

cvičení 3 – pracovní verze

SVM Servomechanismy

Ing. Radomír Mendřický, Ph.D.

DYNAMIKA

- Tuhost hydraulického válce
- Tuhost rotačního hydromotoru
- Dynamický model

Tuhost hydromotoru

- Při výpočtu tuhostí hydromotorů většinou zanedbáváme deformace ocelových částí
- Uvažujeme pouze STLAČITELNOST oleje, neboť modul objemové pružnosti kapaliny (oleje)

$$K = V \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

je více než o dva řády menší než u oceli

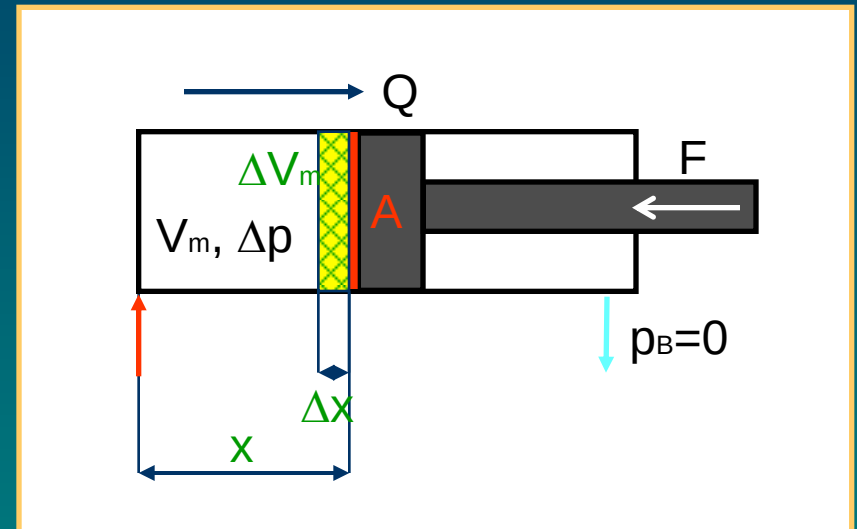
- Podle obsahu rozpuštěného vzduchu se pohybuje v rozmezí

$$K = 0,8 \cdot 10^9 \text{ až } 1,7 \cdot 10^9 \quad \left[N \cdot m^{-2} \right]$$

Tuhost hydromotoru

- Jednostranný přímočarý hydromotor (řízen nesymetricky)

$$\Delta p = \frac{F}{A} = K \cdot \frac{\Delta V_m}{V_m} \quad \begin{aligned} V_m &= A \cdot x \\ \Delta V_m &= A \cdot \Delta x \end{aligned}$$
$$k = \frac{F}{\Delta x} = \frac{\Delta p \cdot A^2}{\Delta V_m} = \frac{\Delta p \cdot A^2 \cdot K}{\Delta p \cdot V_m}$$



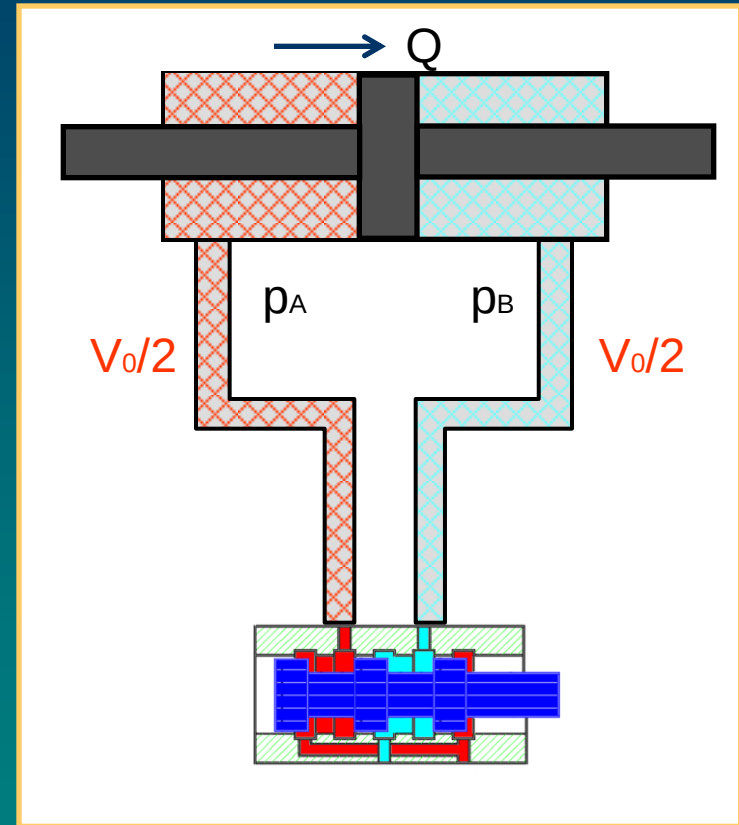
$$k = \frac{K \cdot A^2}{V_m} = \frac{K \cdot A}{x}$$

Tuhost hydraulického válce
(nesymetrické řízení)

Pozn.: Dlouhé tenké válce mají MALOU tuhost

Tuhost hydromotoru

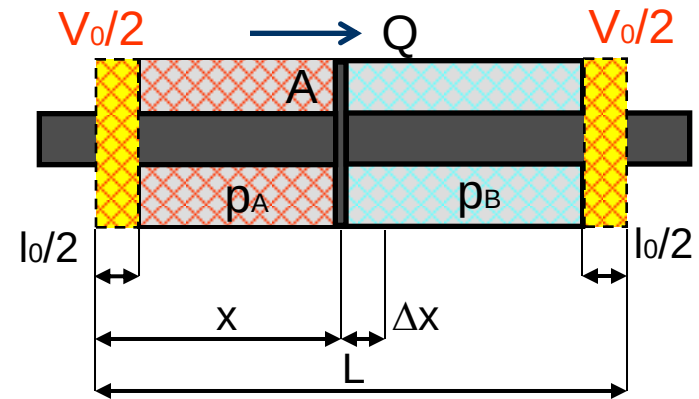
- Dochází také ke stlačení kapaliny v přívodech (vývrtech, potrubí) mezi servoventilem a hydromotorem
- Tento objem kapaliny v přívodu V_0 je nutno také započítat



Tuhost hydromotoru

- Je vhodné vztáhnout tento „mrtvý“ objem na činnou plochu pístu a do výpočtu zavést fiktivní délku $l_0 = V_0/A$ o kterou zvětšíme počáteční odlehlost
- Počítáme tedy s ekvivalentní délkou válce
 $L = l + l_0$

$$\Delta p = p_A - p_B \quad \frac{l_0}{2} = \frac{V_0/2}{A}$$



Tuhost hydromotoru

- Přímočarý hydromotor (řízen symetricky)
- Můžeme určit tuhost jednotlivých poloprostorů a výsledná tuhost motoru bude dána součtem těchto dílčích tuhostí (paralelní řazení pružin)

Tuhost levé části

$$k_1 = \frac{K \cdot A}{x}$$

Tuhost pravé části

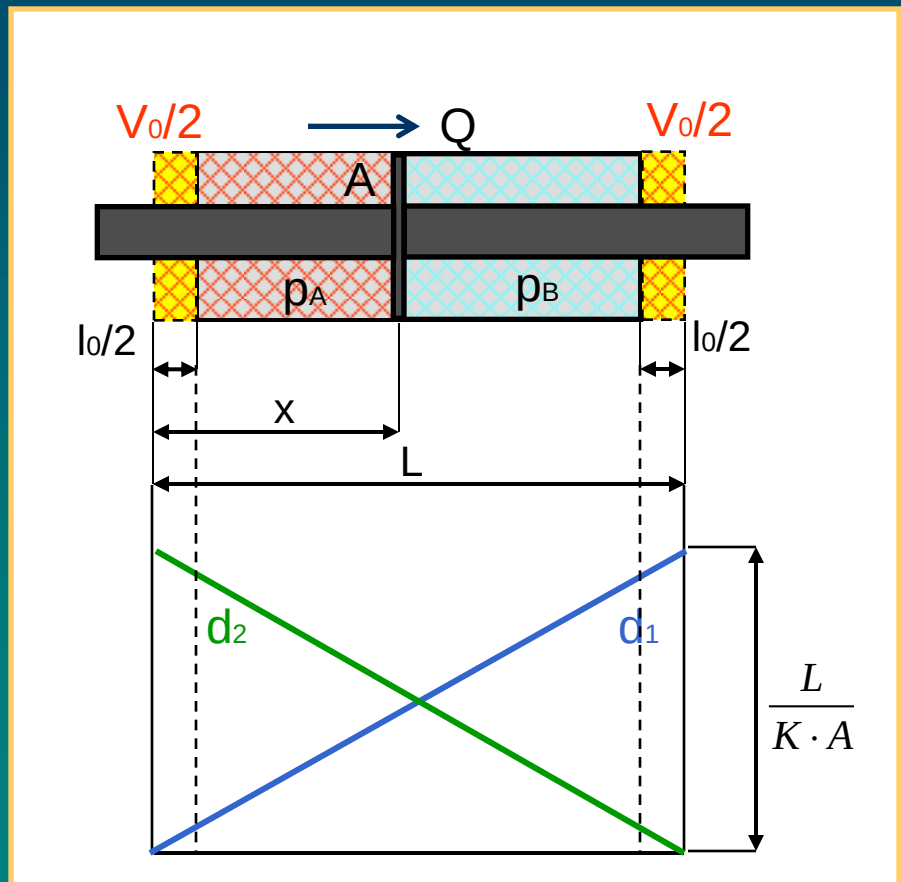
$$k_2 = \frac{K \cdot A}{L - x}$$

Poddajnost levé č.

$$d_1 = \frac{x}{K \cdot A}$$

Poddajnost pravé č.

$$d_2 = \frac{L - x}{K \cdot A}$$



Tuhost hydromotoru

■ Přímočarý hydromotor (řízen symetricky)

■ Paralelní řazení tuhostí:

Celková tuhost $k_c = k_1 + k_2$

$$k_c = \frac{K \cdot A}{x} + \frac{K \cdot A}{L-x} = \frac{K \cdot A \cdot (L-x+x)}{x \cdot (L-x)}$$

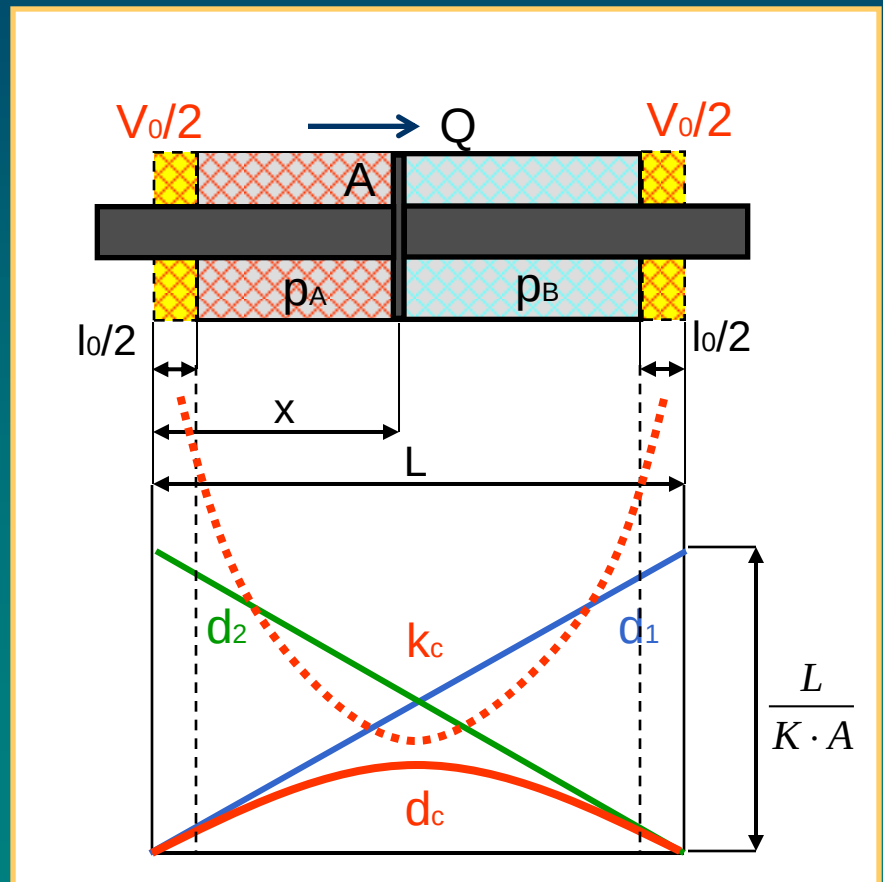
Celková tuhost

Celková poddajnost

$$k_c = \frac{K \cdot A \cdot L}{x \cdot (L-x)}$$

$$d_c = \frac{x \cdot (L-x)}{K \cdot A \cdot L}$$

Pozn.: Tuhost (poddajnost) u přímočarého HM závisí na poloze pístu x !!!



Tuhost hydromotoru

- Přímočarý hydromotor (řízen symetricky)
- Význačné body (max, min):

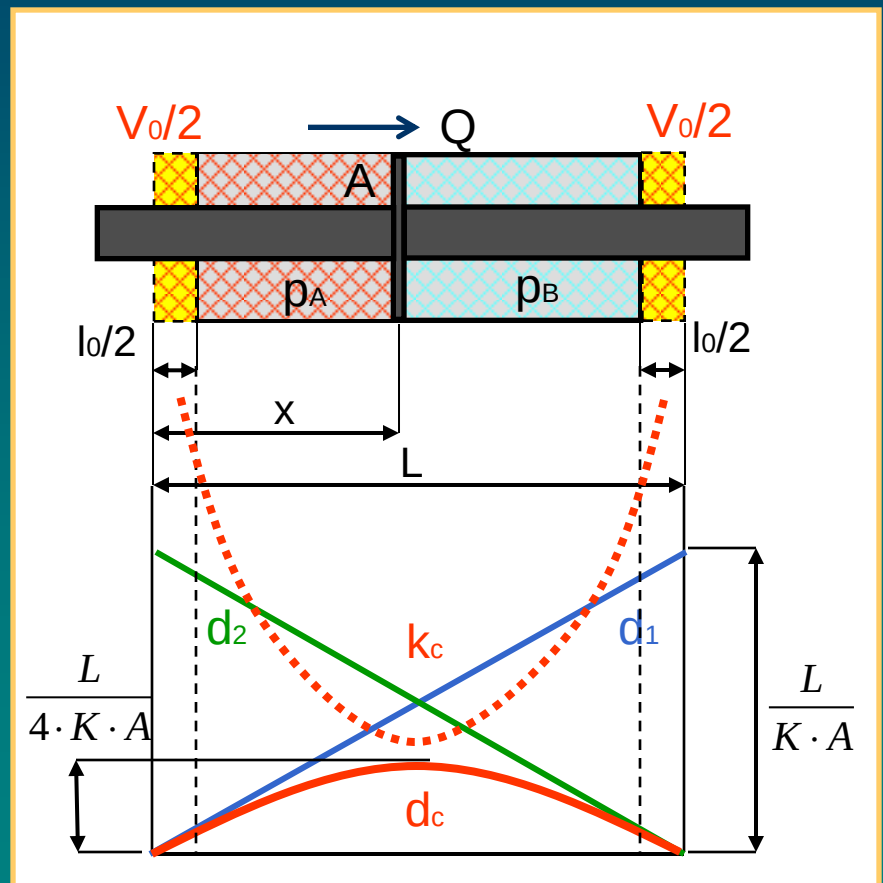
$$d_c(x=0) = 0 \quad d_c(x=L) = 0$$

$$d_c(x=L/2)_{MAX} = \frac{\frac{L}{2} \cdot \left(L - \frac{L}{2}\right)}{K \cdot A \cdot L} = \frac{L}{4 \cdot K \cdot A}$$

- Vlastní frekvence (hmoty na pružině)

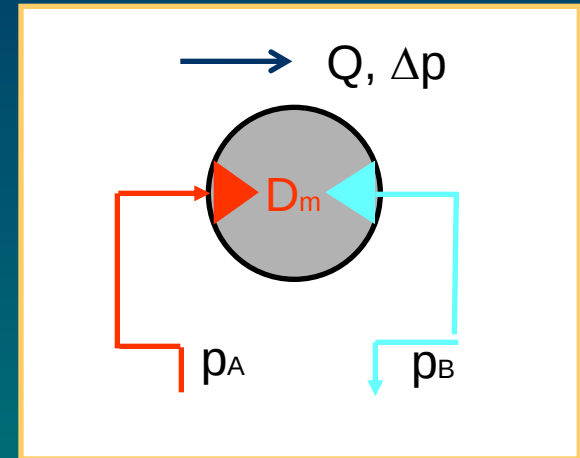
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_c}{m}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{d_c \cdot m}}$$

Pozn.: Tuhost v $x=0=L$ je nekonečná,
ale skutečná hranice v $l_0/2$



Tuhost hydromotoru

- Rotační hydromotor
- Rotační HM je geometricky symetrický a jeho pracovní „poloprostory“, vstupní a výstupní jsou stejné a v součtu rovny geometrickému objemu D_m



Tuhost hydromotoru

- Rotační hydromotor
- Dílčí tuhost

$$M_k = \Delta p \cdot A \cdot R$$

$$\Delta p = p_A - p_B = K \cdot \frac{\Delta V}{V} \Rightarrow \Delta V = \Delta p \cdot \frac{V}{K}$$

$$\Delta V = \Delta \varphi \cdot R \cdot A \Rightarrow \Delta \varphi = \frac{\Delta V}{R \cdot A}$$

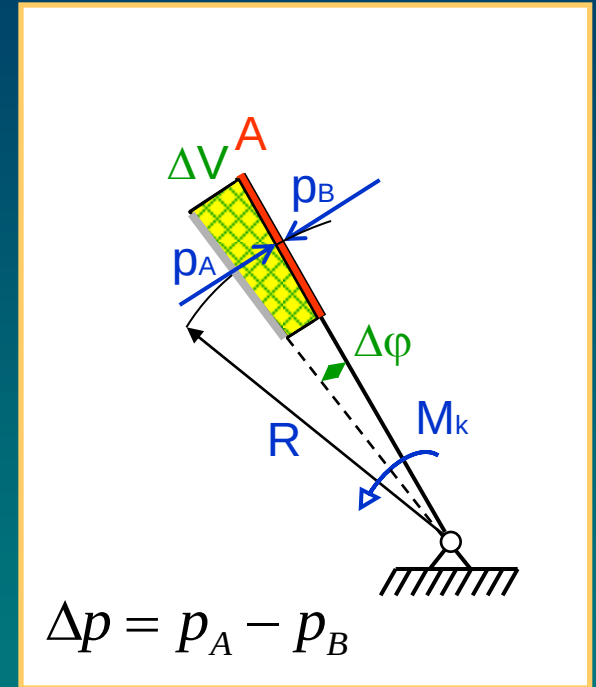
$$\kappa_1 = \frac{M_k}{\Delta \varphi} = \frac{\Delta p \cdot (A \cdot R)^2}{\Delta V} = \frac{\Delta p \cdot (A \cdot R)^2 \cdot K}{\Delta p \cdot V}$$

$$\kappa_c = \left(\frac{D_m}{2\pi} \right)^2 \frac{K}{V}$$

Dílčí tuhost rotačního
hydromotoru

$$D_m = 2\pi \cdot R \cdot A \Rightarrow$$

$$R \cdot A = \frac{D_m}{2\pi}$$



Pozn.: Porovnej s tuhostí válce ...

Tuhost hydromotoru

- Rotační hydromotor
- Paralelní řazení tuhostí:

Celková tuhost $\kappa_c = \kappa_1 + \kappa_2$

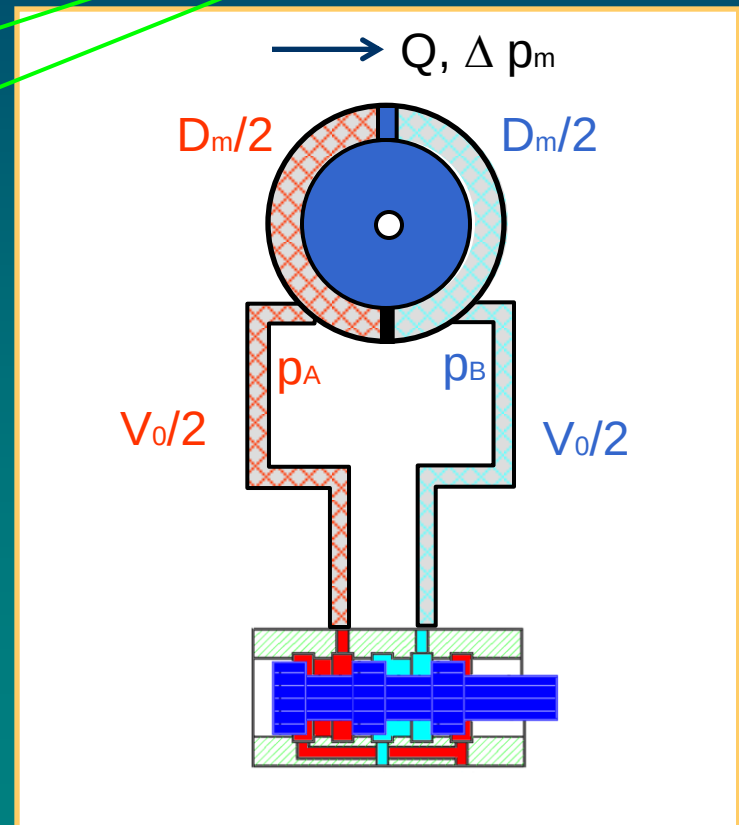
$$\kappa_c = \frac{K}{V_1} \cdot \left(\frac{D_m}{2\pi} \right)^2 + \frac{K}{V_2} \cdot \left(\frac{D_m}{2\pi} \right)^2 =$$

$$= \left(\frac{D_m}{2\pi} \right)^2 \frac{2K}{\frac{1}{2}(D_m + V_0)}$$

Celková tuhost rotačního hydromotoru

$$\kappa_c = \left(\frac{D_m}{2\pi} \right)^2 \frac{4K}{D_m + V_0}$$

$$V = V_1 = V_2 = \frac{1}{2}(D_m + V_0)$$



Tuhost hydromotoru

Porovnání tuhosti lineárního a rotačního hydromotoru

Lineární

$$d_c(x = L/2)_{MAX} = \frac{L}{4 \cdot K \cdot A}$$

$$k_c(x = L/2)_{MIN} = \frac{4 \cdot K \cdot A}{L} = \frac{4 \cdot K \cdot A^2}{V}$$

$$V = A \cdot L \quad \Rightarrow \quad L = \frac{V}{A}$$

$$V = V_m + V_0$$

$$V_m = A \cdot l$$

$$k_c(x = L/2)_{MIN} = A^2 \cdot \frac{4 \cdot K}{V_m + V_0}$$

Rotační

$$\kappa_c = \left(\frac{D_m}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{4K}{D_m + V_0}$$

Dynamický model serva

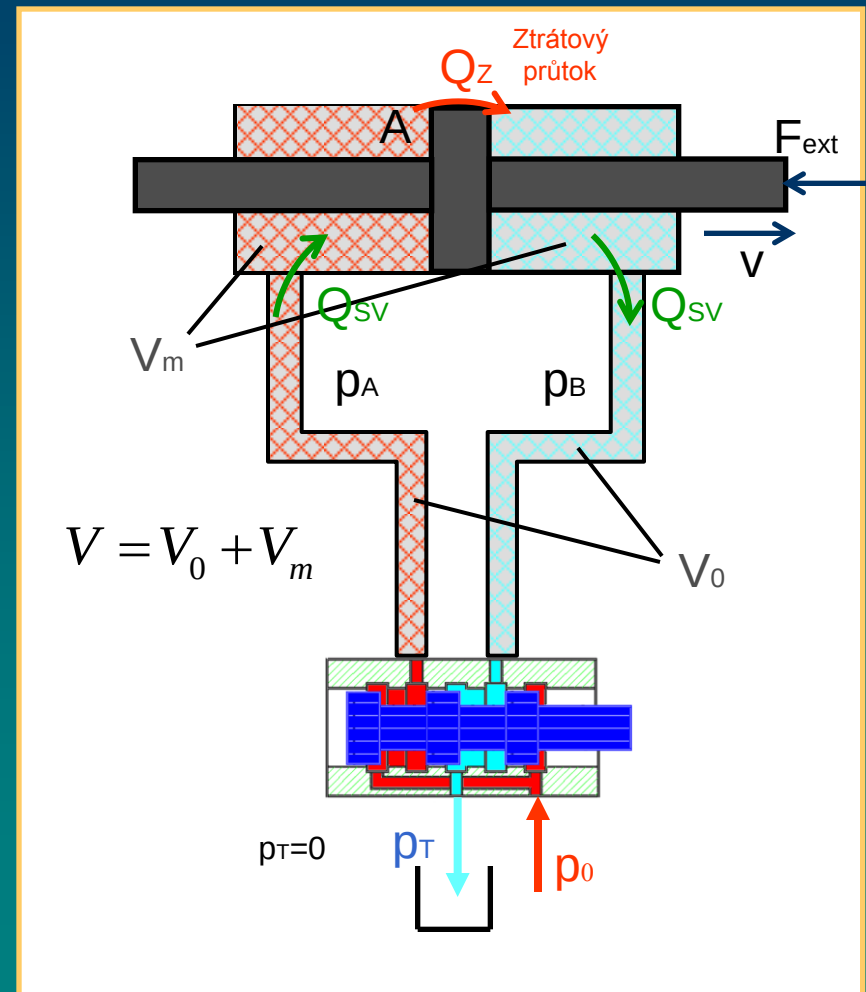
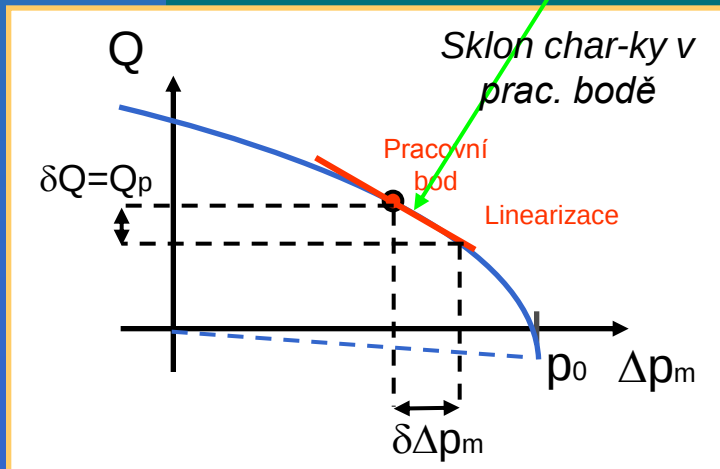
- Vznik tlakového spádu na pístu:

$$\Delta p_m = K \cdot \frac{\Delta V}{V} \quad Q_{SV} \neq v \cdot A$$

$$Q_{SV} - Q_p - Q_Z = A \cdot v$$

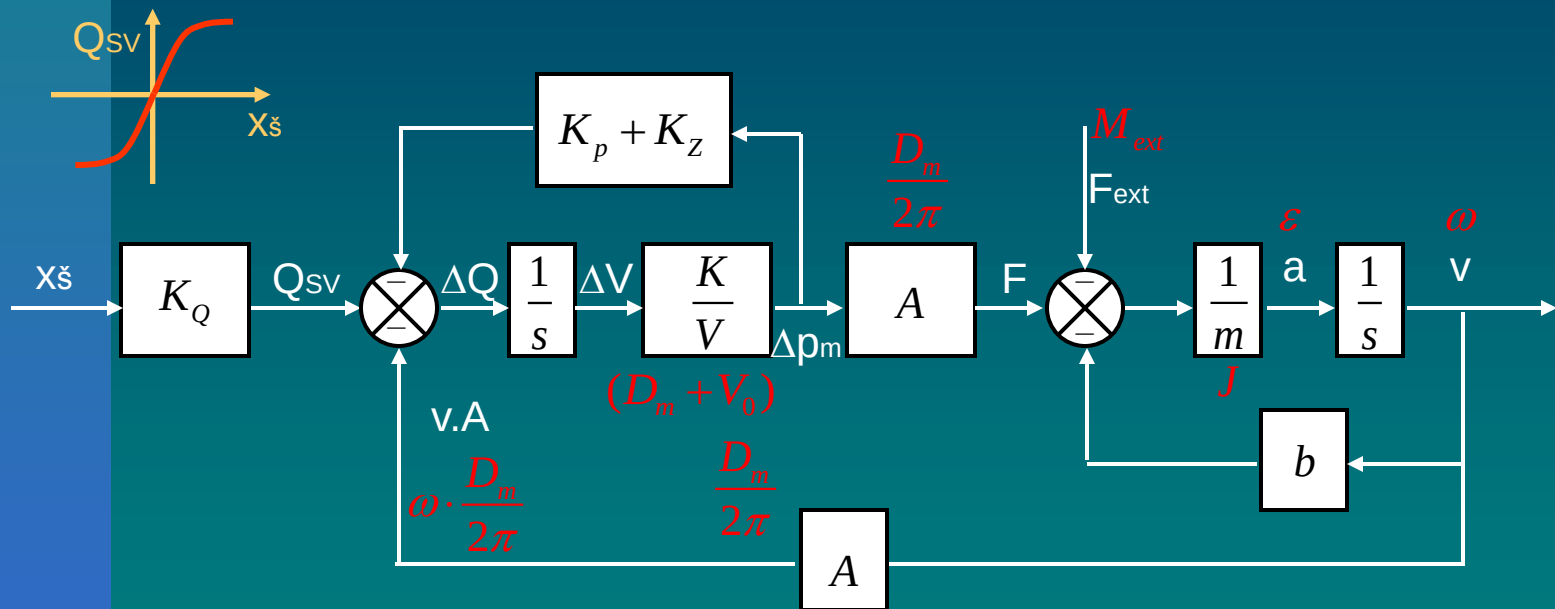
$$Q_Z = \Delta p_m \cdot K_Z \quad \text{Laminární proudění}$$

$$Q_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial \Delta p_m} \right)_{\Delta p_m} \cdot \partial \Delta p_m = K_p \cdot \partial \Delta p_m$$



Model serva (linearizovaný)

■ Lineární



■ Rotační

$$A \rightarrow \frac{D_m}{2\pi} \quad v \rightarrow \omega$$