

Snímače objemového toku

Učební text VOŠ a SPŠ Kutná Hora

Základní pojmy

I Definice

objemové Q_v nebo hmotnostní Q_m množství kapaliny nebo plynu proteklé daným průřezem za jednotku času

Objemový průtok:

$$Q_v = \frac{V}{t} \quad [\text{m}^3\text{s}^{-1}]$$

$$Q_v = v \cdot S \quad [\text{m}^3\text{s}^{-1}; \text{ms}^{-1}, \text{m}^2]$$

Hmotnostní průtok:

$$Q_m = \rho \cdot Q_v \quad [\text{kgs}^{-1}; \text{m}^3\text{s}^{-1}, \text{kgm}^{-3}]$$

Metody měření průtoku

I **Nepřímé měření**

průtok se vypočítá většinou z rychlosti a typu proudění, průřezu potrubí, viskozity atd.

I **Přímé měření**

dávkovací senzory počítající kvanta protékající látky

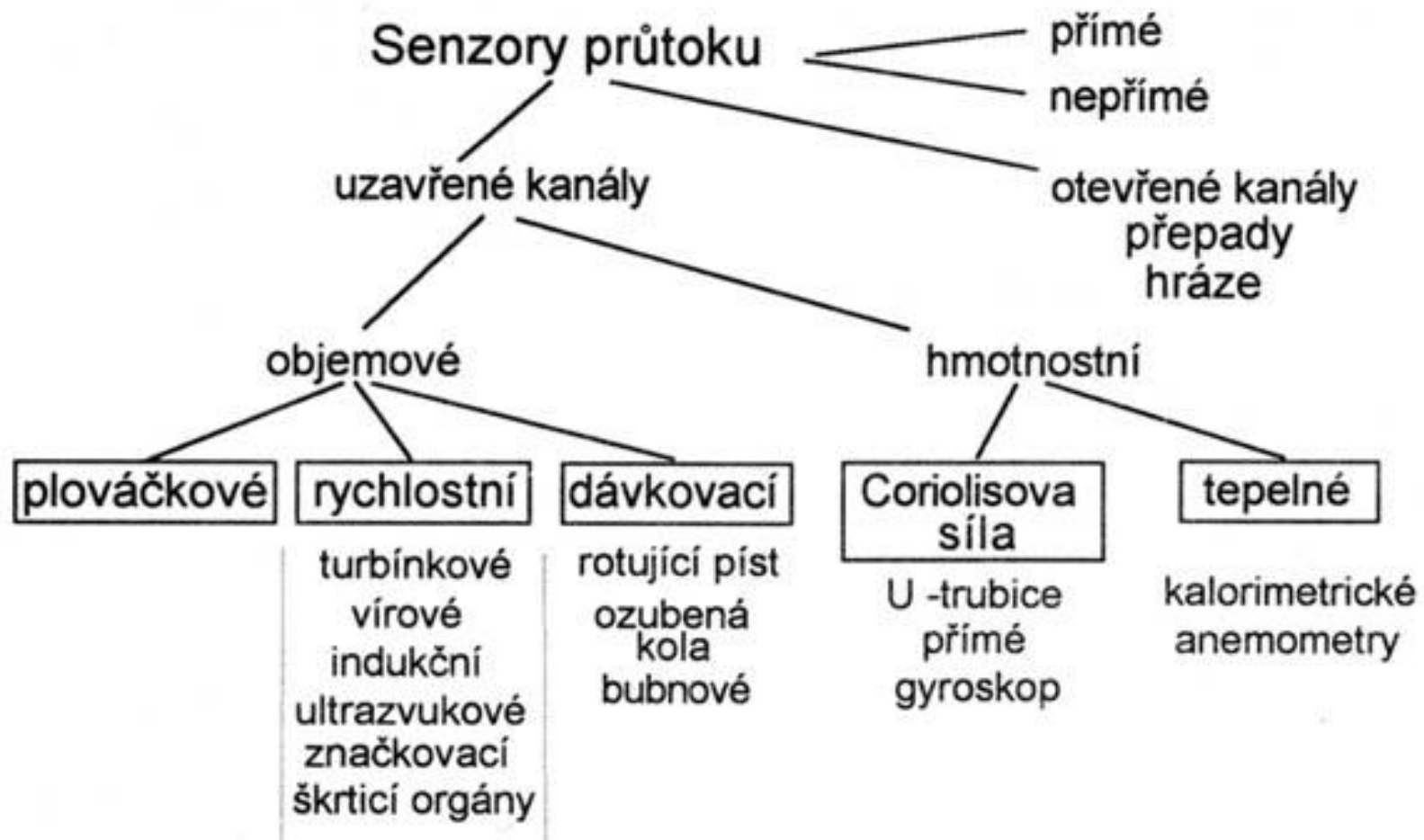
I **Základní metody:**

a) Objemové - vycházejí ze vztahů: $Q_v = \frac{V}{t}$ $Q_m = \rho \cdot Q_v$

b) hmotnostní - vycházejí ze vztahů: $Q_m = \frac{m}{t}$

c) rychlostní - vycházejí ze vztahů: $Q_v = v \cdot S$ $Q_m = \rho \cdot Q_v$

Přehled snímačů průtoku



Přehled senzorů průtoku

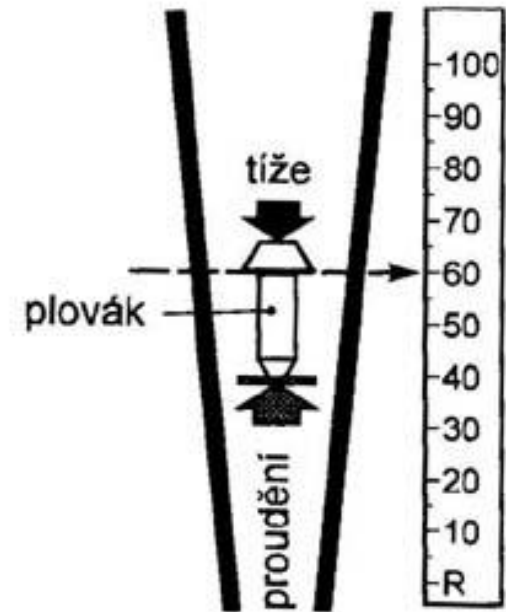
Plováčkové snímače průtoku

Rotametr

- ▮ plovák se pohybuje v nádobě kuželového tvaru
- ▮ tekutina plovák nadnáší (rotace – stabilizace)
- ▮ s polohou plováku se mění štěrbina mezi nádobkou
- ▮ při rovnováze sil dojde k ustálení polohy
$$F_{\text{gravitační}} = F_{\text{vztlaková}}$$
- ▮ poloha plováku je snímána na stupnici nebo bezdotykovým snímačem polohy

Vlastnosti

- ▮ opakovatelná přesnost až 0,25%
- ▮ malá tlaková ztráta
- ▮ citlivost na vizkozitu a vychýlení z vodorovné polohy



Rotametr

Rychlostní snímače průtoku

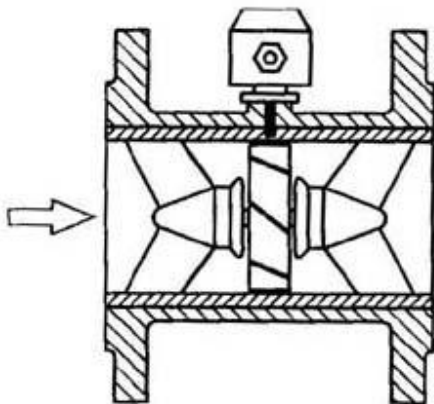
Rozdělení

- | turbínkové
- | vírové
- | indukční
- | ultrazvukové
- | značkovací
- | se škrticími členy

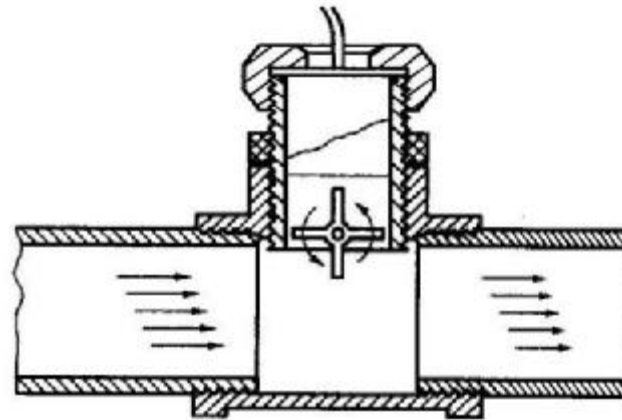
Turbínkové a lopatkové snímače

Princip:

- tekutina roztáčí soustavu vhodně uspořádaných ploch:
 - šroubovicové lopatky turbíny
 - ploché lopatky vodního kola



Turbínkový průtokoměr



Lopatkový senzor průtoku

Turbínkové průtokoměry

- | snímání otáček:
 - | bezdotykovým indukčním senzorem
 - | Hallovou sondou a miniaturními magnety na lopatkách turbíny
- | impulsy se tvarují a čítačem se měří jejich frekvence platí:
 $f = K Q_v$
 - kde K je konstanta turbínkového průtokoměru
- | vlastnosti:
 - | dobrá linearita mezi f a Q_v (až 0,1%)
 - | opotřebení ložisek (safírová ložiska)
 - | vývoj směřuje k bezkožiskovým průtokoměrům (rotující kulička s bezdotykovým snímáním)

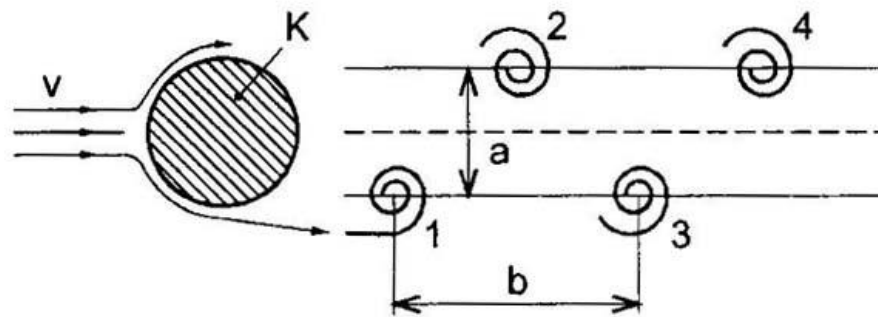
Lopatkové průtokoměry

- | lopatková kola jsou orientována kolmo na směr proudění
- | ekonomická varianta turbínkových snímačů
- | snímání otáček:
 - | Hallovou sondou
 - | optickými metodami (využití vláknových světlovodů)
- | vlastnosti:
 - | linearita a přesnost cca 2%
 - | vhodné i pro tekutiny s větší viskozitou

Vírové snímače průtoku

Princip

- vhodný objekt v cestě proudící tekutiny vyvolá její oscilační pohyb, jehož parametry jsou úměrné objemovému průtoku
- vytvoření přirozených oscilací (Karmánovy vírové stezky)
- víry vznikají za překážkou střídavě na horní a dolní straně
- kruhové, trojúhelníkové a lichoběžníkové průřezy překážek



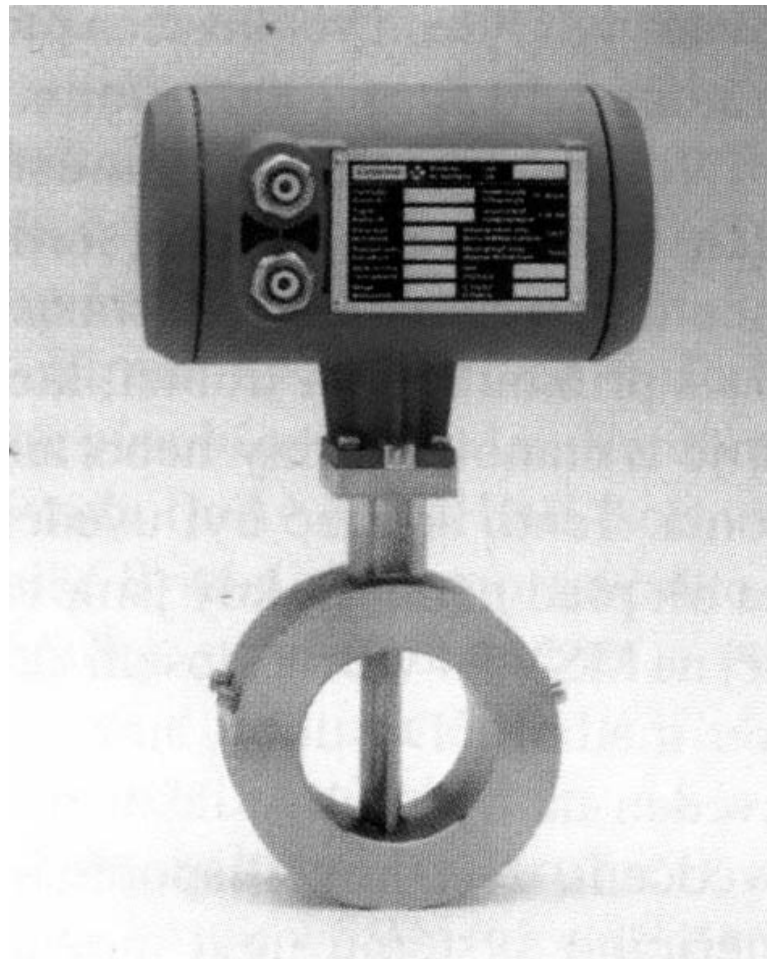
Princip vírových senzorů

frekvence vírů je úměrná rychlosti proudění tekutiny

$$f = S_r/a \cdot v$$

- a – charakteristický rozměr překážky
- S_r – Strouhalovo číslo
- v – rychlost proudění

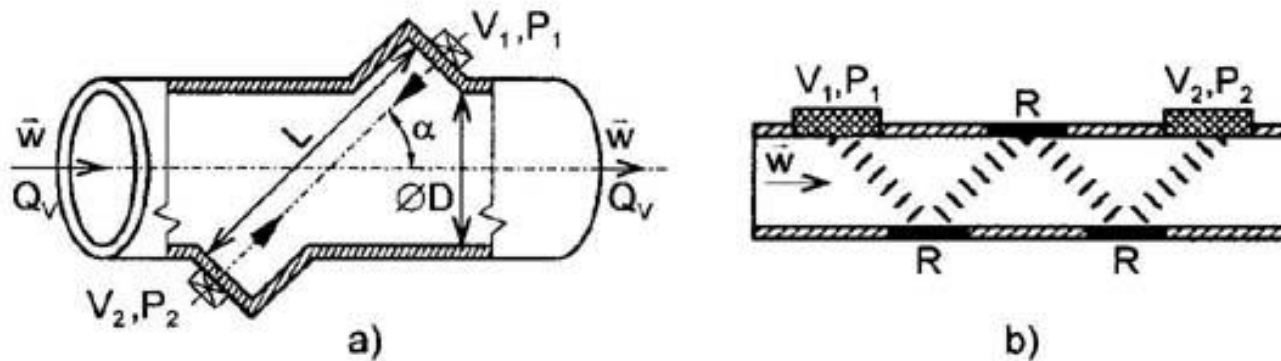
Provedení vírových průtokoměrů



Ultrazvukové průtokoměry

Princip:

- skládání vektorů rychlosti proudění kapaliny v a ultrazvukové vlny c_0



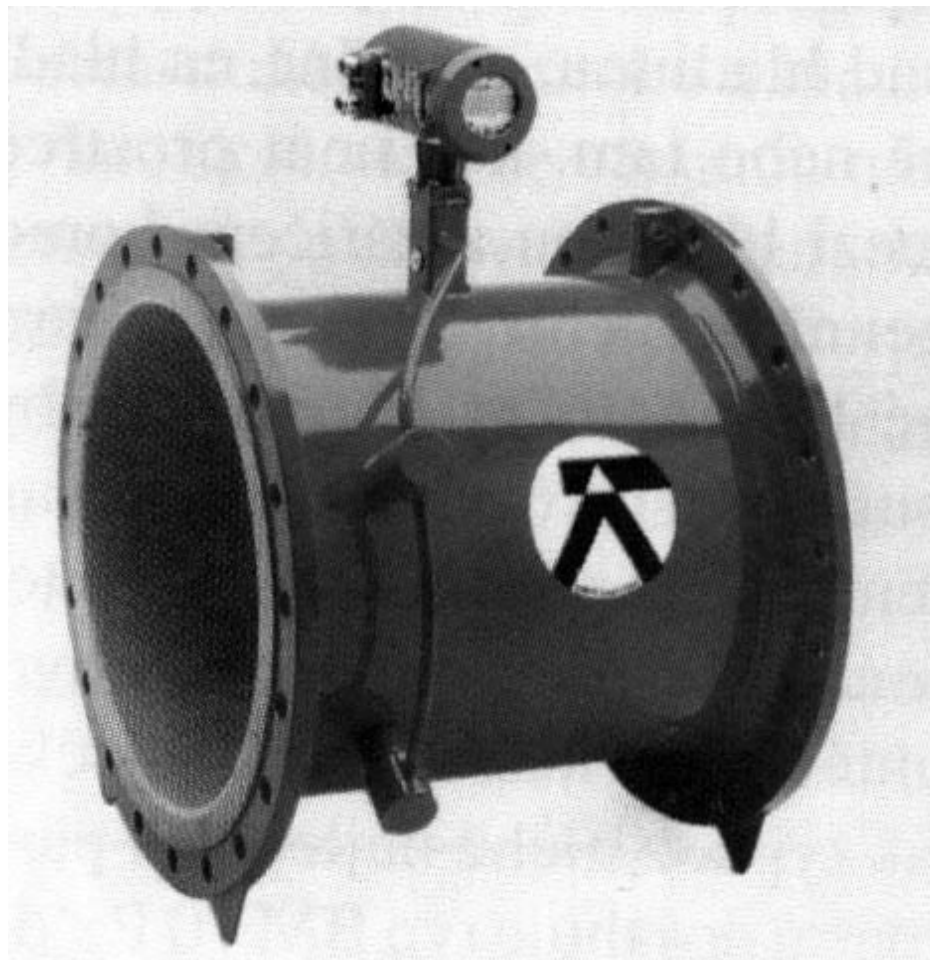
Ultrazvukové senzory průtoku: a) princip, b) prodloužení dráhy reflektory

- přibližně platí:

$$v \cong \frac{c_0^2}{2L \cos \alpha} (\Delta t_2 - \Delta t_1)$$

- Δt_2 – doba šíření od měniče M2 k M1
- Δt_1 – doba šíření od měniče M1 k M2
- c_0 – rychlost šíření ultrazvukové vlny

Provedení ultrazvukových průtokoměrů

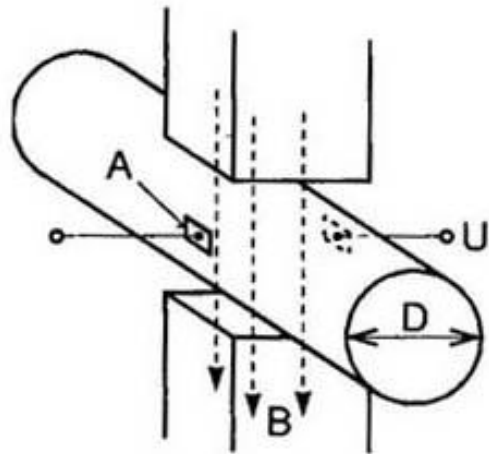


Značkovací průtokoměry

- | Princip:
 - | využívají značení tekutiny značkami
 - | vodivostními – vstřík elektrolytu do tekutiny
 - | optickými – vstřík barviva
 - | tepelnými a ionizačními – vstřík radioizotopu
 - | měření intervalu mezi průchodem značky dvěma body ve směru proudící látky

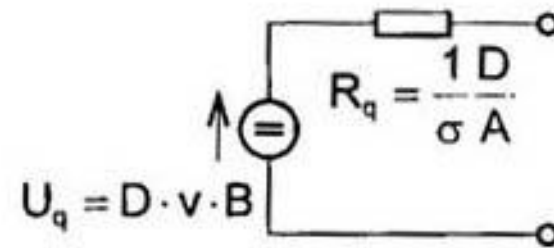
Indukční průtokoměry

- | Princip:
 - | ve vodivé kapalině se indukuje na vnitřních elektrodách napětí úměrné rychlosti proudění
 - | platí vztah: $U = D \cdot B \cdot v$
 - | U – indukované napětí naprázdno
 - | B – magnetická indukce
 - | v – rychlost proudění

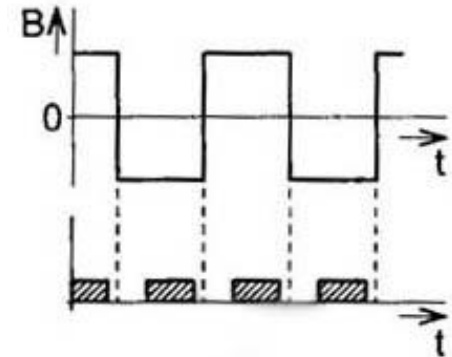


Indukční snímače

- výstupní napětí snímače
 - určí se z náhradního obvodu
 - vnitřní odpor je úměrný
 - měrné vodivosti kapaliny σ
 - ploše elektrod
 - průměru potrubí D



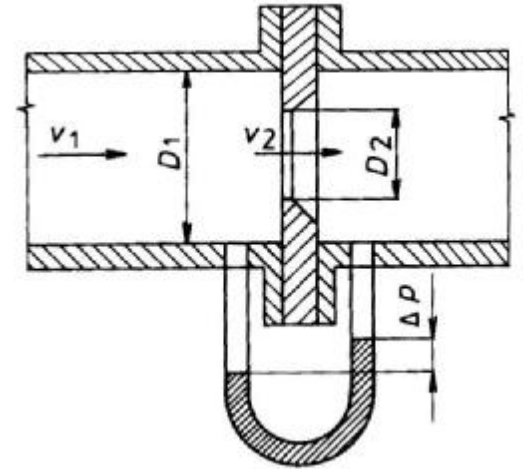
- magnetické pole senzorů
 - stejnoseměrné pole
 - je nevhodné (elektrochemické napětí)
 - střídavé harmonické pole $B = B_m \sin \omega t$
 - používá se často
 - nevýhoda – rozptylové pole cívek
 - impulsní magnetické pole
 - zpožděné vzorkování pro potlačení zákrmitů na hraně impulsu



Průtokoměry se škrticími členy

I Princip

- I měření tlaku v místech potrubí s různým průřezem
- I do potrubí se vkládají škrticí členy
 - I venturiho trubice
 - I clona
 - I dýza



I odvození závislosti Q_v a tlakového rozdílu

- I rovnice kontinuity: $Q_v = v_1 S_1 = v_2 S_2$

- I pro jednotlivé rychlosti platí: $v_1 = \frac{Q_v}{S_1}, v_2 = \frac{Q_v}{S_2}$

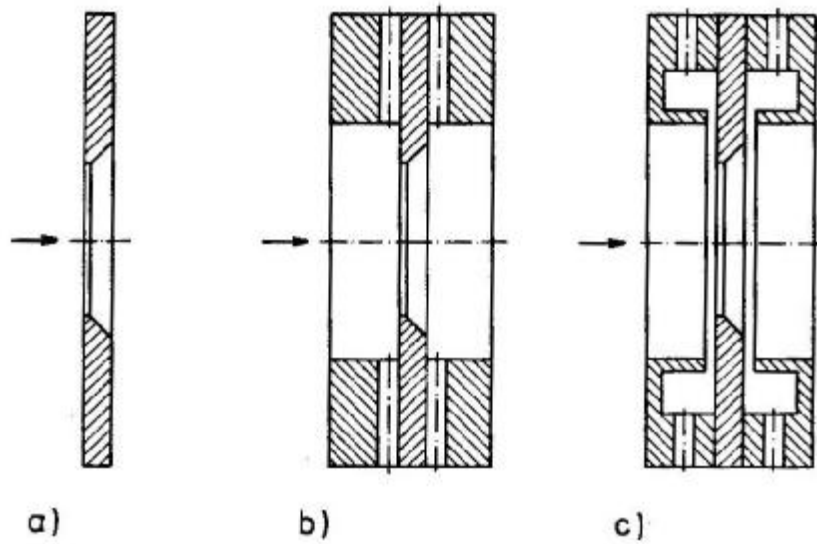
$$\Delta v = v_2 - v_1 = \frac{Q_v}{S_2} - \frac{Q_v}{S_1} = \frac{Q_v}{S_2} (1 - n)$$

$$\text{kde } n = \frac{S_2}{S_1}$$

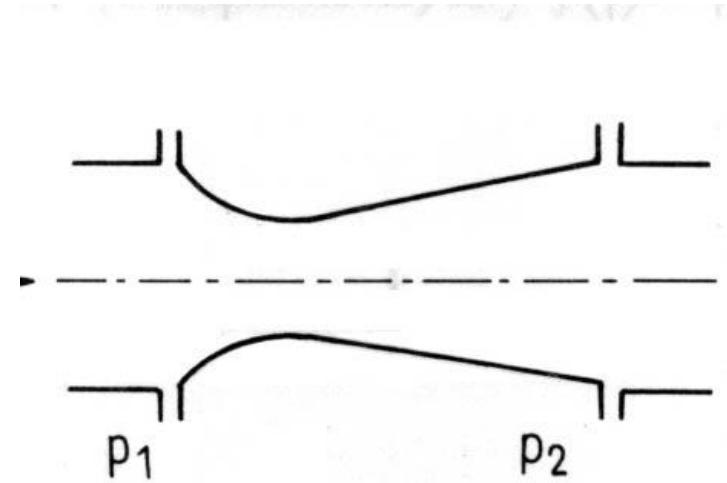
Průtokoměry se škrticími členy

- pro velikost průtoku platí: $Q_v = \frac{S_2}{1-n} \Delta v$
- rychlost proudění v_1 a v_2 určují dynamické tlaky p_{d1} a p_{d2}
 Δv vypočteme pomocí Bernoulliho rovnice: $p_d = \frac{1}{2} \rho v^2$
- pro Δv platí: $\Delta v = \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$
- Δp můžeme zjistit měřením statických tlaků
důvod - absolutní hodnota statického tlaku je mnohem vyšší než tlaku dynamického
platí, že celkový tlak v potrubí je konstantní: $p_c = p_s + p_d = \text{konst}$
 $p_d = p_c - p_s$
- pro Δp platí: $\Delta p = p_{d2} - p_{d1} = p_c - p_{s2} - p_c + p_{s1} = \mathbf{p_{s1} - p_{s2}}$

Provedení škrticích členů



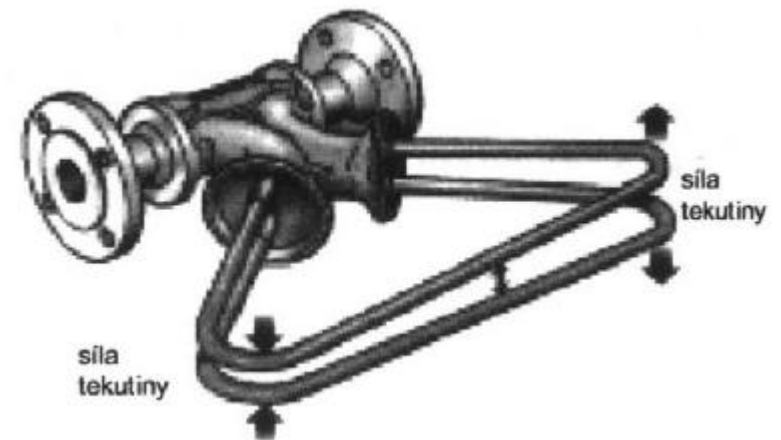
- | centrická clona
- | clona s bodovým odběrem
- | clona s komorovým odběrem



- | Venturiho trubice

Snímače Q_m s Coriolisovou silou

- | princip
 - | na těleso pohybující se přímočaře v otáčející se soustavě působí Coriolisova síla
 - | proudí-li kapalina rotujícím potrubím působí na každý její element síla úměrná hmotnostnímu průtoku
 - | při praktickém snímání Coriolisovy síly se nahradí oračivý pohyb kmitáním kolem osy
 - | kapalina protéká zúženou zakřivenou trubicí ve tvaru U
 - | trubice je elektromagneticky rozkmitávána
 - | indukčním snímačem se zjišťuje časový posun vzniklých kmitů, který je úměrný Q_m



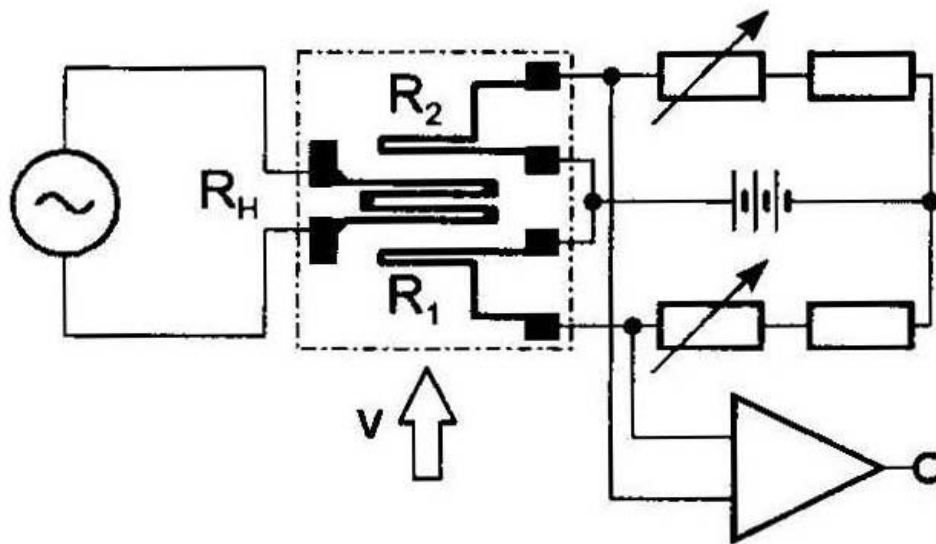
Tepelné snímače Q_m

- | princip:
 - | závislost výměny tepla mezi zdrojem (topný odpor) a okolím (proudící látka) na hmotnostním průtoku
- | způsoby měření:
 - | měření ochlazení topného odporu (termoanometry)
 - | měření oteplení kapaliny (kalorimetrické anemometry)
- | Termoanemometry
 - Můstek s jedním senzorem**
 - | hmotnostní průtok je úměrný teplotě žhaveného drátku
 - | můstkové zapojení – při nulovém průtoku je můstek vyvážen
změna průtoku způsobí rozvážení můstku

Termoanemometry

I Kalorimetrické snímače

- I v potrubí je topné těleso a dva snímací Pt odpory (před a za)
- I odpory jsou zapojeny do můstku, který vyhodnocuje teplotní spád



- I Obě skupiny snímačů jsou vhodné především pro měření průtoku plynů