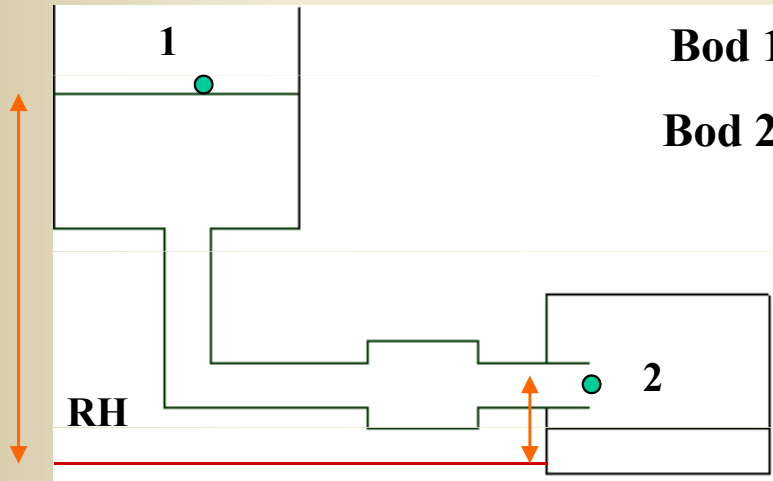


3. přednáška

Návrhové výpočty v potrubí

Návrhové výpočty potrubí

Výpočet objemového prietoku \dot{V} (rýchlosti w) v zadanom potrubí d, n



Bod 1: $P_1, z_1, w_1=0$

Bod 2: $P_2, z_2, w_2=w$

$$\frac{w_1^2}{2\alpha_1} + \frac{P_1}{\rho} + gz_1 = \frac{w_2^2}{2\alpha_2} + \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \epsilon_{dis}$$

$$\epsilon_{dis} = \lambda \frac{(L + L_{ek})}{d} \frac{w^2}{2}$$

Iteračný výpočet

$$\dot{V}, w \Leftrightarrow (w^2/2), \epsilon_{dis}, \lambda$$

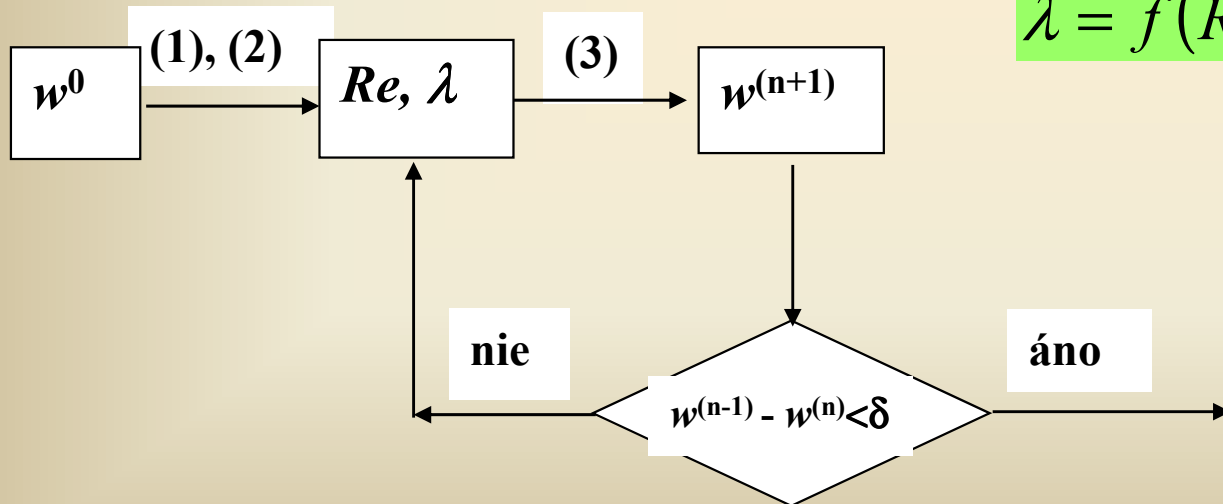
$$Re = \frac{dw\rho}{\mu}$$

(1)

$$\lambda = f(Re, n)$$

(2)

(3)



$$w = \sqrt{\frac{(P_1 - P_2) + (z_1 - z_2)g + \frac{w_1^2}{2}}{\frac{1}{2} \left(1 + \lambda \frac{L + L_{ek}}{d} \right)}}$$

Orientačný výpočet objemového prietoku \dot{V} (rýchlosti w) v zadanom potrubí d, n

$$\frac{w_1^2}{2\alpha_1} + \frac{P_1}{\rho} + gz_1 = \frac{w_2^2}{2\alpha_2} + \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \varepsilon_{dis}$$

$$w = \frac{\dot{V}}{S} = \frac{4\dot{V}}{\pi d^2}$$

Úprava DR:

$$\varepsilon_{dis} = \lambda \frac{(L + L_{ek})}{d} \frac{w^2}{2}$$

$$\frac{Re^2}{Re^2}$$

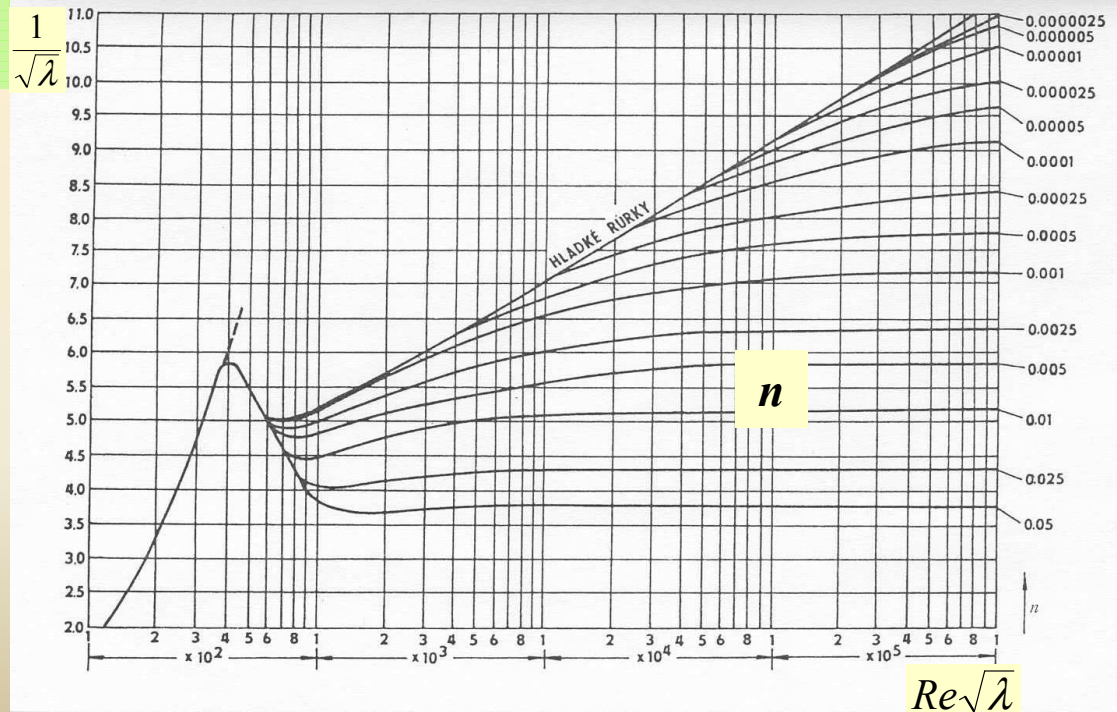
$$Re = \frac{dw\rho}{\mu} = \frac{4\dot{V}\rho}{\pi d\mu}$$

$$Re\sqrt{\lambda} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_{dis} d^3 \rho^2}{(L + \sum L_{ek}) \mu^2}}$$

Grafické spracovanie v tvare:

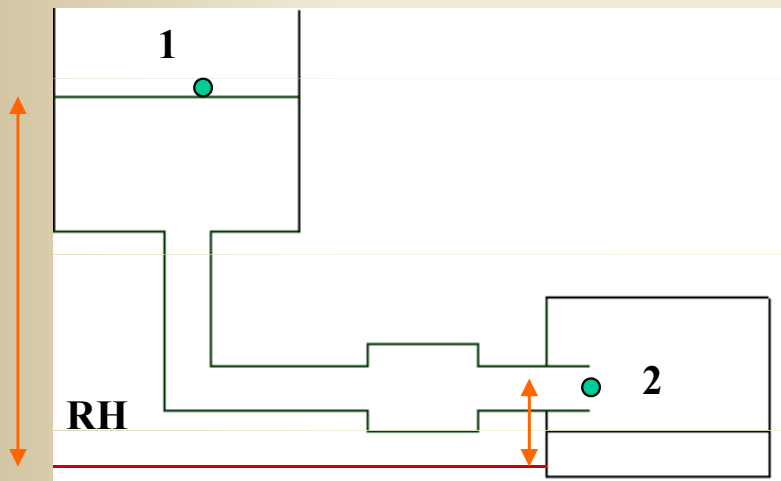
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = f(Re\sqrt{\lambda}, n)$$

$$(Re\sqrt{\lambda}) \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}} \right) = Re \longrightarrow \dot{V}$$



Návrhové výpočty potrubí

Výpočet priemeru potrubia d pre zadaný objemový prietok \dot{V}



Bod 1: P_1, w_1, z_1

Bod 2: P_2, w_2, z_2

$$\frac{w_1^2}{2\alpha_1} + \frac{P_1}{\rho} + gz_1 = \frac{w_2^2}{2\alpha_2} + \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \varepsilon_{dis}$$

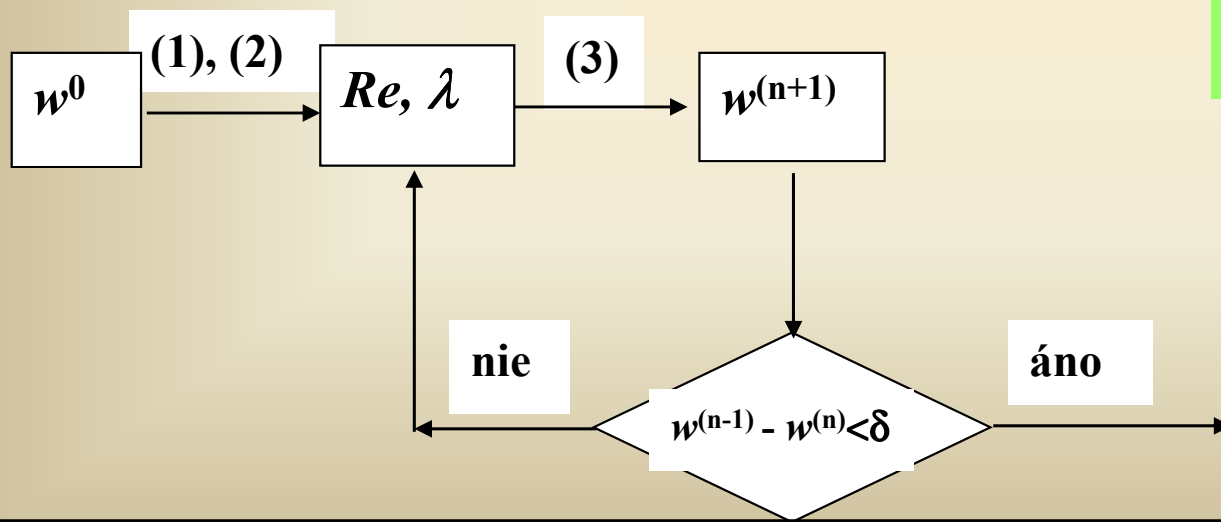
$$\varepsilon_{dis} = \lambda \frac{(L + L_{ek})}{d} \frac{w^2}{2}$$

Výpočet iteračný: $d \rightarrow (w_2, \varepsilon_{dis}, \lambda)$

Voľba d , alebo $w^0 \Rightarrow d$

$$w = \frac{4\dot{V}}{\pi d^2}$$

$$w = \sqrt{\frac{\frac{(P_1 - P_2)}{\rho} + (z_1 - z_2)g + \frac{w_1^2}{2}}{\frac{1}{2} \left(1 + \lambda \frac{L + L_{ek}}{d} \right)}} \quad (3)$$



$$Re = \frac{dw\rho}{\mu} \quad (1)$$

$$\lambda = f(Re, n) \quad (2)$$

Orientačný výpočet priemeru potrubia d pre zadaný objemový prietok \dot{V}

$$\frac{w_1^2}{2\alpha_1} + \frac{P_1}{\rho} + gz_1 = \frac{w_2^2}{2\alpha_2} + \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \varepsilon_{dis}$$

$$w = \frac{\dot{V}}{S} = \frac{4\dot{V}}{\pi d^2}$$

Úprava DR:

$$\varepsilon_{dis} = \lambda \frac{(L + L_{ek})}{d} \frac{w^2}{2}$$

$$\frac{Re^5}{Re^5}$$

$$Re = \frac{dw\rho}{\mu} = \frac{4\dot{V}\rho}{\pi d\mu}$$

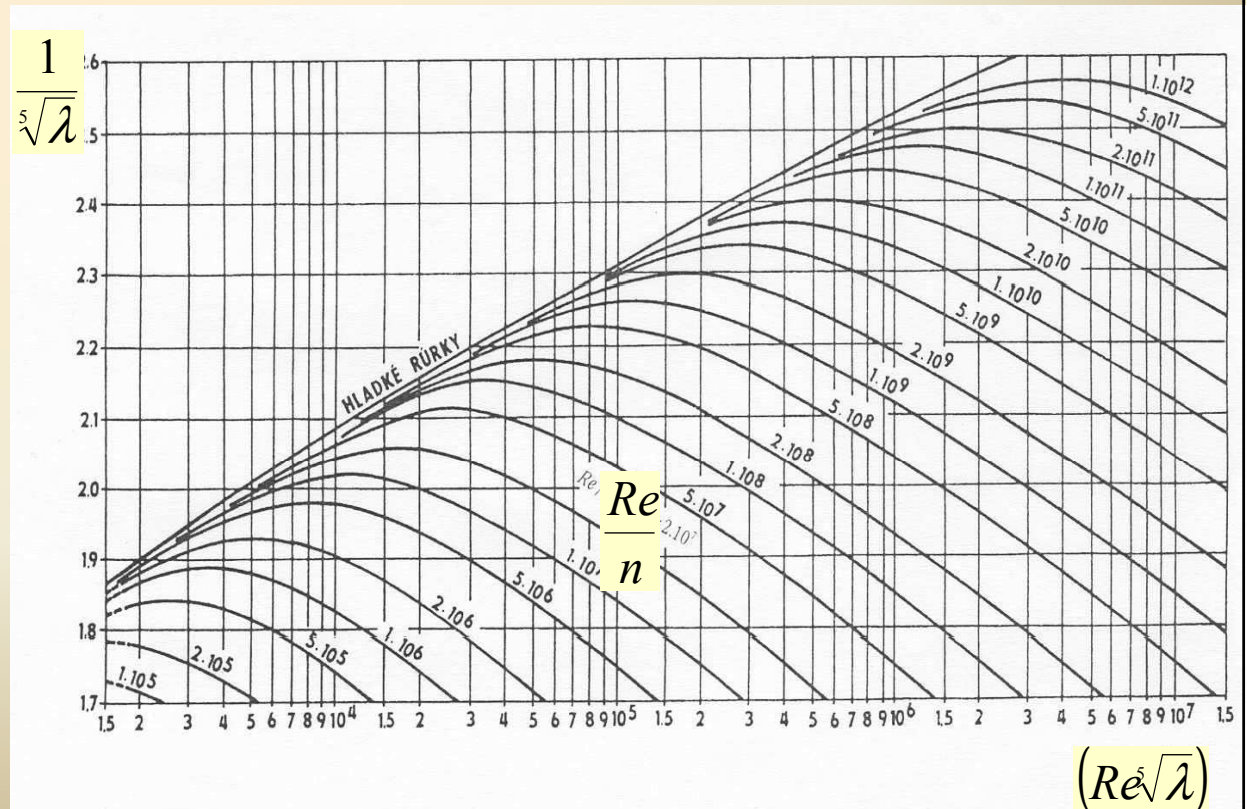
$$Re^5 \sqrt{\lambda} = \sqrt[5]{\frac{128 \cdot \varepsilon_{dis} \cdot \dot{V}^3 \cdot \rho^5}{(L + \sum L_{ek}) \pi^3 \mu^5}}$$

Grafické spracovanie v tvare:

$$\frac{1}{\sqrt[5]{\lambda}} = f(Re^5 \sqrt{\lambda}, Re/n)$$

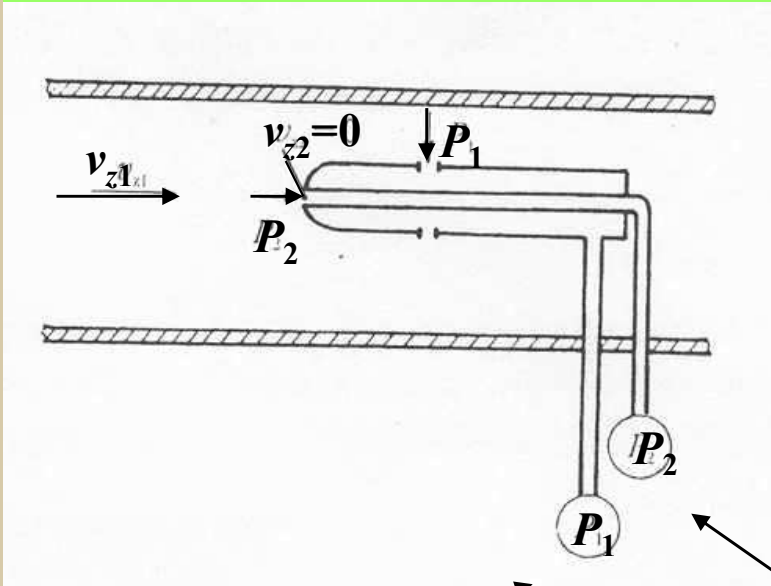
$$\frac{Re}{n} = \frac{4\dot{V}\rho}{\pi\mu\varepsilon_{vyč}}$$

$$(Re^5 \sqrt{\lambda}) \left(\frac{1}{\sqrt[5]{\lambda}} \right) = Re \rightarrow d$$



Meranie prietoku a lokálnych rýchlostí

Pitotova – Prandtlova rúrka



Meranie lokálnych rýchlostí

⇒ rýchlostné profily, osová rýchlosť

⇒ priemerná rýchlosť, objemový prietok

Lokálna kinetická energia

Tlaková energia

Statický tlak

Kinetická energia premenená na tlak + statický tlak

$$\frac{v_{z1}^2}{2\alpha_1} + \frac{P_1}{\rho} + gz_1 = \frac{v_{z2}^2}{2\alpha_2} + \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \epsilon_{dis}$$

0, id

$$v_z = \sqrt{\frac{(P_2 - P_1)}{\rho}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{dyn}}{\rho}}$$

Meranie prietoku a lokálnych rýchlostí

Pitotova – Prandtlova rúrka

$$v_z = \sqrt{\frac{(P_2 - P_1)}{\rho}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{dyn}}{\rho}}$$

$$\dot{V} = \int_0^R 2\pi r v_z dr$$

Objemový prietok

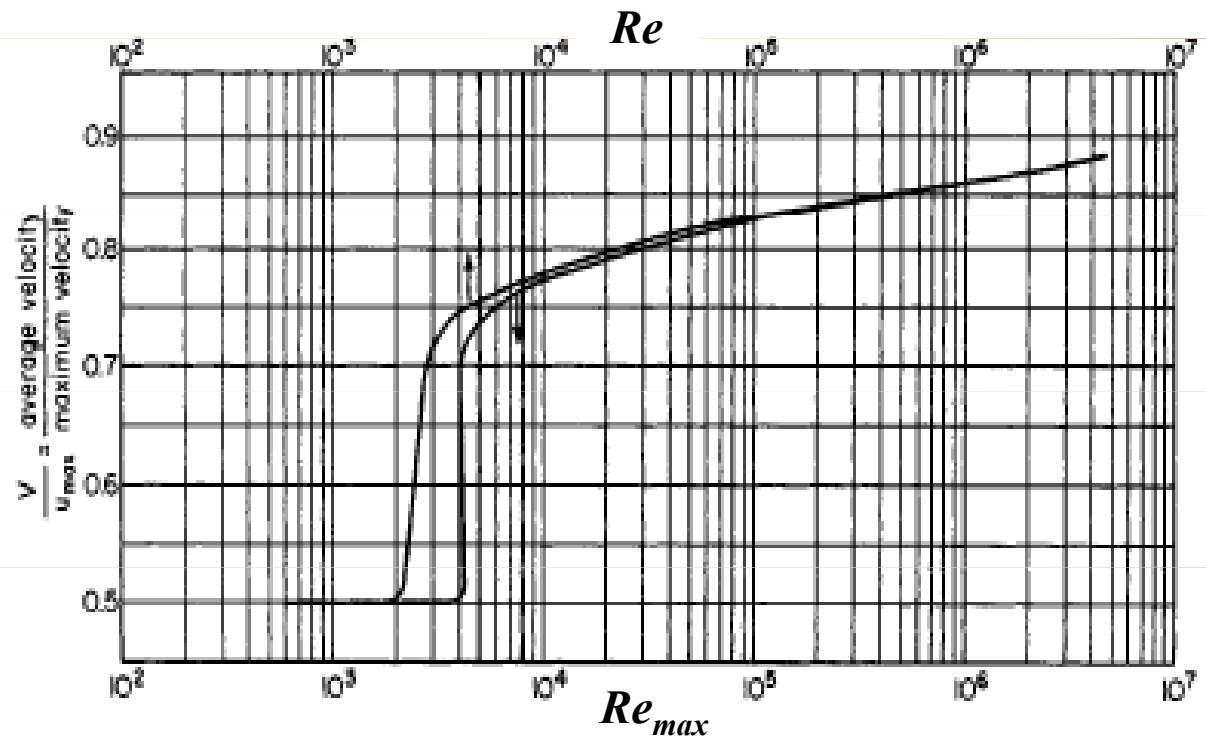
$$v_z = v_{z,max}$$

Osová rýchlosť

$$\frac{w}{v_{z,max}} = f(Re_{max})$$

w

Priemerná rýchlosť



Meranie prietoku

Clona , dýza, venturimeter

Náhle zúženie
prierezu potrubia

Zmena rýchlosti
prúdiacej kvapaliny

Zmena statického
tlaku

Odvodenie:

$$\frac{w_1^2}{2\alpha_1} + \frac{P_1}{\rho} + gz_1 = \frac{w_2^2}{2\alpha_2} + \frac{P_2}{\rho} + gz_2$$

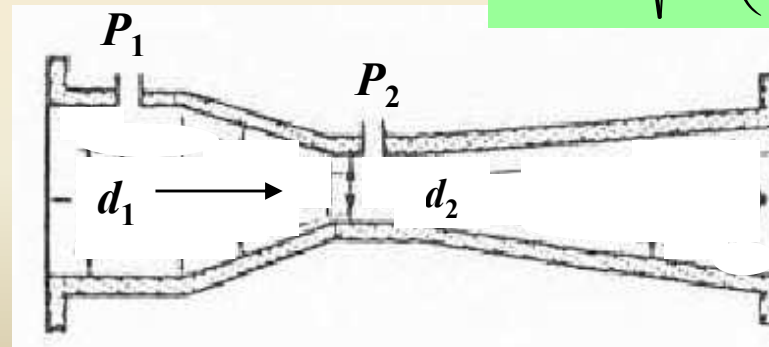
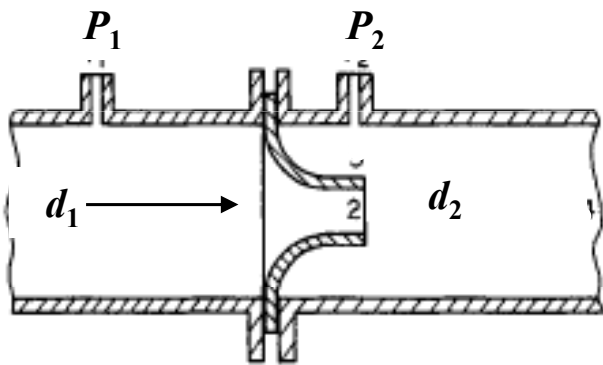
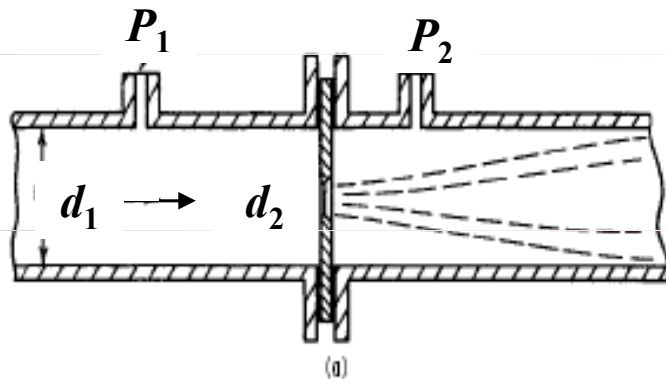
Ideálna
tekutina

$$\varepsilon_{dis} = 0$$

$$z_1 = z_2$$

$$w_1 \frac{\pi d_1^2}{4} = w_2 \frac{\pi d_2^2}{4}$$

$$w_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left(1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4\right)}}$$



Meranie prietoku

Clona , dýza, venturimeter

Reálna tekutina, korekcia na α tekutiny, kontrakcia prúdu...

$$c=f(Re_2, d_2/d_1)$$

Pre $Re > 10\,000$

$$C_c=0.61$$

$$C_d=0.95$$

$$C_v=0.98$$

Použitie – výber
prietokomerov

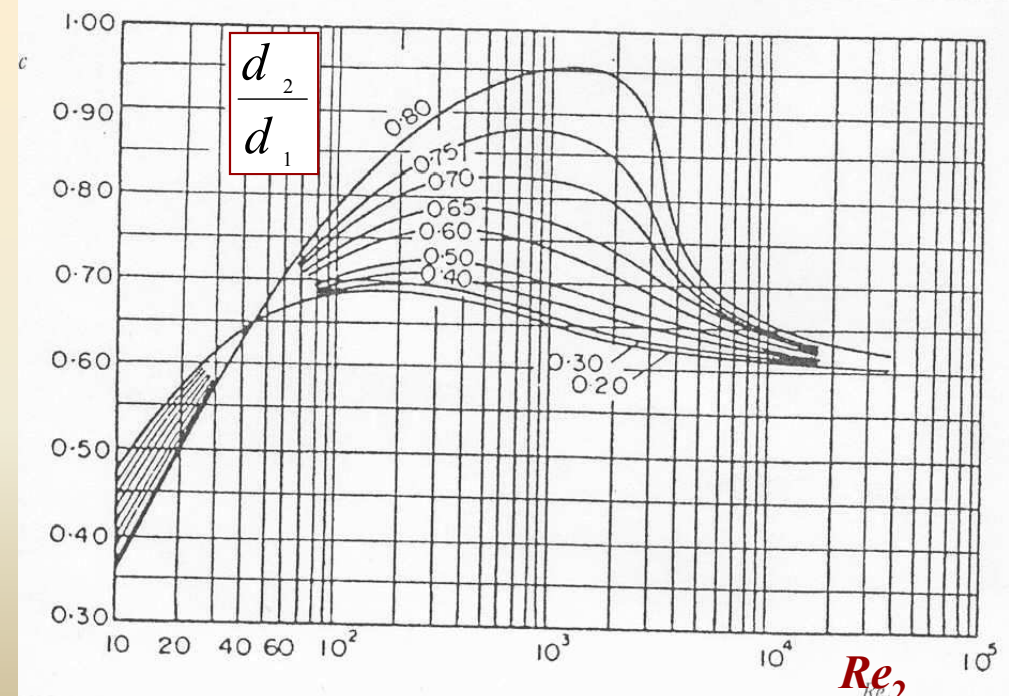
Pre $Re < 10\,000$

Iteračný výpočet (uviesť)

Kalibrácie prietokomerov

$$w_2 = c \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left(1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4\right)}} \longrightarrow \dot{V}, m^3$$

Obr. Korekčný súčiniteľ c pre clonku



Poznámka : Správna inštalácia prietokomerov v potrubí

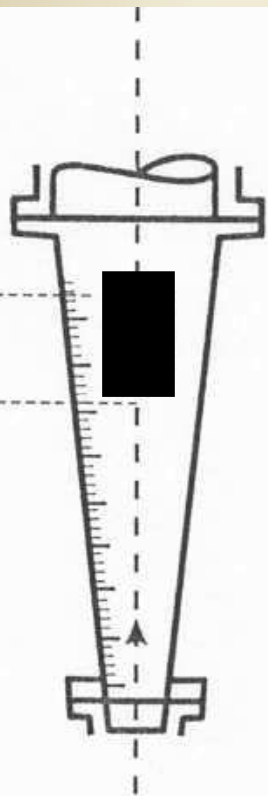
Meranie prietoku

Rotameter

Tlaková energia



Kinetická energia



Kónická rúrka vertikálne uložená, rozšírenie v smere \uparrow

Voľný pohyb plaváka

Prúdenie tekutiny v medzikruží

voľný rez): P_1, w_1, z_1

medzikružie): P_2, w_2, z_2

$$\mathcal{E}_{dis} = 0$$

$$\frac{w_1^2}{2\alpha_1} + \frac{P_1}{\rho} + gz_1 = \frac{w_2^2}{2\alpha_2} + \frac{P_2}{\rho} + gz_2$$

$$w_1 S_r = w_2 S_m$$

$$(P_1 - P_2)$$

~~$$g(z_1 - z_2)$$~~

Z analýzy tlakových,
ťažových a vztlakových síl
- rovnováha plaváka

zanedbateľná
hodnota

$$S_P (P_1 - P_2) = V_P (\rho_P - \rho) g$$

Voľný rez rúrky - S_r

Plocha plaváka - S_p

Plocha medzikružia - S_m

Meranie prietoku

Rotameter

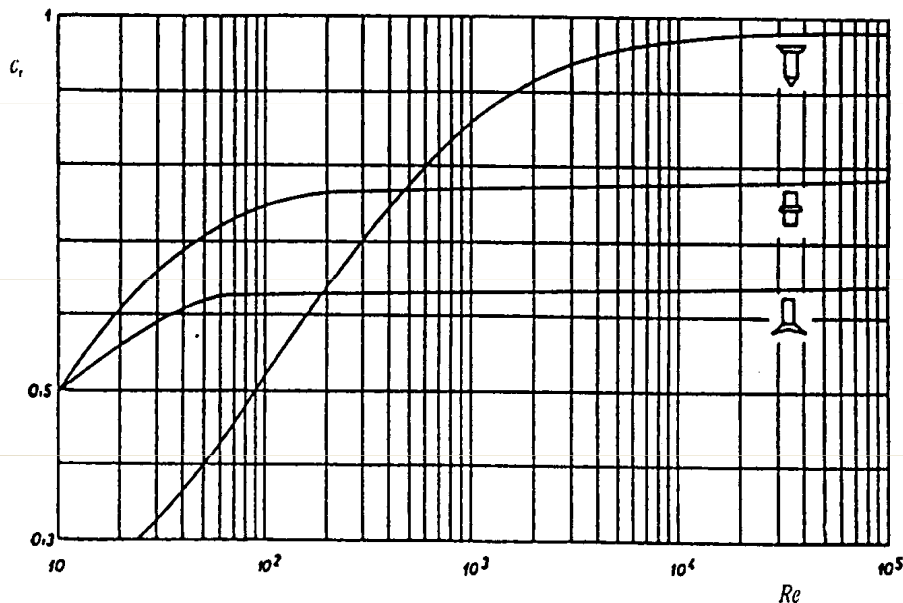
$$\dot{m} = \rho V = \rho w_m S_m$$

$$\dot{m} = S_m c_r \sqrt{\frac{2V_P \rho (\rho_P - \rho) g}{S_P \left(1 - \left(\frac{S_m}{S_r}\right)^2\right)}}$$

$c_r = f(Re_2, \text{ tvar plaváka})$

Pre $Re > 10\,000$

(0.63; 0.78; 0.98)

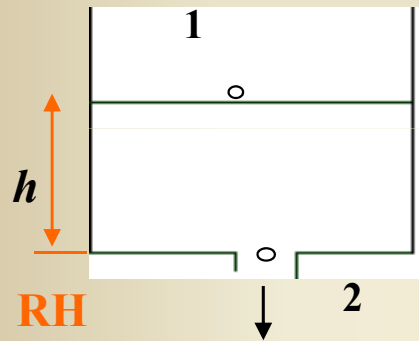


Technické rotametre:

- kalibrované pre určitý druh kvapaliny (voda)
- pre iné kvapaliny možný prepočet !!!

$$\dot{m}_X = \dot{m}_V \sqrt{\frac{\rho_X (\rho_P - \rho_X)}{\rho_V (\rho_P - \rho_V)}}$$

Výtok kvapaliny z nádrže



Bod 1: P_1, w_1, z_1

Bod 2: P_2, w_2, z_2

$$P_1 = P_2; z_1 - z_2 = h$$

$$z_2 = 0; w_1 = 0;$$

$$w_2 = w$$

Rôzne problémy

Konštantná výška hladiny
(rovnaký prítok a odtok kvapaliny)

Ideálna tekutina

$$w = \sqrt{2gh}$$

Reálna tekutina

$$w = \alpha \sqrt{2gh}$$

$$\dot{V} = \varepsilon \dot{V}_0 = \varepsilon (w S_0) = \alpha \varepsilon S_0 \sqrt{2gh} = \psi S_0 \sqrt{2gh}$$

Premenlivá výška hladiny
(vyprázdňovanie nádrži)

$$\varepsilon_{dis} = 0$$

$$\frac{w_1^2}{2\alpha_1} + \frac{P_1}{\rho} + gz_1 = \frac{w_2^2}{2\alpha_2} + \frac{P_2}{\rho} + gz_2$$

Výtok kvapaliny z nádrže

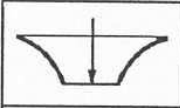
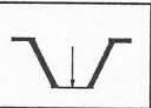
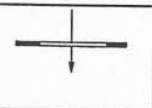
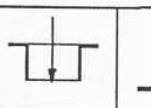
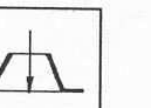
Konštantná výška hladiny h

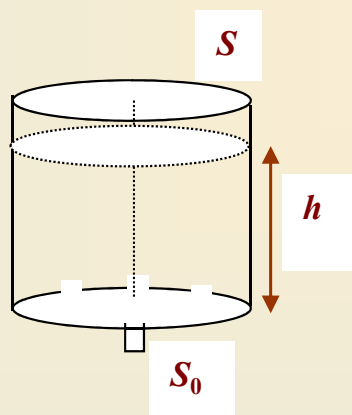
Premenlivá výška hladiny h

$$\dot{V} = \psi S_0 \sqrt{2gh}$$

$$\dot{V} = \frac{dV}{d\tau} = \psi S_0 \sqrt{2gh}$$

$$dV = -S dh$$

č.1	č.2	č.3	č.4	č.5
				
1,0	0,76	0,62	0,62	0,57



$$d\tau = -\frac{1}{\psi S_0 \sqrt{2g}} S h^{-0.5} dh$$

Pre konštantný prierez nádrže S :

$$\tau = -\frac{2S}{\psi S_0 \sqrt{2g}} \left(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2} \right)$$

Pre premenlivý prierez nádrže S

Výtok kvapaliny z nádrže

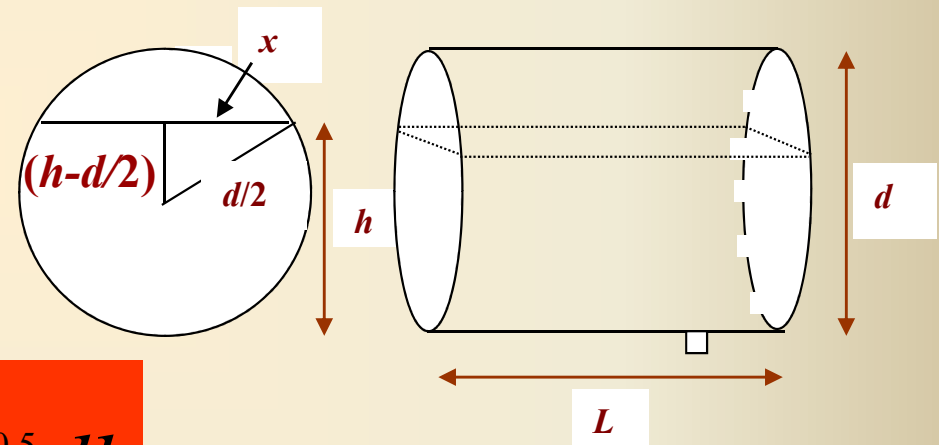
Premenlivá výška hladiny

Pre premenlivý prierez nádrže

$$d\tau = -\frac{1}{\psi S_0 \sqrt{2g}} S h^{-0.5} dh$$

$$S = f(h)$$

$$\rightarrow S = 2xL$$



$$\int_0^\tau d\tau = -\frac{1}{\psi S_0 \sqrt{2g}} \int_{h_1}^0 S(h) h^{-0.5} dh$$