

Meranie prietoku, pretečeného množstva (5)

Prietokomery využívajúce dynamické pôsobenie tekutiny

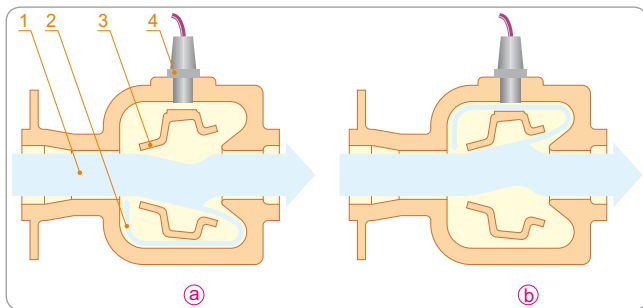
V týchto prietokomeroch sa určuje hodnota objemového prietoku tekutiny podľa veľkosti jej dynamického pôsobenia na meradlo. Využíva sa tu priamo dynamika prúdu tekutiny (fluidikový prietokomer založený na pôsobení Coandovho efektu), resp. prúdiacej tekutiny sa kladie do cesty prekážka (vírivé prietokomery 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.



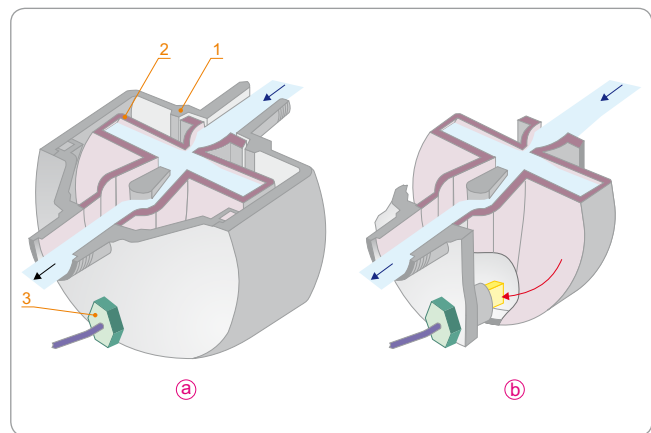
Obr. 41 Lineárny fluidikový prietokomer.

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 príľahlá 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.



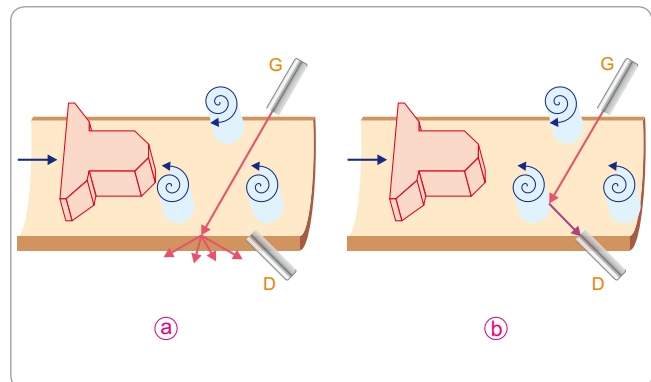
Obr. 42 Radiálny fluidikový prietokomer.

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.

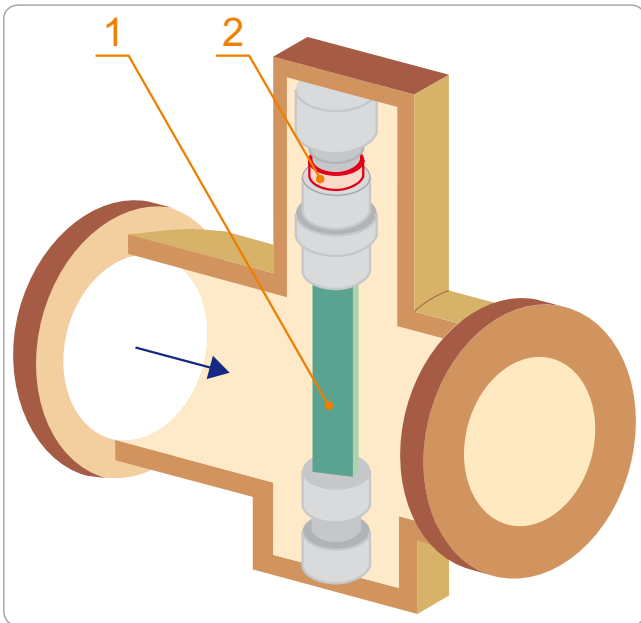
a) neodrazený signál, b) odrazený signál

Frekvencia vírov sa sníma rôzne, v praxi sa najčastejšie využívajú 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 zvírenie 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.



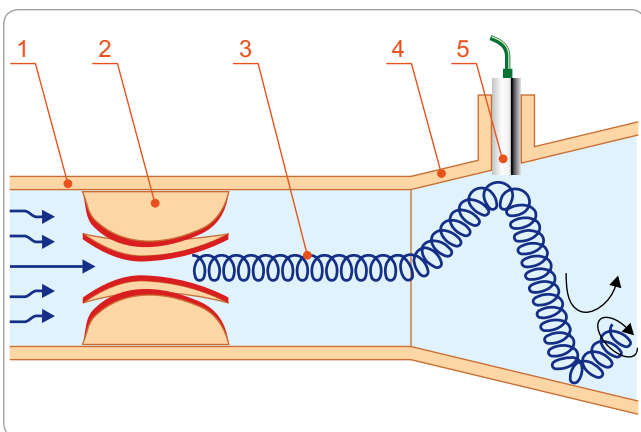
Obr. 44 Vírový prietokomer s piezoelektrickým snímačom. 1 – klinové teleso, 2 – piezoelektrický prvok

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 kuželovitom 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 kuželovitým trňom, prietokomer s otočnou lopatkou a plavákový prietokomer.

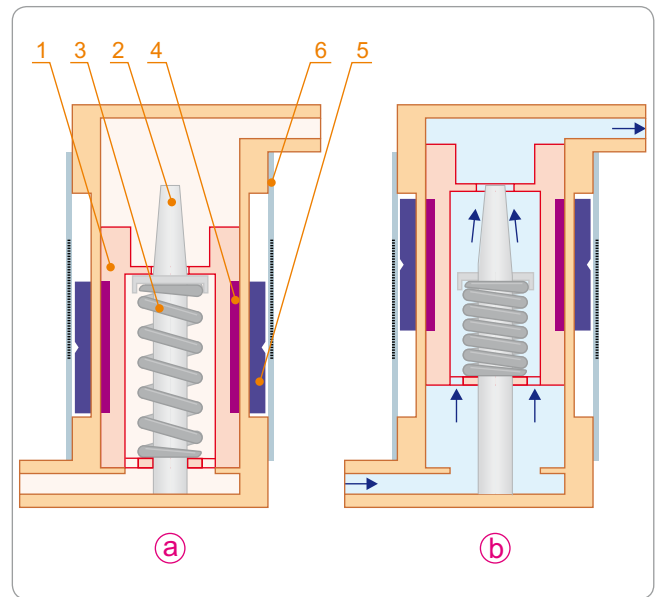


Obr. 45 Vírový prietokomer s nútenou osciláciou. 1 – potrubie, 2 – pevné lopatky, 3 – osový vír, 4 – difúzor, 5 – snímač

Prietokomer s kuželovitým trňom

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

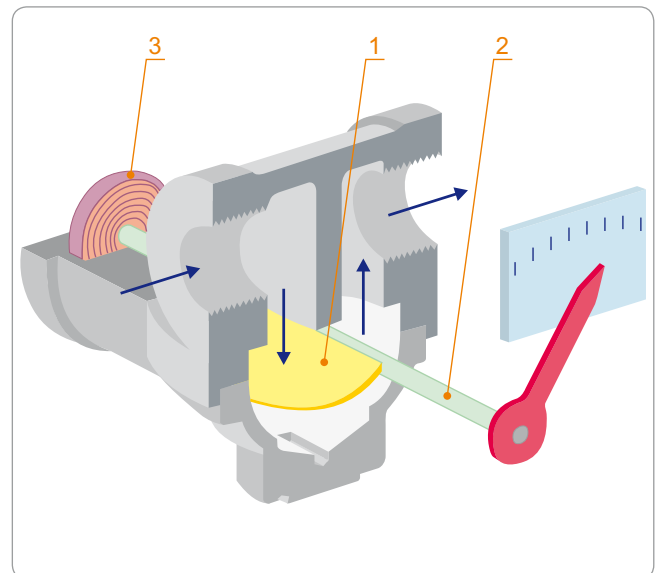
zdvihu piesta závisí od prietoku kvapaliny. Na pieste upevnený prstencový magnet 4 pohybuje indikačným protikusom 5. Na ňom je vyznačená ryska ukazujúca hodnotu prietoku na stupnici vyznačenej na priehľadnom kryte 6. Niekedy sa na zisťovanie polohy piesta používa aj elektronický snímač.



Obr. 46 Prietokomer s kuželovitým trňom. a) v základnej polohe, b) cez prietokomer preteká kvapalina. 1 – dutý piest, 2 – kuželovitý 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 hriadeľi 2 poháňajúcom mechanické alebo elektronické zariadenie na snímanie uhla pootočenia lopatky. Proti pohybu lopatky pôsobí kalibrovaná torzná pružina 3 pripevnená k hriadeľu.



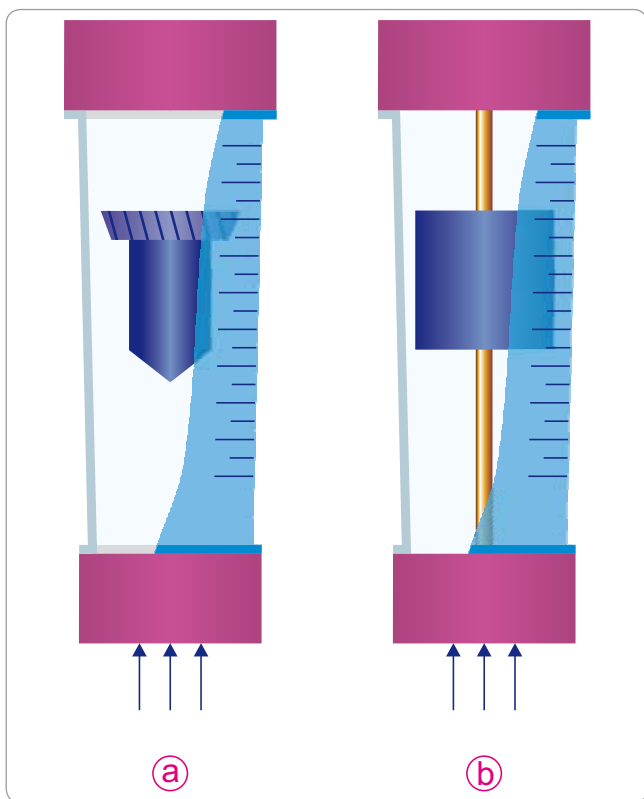
Obr. 47 Prietokomer s otočnou lopatkou. 1 – lopatka, 2 – hriadeľ, 3 – torzná pružina

Plavákový prietokomer

Plavákovým prietokomerom sa meria objemový prietok kvapalín aj plynov. Je známy pod názvom rotameter. Teleso rotačného tvaru (plavák) sa voľne pohybuje vo zvislej kuželovej trubici, ktorej prierez sa rozširuje smerom nahor (obr. 48). Ak prietokomerom nepreteká tekutina, plavák zostáva v pokoji v najnižšej možnej polohe. Prúdiaca 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).

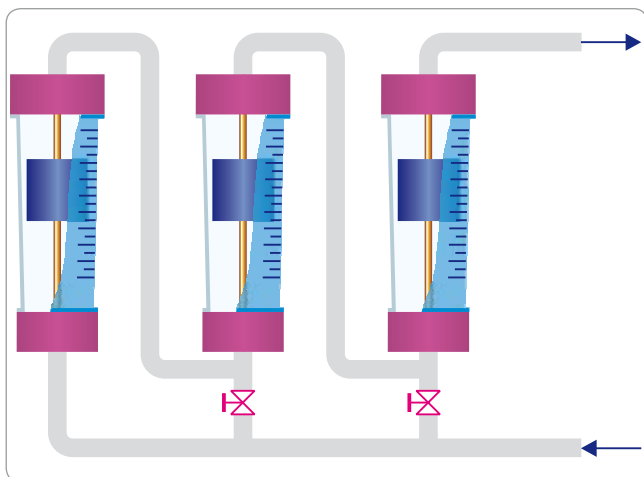


Obr. 48 Plavákový prietokomer. a) so stabilným plavákom, b) s nestabilným plavákom

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