

# **Snímače průtoku kapalin a plynů**

# 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

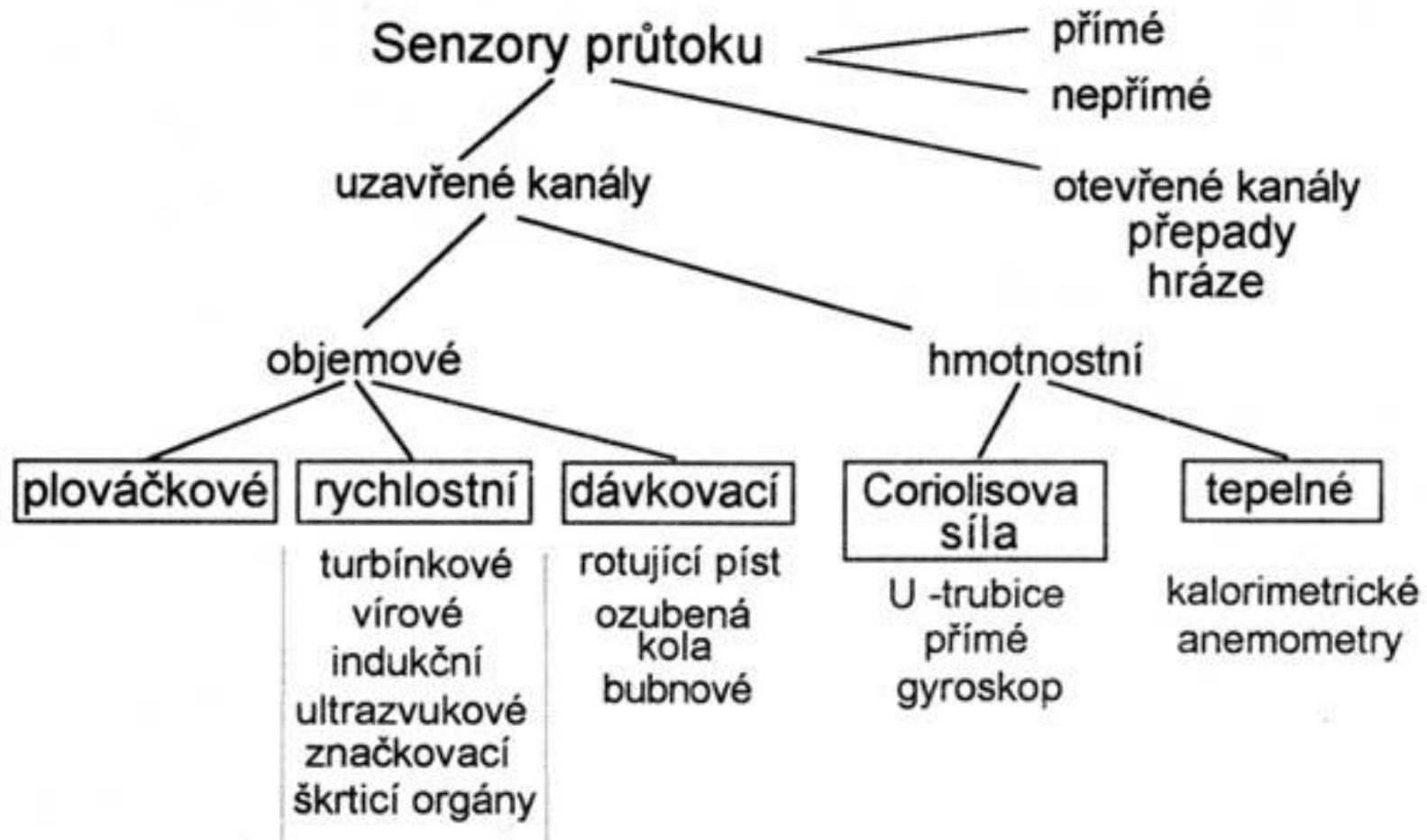
## I **Základní metody:**

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

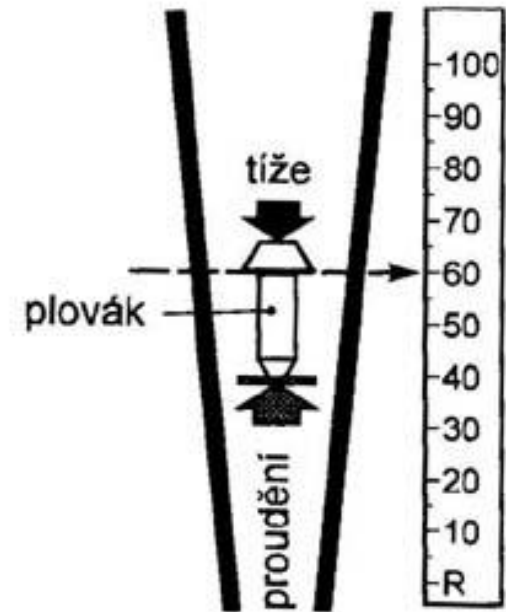
# Plováčkové snímače průtoku

## 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

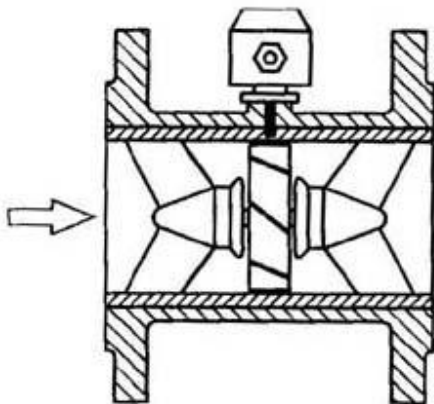
## **Rozdělení**

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

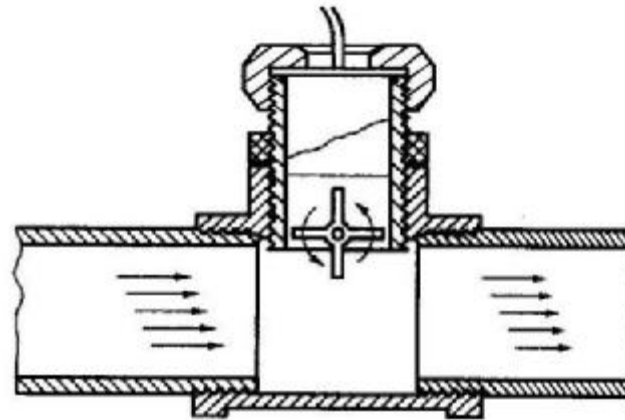
# Turbínkové a lopatkové snímače

## 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)



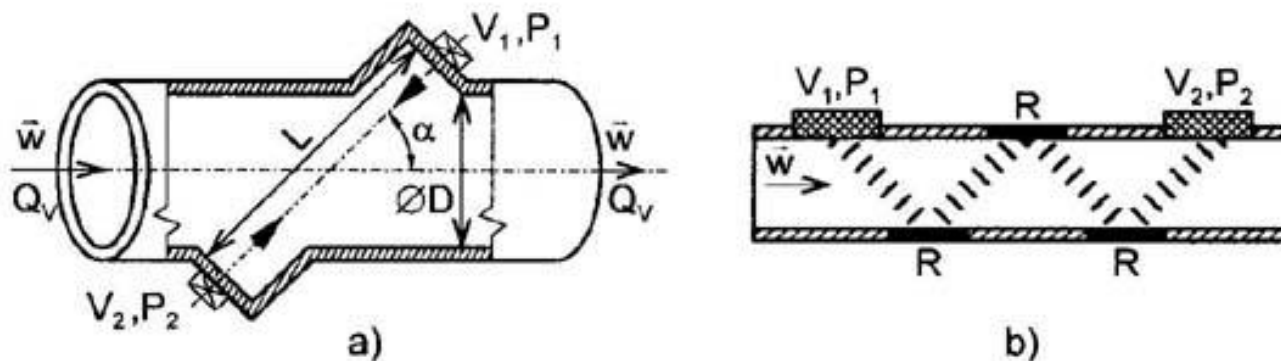
# Lopátkové průtokoměry

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

# Ultrazvukové průtokoměry

## Princip:

- skládání vektorů rychlosti proudění kapaliny  $\mathbf{v}$  a ultrazvukové vlny  $\mathbf{c}_0$



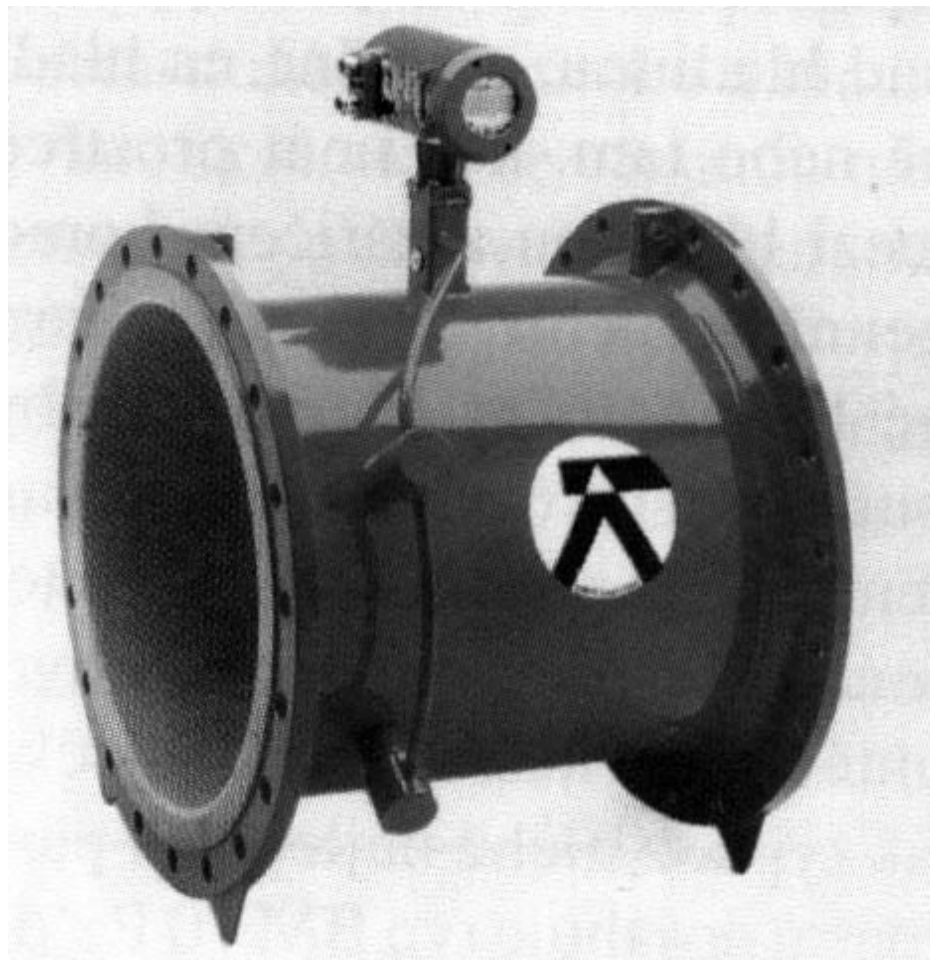
Ultrazvukové senzory průtoků: a) princip, b) prodloužení dráhy reflektory

- přibližně platí:

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

- $\Delta t_2$  – doba šíření od měniče M2 k M1
- $\Delta t_1$  – doba šíření od měniče M1 k M2
- $c_0$  – rychlost šíření ultrazvukové vlny

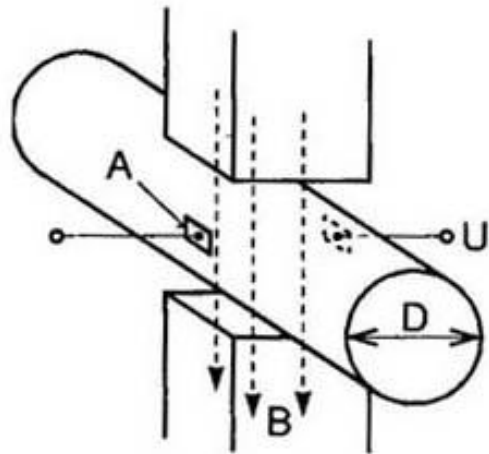
# Provedení ultrazvukových průtokoměrů



# Indukční průtokoměry

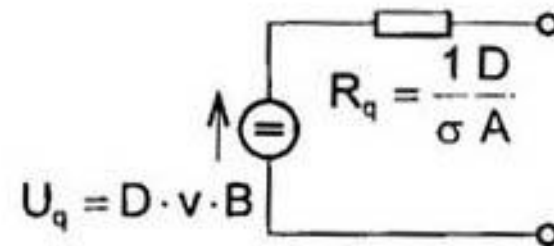
## Princip:

- 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

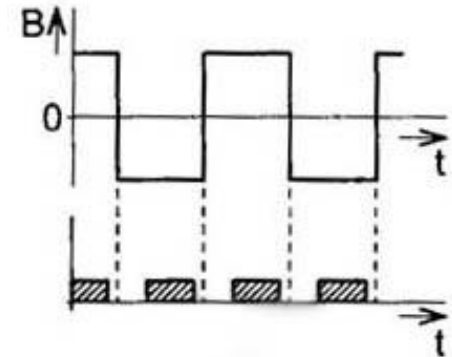


# Indukční snímače

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



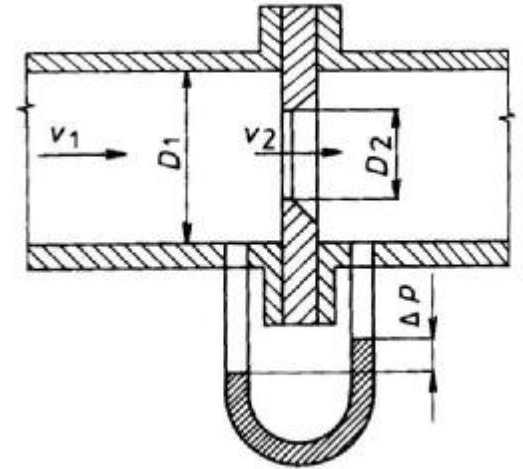
- magnetické pole senzorů
  - stejnoseměrné pole
    - je nevhodné (elektrochemické napětí)
  - střídavé harmonické pole  $B = B_m \sin \omega t$ 
    - používá se často
    - nevýhoda – rozptylové pole cívek
  - impulsní magnetické pole
    - zpožděné vzorkování pro potlačení zákrmitů na hraně impulsu



# 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:  $v_1 = \frac{Q_v}{S_1}, v_2 = \frac{Q_v}{S_2}$

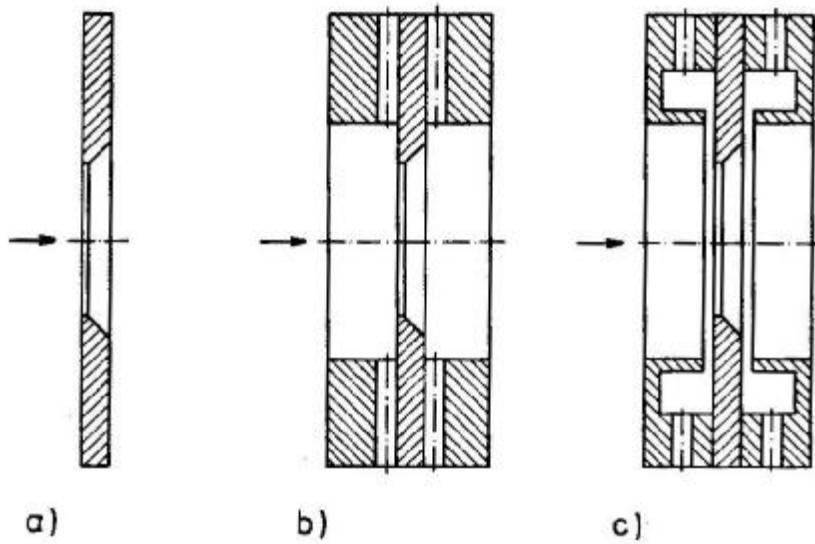
$$\Delta v = v_2 - v_1 = \frac{Q_v}{S_2} - \frac{Q_v}{S_1} = \frac{Q_v}{S_2} (1 - n)$$

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

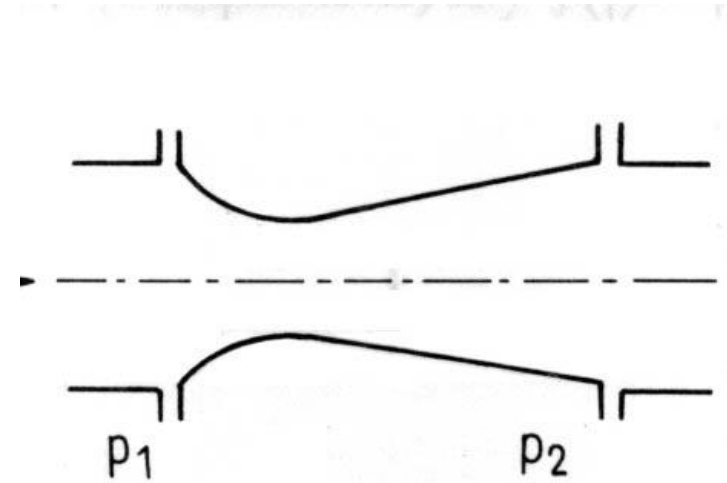
# Průtokoměry se škrticími členy

- 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  $p_{d2}$   
 $\Delta v$  vypočteme pomocí Bernoulliho rovnice:  $p_d = \frac{1}{2} \rho v^2$
- pro  $\Delta v$  platí:  $\Delta v = \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$
- $\Delta p$  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  $\Delta p$  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



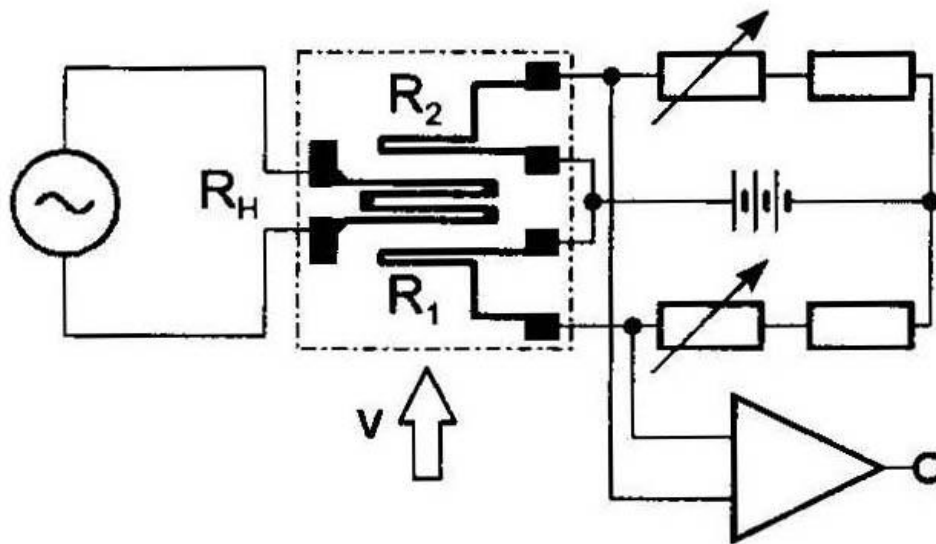
# Tepelné snímače $Q_m$

- | 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