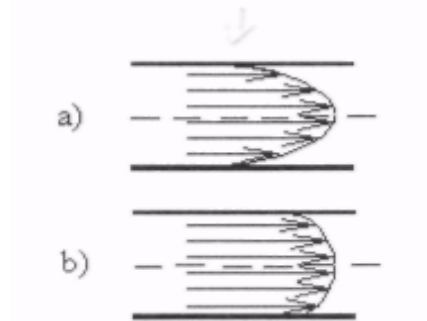


Rychlostní a objemové snímače průtoku tekutin

Rychlostní snímače průtoku

Rychlostní snímače průtoku vyhodnocují průtok nepřímo měřením střední rychlosti proudu tekutiny $v_{STŘ}$. Ta závisí vzhledem k rychlostnímu profilu na typu proudění charakterizovaném tzv. Reynoldsovým číslem Re . Tento bezrozměrný parametr vyjadřuje poměr mezi setrvačnými a třecími silami v proudící tekutině a tím druh proudění s odpovídajícím rychlostním profilem. Laminární proudění představované pohybem rovnoběžných proudových vláken nastává v kruhovém potrubí při $Re < 2320$ a je charakteristické parabolickým rychlostním profilem. Naopak turbulentní proudění nastává při $Re > 2320$ a vlivem směšovacích příčných pohybů kapaliny dochází k výměně hybností jejích částic, takže rychlostní profil je plnější než u laminárního, tj. blíží se obdélníkovému. Zřetelný rozdíl rychlostního profilu obou typů proudění znázorněný na *obr. 1*.



Obr. 1 Rychlostní profily: a) laminární proudění; b) turbulentní proudění

Průřezové snímače průtoku (měření průtoku škrticími orgány)

Základním principem měření průtoku průřezovými snímači je využití poklesu tlaku vzniklého zvýšením rychlosti proudění ve zúženém místě z průřezu potrubí $s = \pi \cdot D^2/4$ na průřez tzv. škrticího orgánu $S_o = \pi \cdot d^2/4$. Podle Bernoulliovy rovnice lze ze vzájemné souvislosti energetických změn odvodit vztahy pro objemový průtok Q_v , nebo hmotnostní průtok Q_M , ve tvarech:

$$Q_v = \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho}}$$
$$Q_M = \alpha \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot m \cdot \sqrt{2 \cdot (p_1 - p_2) \cdot \rho} = Q_v \cdot \rho$$

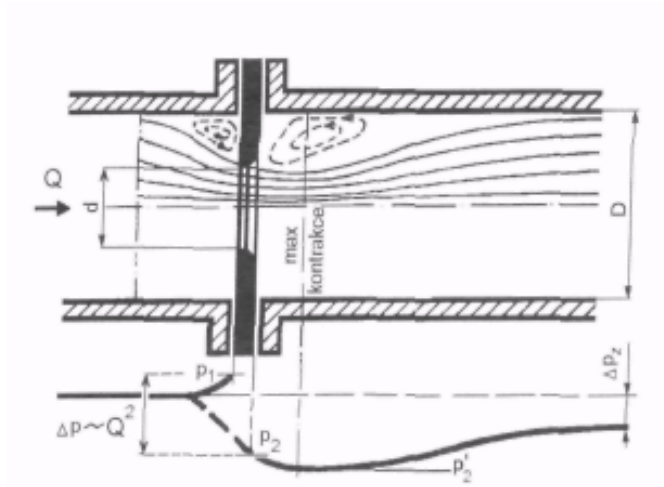
α - průtokový součinitel,

$m = S_o/S = d^2/D^2$ - je poměrný průtočný průřez,

e - je součinitel expanze, pro kapaliny $e = 1$, pro plyny $e < 1$ se určuje z tabulek na základě tlakových poměrů

$p_1 - p_2 = \Delta p$ - je rozdíl tlaků před a za clonou v místech definovaných normou, tlak před clonou se totiž postupně zvyšuje (viz *obr 2*), za clonou nárůstem rychlosti poklesne a po

vyrovnání rychlosti opět stoupne, vlivem ztrát, ale nakonec zůstane o určitou hodnotu trvalé tlakové ztráty Δp , nižší, než byl před škrticím orgánem. Pro clonu platí přibližně Bordův vztah: $\Delta p_z = (1-m) \cdot (p_1 - p_2)$

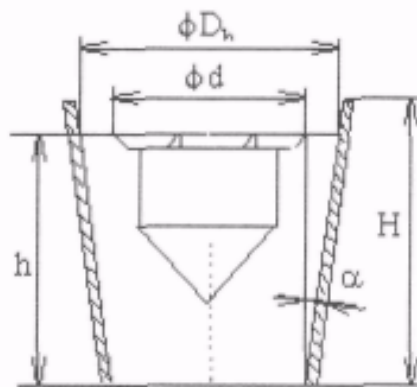


Obr. 2 průběh proudnic a tlaku ve cloně

Plovákový průtokoměr

Plovákový průtokoměr, označovaný často termínem rotametr, pracuje na principu udržování konstantního tlakového rozdílu při proměnlivém skrčení průtočného průřezu, tj. ve srovnání s principem použitým u průřezových snímačů se škrticími orgány *inverzně*. Konstrukčně lze tuto myšlenku realizovat svislou kuželovou trubkou (skleněnou pro optické sledování, jinak kovovou se snímačem polohy plováku), kterou tekutina protéká zdola nahoru a unáší šikmo rýhovaný plovák (*obr 3*). Ten je proudící tekutinou uveden do stabilizujícího rotačního pohybu a unášen do polohy, v níž je silový účinek F proudícího měřeného média v rovnováze s jeho tíhou zmenšenou o vztlak (F_{VZT}). Pohyb plováku způsobuje rozdíl tlaků pod a nad plovákem Δp (podobně jako u clony je úměrný čtverci rychlosti v^2 proudu tekutiny při obtékání plováku v trubici) na plochu plováku S_0 . Plovák se pohybuje tak dlouho, dokud změnou průtočného průřezu nedojde opět k rovnováze mezi silovým účinkem proudícího média a tíhou plováku G zmenšenou o vztlak F_{VZT} . Při hustotě materiálu plováku ρ_p a hustotě měřené látky ρ , lze napsat podmínku rovnováhy sil působících na plovák e svislém směru ve tvaru:

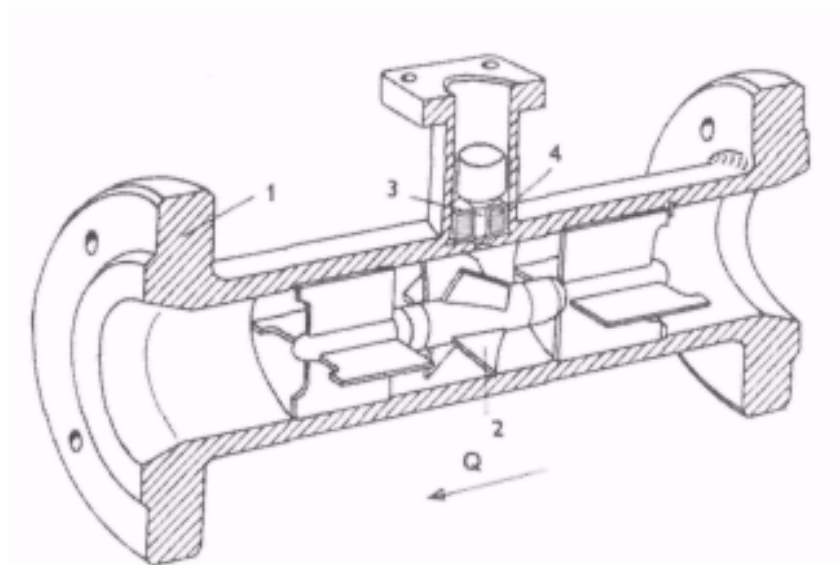
$$F = G - F_{VZT} = v (\gamma_p - \gamma_M) g$$



Obr. 3 Řez plovákového průtokoměru

Turbínkový průtokoměr

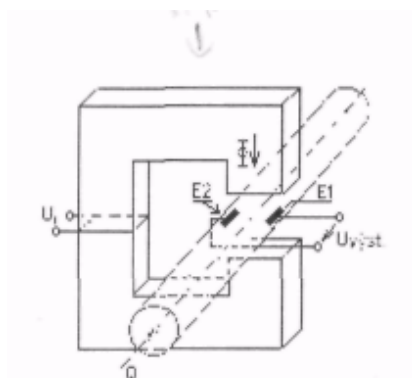
Turbínkový průtokoměr (*obr. 4*) využívá kinetickou energii kapaliny k uvedení rotoru do otáčivého pohybu rychlostí úměrnou střední rychlosti v_{STR} kapaliny protékající pňným průřezem snímače. Otáčky rotoru jsou převáděny mechanicky převodovým ústrojím na integrační počítadlo nebo snímány elektronicky indukčním snímačem. Lopatky (2) z feromagnetika uvnitř nemagnetické trubky (1) způsobí rotací změnu odporu R_M magnetického obvodu permanentního magnetu (3), tím podle Hopkinsonova zákona změnu indukčního toku Φ , takže v cívce (4), kterou magnetický tok prochází, se indukují napěťové pulzy. Po jejich zesílení a tvarování se užitím frekvenčně-analogového převodníku vyhodnocuje jejich frekvence které je okamžitý průtok úměrný. Pro stanovení celkového průtočného objemu se impulzy čítají. Turbínkové průtokoměry je nevhodné používat v obvodech s častým přerušováním průtoku (např. u dvoupolohové regulace), neboť mechanický moment setrvačnosti a malé mechanické tlumení vedou ke zvýšené nepřesnosti měření!



Obr. 4 Turbínkový průtokoměr

Indukční průtokoměr

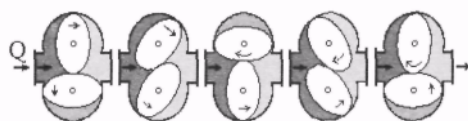
Indukční průtokoměr principiálně znázorněný na obr 5 využívá Faradayův zákon o indukcii napětí ve vodiči při jeho pohybu v magnetickém poli. Proudící kapalinu s minimální vodivostí s řádově jednotky μScm^{-1} si lze představit jako paralelně řazená proudová vlákna (s délkou L rovnou šířce polových nástavců) pohybující se kolmo k vektoru magnetické indukce B rychlostí v . Průtokem kapaliny se indukuje na dvojici elektrod $E1$, $E2$ jejichž spojnice je kolmá k vektorům indukce B a rychlosti v napětí $U_{Vyst} = B \cdot L \cdot v$. Při konstantních hodnotách B , L je proto U_{Vyst} úměrné rychlosti proudění v a tím i objemovému průtoku Q .



Obr. 5 Princip indukčního průtokoměru

Objemové snímače průtoku

Komplikace při použití nepřímého způsobu měření průtoku rychlostními průtokoměry lze v některých případech eliminovat užitím dávkovačích systémů transportujících ve směru proudění přesně definovaná množství tekutiny, čímž je průtok určen přímo. Existuje široká škála konstrukčních provedení různých výrobců, jedno z řešení je znázorněno na obr 6. U plynů se používají systémy s cyklickým plněním a vyprazdňováním několika odměrných komor - tzv. plynoměry.



Obr. 6 Dávkovací průtokoměr

Dávkovači průtokoměr

Dávkovači průtokoměr pracuje na principu plnění a vyprazdňování komor definovaného objemu tak aby průtok tekutiny snímačem byl plynulý a měření spojitě. Funkce snímače tohoto typu s po sobě se odvalujícími oválnými písty je znázorněna na obr 6 (různí výrobci užívají různé tvary pístů). Výstupem průtokoměru jsou impulzy indukčního snímače otáček rotujících pístů, z nichž lze převodníkem frekvence - napětí odvodit okamžitý objemový průtok Q_v a integrací otáček celkově proteklé množství tekutiny.

Plynoměry

Zvonový plynoměr je tvořen nádrží s kapalinou (voda, olej), do které je ponořen zvon vyvažovaný protizávažím. Do kapalinou uzavřeného prostoru pod zvonek se přivádí plyn zvedající zvon. Změna výšky zvonu za časovou jednotku proto udává objemový průtok přitékajícího plynu.

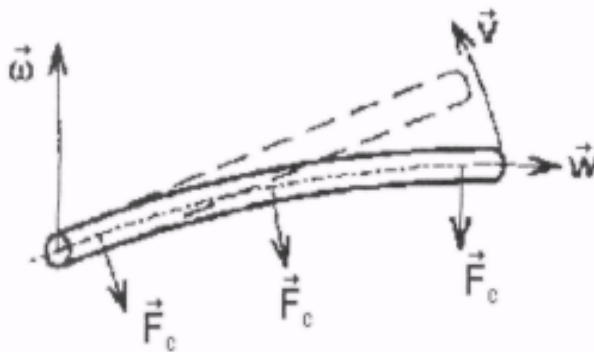
Bubnový plynoměr je mnohokomorové měřidlo s odměrnými prostory různých konstrukcí tvořícími bubny otáčivě uložený v tělese, které je do definované výšky zaplněno vodou. Plyn vstupuje do bubnu, plní odměrnou komoru a zároveň bubnem otáčí tak, aby se po jejím naplnění otevřel výstupní otvor a plyn pokračoval v průtoku. Samozřejmě v okamžiku otevření výstupu musí být již vstup uzavřen, aby plyn neprocházel volně. Průtok je dán počtem otáček za časovou jednotku.

Měchový plynoměr má měrný prostor rozdělen měchem (membránou) na dvě komory, jejichž plnění a vyprazdňování přepíná šoupátkový rozvod. Hnací síla je odvozena od tlakového rozdílu na měchu. Systém je vybaven blokadí zpětného chodu.

Hmotnostní snímače průtoku

Coriolisův průtokoměr

Průtokoměr aplikující Coriolisovu sílu využívá ke své činnosti silový účinek tekutiny proudící potrubím, které samo vykonává rotační, resp. vibrační pohyb. Pohyb tekutiny se tak skládá ze dvou pohybů - jednak společného pohybu s potrubím a dále relativního pohybu vzhledem k potrubí.



Obr. 7 princip vzniku Coriolisovy síly

Na tekutinu pohybující se v soustavě (její úhlovou rychlost obvykle značíme ω) relativní rychlostí v jiného směru, než je směr osy rotace soustavy potom působí tzv. Coriolisovo zrychlení, jehož vektor je v pohyblivém, tj. rotujícím vztažném systému dán vztahem $a_c = 2(v \times \omega)$. Směr tohoto vektoru je dán pravidlem platným pro vektorový součin. Princip vzniku Coriolisovy síly F_c příslušné tomuto zrychlení je znázorněn na obr. 7. Jestliže trubka rotuje úhlovou rychlostí ω (na obr. 7 proti směru pohybu hodinových ručiček) a tekutina hmotnosti m jí protéká relativní rychlostí v , jejíž směr nesouhlasí se směrem osy rotace trubky, potom účinkem Coriolisovy síly:

$$F_c = m \cdot a_c = m \cdot 2 (v \times \omega)$$

se bude trubka deformovat vyznačeným směrem.

Při praktickém využití pro konstrukci průtokoměru se otáčivý pohyb nahradí elektromagneticky generovaným kmitáním *přímé trubky* nebo *trubice ve tvaru U*, které jsou na obou koncích v bodech P vetknuté.