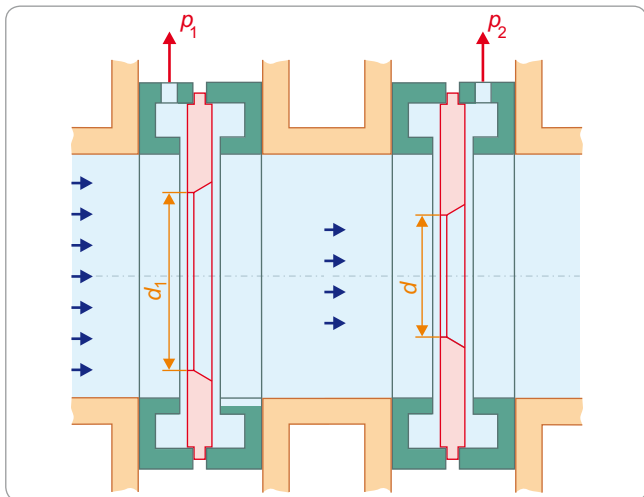
Venturiho dýza sa používa na meranie prietoku tekutín v potrubí, ktorých vnútorný priemer dosahuje hodnoty od 65 do 500 mm pri pomere priemerov β od 0,316 do 0,775 a $1,5 \times 10^5 \leq Re \leq 2 \times 10^6$.



Obr. 35 Normalizovaná Venturiho dýza;
a) neskrátený difúzor, b) skrátený difúzor

Dvojitá clona

Dvojitá clona sa používa pri hodnote Reynoldsovho čísla 2×10^3 až 12×10^3 . Tvoria ju dve clony zaradené za sebou v stanovenej vzdialenosti (obr. 36). Prvá (pomocná) clona má väčší priemer otvoru ako druhá (meracia) clona, $d_1 > d$. Postupné zužovanie prúdu meranej tekutiny slúži na jednoznačné určenie hodnoty prietokového koeficienta C . Nezávislosť koeficienta C od Reynoldsovho čísla Re sa dosahuje urýchlením prietoku na prvej clone tak, že prúdenie na druhej clone sa dá porovnať s prúdením tekutiny pri veľkých hodnotách Re .

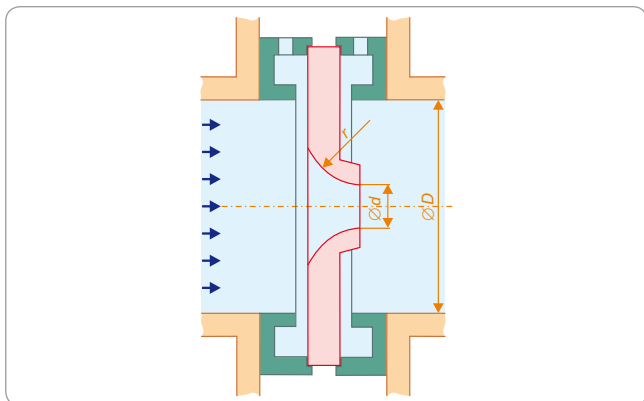


Obr. 36 Dvojitá clona

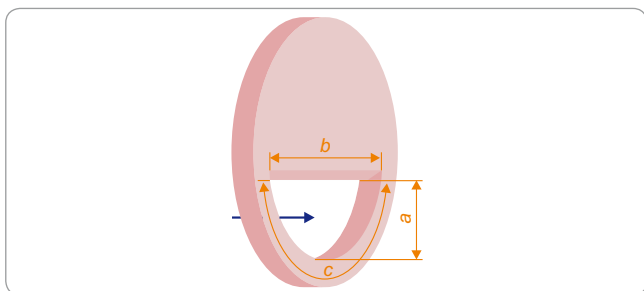
Štvrtkruhovú dýza

Štvrtkruhovú dýzu predstavuje kombináciu clony a dýzy ISA 1932. Prierez vstupného otvoru má tvar štvrtkružnice. Vstupná časť sa podobá dýze a výstupná časť clony (obr. 37). Používa sa pri hodnote Reynoldsovho čísla od 5×10^2 až 2×10^5 pri pomere priemerov β od 0,05 do 0,5. Pri väčšej hodnote β sa štvrtkruhovú dýza predlžuje valcovitou časťou.

Štvrtkruhovú dýzu sa používa na meranie prietoku viskózných kvapalín, napríklad vykurovacích olejov pri malých rýchlostiach prúdenia.



Obr. 37 Štvrtkruhovú dýza



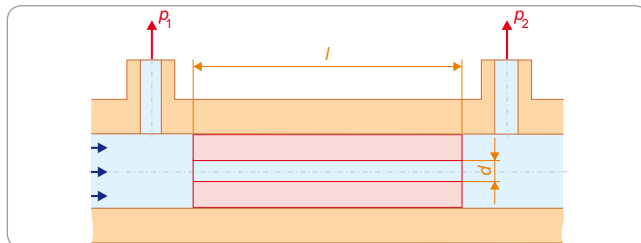
Obr. 38 Segmentová clona

Segmentová clona

Segmentová clona sa používa na meranie prietoku znečistených tekutín, resp. kalov (obr. 38). Jej prierez tvorí kruhový výsek, pričom v dolnej časti je voľný profil a clonu teda nezanášajú nečistoty.

Meracia kapilára

Meracia kapilára sa používa na meranie veľmi malých prietokov. Skladá sa z rovnej kapiláry (rúrky) zabudovanej v potrubí (obr. 39). Dĺžka kapiláry l sa volí tak, aby sa v nej vytvorilo laminárne prúdenie. Kapilára kladie odpor pri prúdení, čím dochádza k tlakovej strate Δp . Meraný objemový prietok q_v je priamo úmerný tlakovému rozdielu na kapiláre.



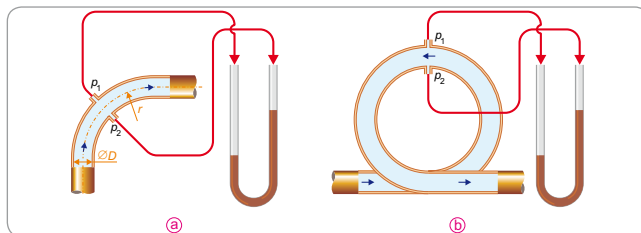
Obr. 39 Meracia kapilára

Kolenový (odstredivý) prietokomer

Kolenový prietokomer sa používa na meranie prietoku kvapalín, plynov aj pár. Princíp činnosti sa zakladá na zmene tlaku v dôsledku zmeny smeru prúdu tekutiny v zakrivenom kanáli. Kanál je najčastejšie zakrivený do pravého uhla (obr. 40a). Ak má byť splnená rovnica kontinuity, rýchlosť prúdenia tekutiny na vonkajšom polomere zakrivenia musí byť väčšia ako na vnútornom polomere. Rozdielna rýchlosť tekutiny sa prejaví zmenou statických tlakov na vnútornom a vonkajšom polomere zakrivenia. Najväčší tlakový rozdiel Δp je v osi súmernosti zakrivenia, kde sa preto umiestňujú snímače tlaku. Z nameranej tlakovej diferencie sa dá určiť objemový prietok tekutiny.

Bežne sa používajú pre potrubia s vnútorným priemerom od 15 do 500 mm, pričom objemový prietok kvapalín nadobúda hodnoty v rozsahu od 0,05 až do 3 000 m³/h a pre plyny od 10 do 10 000 m³/h. Teplotný rozsah môže kolísať od 200 °C do 600 °C. Tlaková strata je malá, dovolená chyba merania sa pohybuje v rozsahu od 2 až do 5 % meracieho rozsahu.

Pri meraní prietoku plynov má výsledný tlakový rozdiel pomerne malú hodnotu, a preto sa výhodne používa kruhová slučka (obr. 40b). Tá zaisťuje dokonalé prúdenie na mieste odberu tlakov a odstraňuje skreslenie tlakového rozdielu.



Obr. 40 Kolenový prietokomer;
a) konštrukčná schéma, b) kruhová slučka

doc. Ing. Martin Halaj, PhD.

Slovenský metrologický ústav
Karloveská 63
842 55 Bratislava 4
halaj@smu.gov.sk

doc. Ing. Eva Kureková, PhD.

Strojnícka fakulta STU
nám. Slobody 17
812 31 Bratislava
eva.kurekova@stuba.sk

Meranie prietoku, pretečeného množstva (5)

Prietokomery využívajúce dynamické pôsobenie tekutiny

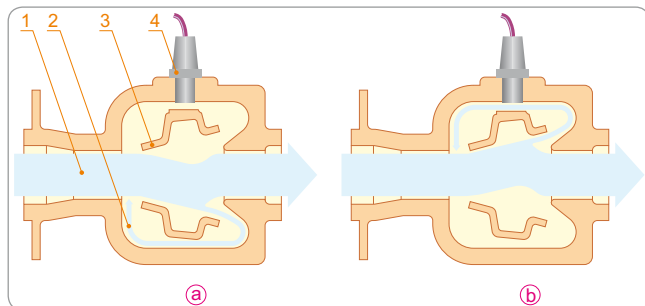
V týchto prietokomeroch sa určuje hodnota objemového prietoku tekutiny podľa veľkosti jej dynamického pôsobenia na meradlo. Využíva sa tu priamo dynamika prúdu tekutiny (fluidikový prietokomer založený na pôsobení Coandovho efektu), resp. prúdiacej tekutiny sa kladie do cesty prekážka (vírivé prietokomery a prietokomery s premenlivým prietokovým prierezom). Ani jeden z týchto prietokomerov neobsahuje pohyblivé časti, čo je značná výhoda.

Fluidikový prietokomer

Princíp merania pomocou fluidikového prietokomera využíva Coandov efekt. To znamená, že keď tekutina prúdi dostatočnou rýchlosťou medzi dvoma stenami, ktoré sú blízko pri sebe, má tendenciu primknúť sa k jednej zo stien.

Hlavný prúd tekutiny 1 preteká pomedzi dva usmerňovače prietoku 3 (pozri obr. 41). Pôsobením Coandovho efektu sa prúd tekutiny primkne k stene usmerňovača prietoku (obr. 41a). Zároveň malá časť kvapaliny 2 prechádza spätnoväzbovým kanálom a pôsobí na hlavný prúd kvapaliny. Naruší pritom silovú rovnováhu, takže hlavný prúd sa prekloní na protiľahlú stenu (obr. 41b). Tento cyklus sa neustále opakuje. Frekvencia preklopení (oscilácií) je priamo úmerná rýchlosti pretekajúcej tekutiny. Prítomnosť tekutiny v spätnoväzbovom kanáli sa zisťuje pomocou snímača 4. Využíva sa napríklad termistor.

Fluidikový prietokomer nie je citlivý na zmeny hustoty meranej tekutiny. V plnom rozsahu meraného prietoku sa linearita pohybuje v oblasti $\pm 1\%$. Pretože neobsahuje pohyblivé časti, má dlhú životnosť.



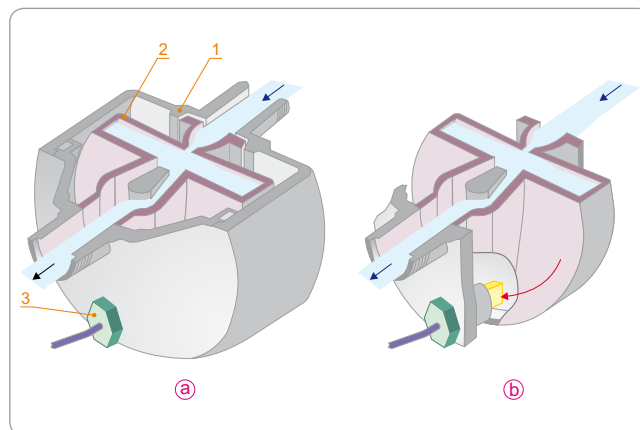
Obr. 41 Lineárny fluidikový prietokomer.

1 – tekutina, 2 – časť tekutiny, 3 – usmerňovače, 4 – snímač

Na obr. 42 je radiálny fluidikový prietokomer, v ktorom meraná kvapalina vchádza cez vstupný otvor v hlavnom telese 1 do radiálneho oscilátora 2. Pri akomkoľvek pohybe kvapaliny sa v oscilátore vymení približne 30 % kvapaliny, ktorá sa v ňom nachádza. Tento pohyb sa zisťuje pomocou citlivého termistora 3. Podľa smeru prúdenia kvapaliny v oscilátore (napr. v smere šípky, obr. 42b) sa priľahlá strana termistora viac ochladzuje. Po zmene smeru prúdenia kvapaliny sa naopak viac ochladzuje druhá strana, takže sa dá zistiť počet oscilácií kvapaliny.

Vírové prietokomery

Vírové prietokomery nemajú pohyblivé časti a nespôsobujú veľké trvalé tlakové straty. Do potrubia sa vkladajú rôzne telesá (objekty), ktoré bránia prúdeniu tekutiny. Po stranách telesa a za ním sa vytvárajú víry. Mierou rýchlosti prúdenia tekutiny je frekvencia a počet vírov. Počet vírov sa sníma na základe zmien rýchlosti alebo tlaku prúdiacej tekutiny za telesom. Zmena rýchlosti sa môže zisťovať napríklad tepelným anemometrom, termistorom, ultrazvukovým alebo optickým snímačom. Zmena tlaku sa zisťuje tenzometrami, kapacitným alebo piezoelektrickým snímačom. Na meranie prietoku sa využíva nútená aj prirodzená oscilácia tekutiny.



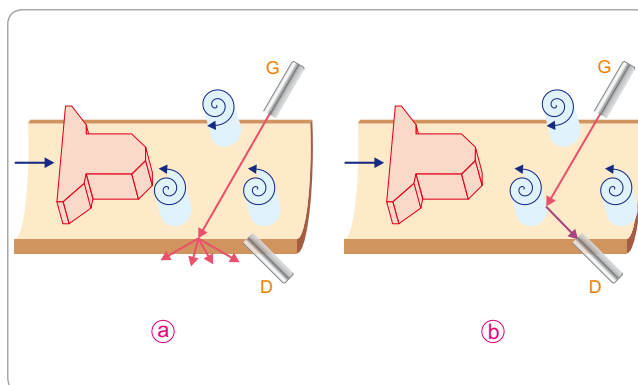
Obr. 42 Radiálny fluidikový prietokomer.

a) schéma meradla, b) funkcia snímača smeru prúdenia.

1 – teleso, 2 – oscilátor, 3 – termistor

Vírový prietokomer s prirodzenou osciláciou

Vírový prietokomer s prirodzenou osciláciou znázorňuje obr. 43. Zvírenie prúdu spôsobuje kužeľovité (prizmatické) teleso vložené širšou časťou kolmo proti prúdiacemu médiu. Za ním vznikajú Karmánové víry, ktoré majú rovnomerné geometrické usporiadanie. Sníma sa ich frekvencia závisiaca od strednej rýchlosti prúdenia tekutiny pred telesom a od šírky telesa. Z nameranej frekvencie sa dá vypočítať objemový prietok. Podmienkou vzniku Karmánových vírov je Reynoldsovo číslo $Re > 10\,000$. Frekvencia vírov nezávisí od hustoty alebo viskozity meranej tekutiny. Dovoľená chyba merania sa pohybuje okolo 1 % meracieho rozsahu.



Obr. 43 Ultrazvukové snímanie frekvencie vírov.

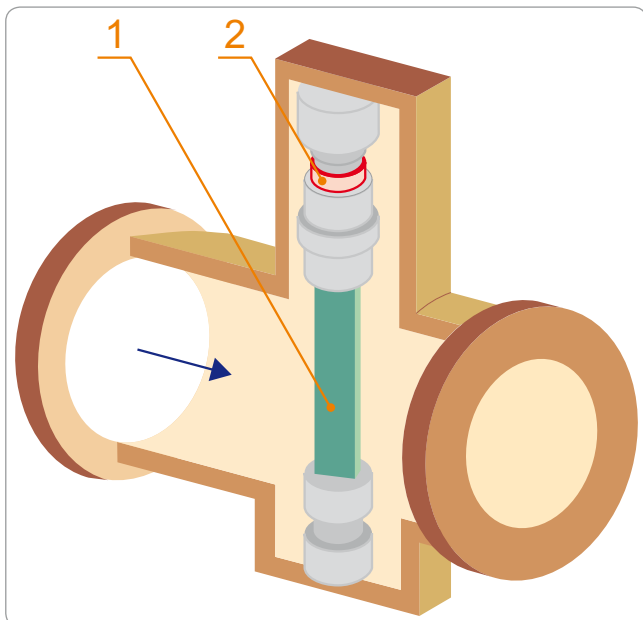
a) neodrazený signál, b) odrazený signál

Frekvencia vírov sa sníma rôzne, v praxi sa najčastejšie využíva ultrazvukový, piezoelektrický, optický, tepelný a tlakový snímač. Snímač frekvencie sa vkladá priamo do vloženého telesa alebo do steny potrubia.

Ultrazvukový snímač frekvencie vírov sa skladá z vysielača G a z prijímača D. Vyslaný ultrazvukový signál prechádza cez potrubie a ak nenarazí na vír, v prijímači sa nezmení modulácia signálu (obr. 43a). Signál, ktorý narazí na vír, sa od neho odrazí a zaznamená ho prijímač (obr. 43b).

Piezoelektrický snímač je zabudovaný v prichytení klinovitého telesa 1, ktoré spôsobuje zvíernenie prúdiacej tekutiny (obr. 44). Vzniknuté víry nadľahčujú toto teleso a namáhajú jeho prichytenia. Smer namáhania sa mení v závislosti od frekvencie vírov. Piezoelektrický prvok 2 prevádza namáhanie telesa na elektrické signály.

Optické vlákno sa vkladá do potrubia kolmo na os prúdiacej tekutiny. Prúdiaca tekutina vytvorí po stranách vlákna a za ním víry, ktoré vlákno rozkmitajú. Frekvencia vírov je priamo úmerná rýchlosti prúdiacej tekutiny. Priemer potrubia môže byť menší ako 1 mm.



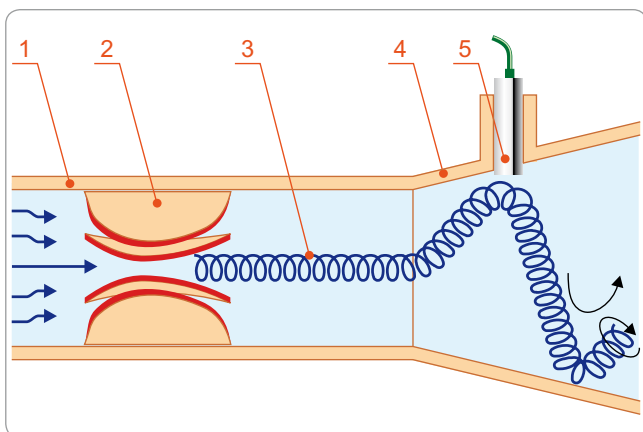
Obr. 44 Vírový prietokomer s piezoelektrickým snímačom. 1 – klinové teleso, 2 – piezoelektrický prvok

Vírový prietokomer s nútenou osciláciou

Vírový prietokomer s nútenou osciláciou využíva udelenie tangenciálnej rýchlosti prúdu tekutiny (obr. 45). Tekutina priteká rýchlosťou w valcovým potrubím 1 a vchádza medzi zakrivené pevné lopatky 2. Lopatky dodávajú tekutine tangenciálny impulz, takže sa v osi potrubia vytvára vír 3. Osový vír 3 sa v kužeľovitom difúzore 4 začína stáčať smerom k stenám potrubia. Pritom vykonáva precesný pohyb, to znamená, že tekutina sa dopredu pohybuje po špirále (naznačená šípka). Frekvencia precesného pohybu osového víru sa sníma tlakovým alebo tepelným snímačom 5. Táto frekvencia je priamo úmerná pôvodnej rýchlosti prúdu w, a teda aj objemovému prietoku tekutiny.

Prietokomery s premenlivým prietokovým prierezom

Využíva sa zmena plošného obsahu priestoru, cez ktorý preteká tekutina. Zachová sa približne konštantná hodnota tlakového spádu. Hodnota objemového prietoku sa určuje v závislosti od polohy pohyblivej časti prietokomera. Medzi najpoužívanejšie typy takýchto prietokomerov patrí prietokomer s kužeľovitým trňom, prietokomer s otočnou lopatkou a plavákový prietokomer.

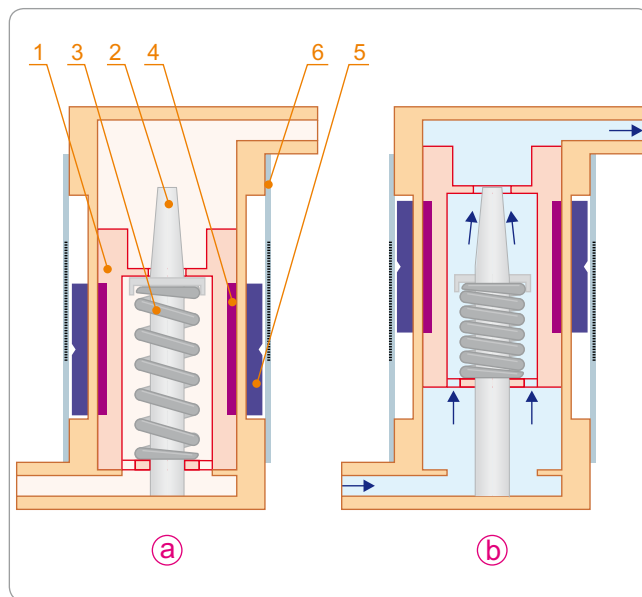


Obr. 45 Vírový prietokomer s nútenou osciláciou. 1 – potrubie, 2 – pevné lopatky, 3 – osový vír, 4 – difúzor, 5 – snímač

Prietokomer s kužeľovitým trňom

Používa sa na meranie prietoku kvapalín. Jeho základom je dutý piest 1, ktorý sa pohybuje po kužeľovitom trní 2 (obr. 46). V základnej polohe (nepreteká kvapalina) pridržia piest v dolnej úvratí kalibrovaná pružina 3 (obr. 46a). Po privedení kvapaliny sa piest nadvihne a okolo trňa začne prúdiť kvapalina (obr. 46b). Výška

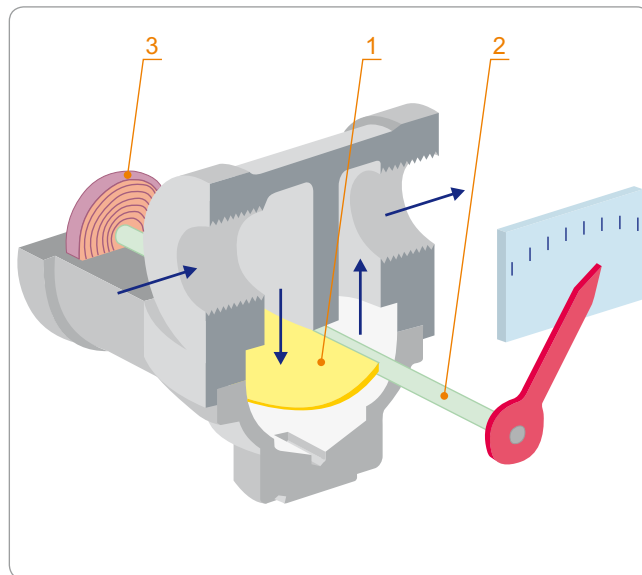
zdvihu piesta závisí od prietoku kvapaliny. Na pieste upevnený prstencový magnet 4 pohybuje indikačným protikusom 5. Na ňom je vyznačená ryska ukazujúca hodnotu prietoku na stupnici vyznačenej na priehľadnom kryte 6. Niekedy sa na zisťovanie polohy piesta používa aj elektronický snímač.



Obr. 46 Prietokomer s kužeľovitým trňom. a) v základnej polohe, b) cez prietokomer preteká kvapalina. 1 – dutý piest, 2 – kužeľovitý trň, 3 – pružina, 4 – prstencový magnet, 5 – protikus, 6 – kryt

Prietokomer s otočnou lopatkou

Kvapalina pootáča lopatku 1 prietokomera (obr. 47). Tá je upevnená na hriadeľ 2 poháňajúcom mechanické alebo elektronické zariadenie na snímanie uhla pootočenia lopatky. Proti pohybu lopatky pôsobí kalibrovaná torzná pružina 3 pripevnená k hriadeľu.



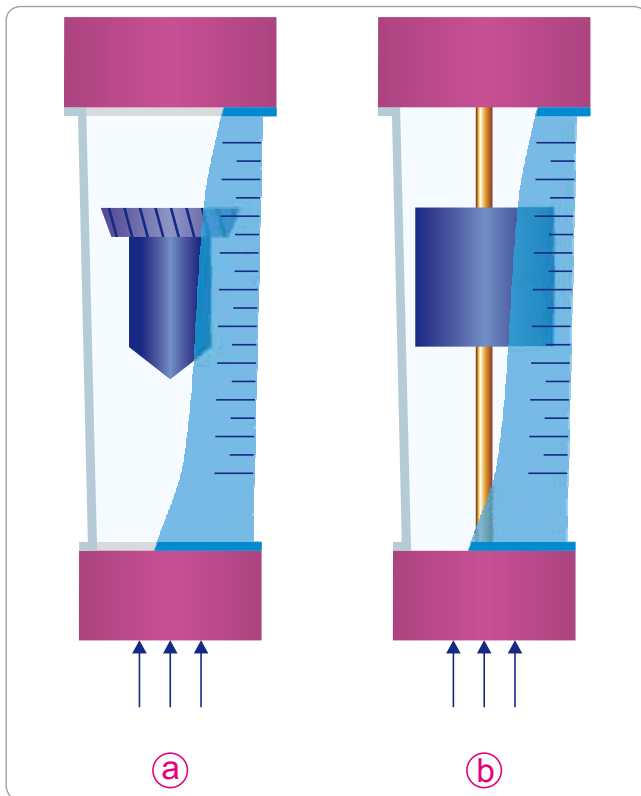
Obr. 47 Prietokomer s otočnou lopatkou. 1 – lopatka, 2 – hriadeľ, 3 – torzná pružina

Plavákový prietokomer

Plavákový prietokomerom sa meria objemový prietok kvapalín aj plynov. Je známy pod názvom rotameter. Teleso rotačného tvaru (plavák) sa voľne pohybuje vo zvislej kužeľovej trubici, ktorej prierez sa rozširuje smerom nahor (obr. 48). Ak prietokomerom nepreteká tekutina, plavák zostáva v pokoji v najnižšej možnej polohe. Prúdica tekutina nadnesie plavák, pričom sa vytvorí štrbina medzi plavákom a trubicou prietokomera, cez ktorú môže tekutina pretekať. Tým klesá tlakový spád na plaváku. Prietok je kvadratickou funkciou polohy plaváka, a preto je stupnica plavákového prietokomera nelineárna.

Trubica prietokomera býva vyhotovená zo skla, pri vyšších teplotách a tlakoch sa vyrába z kovu. Plaváky prietokomerov sa líšia materiálom a tvarom. Vo všeobecnosti existujú dva typy plavákov:

- a) nestabilné – plavák v trubici vedie tyč alebo struna (obr. 49a),
- b) stabilné – plavák má po obvode šikmé zárezy alebo priebežné šikmé otvory v telese plaváka, ktoré prúdom tekutiny uvedú plavák do rotácie (obr. 49b).



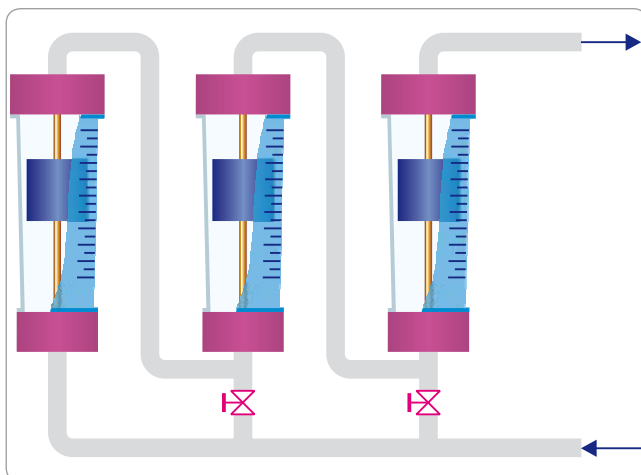
Obr. 48 Plavákový prietokomer.

a) so stabilným plavákom, b) s nestabilným plavákom

Poloha plaváka sa sníma dotykovým alebo bezdotykovým spôsobom (napríklad pomocou indukčných, kapacitných alebo fotoelektrických snímačov). Ak sa na plaváku nachádza magnet, môže sa rotameter využívať aj ako prietokový spínač.



Obr. 49 Typy plavákov. a) stabilné, b) nestabilné



Obr. 50 Mnohotrubicové rotametre

Na meranie prietoku sa využívajú aj mnohotrubicové rotametre (obr. 50). V jednom prístroji sa nachádza až šesť trubíc s plavákmi. Trubice majú stupnice s rôznymi rozsahmi. Pomocou systému ventilov sa dá usmerňovať prietok tekutiny cez jednotlivé trubice prietokomera.

Plavákové prietokomery sa vo všeobecnosti používajú na meranie malých a stredných prietokov. Chyba merania sa pohybuje v rozmedzí 1 až 2 % z meracieho rozsahu. Na trhu sú dostupné aj rotametre s meracím rozsahom do 7 000 m³/h plynu.

doc. Ing. Martin Halaj, PhD.

Slovenský metrologický ústav
Karloveská 63
842 55 Bratislava 4
halaj@smu.gov.sk

doc. Ing. Eva Kureková, PhD.

Strojnícka fakulta STU
nám. Slobody 17
812 31 Bratislava
eva.kurekova@stuba.sk

Meranie prietoku, pretečeného množstva (8)

Meranie rýchlosti prúdenia tekutín

Mnohé z doteraz opisovaných prietokomerov, príp. meradiel pretečeného množstva, sú založené na rýchlostnom princípe merania, teda prietok, resp. pretečené množstvo sa vypočíta dodatočne z nameranej rýchlosti prúdenia tekutiny. Meradlá, ktoré sa používajú najmä na meranie okamžitej, resp. strednej rýchlosti prúdenia tekutín sa delia na rýchlostné sondy, anemometre a krídla.

Najčastejšie využívajú zmenu kinetickej energie prúdiacej tekutiny na tlakovú (Pitotova a Prandtlava trubica a rýchlostné sondy), dynamický účinok prúdiacej tekutiny (Woltmannovo krídlo, lopatkový, resp. miskový anemometer), prípadne sa využíva ochladzovanie žeravého drôtu alebo fólie prúdom tekutiny (žeravený anemometer). Presné bezdotykové meranie rýchlosti tekutín umožňuje laserový Dopplerov anemometer.

Rýchlostné sondy

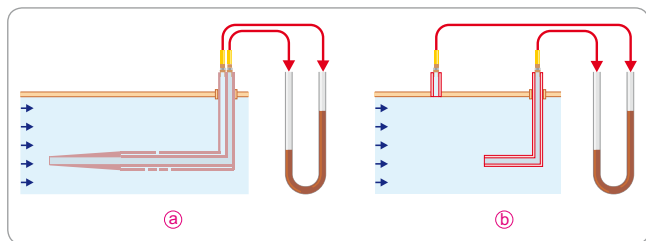
Rýchlostné sondy sú určené na meranie okamžitej alebo strednej rýchlosti prúdiacej tekutiny (najmä kvapaliny), ako aj na stanovovanie rýchlostného profilu v potrubiach, kanáloch a v riečnych korytách. Používajú sa najmä na laboratórne účely alebo na presné meranie. Využívajú pritom zmenu kinetickej energie na tlakovú.

Medzi rýchlostné sondy sa zaraďuje Pitotova a Prandtlava trubica, valcová, guľová a viacotvorová valcová sonda. Presnosť merania trubicami a sondami je ovplyvnená najmä správnou polohou ich nasmerovania. Čelo trubice, resp. sondy, sa musí presne nasmerovať do smeru prúdenia tekutiny. Odchýlenie trubice od smeru prúdu viac ako o 5° spôsobuje chybu merania, ktorá sa už nedá zanedbať.

Pitotova trubica

Meranie rýchlosti prúdiacej tekutiny pomocou Pitotovej trubice bolo známe už v 18. storočí. Vyhodenie sa líši podľa toho, či sa používa na meranie rýchlosti plynu (obr. 71a) alebo kvapaliny (obr. 71b). V druhom prípade sa skladá z dvoch samostatných trubíc, rovnaj na meranie statického tlaku a ohnutej na meranie dynamického tlaku. Pri správnom meraní má byť os ohnutej trubice totožná s osou potrubia a má smerovať proti prúdiacemu toku. Vplyvom celkového tlaku p_c v nej vystúpi hladina tekutiny do výšky h_c . V druhej (rovnej) trubici sa meria výška hladiny tekutiny h_s (vplyv statického tlaku p_s).

Pitotova trubica sa používa v širokom spektre aplikácií, napr. na meranie rýchlosti prúdiacej kvapaliny v otvorených kanáloch alebo v riečnych korytách.

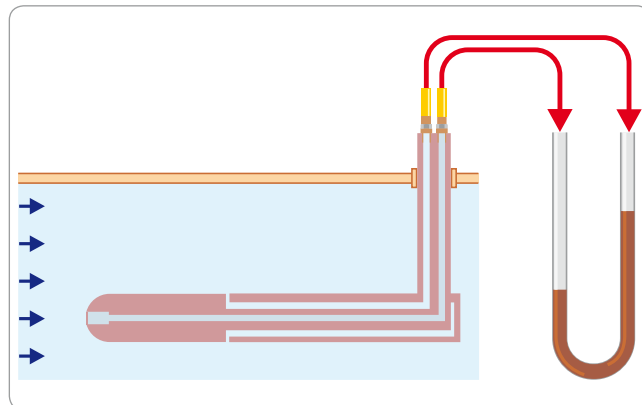


Obr. 71 Pitotova trubica a) pre plyn, b) pre kvapalinu

Prandtlava trubica

Prandtlava trubica sa hodí najmä na meranie väčších rýchlostí prúdiacej tekutiny. Okamžitá rýchlosť prúdiacej tekutiny sa zisťuje v mieste ponoru trubice, pričom sa požaduje, aby prúdenie bolo laminárne a rovnomerné. Trubicu tvorí valcová sonda so zaobleným čelom a nosnou rúrkou, ktorá sa vysúva po celom meranom priereze (obr. 72). V čele valcovej sondy s priemerom d sa nachádza vstupný otvor. Tekutina prúdiaca týmto otvorom je vyvedená k diferenčnému manometru, pomocou ktorého sa zisťuje celkový tlak p_c prúdiacej tekutiny. Po obvode valca vo vzdialenosti $3d$ sa nachádzajú

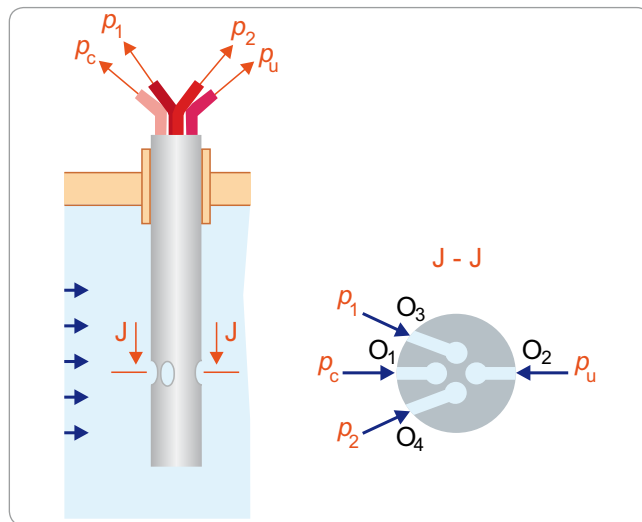
odberové otvory na snímanie statického tlaku p_s . Otvory sa umiestňujú do bodu, kde hodnota dynamického tlaku dosahuje nulu.



Obr. 72 Meranie rýchlosti prúdiacej tekutiny pomocou Prandtlavej trubice

Valcová sonda

Valcová sonda sa používa na zisťovanie rýchlosti a smeru tekutiny pri stacionárnom dvojrozmernom prúdení. Tvorí ju valcové teleso so štyrmi otvormi O_1 až O_4 , ktoré ležia v jednej rovine (obr. 73). Otvorom O_1 nastaveným proti smeru prúdenia sa sníma celkový tlak p_c , zadným otvorom O_2 úplavový (statický) tlak p_u . Bočné otvory O_3 a O_4 sú umiestnené symetricky vzhľadom na pozdĺžnu os a zisťuje sa nimi smer prúdenia. Snímané tlaky sa vyvážajú samostatnými vývrtmi k diferenčným manometrom. Otáčaním sondy v jednej rovine sa zistí správna hodnota smeru prúdenia tekutiny vtedy, keď budú tlaky v otvoroch O_3 a O_4 rovnaké, teda $p_1 = p_2$. Sonda býva upevnená na držiaku, pomocou ktorého sa posúva v jednej osi prierezu po celej dĺžke.

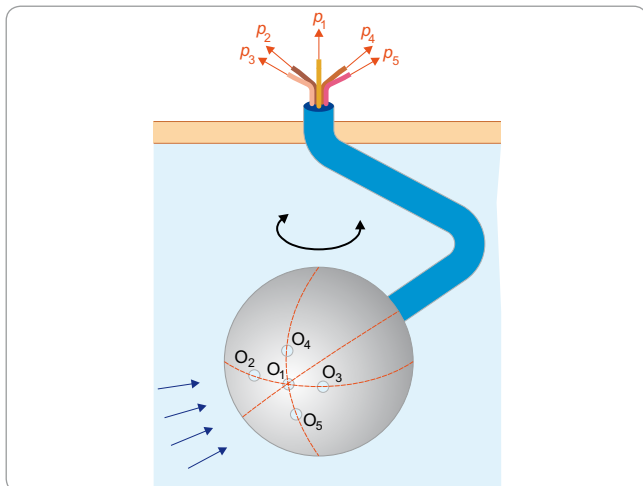


Obr. 73 Valcová sonda

Guľová sonda

Na priestorové meranie smeru a rýchlosti stacionárneho prúdenia je výhodné použitie guľovej sondy (obr. 74). Sondu tvorí guľa s priemerom 5 mm až 10 mm s piatimi otvormi O_1 až O_5 , ktoré sa nachádzajú v dvoch na seba kolmých rovinách. Tlaky p_1 až p_5 , ktoré sa snímajú týmito otvormi, sú vyvedené samostatne vývrtmi k príslušným diferenčným manometrom. Otvorom O_1 v priesečníku rovin sa sníma celkový tlak p_c . Otvory O_2 a O_3 sú vytvorené symetricky v horizontálnej rovine pod uhlom $\pm 45^\circ$ vzhľadom na stredový otvor. V kolmej rovine sa nachádzajú symetricky uložené otvory O_4 a O_5 umiestnené pod uhlom $\pm 50^\circ$ vzhľadom na stredový otvor. Princíp merania spočíva v natáčaní sondy tak dlho, kým sa

nerovnajú tlaky p_2 a p_3 (otvory O_2 a O_3) a tlaky p_4 a p_5 (otvory O_4 a O_5).

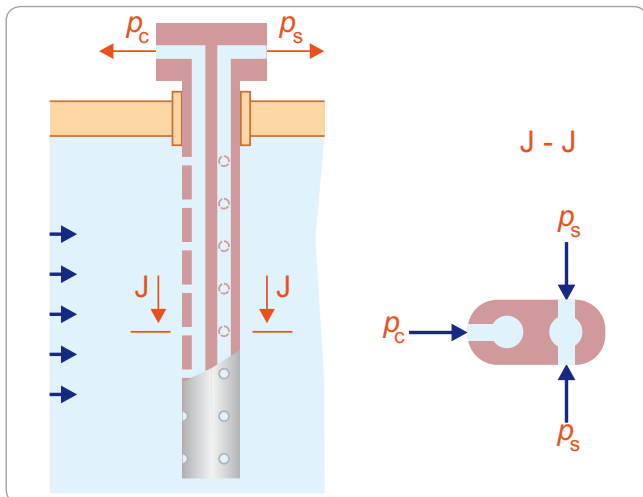


Obr. 74 Guľová sonda

Viacotvorová valcová sonda

Viacotvorová valcová sonda sa niekedy označuje ako integračná Prandtlova trubica. Konštrukčne je prispôbená na snímanie strednej rýchlosti toku tekutín aj v prípade meniaceho sa rýchlostného profilu (obr. 75). Skladá sa z valcovej sondy, ktorá má štyri až desať otvorov na nábehovej strane a jeden otvor na bočnej strane sondy. Otvory na nábehovej strane sú rozmiestnené tak, aby sa snímala stredná hodnota celkového tlaku, napríklad podľa logaritmicko-lineárneho rozdelenia. Sú vyvedené jedným spoločným vývrtom k diferenčnému tlakomeru. Otvor na snímanie úplavového tlaku p_u je izolovaný od otvorov na nábehovej strane.

Merací rozsah býva 1,7 až 48 m/s. Sonda sa výhodne používa v prípade potrubí so štvorcovým alebo obdĺžnikovým prierezom, pretože sa v nich ťažko dajú aplikovať iné spôsoby merania rýchlostí.



Obr. 75 Viacotvorová valcová sonda

Anemometre

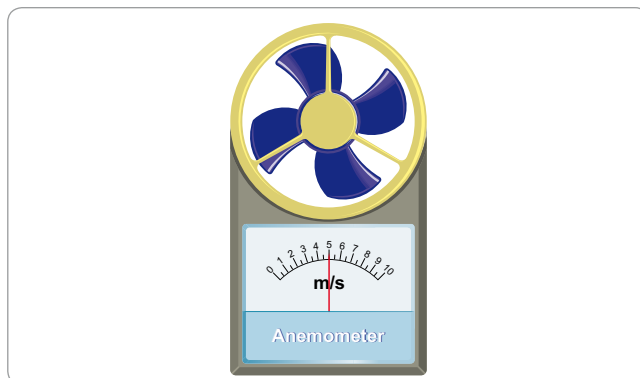
Anemometre využívajú silový účinok prúdu meranej tekutiny alebo ochladzovanie citlivej časti anemometra prúdiacou tekutinou, najčastejšie plynom. Podľa konštrukcie sa anemometre delia na mechanické, žeraviace (elektrické) a laserové.

Mechanické anemometre

Mechanické anemometre využívajú silový účinok prúdiacej tekutiny. Tá roztáča lopatky alebo misky upevnené na rotore, ktorého os sa umiestňuje do osi prúdenia tekutiny. Rýchlosť prúdiaceho plynu (najčastejšie vzduchu) sa zisťuje podľa frekvencie otáčania rotora apretečené množstvo podľa počtu otáčok rotora.

Lopatkový anemometer

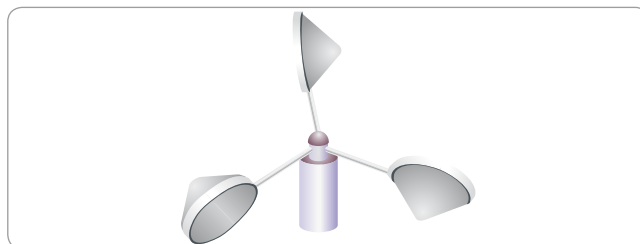
Hlavnou časťou lopatkového anemometra je hriadeľ, na ktorom sú pripevnené radiálne hliníkové lopatky so skrutkovým zakrivením (obr. 76). Používa sa najmä na meranie rýchlosti plynov, ktoré prúdia potrubím alebo kanálom, ako aj na meranie rýchlosti vetra od 0,1 až do 30 m/s. Nehodí sa na meranie pulzujúceho prúdu a pri rýchlosti nad 30 m/s je nespoľahlivý.



Obr. 76 Lopatkový anemometer

Miskový anemometer

Miskový anemometer, známy ako Robinsonov miskový kríž (obr. 77), sa používa na meranie strednej rýchlosti prúdiaceho plynu. V meteorologických staniách slúži na orientačné určovanie rýchlosti vetra. Jeho merací rozsah pokrýva 1 až do 75 m/s.

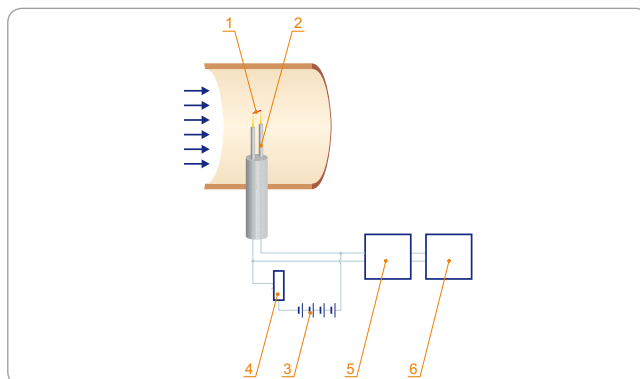


Obr. 77 Miskový anemometer

Žeraviace anemometre

Žeraviace anemometre sú v podstate elektrické rýchlostné sondy, ktoré slúžia na bodové meranie miestnych rýchlostí prúdiacich tekutín, najčastejšie plynov. Tvar i konštrukcia žeraviacich anemometrov býva rôzna, majú však spoločný princíp merania: ohriate teleso, ktoré sa vloží do prúdiacej tekutiny, sa ochladzuje tým intenzívnejšie, čím je vyššia rýchlosť prúdenia tekutiny.

Snímaciu časť žeraviaceho anemometra môže tvoriť buď tenké vlákno alebo tenký film. Tento drôt, resp. film, sa môže žeraviť konštantným prúdom, takže ho prúdiaca tekutina ochladzuje a tým mení jeho odpor, ktorý sa meria. Inou možnosťou je udržiavanie



Obr. 78 Žeraviaci anemometer s kovovým vláknom, napájaný konštantným prúdom
1 – vlákno, 2 – držiak 3 – zdroj, 4 – odpor, 5 – zosilňovač, 6 – vyhodnocovacia jednotka

konštantného odporu, a teda aj teploty snímacieho prvku premenlivým napájacím prúdom.

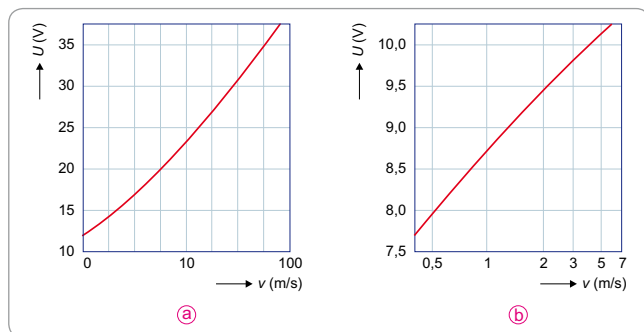
V skupine žeraviacich anemometrov s tenkým vláknom (obr. 78) tvorí snímaciu časť volfrámové, platínové, resp. platino-irídiové vlákno 1. Na teplotu 200 °C až 500 °C ho zohrieva konštantný prúd zo zdroja 3. Zmena teploty vlákna sa prejaví v zmene jeho ohmického odporu. Meranie je jednoduché a používa sa pri pomalých rýchlostných zmenách, najmä v prípade pomaly prúdiacich tekutín.

V prípade merania žeraviaceho prúdu pri konštantnej teplote vlákna (teda pri konštantnom odpore) je snímač zabudovaný priamo vo Wheatstonovom mostíku ako jeden z odporov. Regulačným odporom sa udržiava konštantný odpor snímača. Takéto usporiadanie sa používa na meranie pri dynamických zmenách rýchlosti prúdenia do 300 m/s. Časová konštanta môže byť veľmi malá, až 0,002 s.

Výhodou žeraviaceho anemometra s tenkým drôtičkom sú malé rozmery, nevýhodou je náchylnosť na mechanické poškodenie.

Závislosť sklonu snímača od smeru prúdenia sa určuje kalibrovaním v rôznom stacionárnom prúdení. Typická statická charakteristika kovového anemometra pre prúdiaci vzduch je na obr. 79a.

Žeraviace anemometre s kovovou fóliou sa osvedčili najmä pri meraní rýchlosti prúdenia kvapalín a pri meraní rýchlo prúdiacich plynov. Používa sa fólia s hrúbkou približne 2 µm. Typická statická charakteristika fóliového anemometra pre prúdiacu vodu je na obr. 79b. Niektoré vyhotovenia snímacích prvkov s tenkou fóliou predstavuje obr. 80. V jednom prípade pritom ide o fóliu obalenú okolo drôtička, takže pripomína predchádzajúci typ žeraviaceho anemometra s tenkým drôtičkom. Fóliové anemometre sa hodia najmä na dynamické merania.



Obr. 79 Kalibračné krivky žeraviacich anemometrov
a) kovový anemometer pre vzduch, b) fóliový pre vodu



Obr. 80 Rôzne vyhotovenia snímacích prvkov s tenkou fóliou

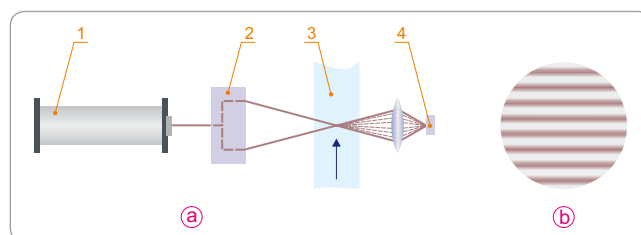
Laserový Dopplerov anemometer (LDA)

Prostredníctvom laserového Dopplerovho anemometra sa bezdotykovým spôsobom meria bodová rýchlosť prúdiacej tekutiny v opticky priehľadnom prostredí. Používa sa v laboratórnej aj v priemyselnej praxi. Pri svojej činnosti využíva Dopplerov jav (obr. 81a). Základnou časťou anemometra je laser 1, ktorého lúč sa pomocou optiky 2 rozdeľuje na dve časti. Tie sa zbiehajú v bode, v ktorom sa má merať rýchlosť prúdiacej tekutiny 3. Obidva lúče majú rovnakú frekvenciu. Molekuly meranej tekutiny, ako aj čiastočky ňou unášané prechádzajú cez bod, v ktorom sa lúče križujú a čiastočne odrážajú, resp. rozptyľujú, svetlo obidvoch lúčov. Rýchlosť prúdiacich častí spôsobuje, že odrazené svetlo má pri obidvoch lúčoch inú frekvenciu. Svetlo rozptýlené z lúča, ktorý mieri po prúde tekutiny, má vyššiu frekvenciu, svetlo rozptýlené z lúča mieriaceho proti

prúdu tekutiny má nižšiu frekvenciu. Svetlo z obidvoch lúčov s odlišnými frekvenciami navzájom interferuje a pritom vytvára tretiu frekvenciu. Tá je priamo úmerná zložke rýchlosti, ktorá je v rovine lúčov kolmá na os uhla obidvoch lúčov. Prítom sa tvorí interferenčná mriežka, kde sa striedajú svetlejšie a tmavšie pruhy (obr. 81b). Pruhy sníma fotočlen 4 a generuje elektrický signál úmerný rýchlosti prúdenia tekutiny. Vzďialenosť medzi pruhmi závisí iba od vlnovej dĺžky svetla lasera a od uhla medzi obidvoma lúčmi. Po vynásobení vzdialenosti medzi pruhmi frekvenciou výstupného elektrického signálu dostaneme rýchlosť prúdenia.

Takýmto spôsobom sa meria jedna zložka rýchlosti prúdiacej tekutiny. Na meranie všetkých troch zložiek rýchlosti sa používajú viacrozmerné LDA. V každom prípade treba pri meraní dbať na použitie vhodného polohovacieho zariadenia umožňujúceho presnú identifikáciu bodu, v ktorom sa meria rýchlosť prúdiacej tekutiny. Výhodou laserového Dopplerovho anemometra je veľký merací rozsah.

V priemyselnej praxi sa dá LDA použiť na určenie prietoku plynov vo veľkých rozvodných potrubiach. Zisťuje sa rýchlostný profil, z ktorého sa odvodza objemový prietok plynu. Takéto riešenie dovoľuje zníženie chyby merania na 1 % pri priemere potrubia až 1 500 mm.

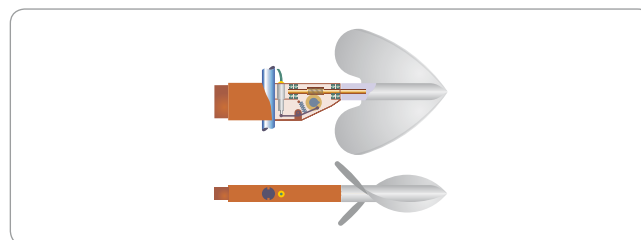


Obr. 81 Laserový Dopplerov anemometer
a) schematické znázornenie činnosti, b) interferenčná mriežka
1 – laser, 2 – optika, 3 – prúdiaca tekutina, 4 – fotočlen

Hydrometrické krídlo

Hydrometrické (tzv. Woltmannovo) krídlo nachádza široké uplatnenie pri meraní rýchlosti kvapalín (najmä vody) v otvorených kanáloch a riečnych tokoch. Najčastejšie sa skladá z dvoch až štyroch lopatkových plôch v tvare lodnej skrutky (obr. 82). Tvar lopatiek je navrhnutý tak, aby bol prístroj čo najcitlivejší a aby bola začiatočná rýchlosť kvapaliny potrebná na roztočenie krídla čo najmenšia. Otáčky rotora sa prevádzajú cez prevod na počítadlo.

Krídlo meria rýchlosť iba v jednom mieste prietoku, preto treba na určenie strednej rýchlosti prúdu vyjadriť rýchlostný profil. Používa sa v rôznych vyhotoveniach. Nechránené býva upevnené na pevnej nosnej tyči alebo zavesené na lanku. Konštanty meradla sa určujú experimentálne v laboratórnych kanáloch s daným typom prúdenia.



Obr. 82 Hydrometrické krídlo

doc. Ing. Martin Halaj, PhD.

Slovenský metrologický ústav
Karloveská 63, 842 55 Bratislava 4
halaj@smu.gov.sk

doc. Ing. Eva Kureková, PhD.

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Strojnícka fakulta
Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava
eva.kurekova@stuba.sk