

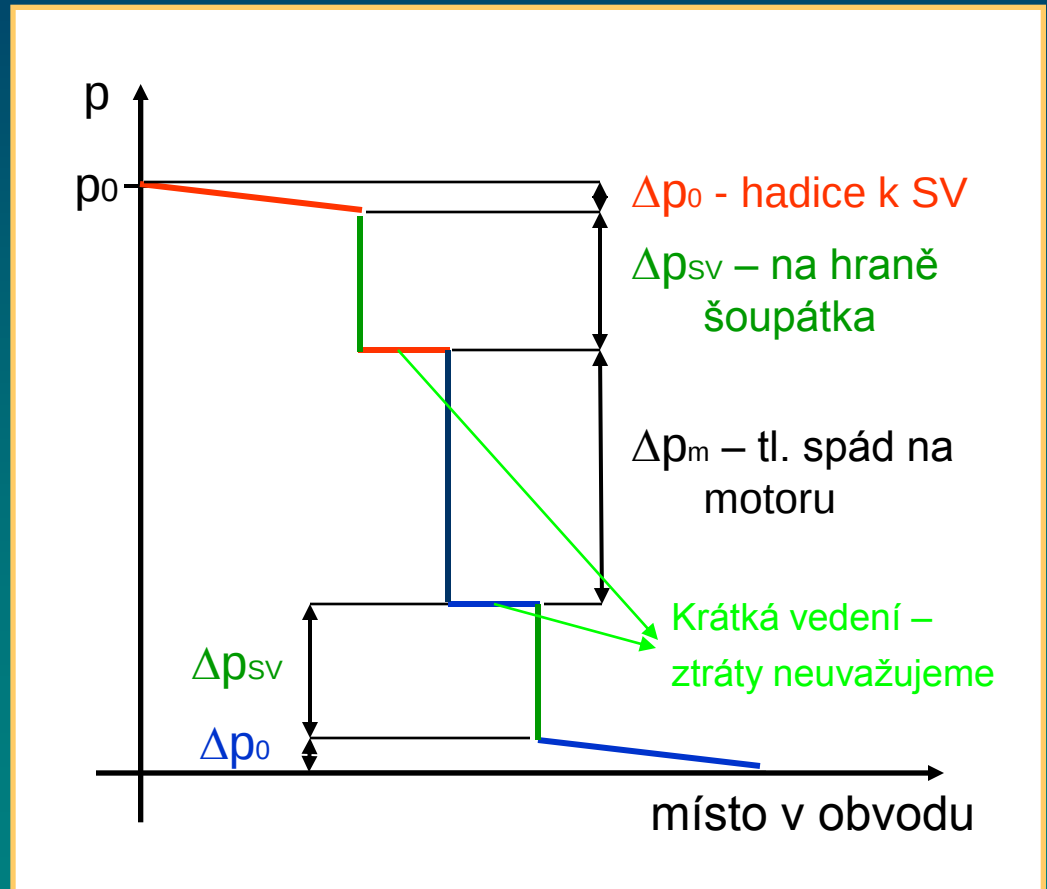
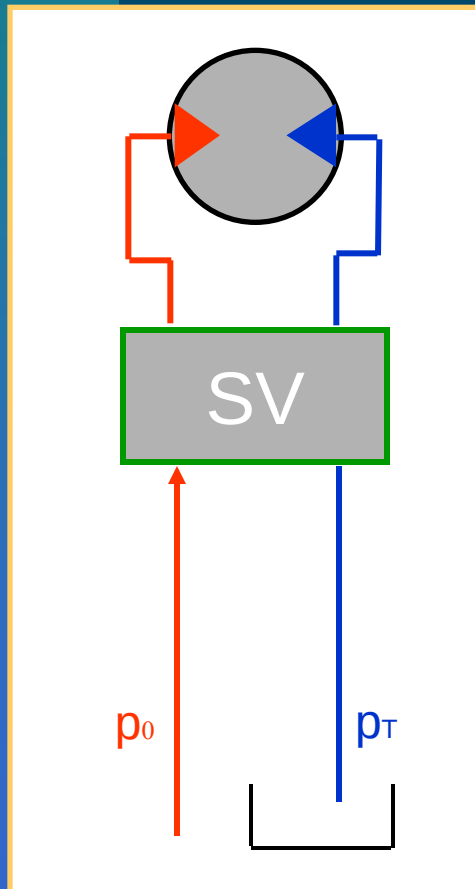
cvičení 5 – pracovní verze

SVM Servomechanismy

Ing. Radomír Mendřický, Ph.D.

NÁVRH HYDRAULICKÉHO SERVOPOHONU

Tlakový spád v hydr. obvodu



Příklad - zadání

- Dáno např.

$$M_{k\max} = 20Nm$$

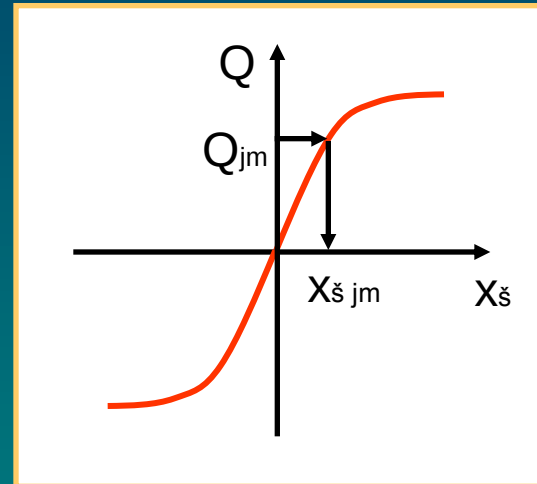
$$n_{\max} = 800\text{ ot} / \text{min}$$

- Cílem je pro daný max. kroutící moment (sílu) a dané maximální otáčky (rychlost) zvolit vhodný motor a servoventil (pracovní tlak, velikost motoru – D_m , velikost SV – Q_{jm})
- Vybíráme motor a SV z dané řady (tabulky). Volíme kombinaci, která vyhoví našemu zadání.

Tabulka motorů a SV (zadáno)

MOTORY			
D _m [cm ³ /ot]	20	30	40
n _{max} [ot/min]	1800	1500	1200
p _{0 max} [MPa]	16		
SV			
Q _{jm} [l/min]	20	40	60
Δp _{svjm} [MPa]	7		

1000 liber / čtverečný palec (1000 PSI)



- Jmenovitý průtok (Q_{jm}) je průtok při jmenovitém otevření šoupátka a jmenovitém tlakovém spádu (Δp_{svjm}).

Příklad - výpočet

- Provedeme počáteční volbu pracovního tlaku (volíme menší než max. pracovní tlak)
- Volba: $p_0 = 10\text{Mpa}$
- Pro prvotní odhad rozdělíme tlakový spád zhruba na polovinu pro motor a pro SV.

$$\Delta p_m = 5\text{Mpa}$$

$$\Delta p_{sv} = 5\text{Mpa}$$

Příklad - výpočet

1. Volba velikosti motoru

$$\boxed{M_k = \Delta p_m \cdot \frac{D_m}{2\pi}} \Rightarrow D_m = \frac{2\pi M_k}{\Delta p_m} = \frac{2\pi \cdot 20}{5 \cdot 10^6} = 25 \text{ cm}^3 / \text{ot}$$

$F = \Delta p_m \cdot A$

- Z tabulky tedy volíme mezi motorem „20“ a „30“
- Volba: $D_m = 20 \text{ cm}^3 / \text{ot}$
- Skutečný tlakový spád na motoru tedy bude:

$$\Rightarrow \Delta p_m = \frac{2\pi M_k}{D_m} = \frac{2\pi \cdot 20}{20 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{6,3 \text{ MPa}}}$$

Příklad - výpočet

2. Průtok motorem při maximálních otáčkách

$$\boxed{Q = n_{\max} \cdot D_m} = \frac{800}{60} \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 2,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} = \underline{16 \text{ l / min}}$$

$$Q = v_{\max} \cdot A$$

Příklad - výpočet

3. Volba velikosti servoventilu

- Na základě velikosti průtoku volíme velikost servoventilu

$$Q = K_{SV} \cdot x_{s\,jm} \cdot \sqrt{p_0 - \Delta p_m}$$

Průtoková rovnice (obecná)

$$: Q_{jm} = K_{SV} \cdot x_{s\,jm} \cdot \sqrt{\Delta p_{SV\,jm}}$$

Průtoková rovnice (pro Q_{jm} a $\Delta p_{SV\,jm}$)

$$\frac{Q}{Q_{jm}} = \sqrt{\frac{\Delta p_{SV}}{\Delta p_{SV\,jm}}} \Rightarrow Q_{jm} = Q \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{SV\,jm}}{\Delta p_{SV}}} = 16 \cdot \sqrt{\frac{7}{3,7}} = \frac{22\,l / \min}{10^{-6,3}}$$

- Volba: $Q_{jm} = 20\,l / \min$

- Pozn.: Můžeme zvolit samozřejmě i větší (40 l/min). Ale 20l/min by mělo stačit, pouze nepatrně naroste Δp_{SV} , resp. pracovní tlak p_0 (máme dostatečnou rezervu).

Příklad - výpočet

4. Výpočet pracovního tlaku

- Skutečný tlakový spád na SV bude:

$$\frac{\Delta p_{SV}}{\Delta p_{SVjm}} = \left(\frac{Q}{Q_{jm}} \right)^2 \Rightarrow \Delta p_{SV} = \Delta p_{SVjm} \cdot \left(\frac{Q}{Q_{jm}} \right)^2 = 7 \cdot \left(\frac{16}{20} \right)^2 = \underline{4,5 \text{ MPa}}$$

- Pracovní tlak (součet všech tlakových spádů);
koef. bezpečnosti 1,2

Běžně počítáme s hodnotou 0,5 MPa

$$p_0 = 1,2 \cdot (\Delta p_m + \Delta p_{SV} + \underbrace{2 \cdot \Delta p_0}_{\text{Běžně počítáme s hodnotou 0,5 MPa}}) = 1,2 \cdot (6,3 + 4,5 + 0,5) = \underline{13,6 \text{ MPa}}$$

- Volíme pracovní tlak **14 MPa**

Příklad - shrnutí

MOTORY			
D_m [cm ³ /ot]	20	30	40
n_{max} [ot/min]	1800	1500	1200
$p_{0\ max}$ [MPa]	16		
SV			
Q_{jm} [l/min]	20	40	60
Δp_{svjm} [MPa]	7		

- Motor: Vypočteno – volba: $D_m = 20 \text{ cm}^3 / \text{ot}$
Zadáno: $n_{max} = 800 \text{ ot} / \text{min}$ Vyhovuje
- SV: Vypočteno – volba: $Q_{jm} = 20 \text{ l} / \text{min}$
- Volíme pracovní tlak **14 MPa** Vyhovuje

Co když to nevyjde

- Např. tlak vyjde 17 MPa

V takovém případě můžeme zvolit např. větší velikost motoru ($\uparrow D_m$)

➔ $\downarrow \Delta p_m$, ale díky $\uparrow D_m$ dojde k $\uparrow Q$ a tedy k $\uparrow \Delta p_{sv}$ (s kvadrátem!)

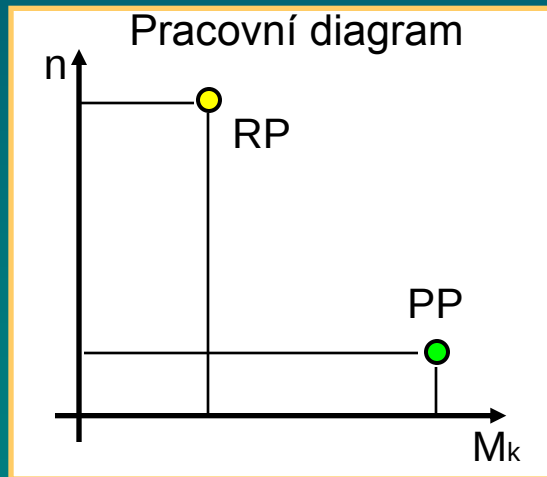
LÉPE je tedy zvolit větší SV

➔ $\downarrow \Delta p_{sv}$, neovlivní motor

Příklad 2 - zadání

- Dány dva pracovní body

- Dáno: Rychloposuv (RP) $M_{kRP} = 20Nm$ $n_{RP} = 800ot/min$
Pracovní posuv (PP) $M_{kPP} = 50Nm$ $n_{PP} = 100ot/min$



Pozn.:

Malý M_k a velké n ; nebo velký M_k a malé n = podobný výkon!

- Použijeme stejnou tabulku motorů a SV

Příklad 2 - výpočet

PP: $M_{kPP} = 50 Nm$ $n_{PP} = 100 ot / min$

■ Volba: $D_m = 20 cm^3 / ot$

bod PP

■ Skutečný tlakový spád na motoru:

$$\Delta p_{mPP} = \frac{2\pi M_{kPP}}{D_m} = \frac{2\pi \cdot 50}{20 \cdot 10^{-6}} = \underline{15,7 MPa}$$

Nevyhovuje – vysoký tlak



Zvětšíme motor !

■ Volba: $D_m = 40 cm^3 / ot$

$$\Delta p_{mPP} = \frac{2\pi M_{kPP}}{D_m} = \frac{2\pi \cdot 50}{40 \cdot 10^{-6}} = \underline{7,9 MPa}$$

Příklad 2- výpočet

$$PP: \quad M_{kPP} = 50Nm \quad n_{PP} = 100 \text{ ot} / \text{min}$$

bod PP

- Průtok motorem při daných otáčkách:

$$Q_{PP} = n_{PP} \cdot D_m = \frac{100}{60} \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 6,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s} = \underline{4 \text{ l} / \text{min}}$$

- Skutečný tlakový spád na SV:

$$\Delta p_{SV \ PP} = \Delta p_{SVjm} \cdot \left(\frac{Q_{PP}}{Q_{jm}} \right)^2 = 7 \cdot \left(\frac{4}{20} \right)^2 = \underline{0,3 \text{ MPa}}$$

- Pracovní tlak:

$$\begin{aligned} p_{0PP} &= 1,2 \cdot (\Delta p_{mPP} + \Delta p_{SV \ PP} + 2 \cdot \Delta p_0) \\ &= 1,2 \cdot (7,9 + 0,3 + 0,5) = \underline{10,4 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

- V pracovním bodě PP - VYHOVUJE

Příklad 2 - výpočet

$$RP: \quad M_{kRP} = 20 Nm \quad n_{RP} = 800 \text{ ot} / \text{min}$$

- Změnili jsme velikost motoru (D_m) - musíme znovu přepočítat pracovní bod RP

bod RP

- Skutečný tlakový spád na motoru:

$$\Delta p_{mRP} = \frac{2\pi M_{kRP}}{D_m} = \frac{2\pi \cdot 20}{40 \cdot 10^{-6}} = \underline{3,1 MPa}$$

- Průtok motorem při daných otáčkách:

$$Q_{RP} = n_{RP} \cdot D_m = \frac{800}{60} \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 5,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} = \underline{32 \text{ l} / \text{min}}$$

- Skutečný tlakový spád na SV:

$$\Delta p_{SV RP} = \Delta p_{SVjm} \cdot \left(\frac{Q_{RP}}{Q_{jm}} \right)^2 = 7 \cdot \left(\frac{32}{20} \right)^2 = \underline{17,9 MPa}$$

Nevyhovuje
→
Zvětšíme SV !

Příklad 2 - výpočet

$$RP: \quad M_{kRP} = 20 Nm \quad n_{RP} = 800 \text{ ot} / \text{min}$$

bod RP

- Volba: $Q_{jm} = 40 \text{ l} / \text{min}$

- Skutečný tlakový spád na SV:

$$\Delta p_{SV RP} = \Delta p_{SV jm} \cdot \left(\frac{Q_{RP}}{Q_{jm}} \right)^2 = 7 \cdot \left(\frac{32}{40} \right)^2 = \underline{4,5 MPa}$$

- Pracovní tlak:

$$\begin{aligned} p_{0RP} &= 1,2 \cdot (\Delta p_{mRP} + \Delta p_{SV RP} + 2 \cdot \Delta p_0) \\ &= 1,2 \cdot (3,1 + 4,5 + 0,5) = \underline{9,7 MPa} \end{aligned}$$

Příklad 2- výpočet

$$PP: \quad M_{kPP} = 50 Nm \quad n_{PP} = 100 \text{ ot} / \text{min}$$

bod PP

- Změnili jsme velikost SV (Q_{jm}) – správně bychom měli znovu přepočítat tlakový spád na SV v bodě PP. Nicméně zde malý tl. spád 0,3 MPa ještě klesne – zanedbatelný vliv)
- Skutečný tlakový spád na SV:

$$\Delta p_{SV PP} = \Delta p_{SV jm} \cdot \left(\frac{Q_{PP}}{Q_{jm}} \right)^2 = 7 \cdot \left(\frac{4}{40} \right)^2 = \underline{0,1 MPa}$$

- Pracovní tlak:

$$\begin{aligned} p_{0PP} &= 1,2 \cdot (\Delta p_{mPP} + \Delta p_{SV PP} + 2 \cdot \Delta p_0) \\ &= 1,2 \cdot (7,9 + 0,1 + 0,5) = \underline{10,2 MPa} \end{aligned}$$

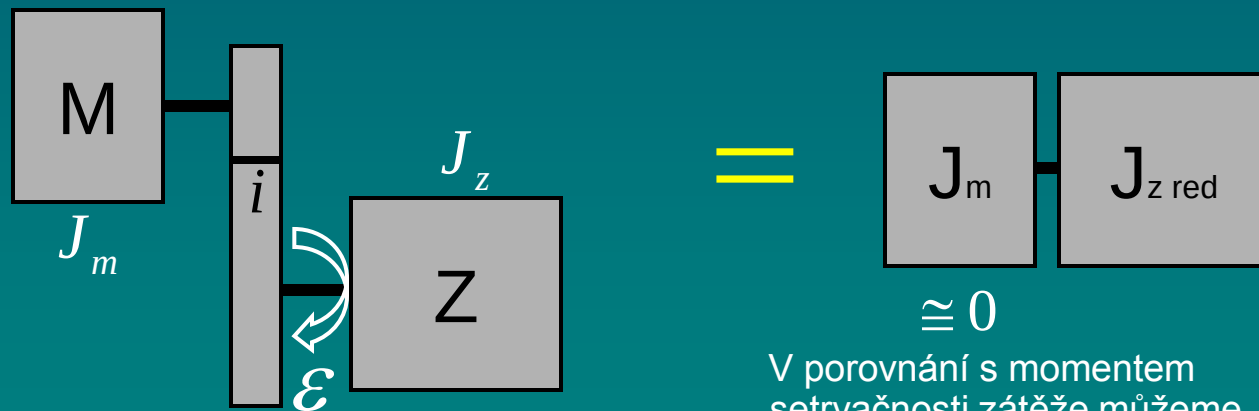
Příklad 2 - shrnutí

MOTORY			
D _m [cm ³ /ot]	20	30	40
n _{max} [ot/min]	1800	1500	1200
p _{0 max} [MPa]	16		
	SV		
Q _{jm} [l/min]	20	40	60
Δp _{svjm} [MPa]	7		

- Motor: Vypočteno – volba: $D_m = 40 \text{ cm}^3 / \text{ot}$
Zadáno: $n_{\max} = 800 \text{ ot} / \text{min}$ Vyhovuje
- SV: Vypočteno – volba: $Q_{jm} = 40 \text{ l} / \text{min}$
- Volíme pracovní tlak **11 MPa** (volíme vyšší z PP a RP)

Mechanika (opakování)

- Do výpočtu je nutné zahrnout všechny příslušné (zadané) zatěžující momenty (pracovní moment, třecí moment, dynamický moment) přepočítané na hřídel motoru!
- Pokud máme mezi motorem a zátěží vložený převod, nezapomeneme přepočítat zadané otáčky na motor.



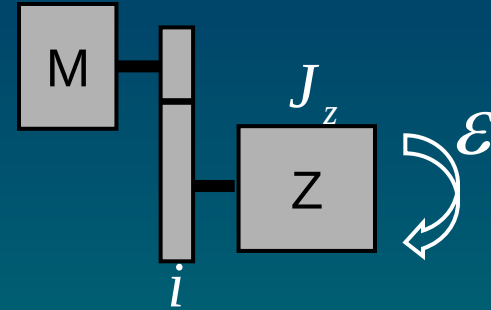
V porovnání s momentem setrvačnosti zátěže můžeme moment setrvačnosti motoru zanedbat

Mechanika (opakování)

$$J_z = 0,05 \text{ kg.m}^2$$

$$i = 1/2$$

$$\varepsilon \geq 100 \text{ rad/s}^2$$



- Redukovaný moment zátěže

$$J_{zred} = J_z \cdot i^2 = \frac{0,05}{2^2} = 0,0125 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- Zrychlení na motoru

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_z}{i} = \frac{100}{0,5} = 200 \text{ rad} / \text{s}^2$$

- Dynamický moment na motoru

$$M_{dyn} = J_{zred} \cdot \varepsilon_m = 0,0125 \cdot 200 = \underline{2,5 \text{ Nm}}$$

- Na zrychlení $\varepsilon \geq 100 \text{ rad/s}^2$ potřebuji moment minimálně 2,5 Nm
- Při návrhu tento moment přičteme k zátěžnému momentu!