



kteřá tlačí kuželku do sedla. Proti elektromagnetické síle působí na kuželku výsledná hydraulická síla (součet hydrostatické a hydrodynamické složky), která má snahu kuželku otevřít. K nastavení požadovaného tlaku  $p$  dojde přestavením šoupátka do polohy, kdy velikost rozkrytí  $x_1$  bude taková, že vzniklý hydraulický odpor bude odpovídat požadovanému tlaku. Pohyb šoupátka je určen silovou bilancí sil určených tlakem  $p$  a tlakem  $p_1$  v prostoru  $V$  a silou stlačené pružiny. Hydraulické odpory představované clonami 1 a 2 spolu s hydraulickým odporem představují odporový dělič, pomocí kterého můžeme změnou hydraulického odporu průtočného průřezu kuželky řídit tlak  $p$ . Výsledné dynamické i statické vlastnosti silně závisí na velikosti clon 1 a 2, velikosti kuželky, tuhosti pružiny a dalších konstrukčních rozměrech ventilu. Analýza jejich vlivu usnadní použití simulačního modelu.

### Matematicko-fyzikální analýza ventilu

Soubor rovnic a vztahů popisujících proporcionální tlakový ventil získáme na základě matematicko-fyzikální analýzy [1], pomocí které vyjádříme diferenciální rovnice pro tlaky  $p$ ,  $p_1$  a  $p_2$

$$\dot{p} = \frac{K}{V} (Q_{HG} - Q_1 - Q - S_1 \dot{x}_1), \quad (1)$$

$$\dot{p}_1 = \frac{K}{V_1} (Q_1 - Q_{12} + S_1 \dot{x}_1) \quad , \quad (2)$$

$$\dot{p}_2 = \frac{K}{V_2} (Q_{12} - Q_2) \quad . \quad (3)$$

Průtoky přes hydraulické odpory jsou vyjádřeny nelineárními funkcemi příslušných tlaků a otevření  $x_1$  a  $x_2$  proměnných hydraulických odporů. U označení průtoků určují indexy prostory, mezi kterými se uvažuje průtok, a jejich pořadí označuje kladný směr. Prostor  $V$  není indexován.

$$Q_1 = Q_1(p_1, p) \quad , \quad (4)$$

$$Q = Q(x_1, p) \quad , \quad (5)$$

$$Q_{12} = Q_{12}(p_1, p_2) \quad , \quad (6)$$

$$Q_2 = Q_2(p_2, x_2) \quad (7)$$

Poloha šoupátka  $x_1$  a kuželky  $x_2$  se určí řešením pohybových rovnic šoupátka a kuželky

$$m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + k_1 x_1 = S_1 p - S_1 p_1 \quad , \quad (8)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + b_2 \dot{x}_2 = S_2 p_2 - S_2 p_2 - F_i(x_2) + F_h \quad . \quad (9)$$

Elektromagnetická síla  $F_i$  je určena proudem  $i$  a závisí nelineárně na poloze kuželky  $x_2$

$$F_i = F_i(i, x_2) \quad (10)$$

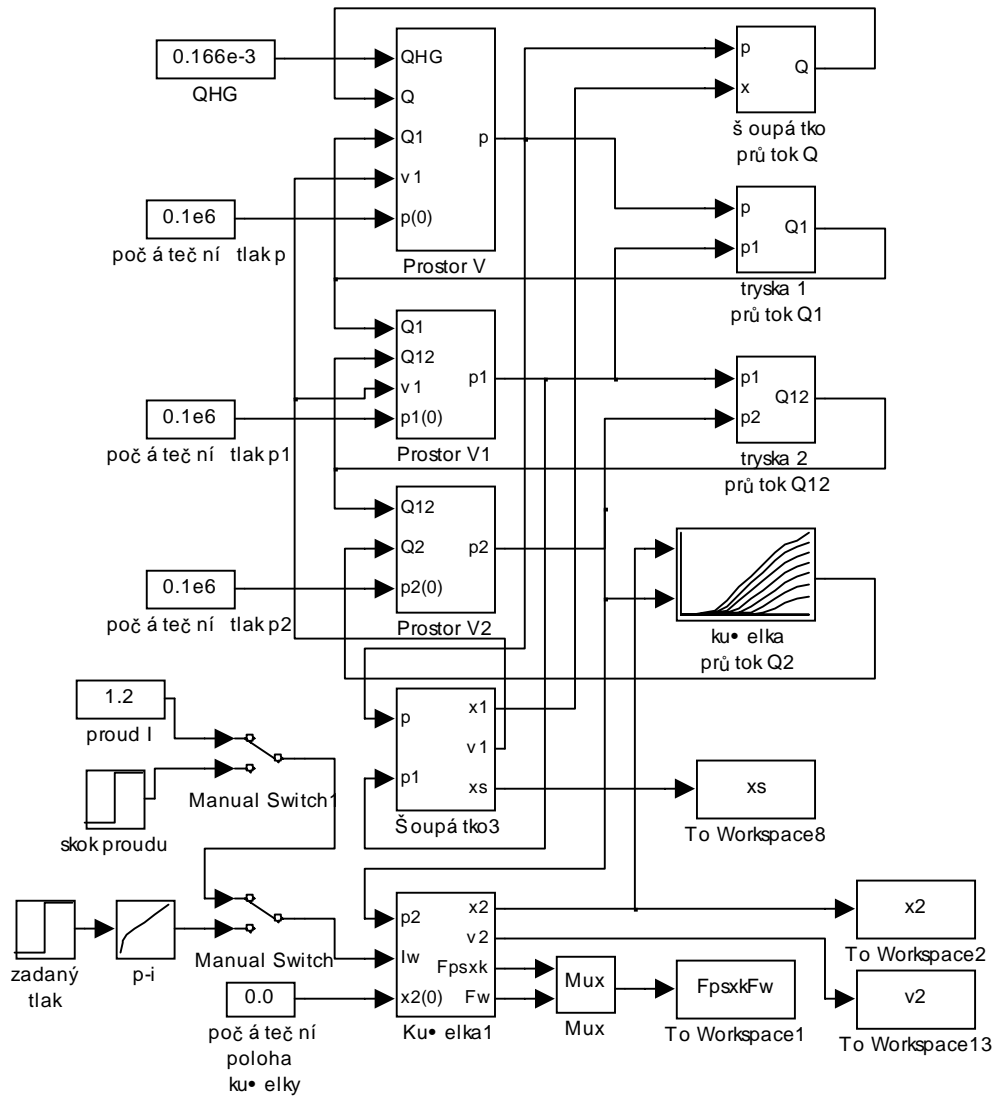
podle zadané změřené charakteristiky. Výslednou hydraulickou sílu lze vyjádřit pomocí nelineární funkce

$$F_h = F_h(x_2) \quad , \quad (11)$$

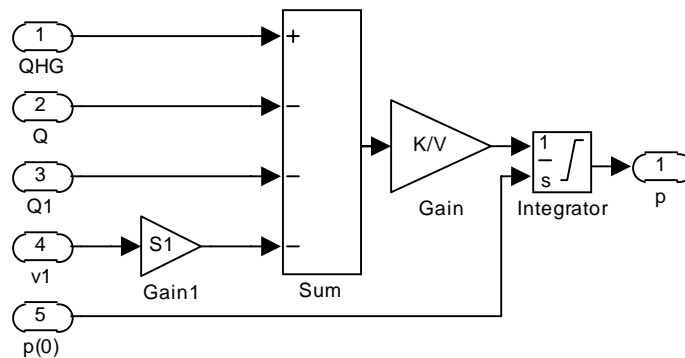
jejíž průběh byl stanoven experimentálně.

## Struktura simulačního modelu

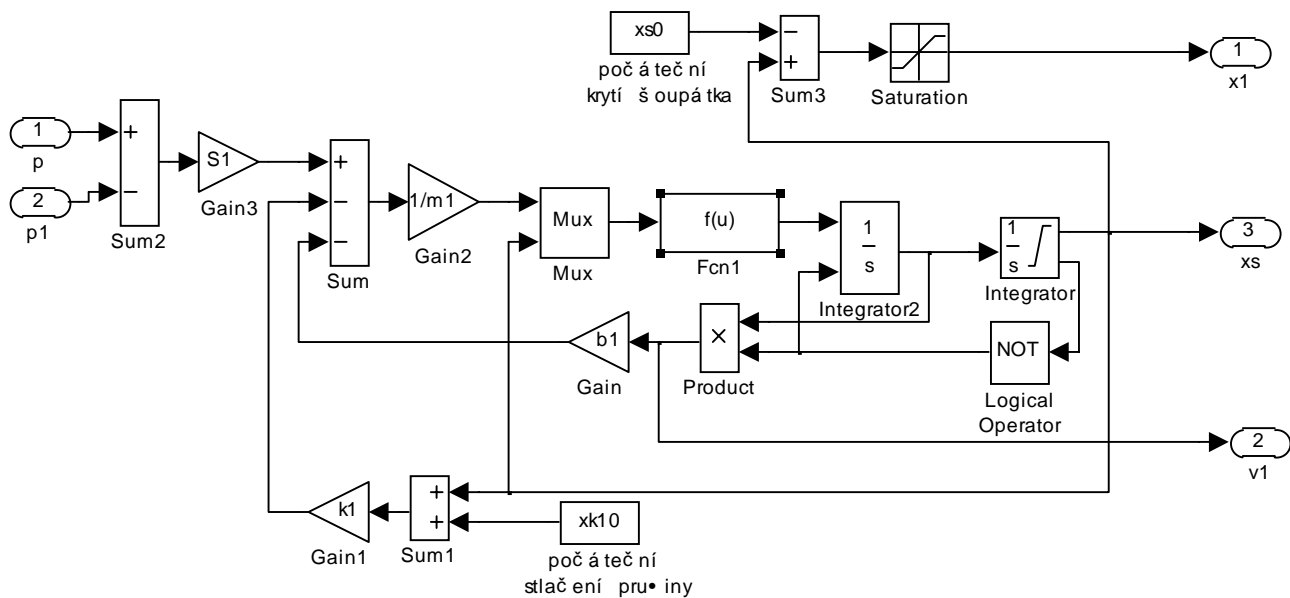
Obr.2 znázorňuje strukturu simulačního modelu, jehož submodely odpovídají realizaci diferenciálních rovnic (1), (2), (3), (8) a (9). Modelování nelineárních funkčních závislostí bylo realizováno pomocí tabulek. Obr.3 ukazuje submodel pro výpočet řízeného tlaku  $p$  v prostoru  $V$ . Obdobně se stanoví tlaky  $p_1$  a  $p_2$  v prostorech  $V_1$  a  $V_2$ .



Obj



Obr.3 Struktura submodelu pro výpočet regulovaného tlaku  $p$

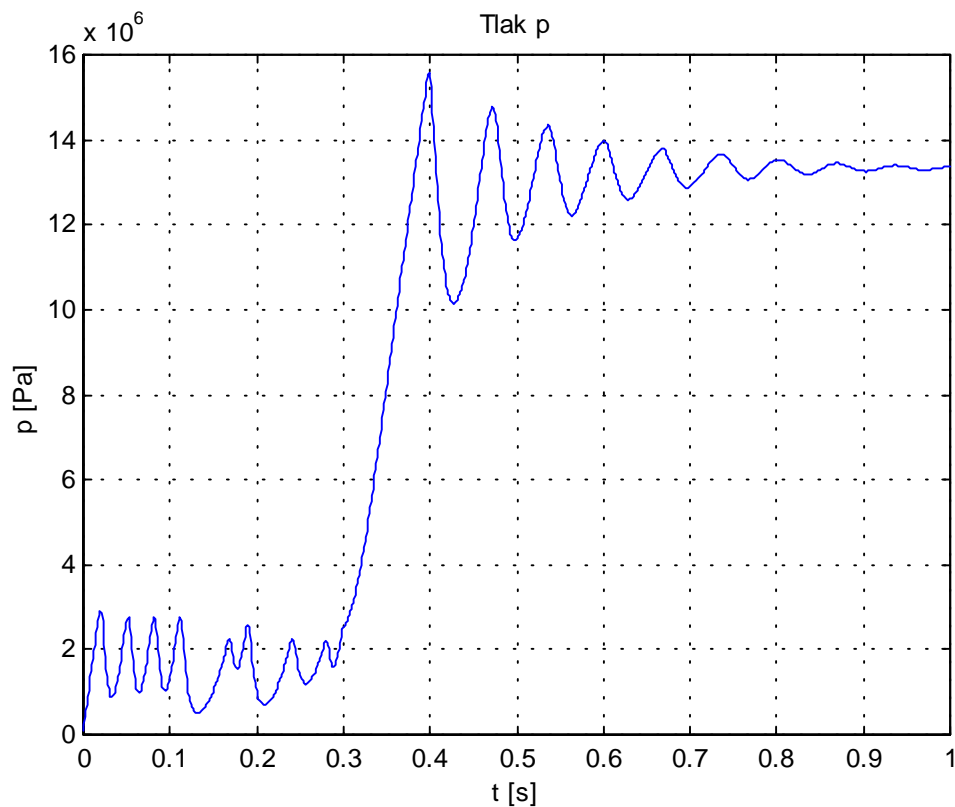


Obr.4 Submodel šoupátka ventilu

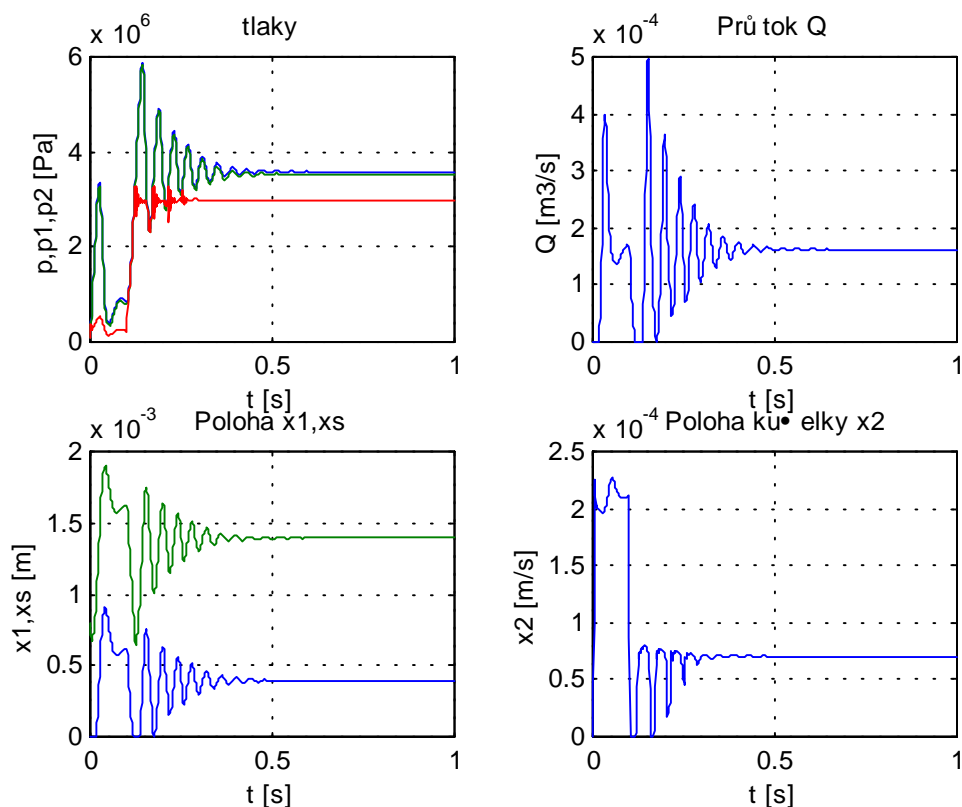
Na obr.4 je ukázána realizace pohybové rovnice šoupátka s uvažováním dorazů.

### Výsledky simulace

Simulací byl vyšetřen průběh změny tlaku při změně řídicího proudu z hodnoty 0.3A na 1.2A,



Obr.5 Průběh tlaku p při skokové změně řídicího proudu z hodnoty 0.3 A na 1.2A



Obr.6 Průběhy proměnných modelu při skokové změně na hodnotu 3,7 MPa

který je zobrazen na obr.5. Obr. 6 ukazuje průběhy tlaků  $p$ ,  $p_1$  a  $p_2$ , průtoku  $Q$  a polohy šoupátka  $x_s$ , rozkrytí  $x_1$  a polohy kuželky  $x_2$  při skokové změně tlaku na hodnotu cca 3,7 MPa.

## Závěr

Popsaný simulační model umožňuje analýzu dynamických vlastností dvoustupňového proporcionálního tlakového ventilu. Jeho struktura využívající možnost tvorby submodelů vychází z realizace uvedených základních diferenciálních rovnic. Model respektuje existující nelinearity ventilu. Přestože hydraulické kapacity určené tlakovými prostory  $V$ ,  $V_1$  a  $V_2$  jsou velmi malé a model lze charakterizovat jako tuhý systém, získalo se numericky stabilní řešení. Příspěvek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru CEZ:J17/98:272300011 "Modelování, simulace a řízení složitých dynamických systémů výrobně-dopravních komplexů".

## Literatura

- [1] NOSKIEVIČ, P. Modelování a identifikace systémů. 1. vyd. Ostrava : MONTANEX, a. s., 1999. 276 s. ISBN 80-7225-030-2.
- [2] PIVOŇKA, J.- a kolektiv: Tekutinové mechanismy. SNTL, Praha, 1987.
- [3] IHRING, J.: Projektovanie hydraulických a pneumatických obvodov. ALFA/SNTL, Bratislava, 1979.

Doc. Ing. Petr Noskiewicz, CSc.

☎ 069/699 4202    ✉ petr.noskiewicz@vsb.cz

Katedra automatizační techniky a řízení

Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava

17. listopadu 15

708 33 Ostrava - Poruba