

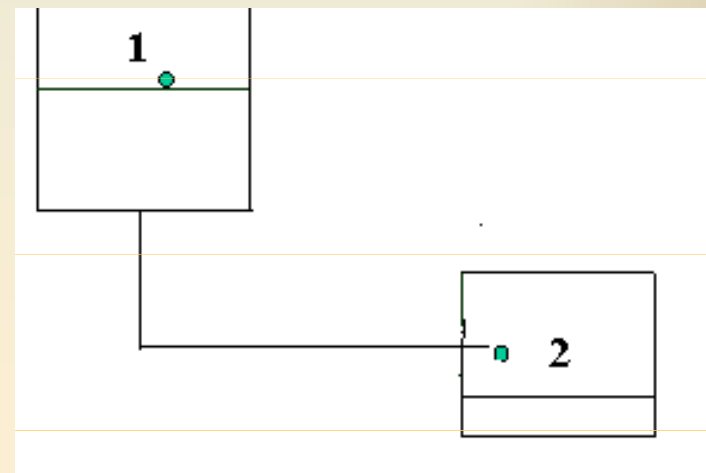
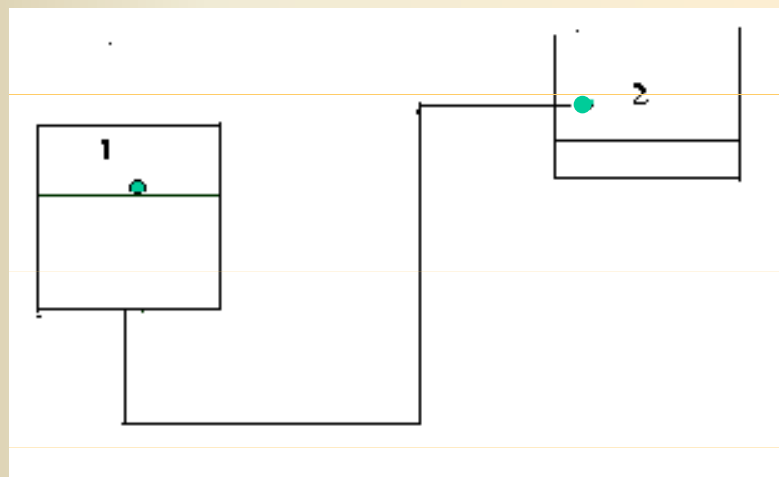
4. prednáška

Doprava kvapalín

Čerpanie kvapalín

Samovoľný tok :

- v dôsledku $z_1 > z_2$ (samospád)
- v dôsledku tlakového rozdielu $P_1 > P_2$



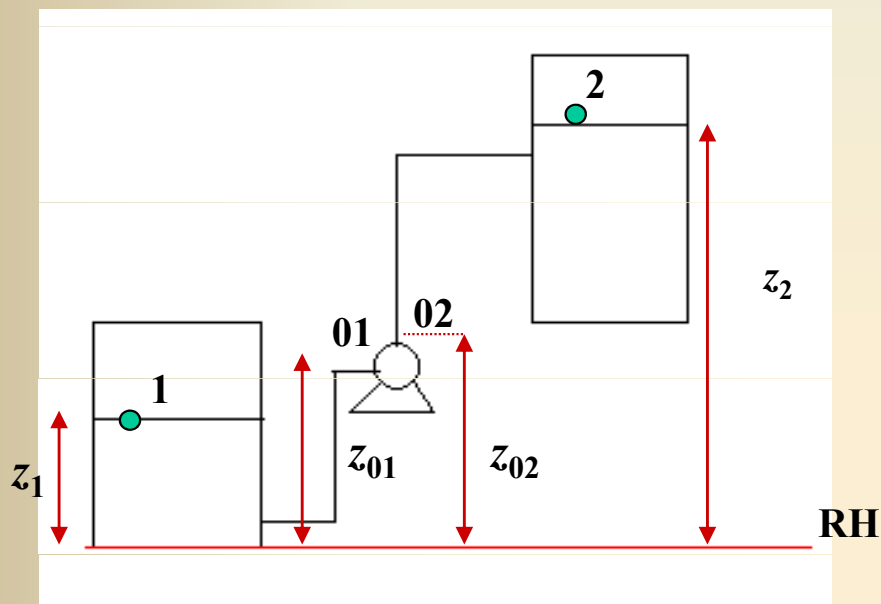
Nútený tok:

- kvapalina netečie
- nedosiahneme požadovaný prietok

Deficit mechanickej energie v potrubnej sieti \Rightarrow potrebné dodať zvonka (napr. zaradiť čerpadlo)

Čerpanie kvapalín

Deficit mechanickej energie v potrubnej sieti \Leftrightarrow zaradenie čerpadla



Bod 1: P_1, w_1, z_1

Bod 01: P_{01}, w_{01}, z_{01}

Bod 02: P_{02}, w_{02}, z_{02}

Bod 2: P_2, w_2, z_2

BR pre úsek 1-2

Energia, ktorú potrubná sieť preberá od čerpadla

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

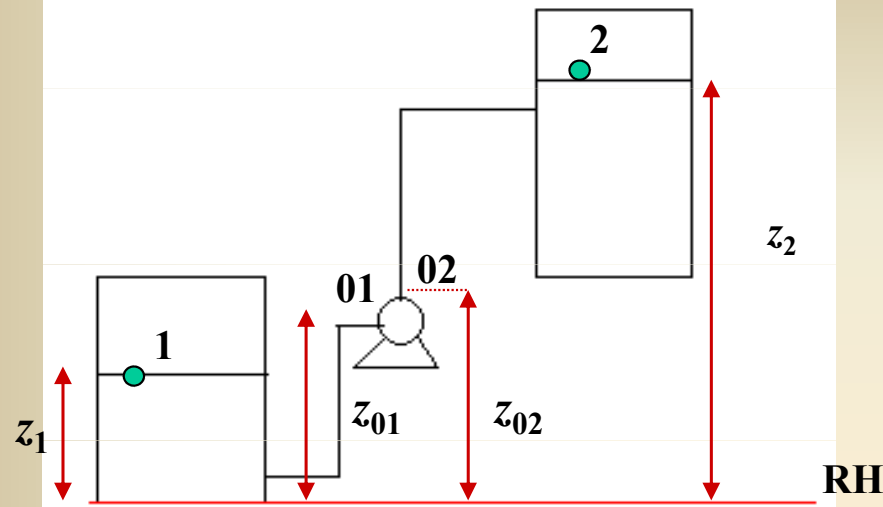
$$(-\varepsilon_w) = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) + \left(\frac{w_2^2}{2\alpha_2} - \frac{w_1^2}{2\alpha_1} \right) + g(z_2 - z_1) + \varepsilon_{dis}$$

Špecifická práca čerpadla

$(-h_w)$ – vo výškovom vyjadrení

$$(-\varepsilon_w) = (\varepsilon_w)_{\check{c}}$$

Čerpanie kvapalín



Potrubná sieť - dve časti:

- nasávacia časť 1-01
- výtlačná časť 02-2

Pre nasávaciu časť

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{w_1^2}{2} + z_1 g = \frac{P_{01}}{\rho} + \frac{w_{01}^2}{2} + z_{01} g + \varepsilon_{dis1-01}$$

$$\leftarrow \lambda_1 \frac{(L + L_{ek})_1}{d_1} \frac{w_{01}^2}{2}$$

Pre výtlačnú časť

$$\frac{P_{02}}{\rho} + \frac{w_{02}^2}{2} + z_{02} g = \frac{P_2}{\rho} + \frac{w_2^2}{2} + z_2 g + \varepsilon_{dis02-2}$$

$$\leftarrow \lambda_2 \frac{(L + L_{ek})_2}{d_2} \frac{w_{02}^2}{2}$$

$$\frac{P_{02} - P_{01}}{\rho} = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) + \left(\frac{w_2^2 - w_1^2}{2} \right) + (z_2 - z_1)g + \varepsilon_{dis1-01} + \varepsilon_{dis02-2} + \left(\frac{w_{01}^2 - w_{02}^2}{2} \right) + (z_{01} - z_{02})g$$

Čerpanie kvapalín

$$\frac{P_{02} - P_{01}}{\rho} = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) + \left(\frac{w_2^2 - w_1^2}{2} \right) + (z_2 - z_1)g + \varepsilon_{dis1-01} + \varepsilon_{dis02-2} + \left(\frac{w_{01}^2 - w_{02}^2}{2} \right) + (z_{01} - z_{02})g$$

$(-\varepsilon_W)$

Ak priemery v sacej a výtlačnej časti sú:

$$d_1 = d_2$$

a

$$z_{01} = z_{02}$$

potom

$$\frac{(P_{02} - P_{01})}{\rho} = (-\varepsilon_W)$$

Z tlakov nameraných v sacej a výtlačnej časti →
→ energiu dodanú čerpadlom do potrubnej siete

Výkon a účinnosť čerpadla

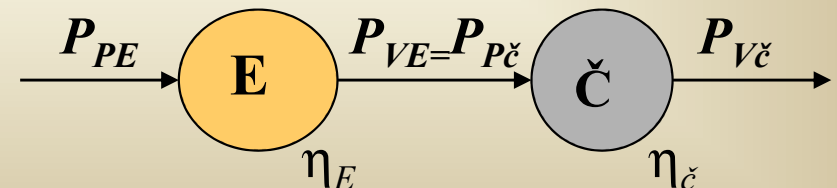
Výkon čerpadla

$$P_V = \dot{m}(-\varepsilon_W) = \dot{V} \rho(-\varepsilon_W) = (-h_W) \dot{V} \rho g$$

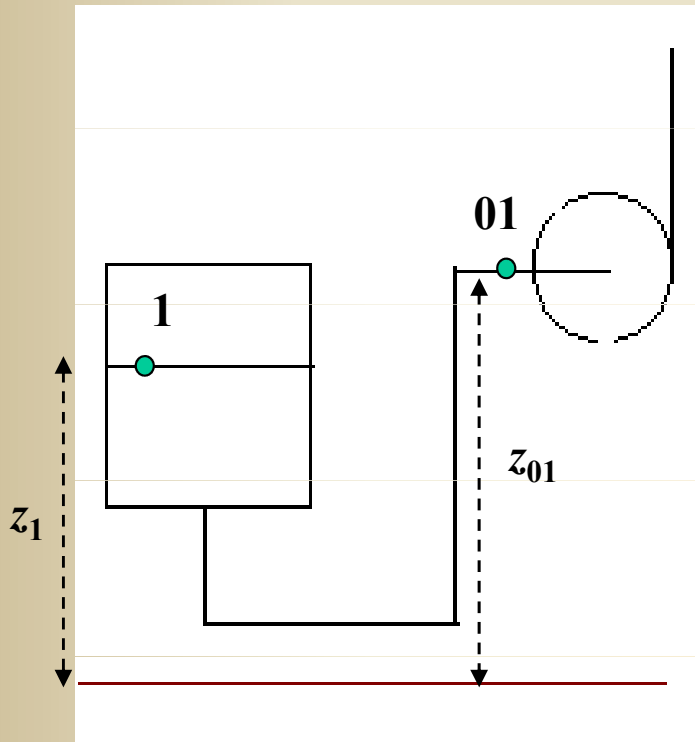
$$P_V = \dot{V}(P_{02} - P_{01})$$

Účinnosť čerpadla

$$\eta = \frac{P_V}{P_P}$$



Umiestnenie čerpadla



Vplyv jednotlivých parametrov ?

$$(z_1, P_1, P_{01}, w_{01}, \epsilon_{dis})$$

Najnižší možný tlak v nasávacej časti ?

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{w_1^2}{2} + z_1 g = \frac{P_{01}}{\rho} + \frac{w_{01}^2}{2} + z_{01} g + \epsilon_{dis1-01}$$

$$P_{01} = P^*$$

Kavitácia a jej dôsledky !

$$(z_{01} - z_1) = \left(\frac{P_1 - P^*}{\rho g} \right) - \frac{w_{01}^2}{2g} - \frac{\epsilon_{dis1-01}}{g}$$

Polohový člen ↑!

Tlakový člen ↑!

Rýchlostný člen ↓!

Disipačný člen ↓!

Umiestnenie čerpadla

???

Rýchlosť v potrubí \downarrow pre zadaný $\dot{V} \Rightarrow$ priemer potrubia v sacej časti $d_s > d_V$

Disipácia $\varepsilon_{\text{dis}} \downarrow$

priemer potrubia $d_s \uparrow$, dĺžka potrubia $L \downarrow \Rightarrow$ disipácia trením \downarrow

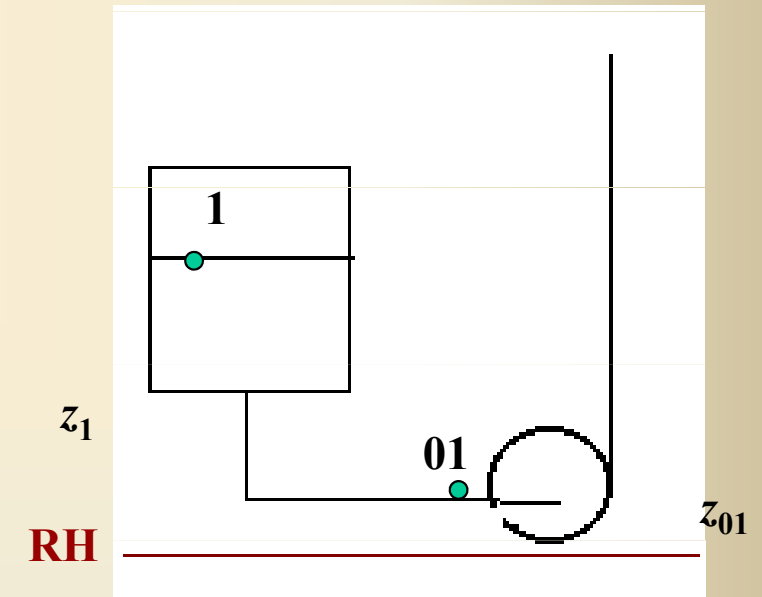
($\sum \zeta$) miestnych odporov \downarrow (!!! ventily...) \Rightarrow miestna disipácia \downarrow

Tlak v nádrži 1 \uparrow -?

Tlak v nasávacej časti 01 $\downarrow \leftrightarrow P_{01} > P^*$

pri teplote T - zabrániť varu kvapaliny

Umiestnenie čerpadla pod úroveň hladiny v nádrži 1



Zatopené čerpadlo

Nátoková výška !!!

Piestové čerpadlá 2,5 m, Odstredivé čerpadlá 3,5 m

Charakteristika potrubia

$$(-\varepsilon_w) = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + (z_2 - z_1)g + \varepsilon_{dis1-2}$$

$$\varepsilon_{dis1-01} = \lambda_1 \frac{(L + L_{ek})_1}{d_1} \frac{w_{01}^2}{2}$$

$$w_{01} = \frac{4\dot{V}}{\pi d_1^2}$$

$$\varepsilon_{dis1-2} = \varepsilon_{dis1-01} + \varepsilon_{dis02-2}$$

$$\varepsilon_{dis02-2} = \lambda_2 \frac{(L + L_{ek})_2}{d_2} \frac{w_{02}^2}{2}$$

$$w_{02} = \frac{4\dot{V}}{\pi d_2^2}$$

Pre $d_1 = d_2$

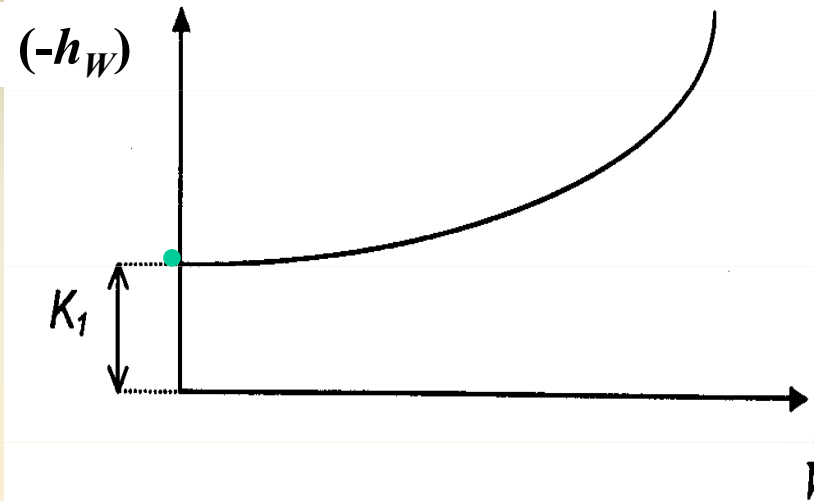
$$(-\varepsilon_w) = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + (z_2 - z_1)g + \lambda \frac{8(L + L_{ek})}{\pi^2 d^5} \dot{V}^2$$

$$(-\varepsilon_w) = k_1 + k_2 \dot{V}^2$$

Charakteristika potrubia

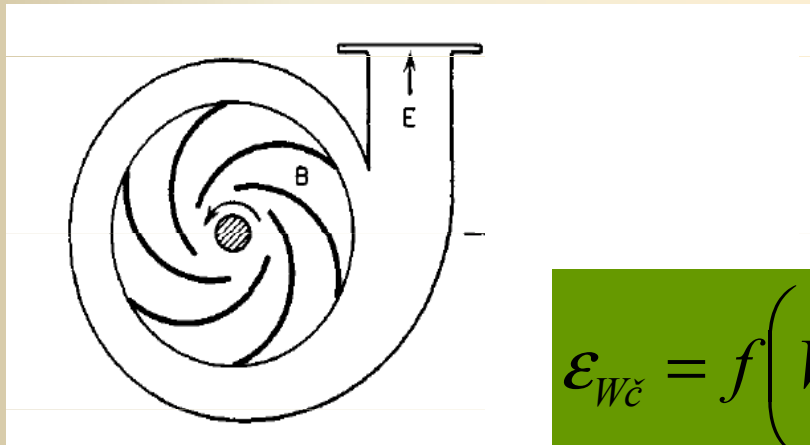
Vo výškovom vyjadrení:

$$(-h_W) = K_1 + K_2 \dot{V}^2$$



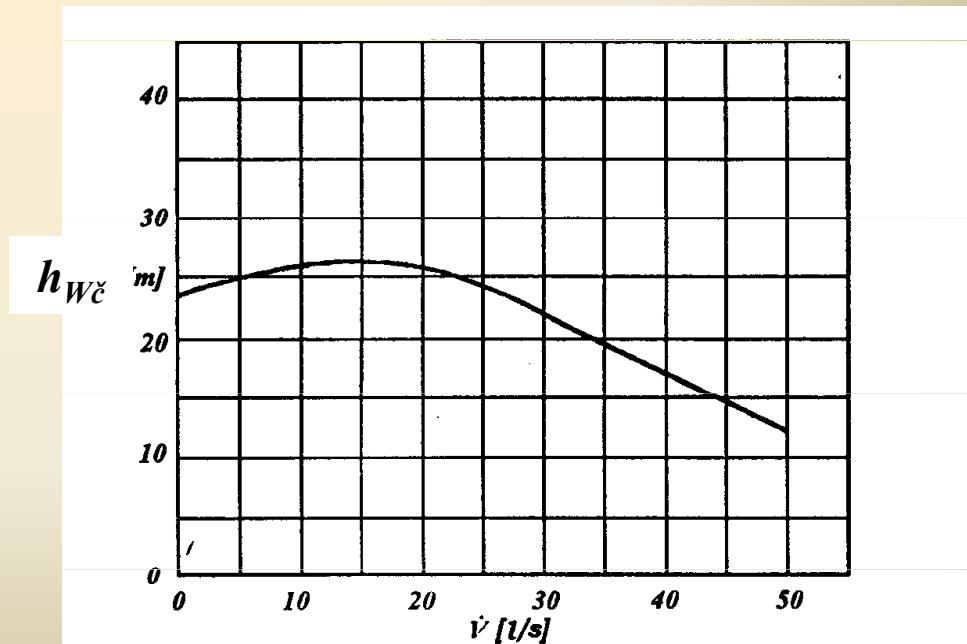
Odstredivé čerpadlo a jeho charakteristiky

\dot{V}



$$\varepsilon_{W\check{c}} = f(\dot{V})$$

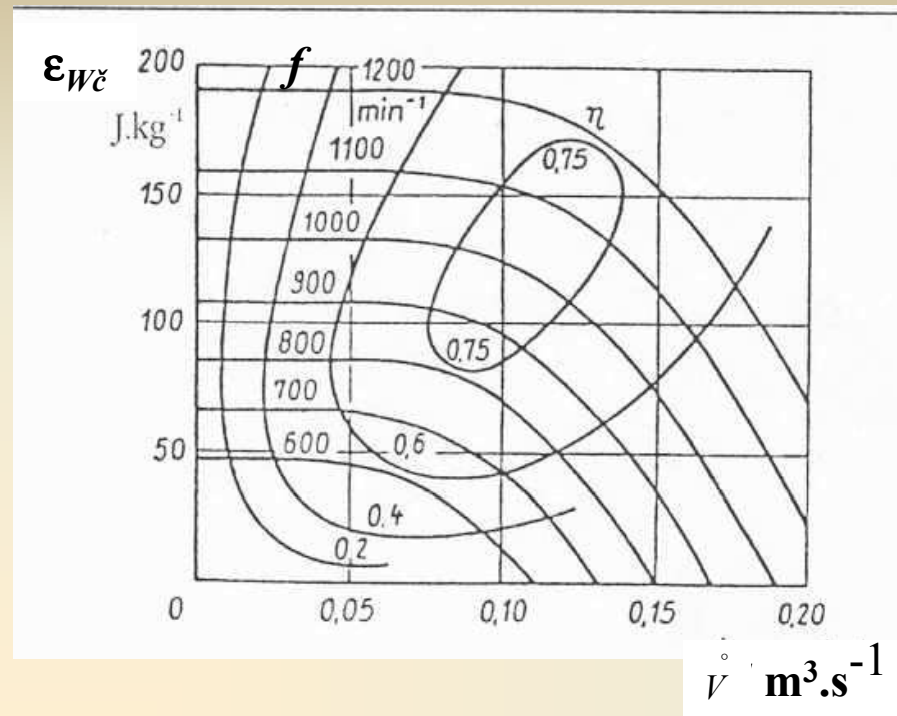
$$h_{W\check{c}} = f(\dot{V})$$



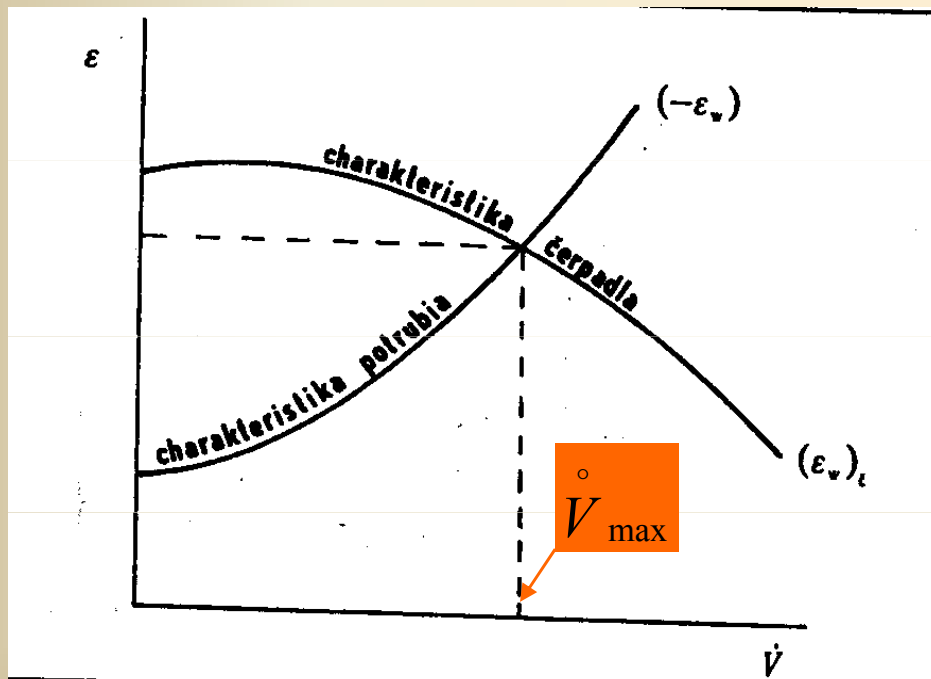
Charakteristiky odstredivého čerpadla

Poznámka:

- Charakteristiky súvisia s konštrukciou
- Zadané sú výrobcom (pre rôzne frekvencie f)
- Ďalšie charakteristiky: $P_{Vč}=f(V)$, $\eta_c=f(V)$...



Charakteristiky potubia a čerpadla



Priesečník charakteristiky čerpadla a potrubia

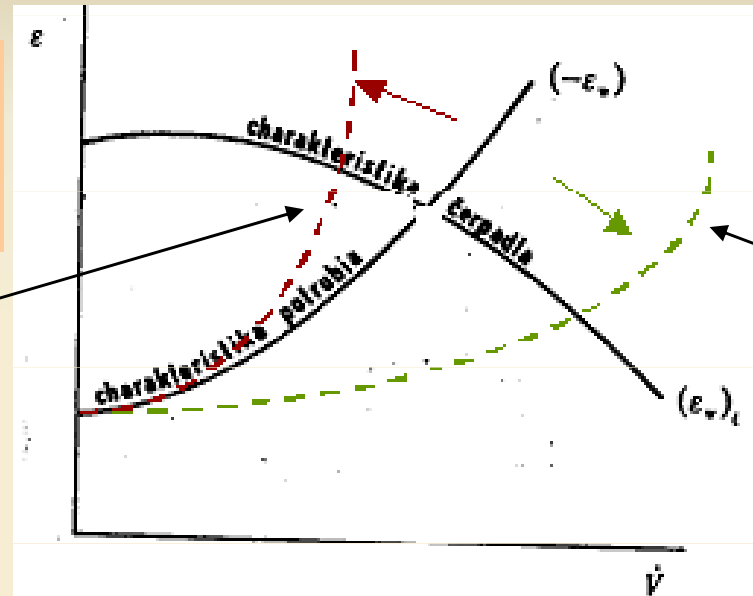


Ak je v potrubnej sieti potrebný **menší prietok** a **väčší prietok**

Praktické použitie charakteristiky čerpadla

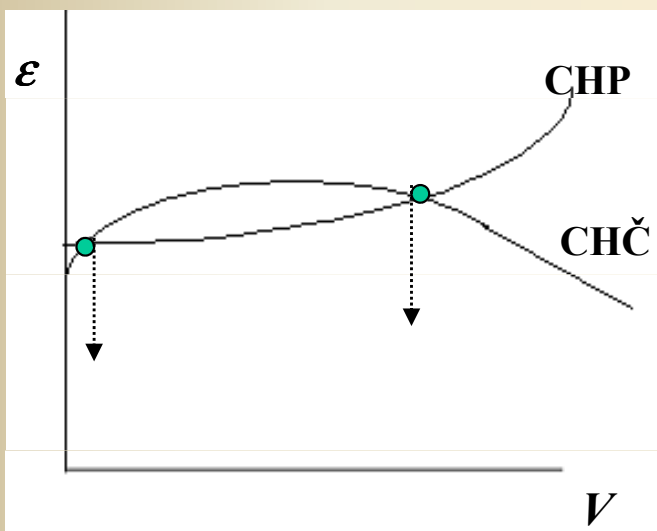
1. Regulácia prietoku na výtlačnej strane čerpadla použitím regulač. ventila

Škrtenie prietoku –
zatváranie **reg. vent.**

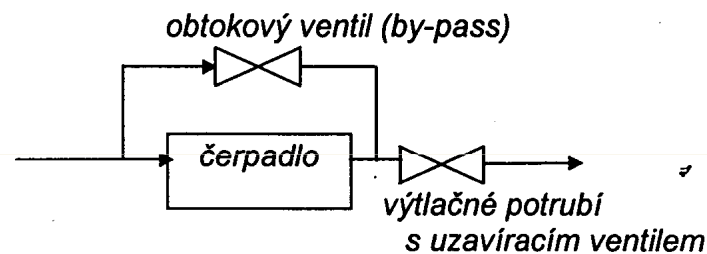


Zvyšovanie prietoku –
otváranie **reg. vent.**

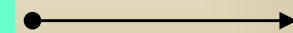
2. Problémy s uvedením čerpadla do chodu



Zapojenie čerpadla s obtokom



Alebo zvýšenie počtu otáčok čerpadla



Praktické použitie charakteristiky čerpadla

3. Regulácia otáčok čerpadla

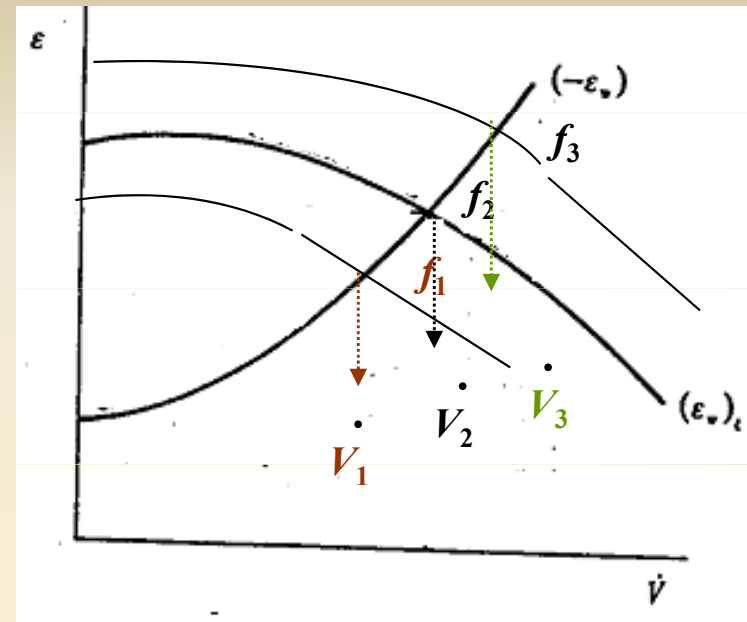
$$f_3 > f_2 > f_1$$

$$\dot{V}_3 > \dot{V}_2 > \dot{V}_1$$

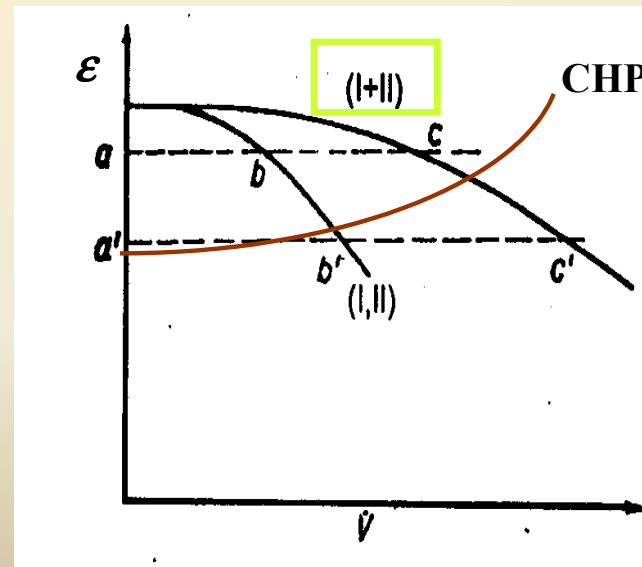
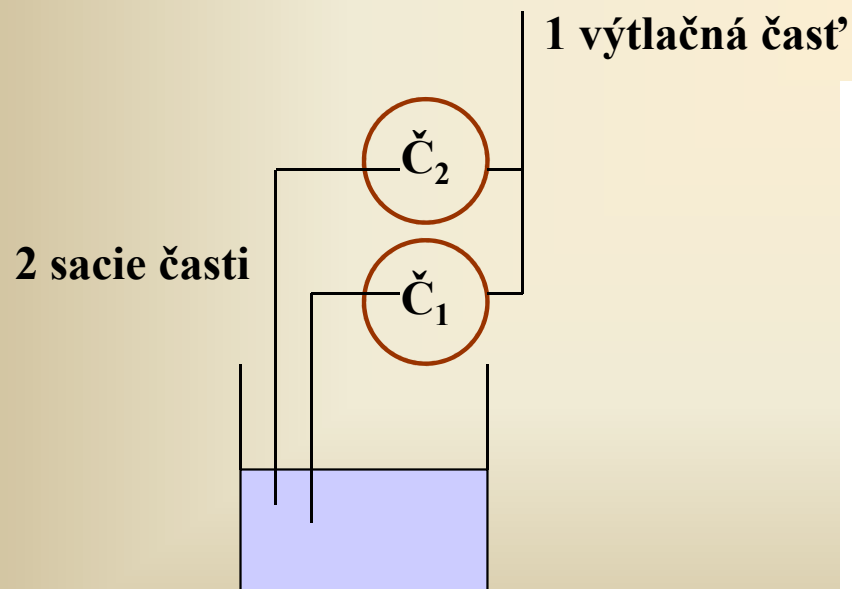
Prepočty: Krivky proporcionality

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{\sqrt{\epsilon_{w1}}}{\sqrt{\epsilon_{w2}}}$$

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

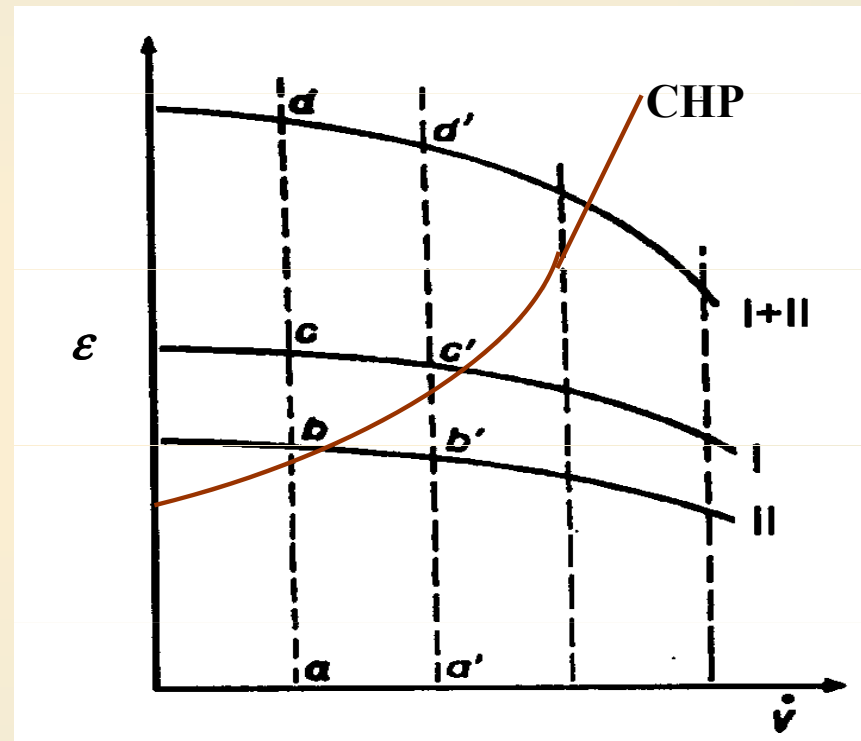
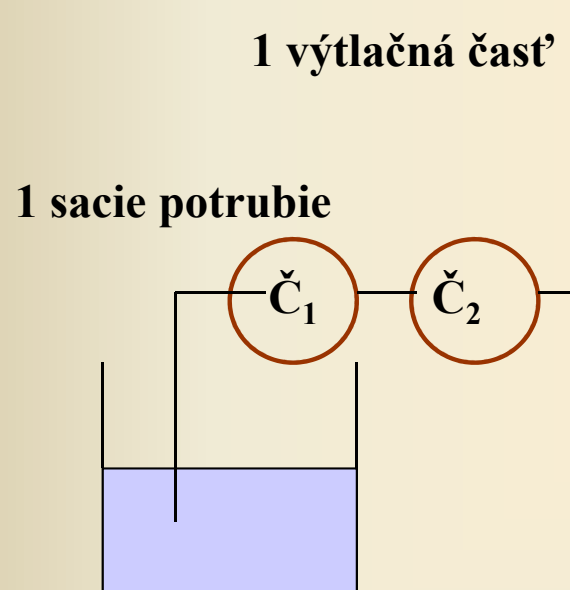


4. Zapojenie dvoch (viac) odstredivých čerpadiel vedľa seba (paralelne)



Praktické použitie charakteristiky čerpadla

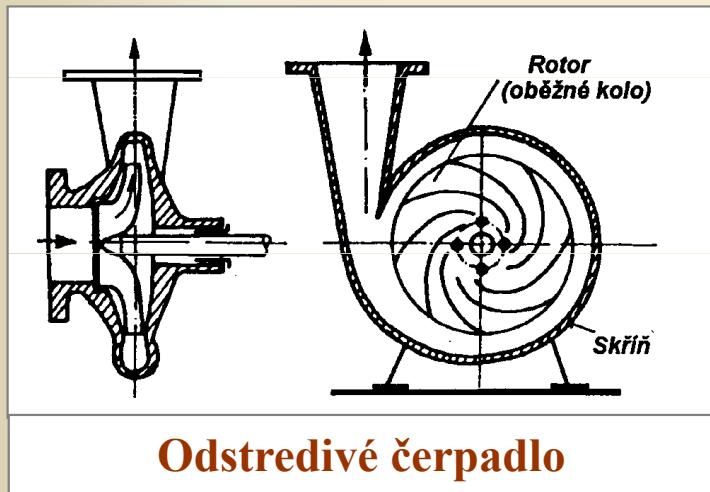
4. Zapojenie dvoch (viac) odstredivých čerpadel za sebou (sériovo)



Hydrodynamické čerpadlá

Nepriama premena mechanickej energie → na hydraulickú energiu

Nízkotlaké čerpadlá (do 1.6 MPa, merná energia do 1000 J/kg)



Odstredivé čerpadlo

- rotačný pohyb kvapaliny v smere dráhy rotácie kanálikov → vysoká kinetická energia kvapaliny (rotor)
- v **v statore** spomalenie kvapaliny → premena kinetickej energie na energiu tlakovú

Výhody odstredivých čerpadiel

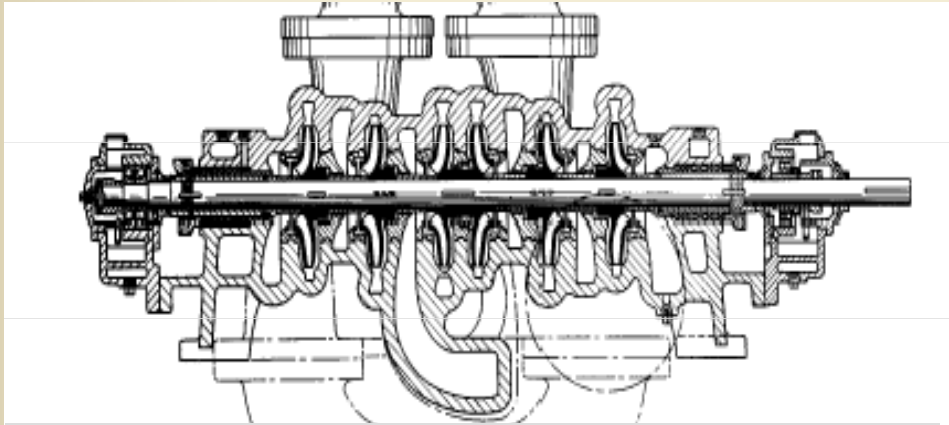
- Jednoduchá konštrukcia
- Na čerpanie rôznych kvapalín, aj suspenzie
- Veľká rýchlosť kvapaliny
- Nepretržitý dej
- Lacná údržba
- Na výtlaku znesie väčšie zaťaženie

Nevýhody odstredivých čerpadiel

- Používa sa pre nie príliš vysoké tlaky – do 1.6 MPa ⇒ **pracovná výška do 60 m**
- Nižšia účinnosť (bežne 60 – 85 %)
- Pred spúšťaním musí byť naplnené...

Hydrodynamické čerpadlá

Strednotlaké čerpadlá (merná energia od 300 J/kg do 3000 J/kg)

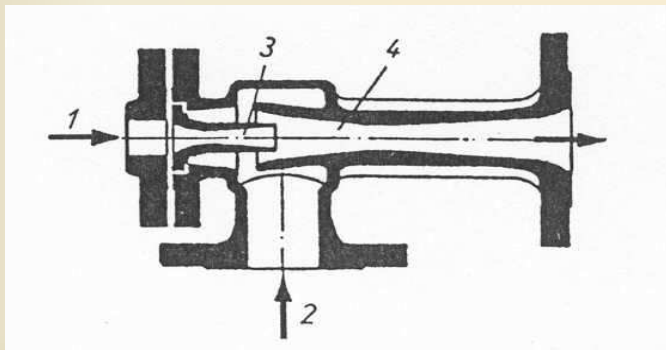


Šesťčlánkové čerpadlo Sigma CVX)

Viacčlánkové čerpadlá:

Článok – systém obežného kolesa s rozvádzačom a lopatkami, ktoré prevádzajú kvapalinu do ďalšieho stupňa (článku)

Vysokotlaké čerpadlá (merná energia od 3000 J/kg)



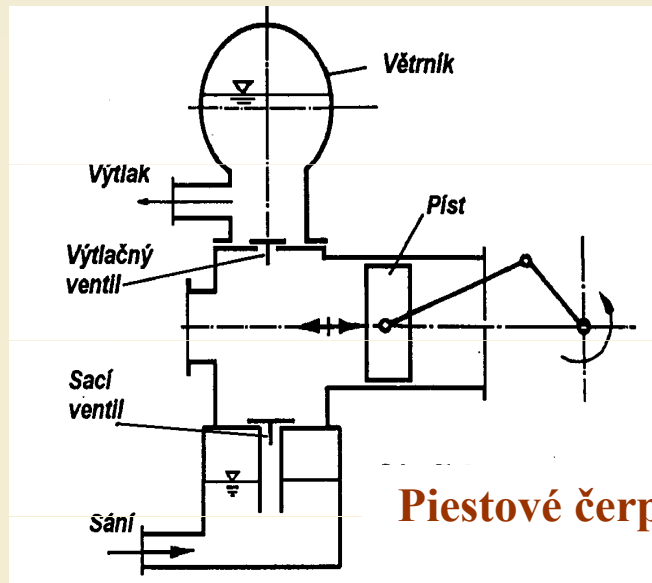
Prúdové čerpadlo

Pomocné médium 1 (para) preteká cez trysku 3 (vzrastie jeho kinetická energia a poklesne tlak v tryske \Rightarrow nasávanej kvapaliny 2 a jej miešanie v difúzore 4

Objemové (hydrostatické) čerpadlá

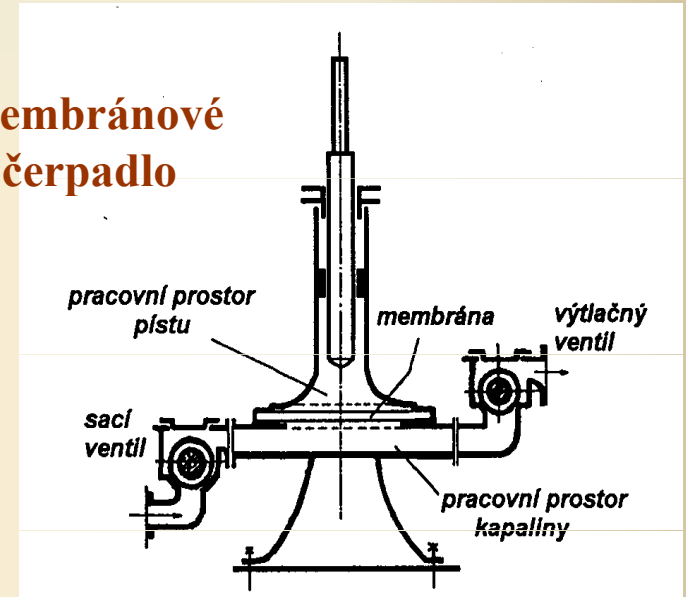
Premena mechanickej energie (tlak na piest) → na hydraulickú energiu
(zvýšenie tlaku kvapaliny – pretláčanie kvapaliny)

Piestové a membránové čerpadlá – cyklický chod !

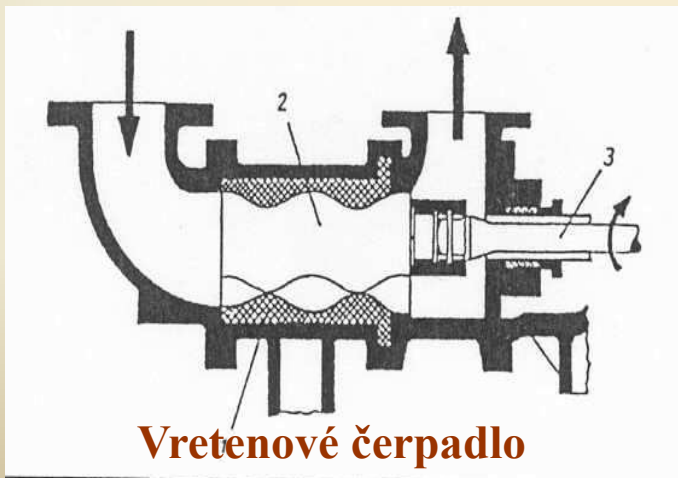


Piestové čerpadlo

Membránové čerpadlo



Rotačné čerpadlá – spojitý dej, piesty rotujú a plynule dodávajú svoju energiu kvapaline



Vretenové čerpadlo



Zubové čerpadlo

