

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 $m^3 \cdot s^{-1}$ (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 $kg \cdot s^{-1}$ (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 :

$$q_m = \frac{m}{t} = \rho \frac{V}{t} = \rho \cdot S \frac{ds}{dt} = \rho \cdot S \cdot \bar{w} \quad (4)$$

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. plynomery). Prístroje na meranie rýchlosti prúdenia tekutiny sa označujú ako rýchlostné sondy, v špeciálnom prípade merania rýchlosti prúdenia plynov sa nazývajú anemometre.

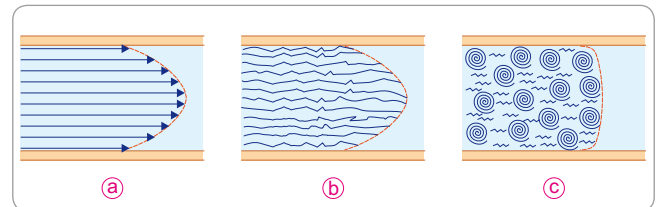
Okamžitá rýchlosť vrstvy prúdu tekutiny na danom mieste kruhového potrubia sa dá určiť podľa vzťahu:

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

kde

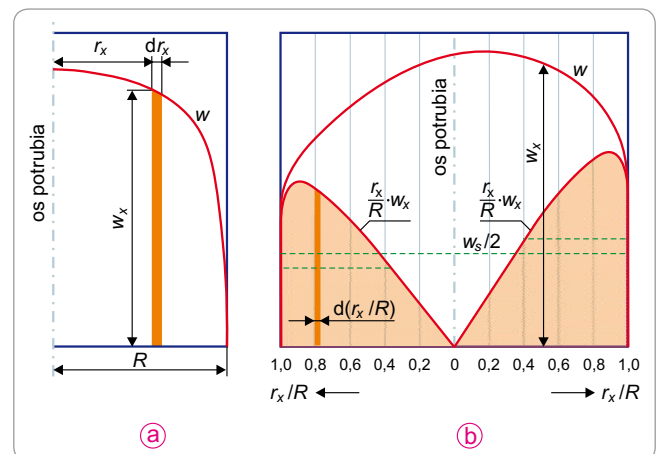
w je okamžitá rýchlosť vrstvy prúdu tekutiny,
 w_{\max} – maximálna rýchlosť prúdu tekutiny v danom priereze potrubia,
 r – vzdialenosť vrstvy prúdu tekutiny od osi kruhového potrubia,
 R – polomer potrubia,
 n – exponent závisiaci od typu prúdenia.

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 Priebek 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.

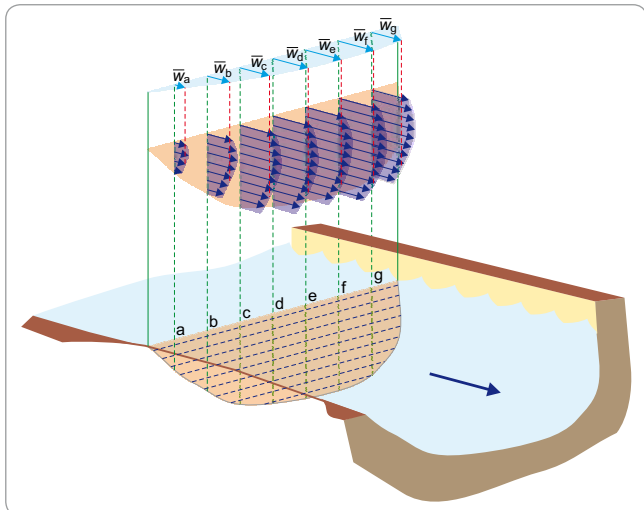
Typ prúdenia pre daný tvar potrubia, resp. kanála, sa dá posúdiť podľa hodnoty Reynoldsovho čísla. Toto číslo vyjadruje pomer medzi zotrvačnými a trecími silami vnútri tekutiny:

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

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.

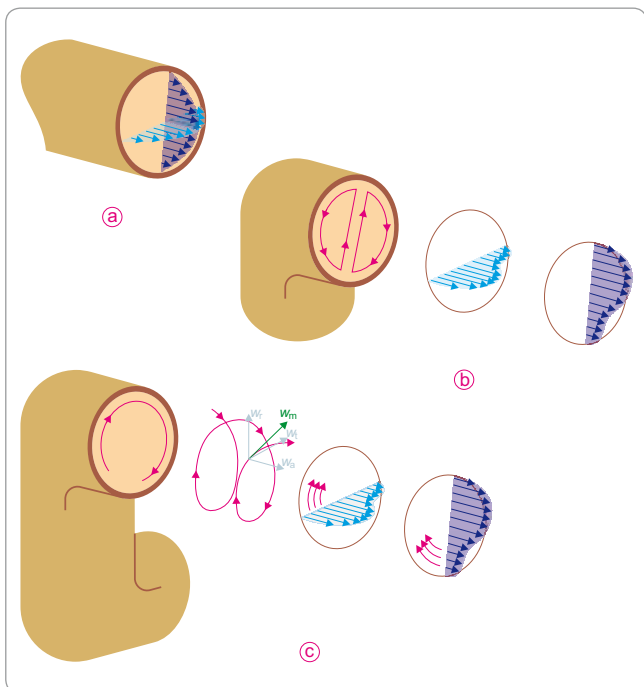
Pre prietok kruhovým potrubím je kritické Reynoldsovo číslo $Re = 2300$. V prípade kruhového potrubia sa dá prúdenie tekutiny v závislosti od hodnoty Reynoldsovo čísla rozdeliť do troch skupín:

- 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).

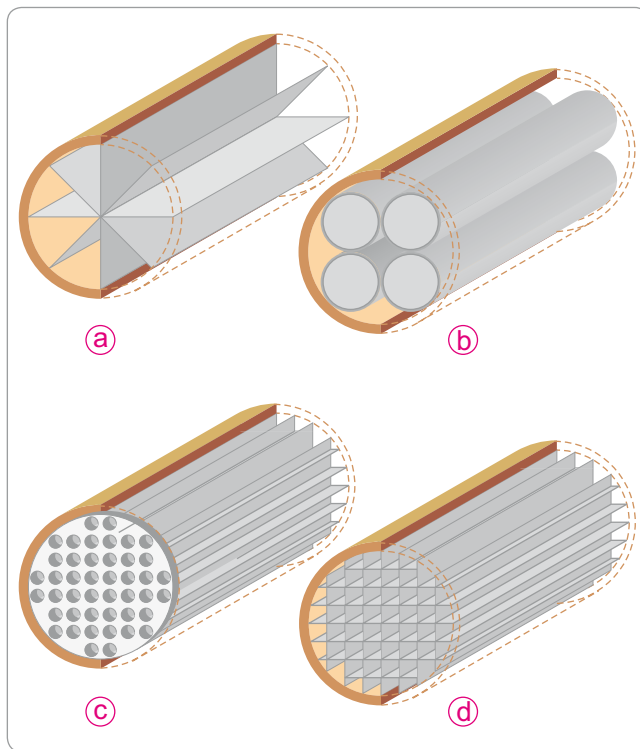


Obr. 4 Poruchy symetrického rýchlostného profilu prúdiacej tekutiny
a) symetrický profil v rovnom potrubí, b) jednoduchý ohyb, c) dvojitý ohyb

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

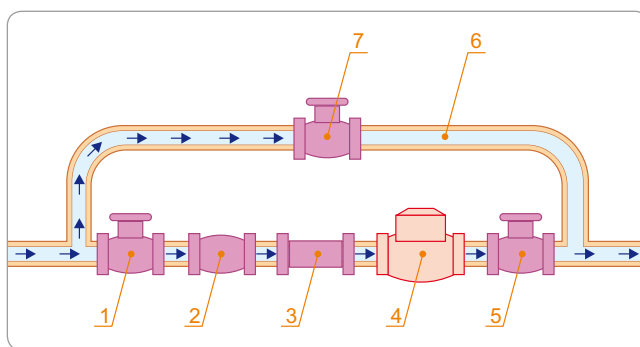
K častým príčinám porúch rýchlostných profilov patrí prítomnosť spájacích kusov potrubí, redukcií, rozšírení, umiestnenie sít na zachytávanie nečistôt a ohnuté potrubia. Výrobcom preto v pokynoch

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) Etioile, 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