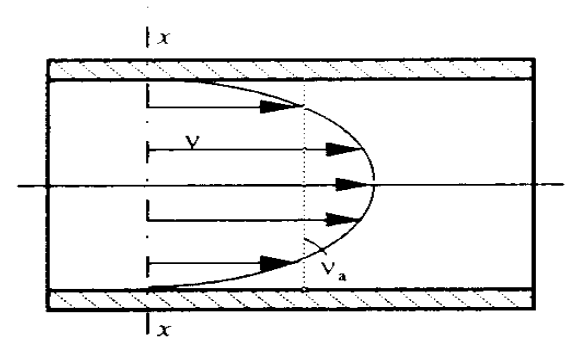


Senzory průtoku tekutin

Průtok

- hmotnostní
- objemový
- rychlostní



Druhy proudění

- laminární ... parabolický rychlostní profil
- turbulentní ... víry

Způsoby měření

- přímé: dávkovací senzory, čerpadla
- nepřímé: měření rychlosti
nebo kinetické energie

Senzory průtoku tekutin

Rozdělení senzorů podle vztahů:

a) objemové $Q_v = \frac{V}{t}, \quad Q_m = \frac{V}{t} \rho$

b) hmotnostní $Q_m = \frac{m}{t}$

c) rychlostní $Q_v = \bar{v}S, \quad Q_m = \bar{v}S\rho$

Senzory průtoku tekutin

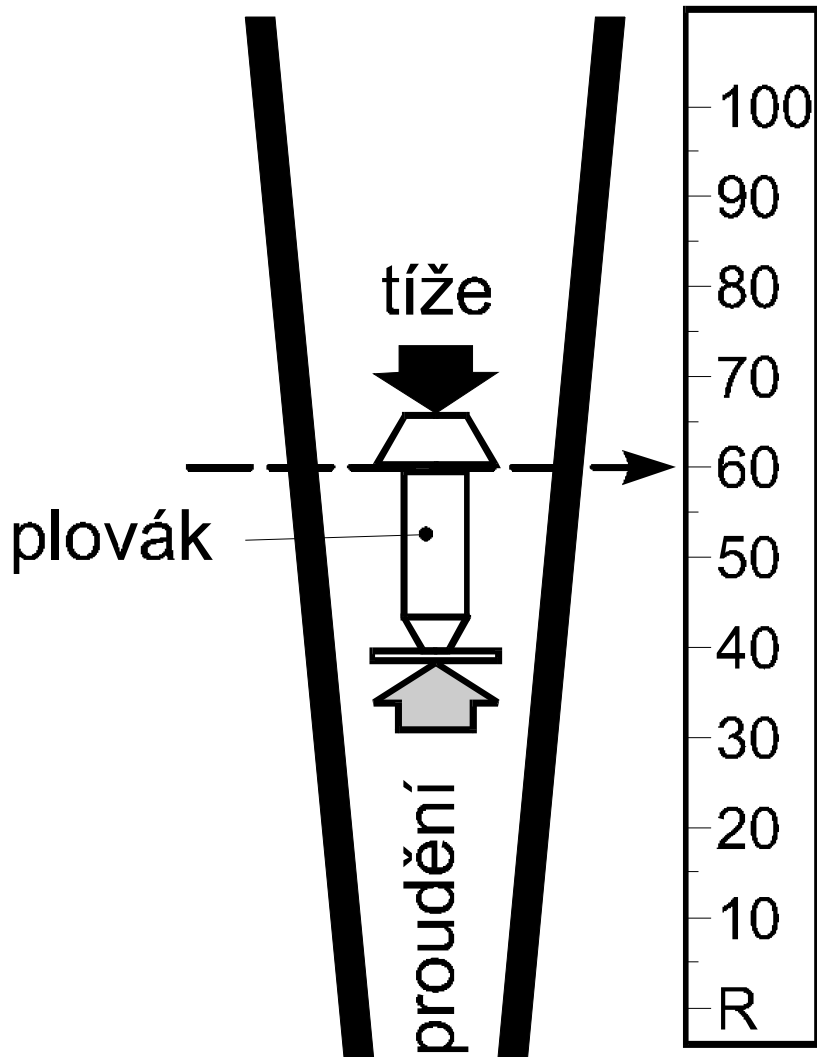
Objemové průtokoměry:

- plováčkové (rotametry)
- dávkovací
- rychlostní:
 - turbínkové, lopátkové
 - vírové
 - indukční
 - ultrazvukové
 - značkovací
 - se škrticími orgány

Hmotnostní průtokoměry:

- tepelné
- Coriolisovy

Plováčkové senzory průtoku



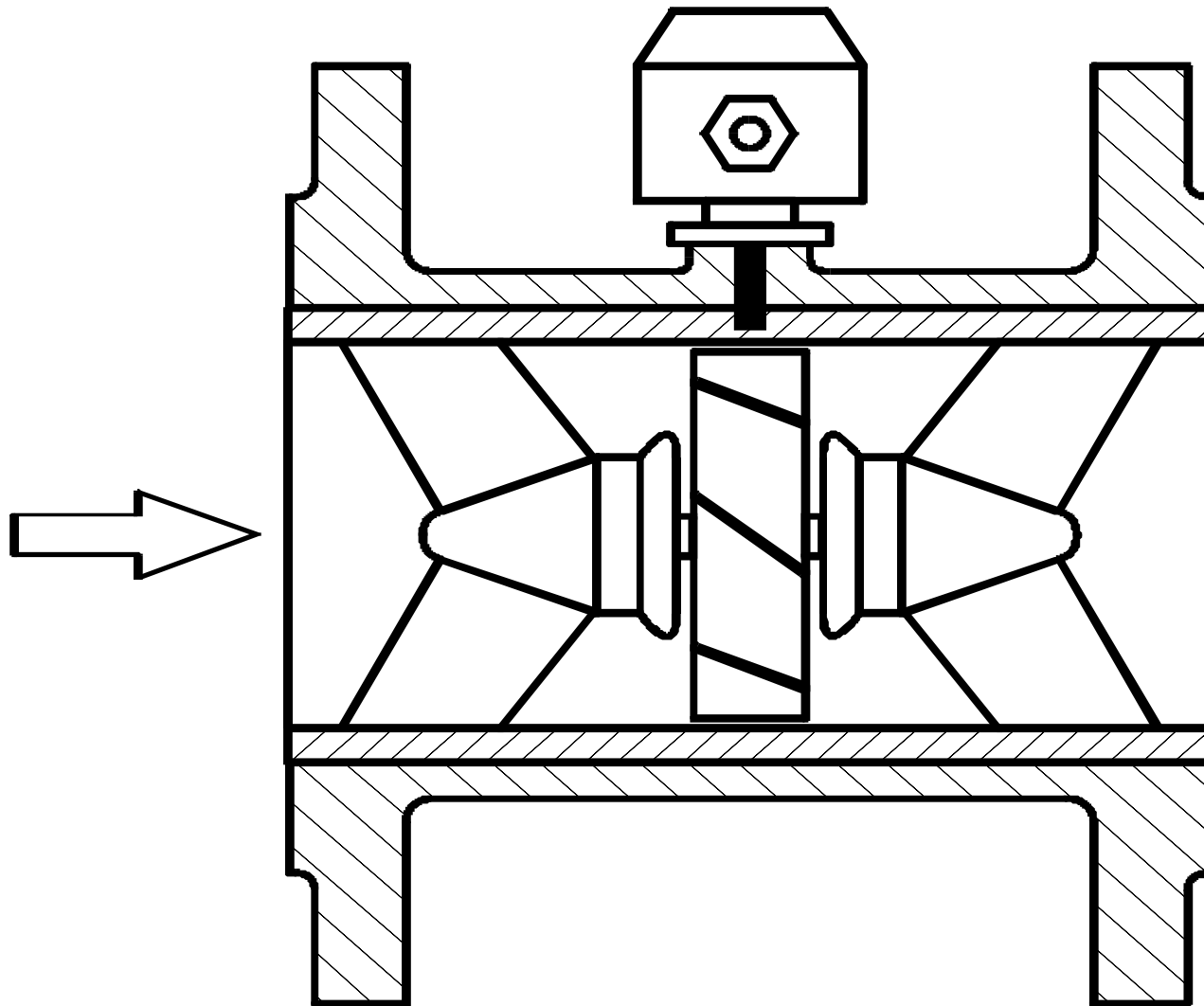
Rotametr
(plováčkový
průtokoměr)

Využití plováku jako
indikátor
rovnováhy sil.

a)

☹ citlivost na viskozitu => tvarem plováčku lze
potlačit až o dva řády

Rychlostní senzory průtoku



Turbínkový
průtokoměr

linearita 0 – 1%
threshold 2 – 3% rozsahu

Rychlostní senzory průtoku

Turbínkové senzory

Měří se frekvence impulsů f : $f = KQv$ K...konstanta senzoru

Spodní mez správnosti: 3 – 5%

linearita: 0,1%

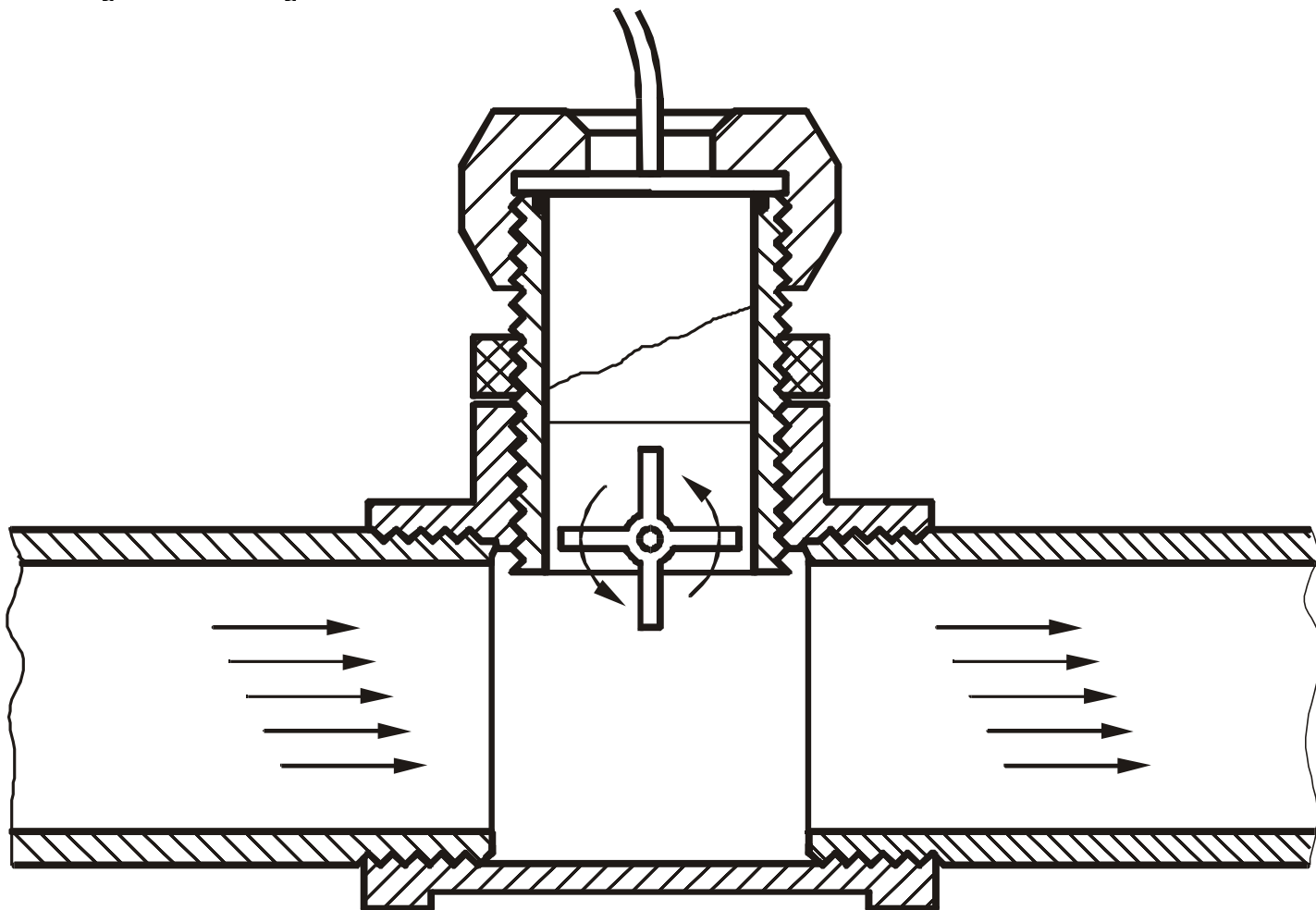
Posouzení
nelinearity: $\frac{Qv}{\omega_r D^3} = f\left(\frac{\omega_r D^2}{\eta}\right)$ D...světlost potrubí turbíny
η ...viskozita tekutiny

☺ lin.závislost úhl. rychlosti rotoru ω_r na rychlosti proudění v

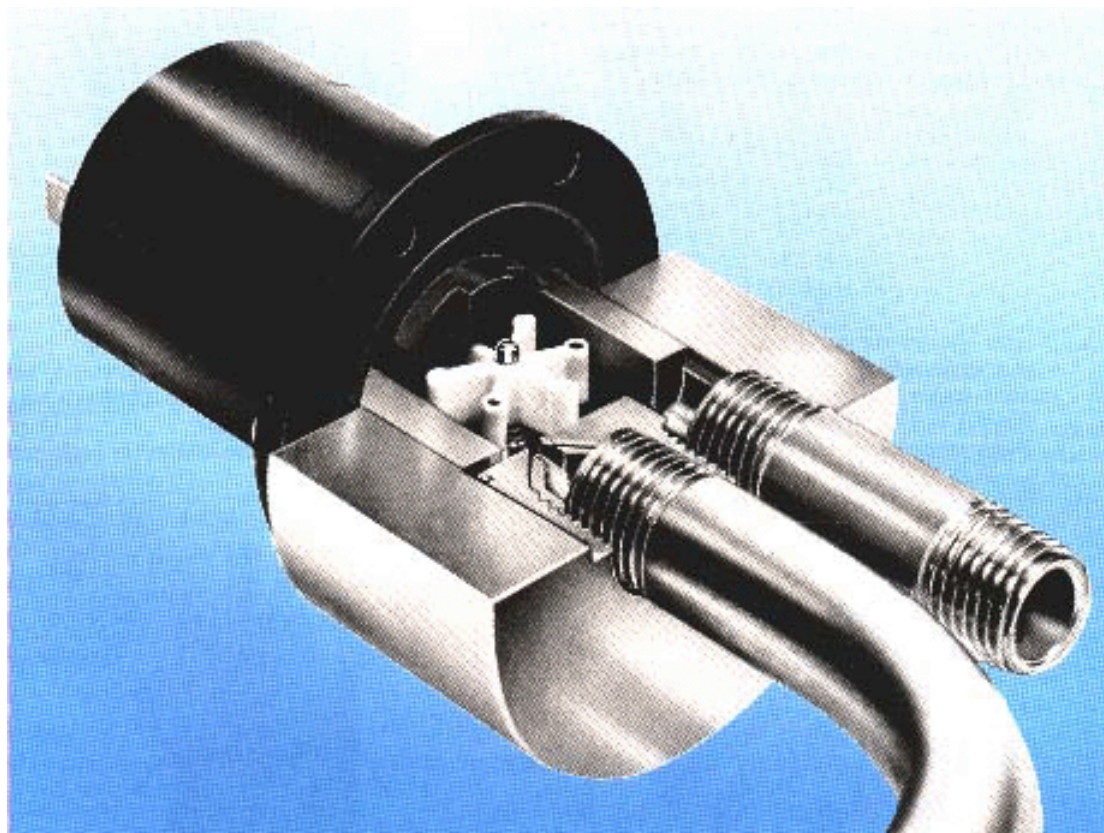
☹ pokles amplitudy impulsů při malém v

Rychlostní senzory průtoku

Senzor s lopatkovými koly

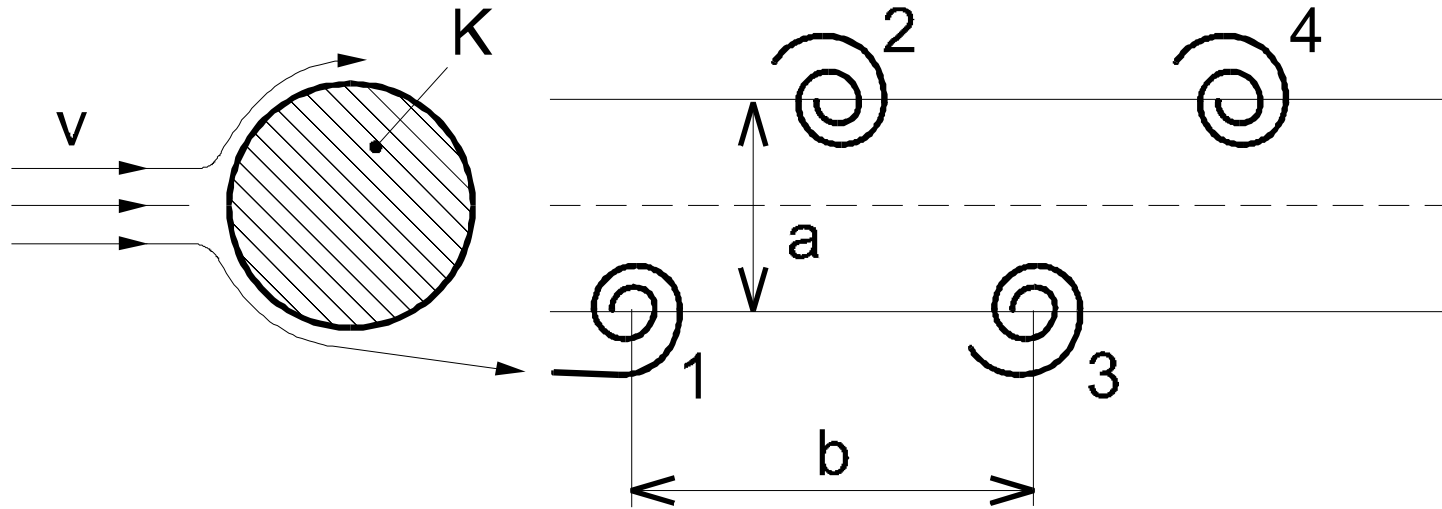


Rychlostní senzory průtoku



Rychlostní senzory průtoku

Vírový senzor průtoku



$$f = \frac{Sr}{a} v$$

f...frekvence vírů

A ...charakt. rozměr překážky

Sr ...Strouhalovo číslo (char. Pro určité překážky)

Detekce vírů:

tepelné anemometry

ultrazvukové detektory

tlakové detektory

Přesnost ~ 1%

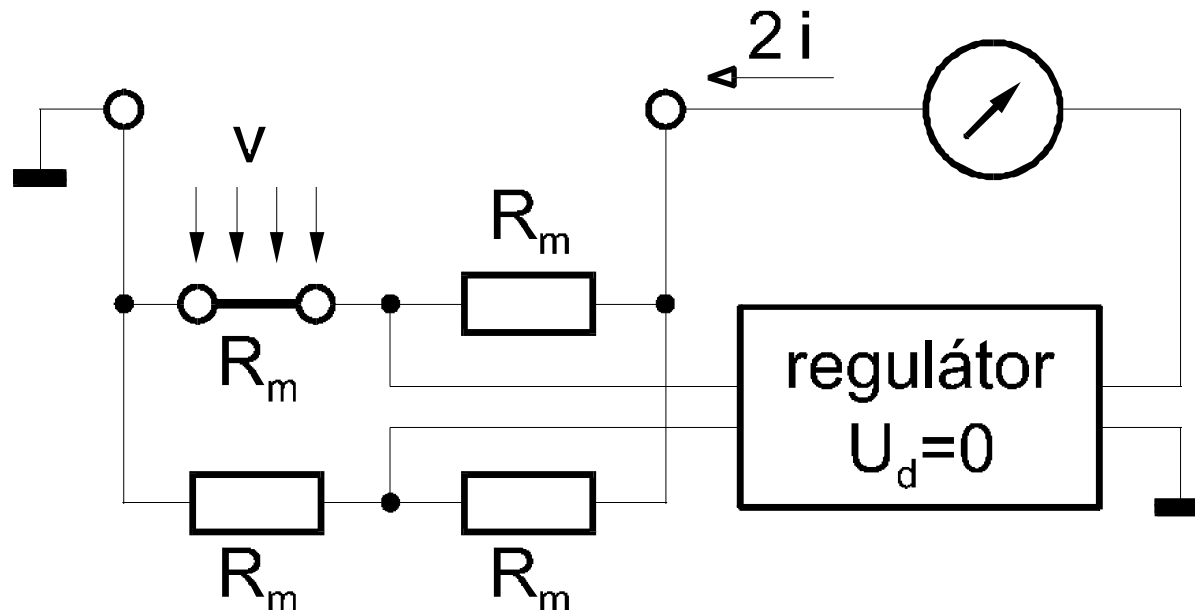
Tepelné senzory hmotnostního průtoku

Výměna tepla mezi zdrojem a okolím (proudící tekutina)

- měření ochlazení zdroje (termoanemometry)
- měření oteplení tekutiny (Thomasův princip, kalorimetrické)

Měřicí obvod termoanemometru
s konstantní teplotou drátku

$$Re = k\rho v$$



Tepelné senzory hmotnostního průtoku

Režimy činnosti termoanemometrů

-konst. proud (změna rychlosti proudění => změna teploty => => změna odporu)

-konst. teplota drátku (pokles v => menší ochlazení => => zmenšení napájecího proudu)

Pro výstupní proud i platí:

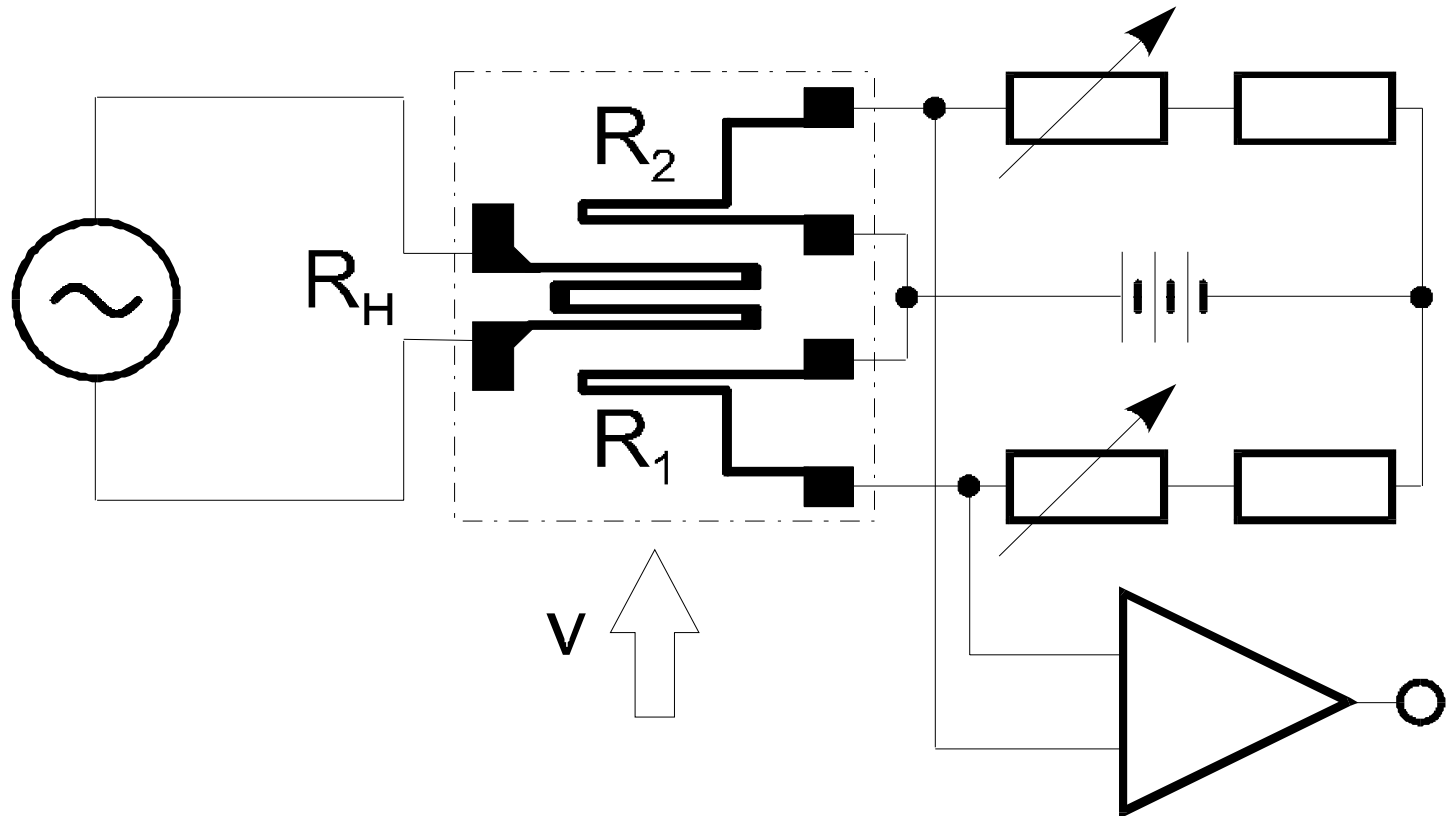
$$i^2 = a + b\sqrt{Q_m}$$

a <= odvodů tepla do okolí

b <= fyzik. vlastn. tekutiny

Tepelné senzory hmotnostního průtoku

Diferenční termoanemometr



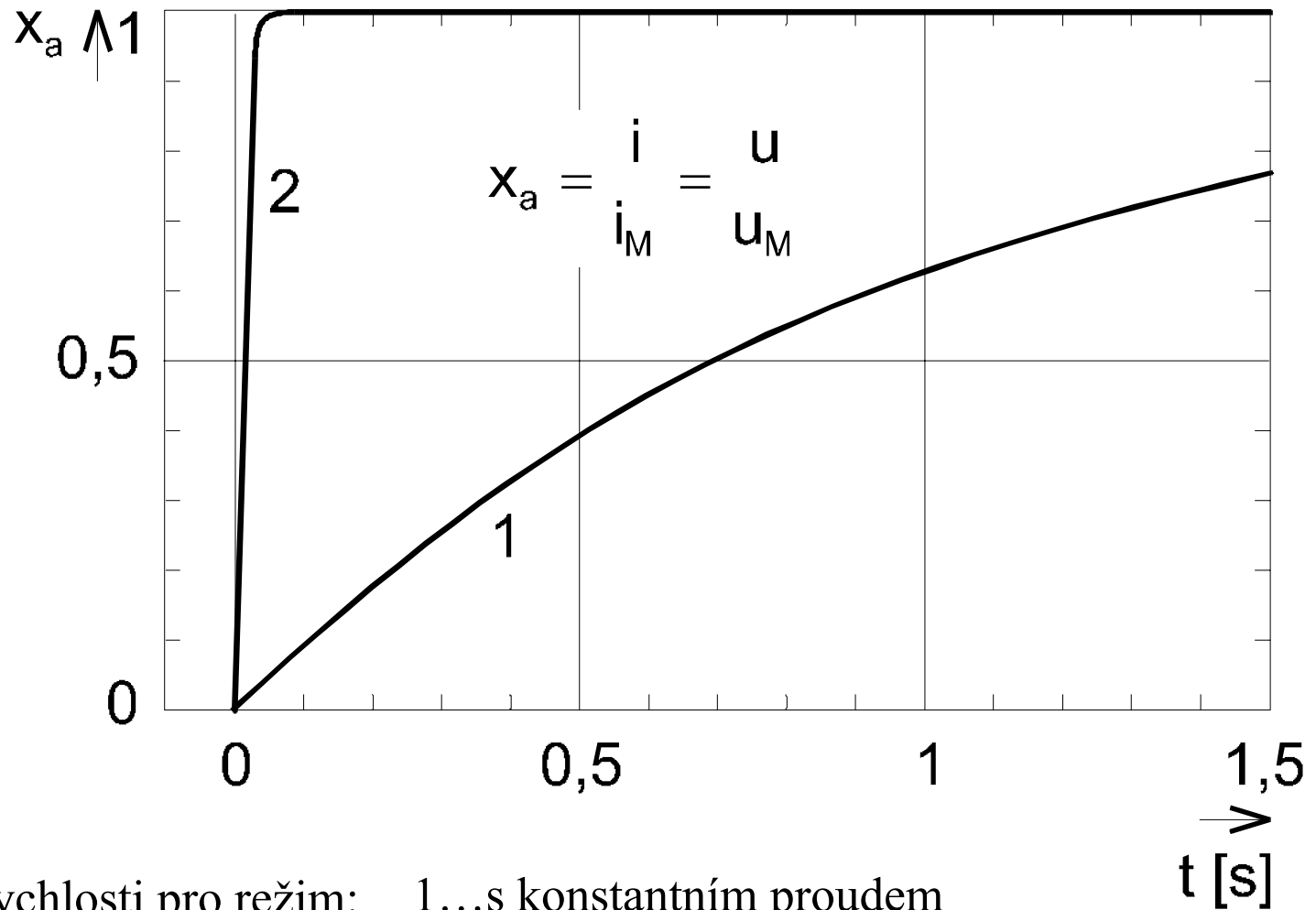
Při $v=0$ platí $R_1=R_2$

Při $v>0$ dochází k ochlazení R_1 a ohřátí R_2 (\leq teplo z R_H)

☺ zvýšená citlivost, vyloučení vlivu teploty tekutiny,
vhodné pro malé průtoky ($10^{-4} \text{ mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Tepelné senzory hmotnostního průtoku

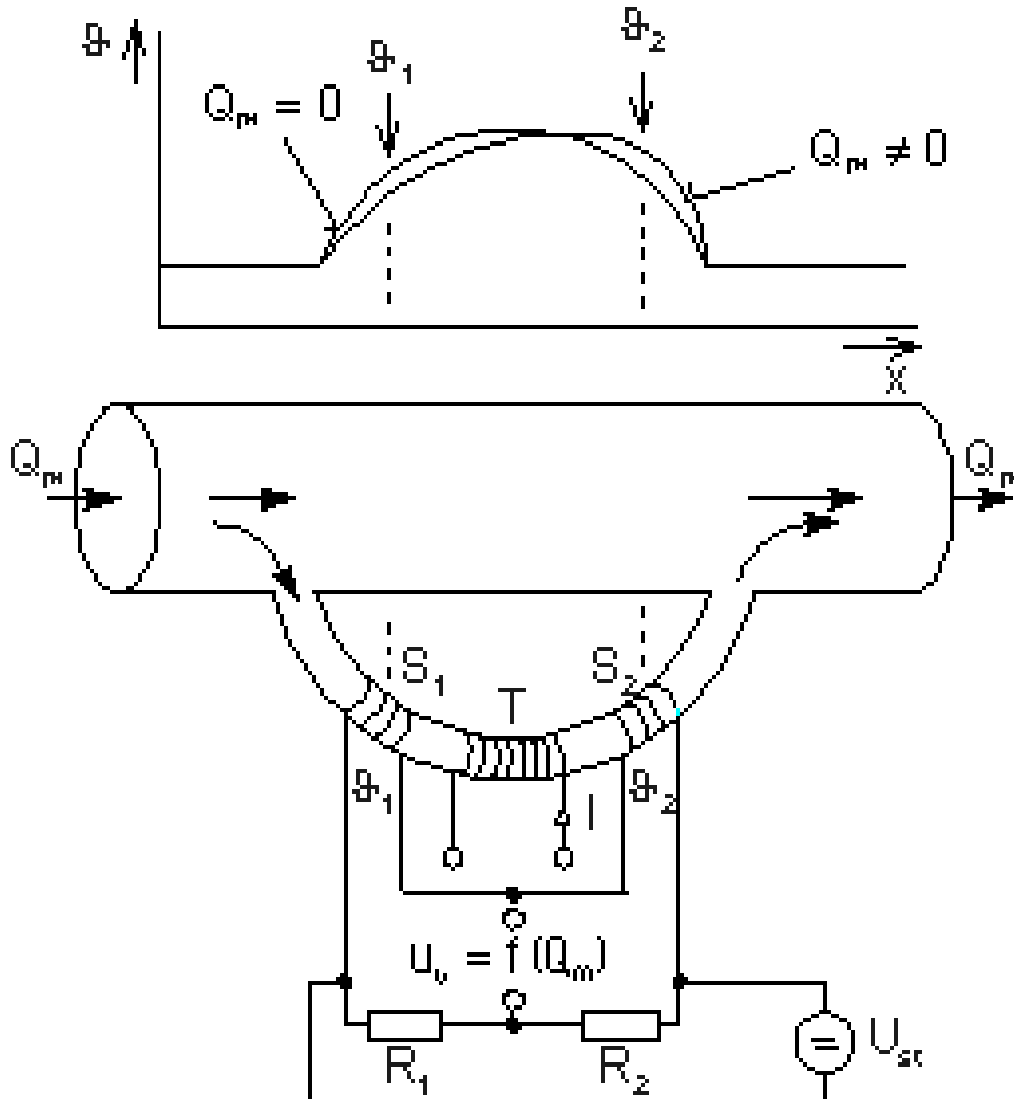
Diferenční termoanemometr



Odezva na skok rychlosti pro režim: 1...s konstantním proudem
2...s konstantní teplotou

Tepelné senzory hmotnostního průtoku

Diferenční termoanemometr



můstek vyhodnocuje
rozdíl teplot $\theta_1 - \theta_2$
měřený senzory R_1 a R_2

$$Q_m = A \frac{(\vartheta_2 - \vartheta_1)}{P_q}$$

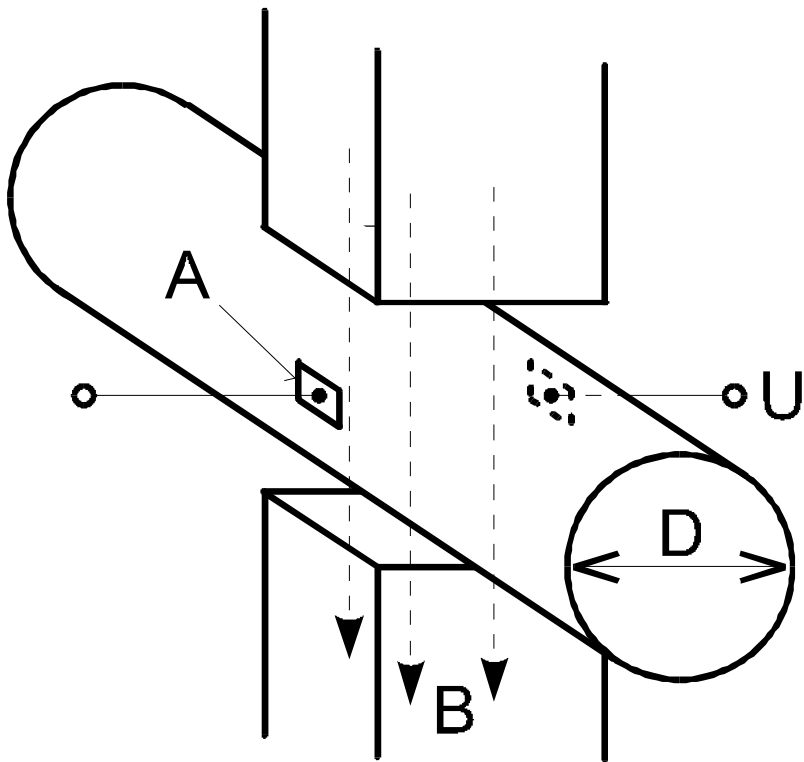
A...konstanta

C_p ...měrná tep. Kap. Tekutiny

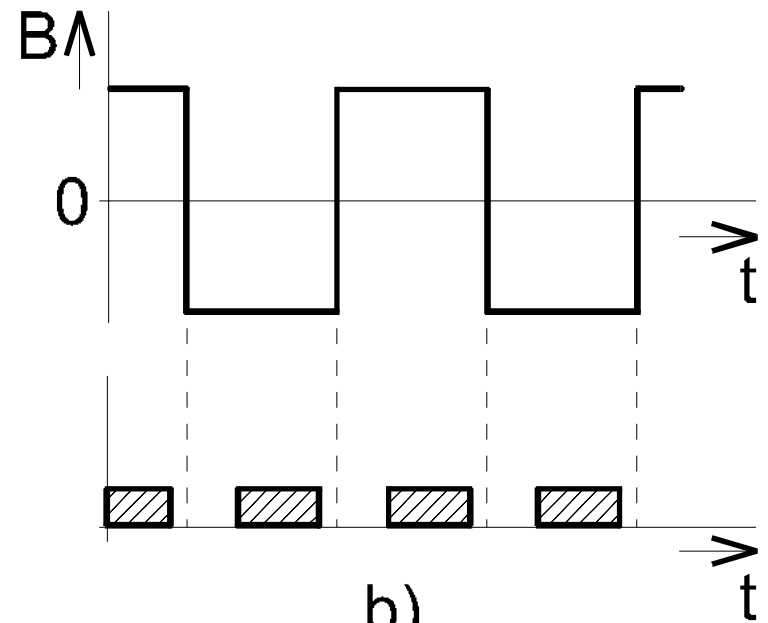
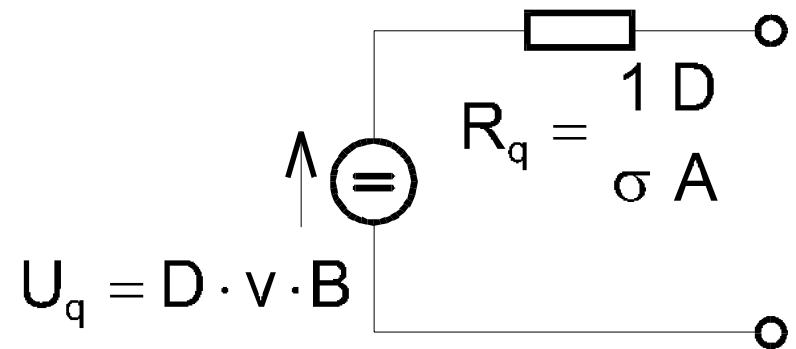
P_Q ...tepelný tok z topného vinutí

senzor malých
hmotnostních
průtoků

Indukční průtokoměry



a)

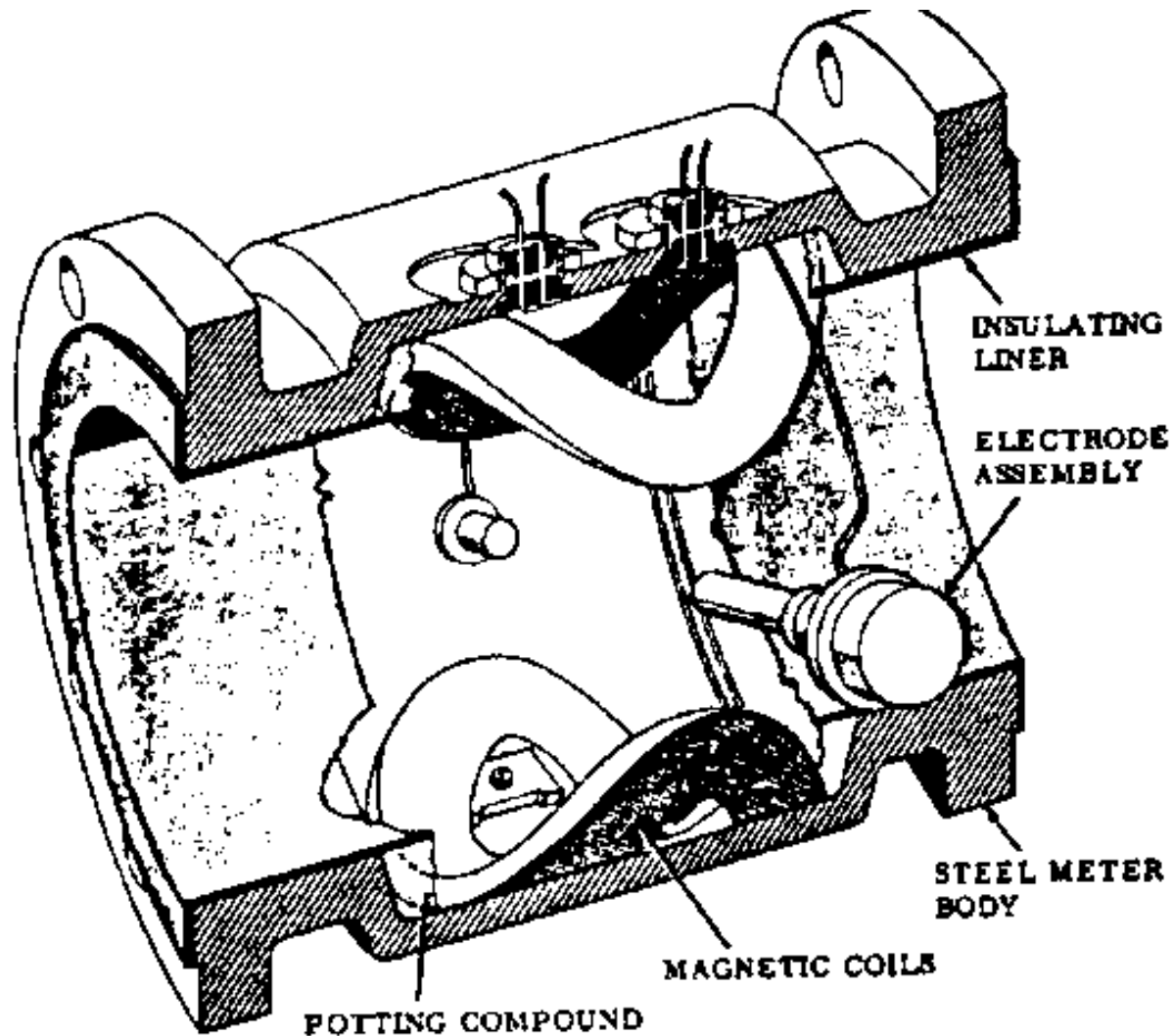


b)

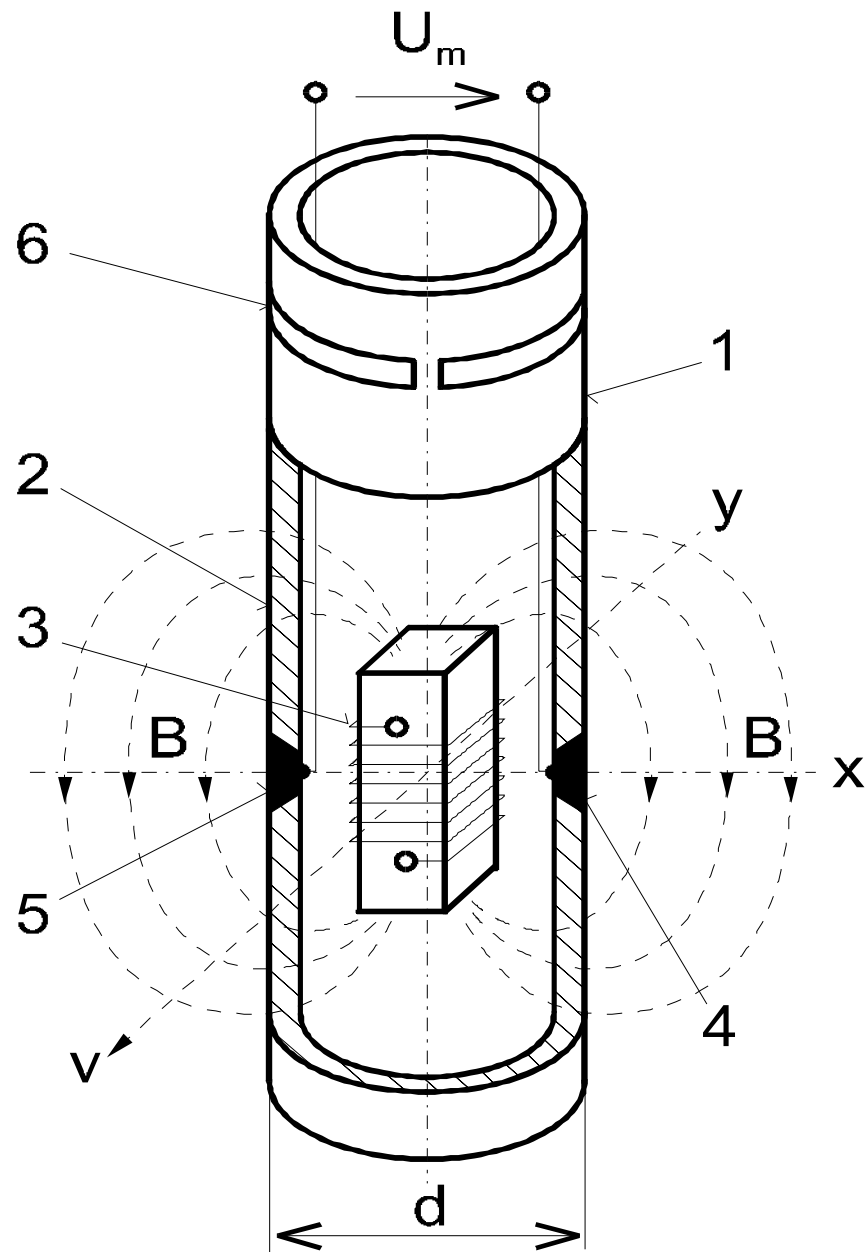
Obvyklá přesnost: průtočný typ 0,2%, ponorný typ 2%

Indukční průtokoměry

Konstrukce průchozího indukčního průtokoměru se sedlovými cívkami.

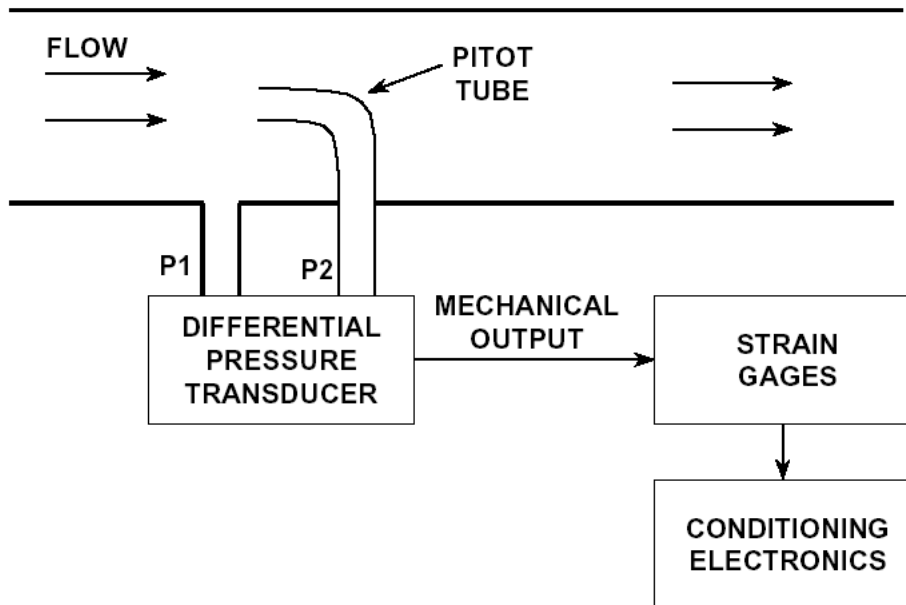


Ponorný indukční senzor průtoku



Senzory průtoku se škrticími orgány

PITOT TUBE USED TO MEASURE FLOW RATE



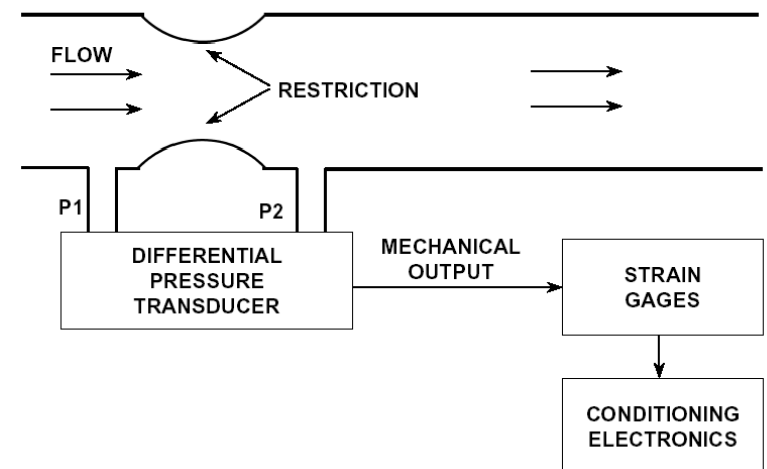
Přesnost 2% (0,5%)

Měření tlakového spádu
v místě škrticího orgánu

$$Q_v = \alpha \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \frac{p_1 - p_2}{\rho}}$$

Q_v ...objem.průtok
 α ...expanzní součinitel
 ε ...průměr škrť.orgánu

MEASURING FLOW RATE USING THE VENTURI EFFECT

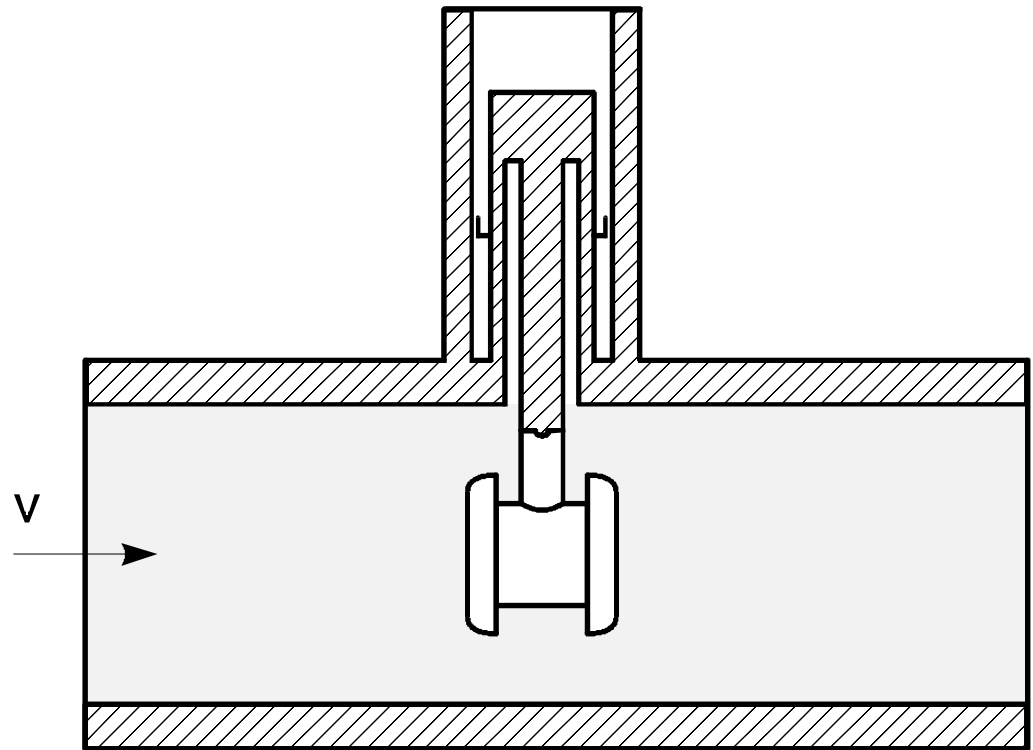


Senzory s převodem průtoku na deformaci

V cestě proudící kapaliny
je destička,
na kterou působí síla:

$$F_d = \frac{C_d S \rho v^2}{2}$$

C_d ...konstanta terčičku
 S ...plocha průřezu
 ρ ...hustota
 v ...rychlost

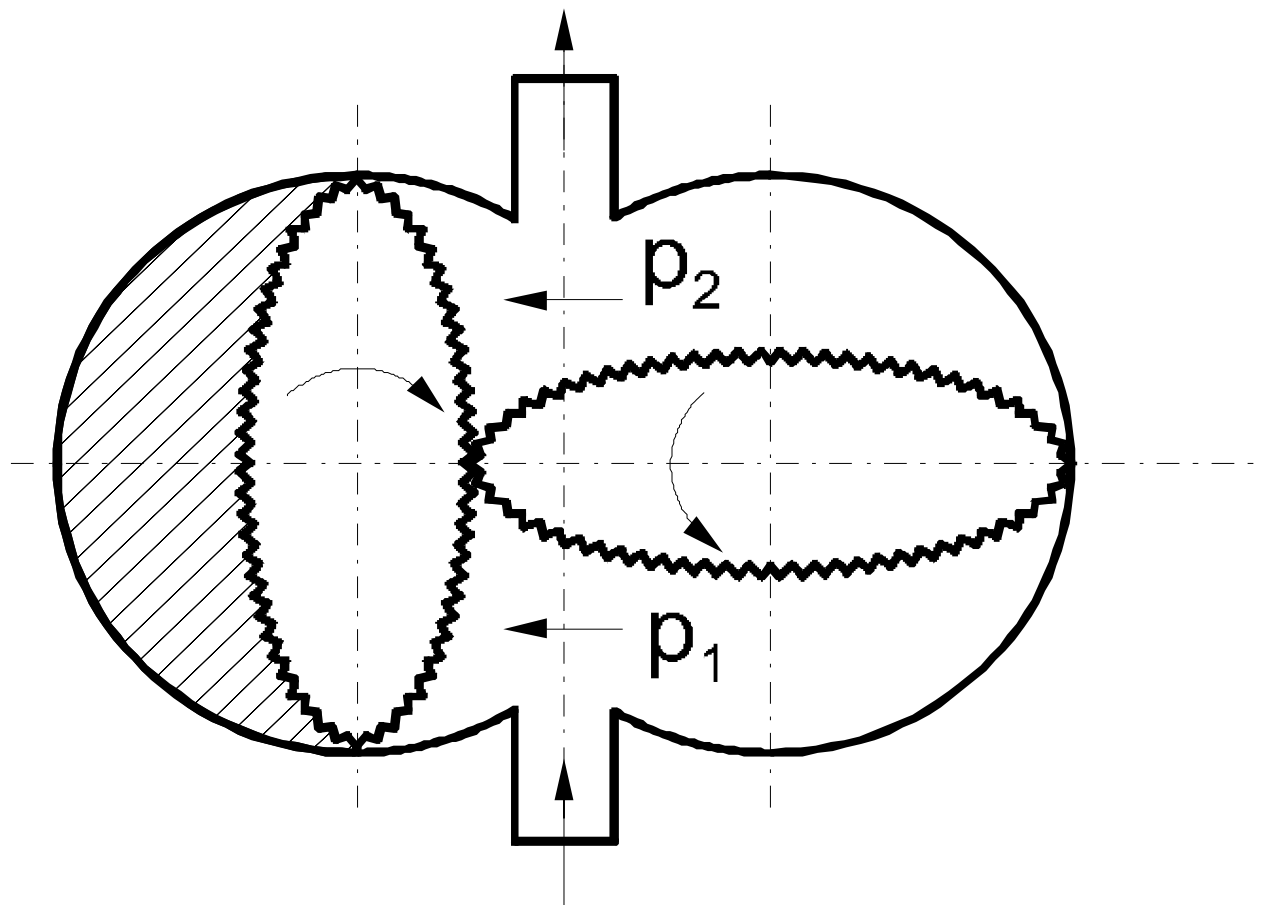


b)

Přesnost...několik %

☺ dobré dynamické vlastnosti
- rezonanční frekvence až 200Hz

Dávkovací senzory



Dávkovací - senzor
- čerpadlo

1 dm³/h – 10³ dm³/h

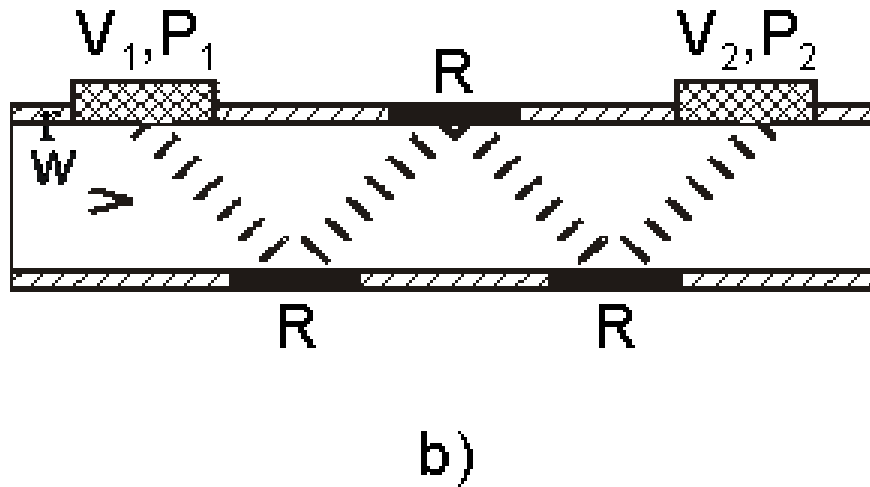
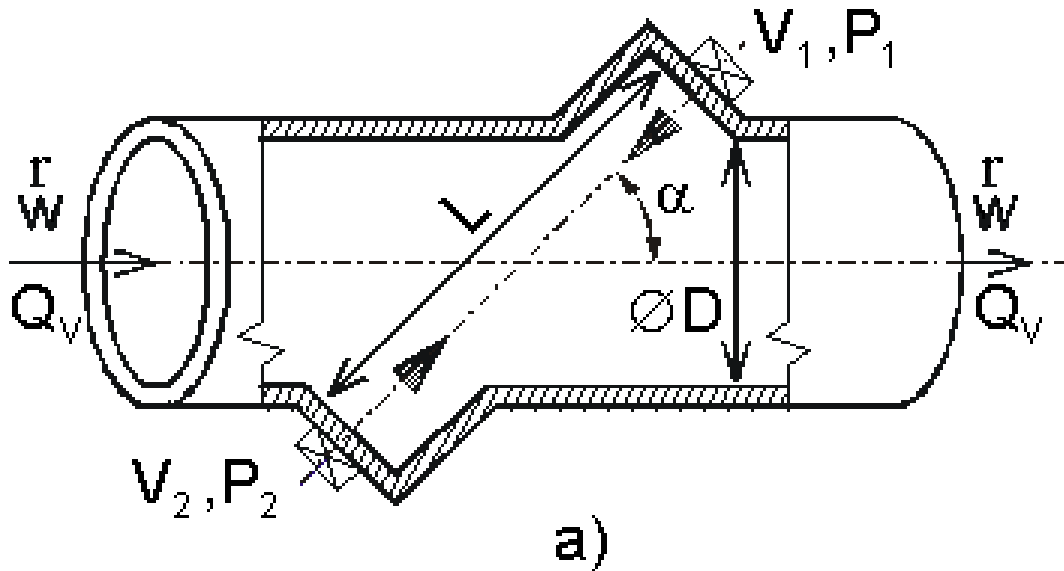
Značkovací senzory průtoku

- Značka
- vodivostní (vstřík elektrolytu do tekutiny)
 - optická (vstřík barviva)
 - tepelná
 - ionizační (příměsi radioizotopu)

Princip měření čas. intervalu mezi průchodem značky dvěma body ve směru proudění tekutiny

Korelační metoda

Ultrazvukové průtokoměry



Pulsní ultrazvukový průtokoměr je založen na skládání rychlosti kapaliny w a rychlosti šíření ultrazvuku.

Měří se doba šíření pulsu od vysílače k přijmači.

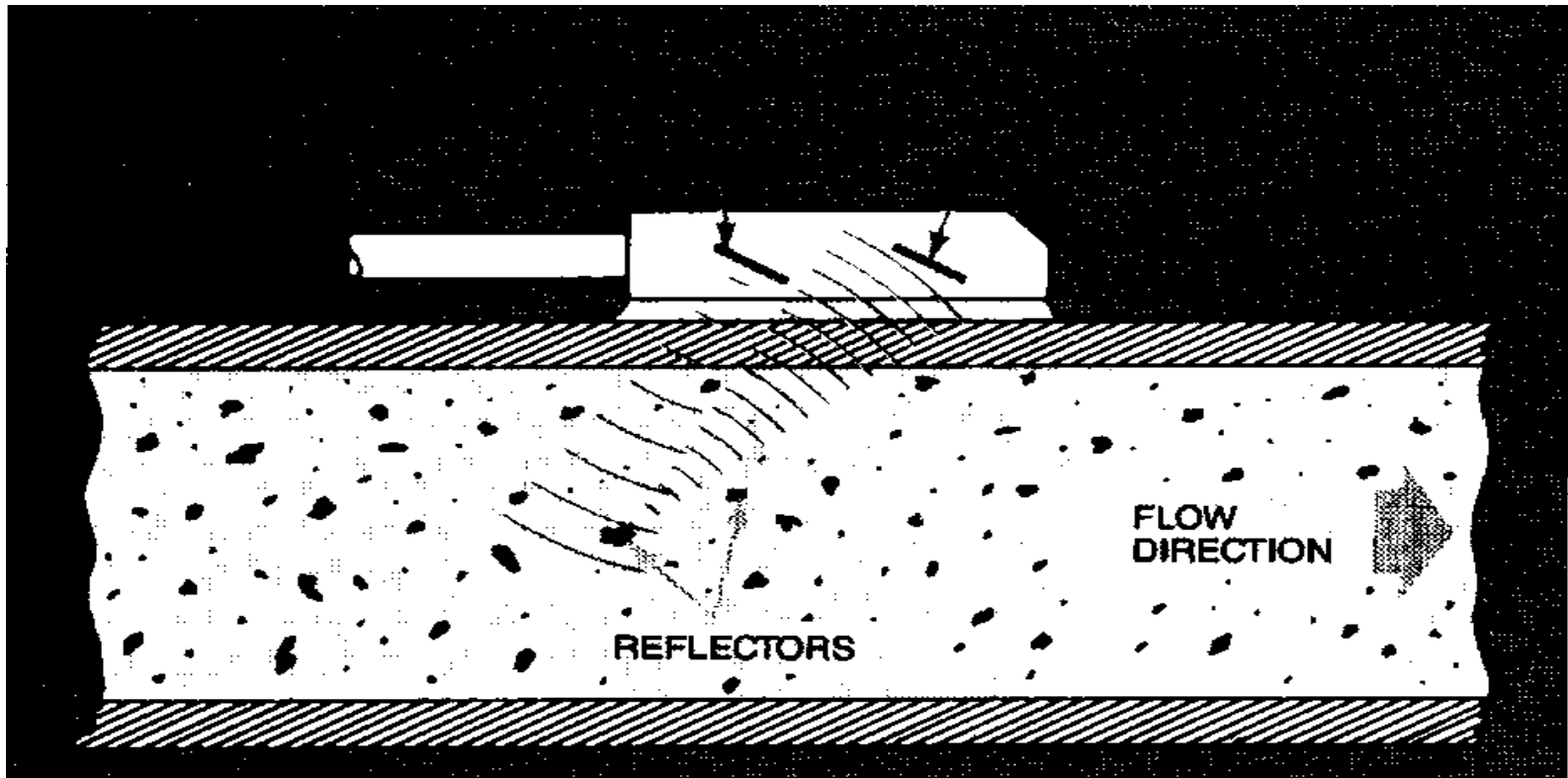
Přesnost závisí na délce dráhy.

$$v = \frac{L}{2 \cos \alpha} \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\Delta t_1 \Delta t_2}$$

Δt_1 ... doba šíření
od (V_2, P_2) k (V_1, P_1)

Δt_2 ... doba šíření
od (V_1, P_1) k (V_2, P_2)

Ultrazvukové průtokoměry



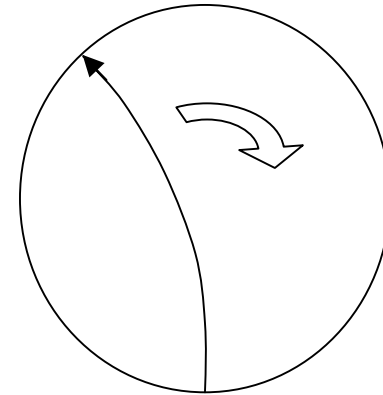
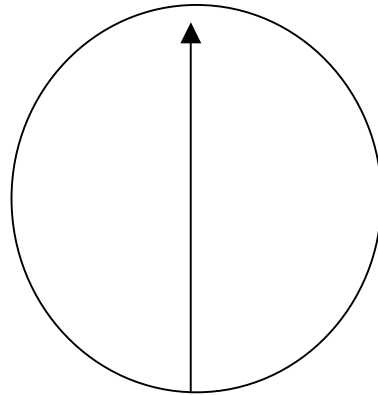
Dopplerovský ultrazvukový průtokoměr (tento je příložného typu)

Pracuje v kontinuálním režimu (stojatá vlna).

Podobně jako silniční radarový rychloměr měří
dopplerovský posuv frekvence.

Tento typ využívá odrazu od bublin nebo rozptýlených pevných částic

Coriolisův průtokoměr



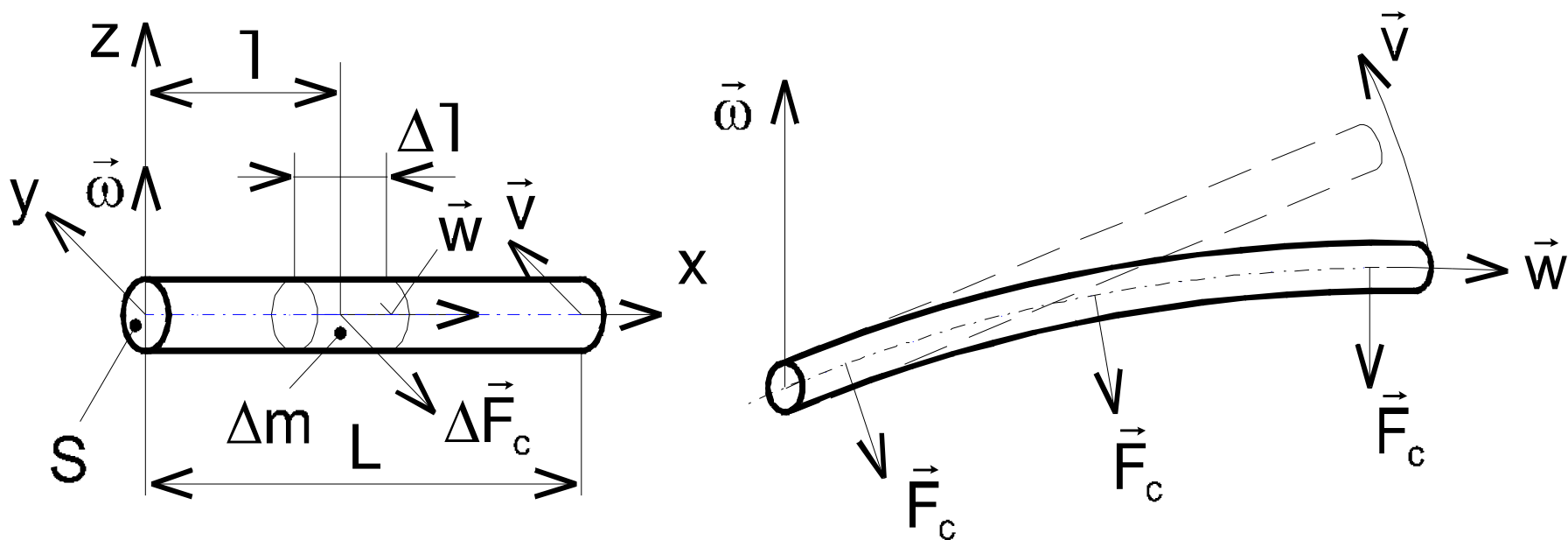
Coriolisova síla F_c je kolmá na osu otáčení a směr pohybu

F_c závisí na

- rychlosti otáčení f (ot/s)
- hmotnosti tělesa m (kg)
- rychlosti pohybu tělesa w (m/s)

$$\mathbf{F}_C = 2 m (\mathbf{w} \times \boldsymbol{\omega}) \dots = 4\pi m w f$$

Coriolisův průtokoměr



$$\Delta F_c = 2v\omega\Delta m = 2\frac{\Delta l}{\Delta t}\omega\Delta m = 2Q_m\omega\Delta l$$

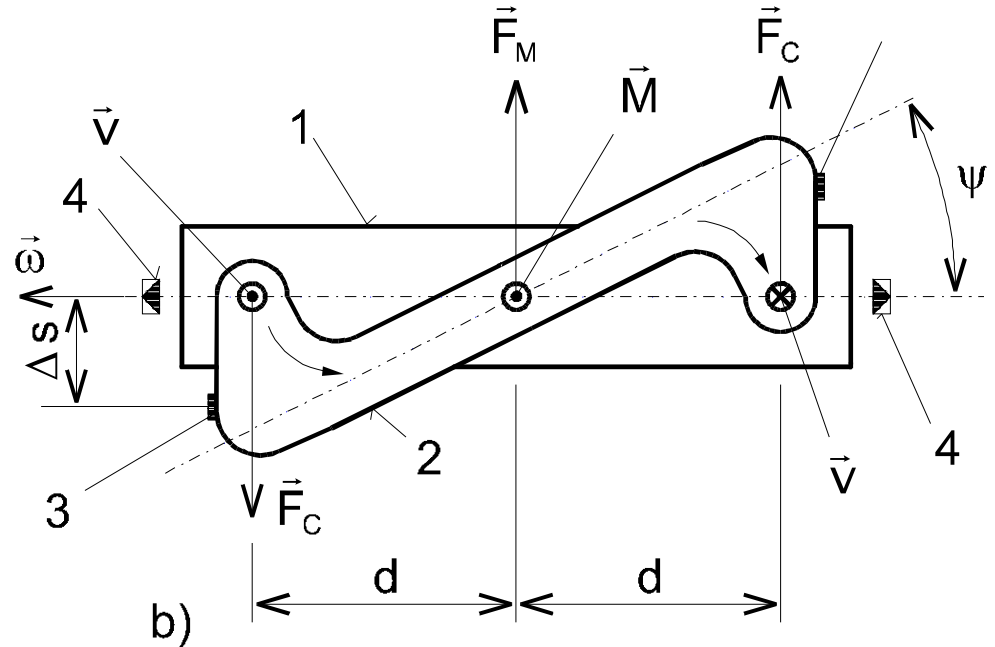
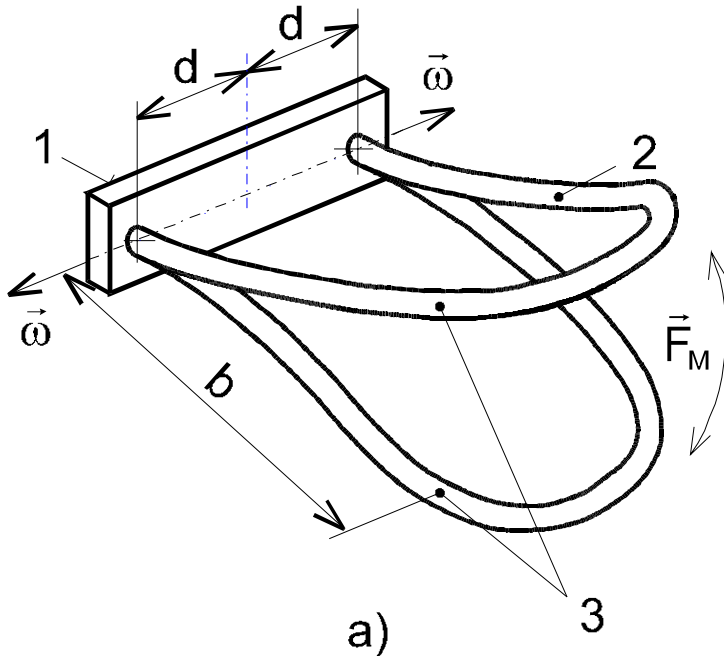
Trubice s kapalinou tekoucí rychlostí w :

jestliže se otáčí kolem osy z , působí na kapalinu Coriolisova síla F_c

F_c je kolmá na osu otáčení a směr proudění a má tendenci ohýbat trubici

Coriolisův průtokoměr

Coriolisův senzor průtoku = typ s U trubicí



Trubice je rozkmitávána magnetickou silou F_m kolem osy ω . F_c vyvolá její zkroucení.

$$M = 2dF_C = 4db\omega Q_m$$

$$\Delta t \approx Q_m$$