

A forgóelosztós befecskendező-szivattyú nyomás-modellezése

A calculus Model for Pressure of a Rotary Distributor Injection Pump

Dr. TEBERAN Ioan, Dr. CSIBI Vencel
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Mechanika Kar

Abstract

In this paper a calculus model for pressure of a rotary distributor injection pump is presented. The equations determined through calculation are solved with the aid of the program MathCAD. The numerical results obtained are compared with the results obtained experimentally.

Bevezetés

Egy porlasztó berendezés kísérleti úton való tanulmányozása, a közbejövő nagyszámú paraméternek köszönhetően, nehézkes, a sok megépített változat megemeli a kutatás költségeit és időtartamát.

A modern számítási technikák lehetővé teszik a folyamatok modellezését, nagyszámú változat tanulmányozását, mindez hozzásegít az optimális megoldás kiválasztásához. Egy másik előnye az elméleti kutatásoknak abban áll, hogy egy paraméter értékének változtatásakor a többi értéke állandónak tartható, amit a gyakorlatban lehetetlen megvalósítani.

A különböző típusú motorok kísérleti és modellezési eredményeinek összehasonlítása a kutatások hitelességét igazolja.

Ezért, a dolgozatban meghatározzuk a nyomás egyenletét, megalapozva a nyomás változásának törvényszerűségét, amit a MathCAD számítási program old meg.

2. Számítási modell

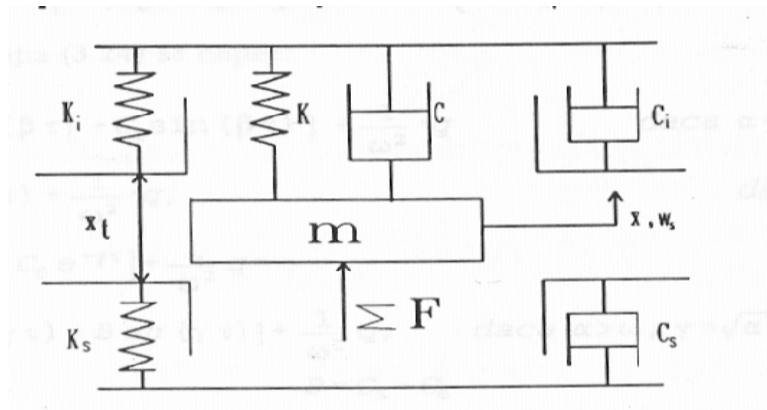
A nyomócsonk szelep mozgásának differenciál egyenlete a következő :

$$ma_s + cw_s + kx_s + F_{aux} = p(\tau) A_s \quad (1)$$

ahol: A_s – a szelep felülete; x – a pillanatnyi helyzet és sebesség; a_s – gyorsulás; w_s – sebesség; F_{aux} – a végcsatlakozó által keltett erő; C , k – állandók.

Az egyenletek megoldásához a szakirodalomból vett ábrázoló modelleket használtuk, figyelembe véve az 1. ábrán levő egyenértékű modellt.

Jelölések : L_1 – alsó korlátozó, L_s – felső korlátozó, m – tömeg, K_1 – alsó korlátozó rugalmassági állandó, K_s – felső korlátozó rugalmassági állandó; C_1 , C_s – alsó illetve felső viszkózus csillapító állandója; k_m – a rugó rugalmassági állandója; c_m – viszkózus csillapítás állandója, ami a folyadék tömeg átjárása közben lép fel; x_1 – a két korlátozó közötti távolság; ΣF – a testre ható nyomó és rugalmassági erők eredője.



1. ábra

A szelep felülete a következő képlettel határozható meg:

$$A_s = \frac{\pi D_s^2}{4}; \quad (2)$$

Felhasználva a következő jelöléseket:

$$F_{\text{aux}} = \begin{cases} c_i \dot{x}_s + k_i x_s; & x_s < 0 \\ 0 & 0 < x_s < x_t \\ C_s \dot{x}_s + k_s (x_s - x_t); & x_s > x_t \end{cases} \quad (3)$$

$$m \frac{C'}{m} = 2\alpha; \frac{k'}{m} = \omega^2; \begin{cases} q = \frac{p_{\max} A_s}{m}; & x_s < 0 \\ q = \frac{p_{\max} A_s}{m}; & 0 < x_s < x_t \\ q = \frac{p_{\max} A_s}{m} + k_s x_t; & x_s > x_t \end{cases} \quad (4)$$

ahol:

$$C' = \begin{cases} C + C_1; & x_s < 0 \\ C & 0 < x_s < x_t \\ C + C_s; & x_s > x_t \end{cases} \quad k' = \begin{cases} K + k_i & x_s < 0 \\ k & 0 < x_s < x_t \\ k + k_s & x_s > x_t \end{cases} \quad (5)$$

integrálás útján a következő egyenletet kapjuk:

$$x_s = \begin{cases} e^{-\alpha\tau} [C_1 \cos(\beta\tau) + C_2 \sin(\beta\tau + \frac{1}{\omega^2} \cdot q)] & \text{ha } \alpha < \omega; \beta = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2} \\ e^{-\alpha\tau} (C_3 + C_4\tau) + \frac{1}{\omega^2} \cdot q, & \text{ha } \alpha = \omega \\ e^{-\alpha\tau} [C_5 \cdot e^{\gamma\tau} + C_6 e^{-\gamma\tau}] + \frac{1}{\omega^2} q = e^{-\alpha\tau} [A \operatorname{ch}(\gamma\tau) + B \operatorname{sh}(\gamma\tau)] + \frac{1}{\omega^2} q; & \text{ha } \alpha > \omega; \gamma = \sqrt{\alpha^2 - \omega^2}; A = C_5 + C_6; \\ & B = C_5 - C_6 \end{cases} \quad (6)$$

Az integrálási állandókat az egyenletből a következő határfeltétekkel kapjuk:

$$\tau = 0; \quad x_s = x_{0s}; \quad \dot{x}_s = 0; \quad q_0 = \frac{p_{\max} A_s}{m}.$$

Figyelembe véve ezeket a feltételeket, a megoldások végső formája a következő:

$$x_s(\tau) = \begin{cases} e^{-\alpha\tau} \left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right) \left[\cos(\beta\tau) + \frac{\alpha}{\beta} \sin(\beta\tau) \right] + \frac{1}{\omega^2} q, & \text{ha } \alpha < \omega, \quad \beta = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2}; \\ e^{\alpha\tau} \left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right) (1 + \alpha\tau) + \frac{1}{\omega^2} q, & \text{ha } \alpha = \omega \\ e^{-\alpha\tau} \frac{1}{2\gamma} \left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right) [(\gamma + \alpha)e^{\gamma\tau} + (\gamma - \alpha)e^{-\gamma\tau}] + \frac{1}{\omega^2} q = & \text{ha } \alpha > \omega, \quad \gamma = \sqrt{\alpha^2 - \omega^2} \\ = e^{-\alpha\tau} \frac{1}{\gamma} \left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right) [\gamma \operatorname{ch}(\gamma\tau) + \alpha \operatorname{sh}(\gamma\tau)] + \frac{1}{\omega^2} q. \end{cases} \quad (7)$$

Ebben az esetben a nyomás differenciál egyenlete:

$$p_s = \frac{E}{V_s(\tau)} (\dot{V}_{cs} - \dot{V}_s(\tau)) \quad (8)$$

ahol

$$V_s(\tau) = A_s \cdot x_s(\tau) \quad (9)$$

Az egyenletet hasonlóképpen integrálva, mint a [4]-ben, kapjuk:

$$p_s = E \left[\dot{V}_{cs} \int \frac{d\tau}{V_s(\tau)} - \ln V_s(\tau) \right] + C'_1 \quad (10)$$

Jelölve:

$$I_1'' = \int \frac{d\tau}{V_s(\tau)} = \frac{1}{A_s} \int \frac{d\tau}{x_s(\tau)} \quad (11)$$

felhasználva a határfeltételeket, megkapjuk:

$$\tau = 0 \rightarrow \begin{cases} p_s = p_{\max} \\ V_s = V_{0s} = A_s \cdot X_3 \end{cases} \quad (12)$$

így, az integrálási állandó:

$$C'_1 = p_{\max} - E[\dot{V}_{cs}(I_1'')_{\tau=0} - \ln V_{0s}]. \quad (13)$$

Behelyettesítve az állandó értékét az összefüggésbe, megkapjuk a nyomás változásának törvényét:

$$p_s(\tau) = E \cdot \dot{V}_{cs} \left[\int \frac{d\tau}{V_s(\tau)} - (I_1'')_{\tau=0} \right] - E \ln \frac{V_s(\tau)}{V_{0s}} + p_{\max} \quad (14)$$

A gyakorlati méréseknél a következő bemenő adatokat használtuk:

$$p_{\max} = 9 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2; \quad m = 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}; \quad D_s = 0.0034 \text{ m}; \quad A_s = \frac{\pi \cdot D_s^2}{2};$$

$$A_s = 9.079 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2; \quad E = 1.53 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$C_1 = 0.095; \quad C_s = 0.095; \quad K_1 = 5 \cdot 10^6; \quad K_s = 5 \cdot 10^6; \quad K = 41995; \quad C = 0.0062$$

$$p = 2.5 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$q = \frac{A_s \cdot p}{m}; \quad q = 1.081 \cdot 10^5; \quad C = 2 \cdot m \sqrt{\frac{K}{m}}; \quad C = 18.782$$

$$\alpha = \frac{C}{2m}; \quad \alpha = 4.472 \cdot 10^3; \quad \omega = \sqrt{\frac{K}{m}}; \quad \omega = 4.472 \cdot 10^3$$

$$x_{0s} = 0.0001; \quad q_0 = \frac{p_{\max} \cdot A_s}{m}; \quad q_0 = 3.891 \cdot 10^5$$

$$x_s(\tau) = e^{-\alpha\tau} \left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right) (1 + \alpha\tau) + \frac{1}{\omega^2} q$$

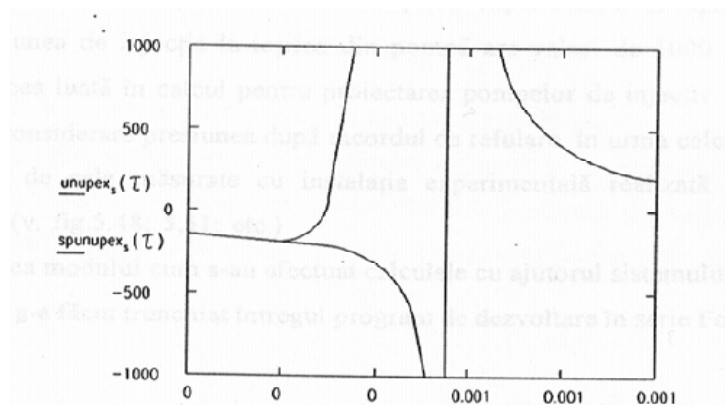
Az $\frac{1}{x_s(\tau)}$ függvény hatvány-sorozat alakja:

$$\begin{aligned} \frac{1}{x_s(\tau)} &= \frac{1}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} + \left[-\frac{1}{2} \frac{\omega^2}{(-x_{0s}\omega^2 + q_0 - q)} \alpha^2 \frac{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right)}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} \right] \tau^{2+} \\ &+ \left[\frac{1}{3} \omega^2 (-x_{0s}\omega^2 + q_0 - q) \alpha^3 \frac{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right)}{x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q} \right] \tau^3 \dots \\ \frac{1}{x_s(\tau)} &= \frac{1}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} + \left[-\frac{1}{2} \frac{\omega^2}{(-x_{0s}\omega^2 + q_0 - q)} \alpha^2 \frac{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right)}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} \right] + \\ &+ \left[\frac{1}{3} \omega^2 (-x_{0s}\omega^2 + q_0 - q) \alpha^3 \frac{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right)}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} \right] \tau^3 \end{aligned}$$

Integrálva az egyenletet, kapjuk:

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} \tau - \frac{1}{6} \frac{\omega^2}{(-x_{0s}\omega^2 + q_0 - q)} \alpha^2 \frac{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right)}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} \tau^3 + \\ &+ \frac{1}{12} \frac{\omega^2}{(-x_{0s}\omega^2 + q_0 - q)} \alpha^3 \frac{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right)}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} \tau^4 + \dots \\ I_1(\tau) &= \frac{1}{A_s} \left[\frac{1}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} \tau - \frac{1}{6} \frac{\omega^2}{(-x_{0s}\omega^2 + q_0 - q)} \alpha^2 \frac{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right)}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} \tau^3 + \right. \\ &\left. + \frac{1}{12} \frac{\omega^2}{(-x_{0s}\omega^2 + q_0 - q)} \alpha^3 \frac{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 \right)}{\left(x_{0s} - \frac{1}{\omega^2} q_0 + \frac{1}{\omega^2} q \right)} \tau^4 + \dots \right] \end{aligned}$$

$$\tau = 0.00001, 0.000013..0.001$$



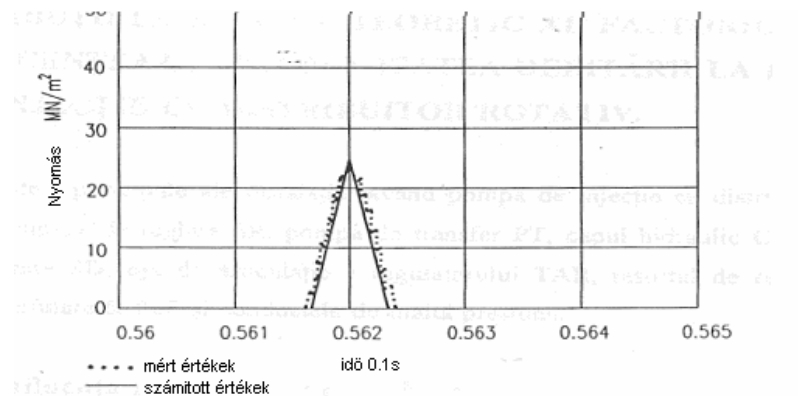
2. ábra

Az értékek egymást fedő területe:

$$V_s(\tau) = A_s \cdot x_s(\tau)$$

$$p_s(\tau) = E \cdot V_s(\tau) \cdot (l_1(\tau) - l_1(0)) - E \cdot \ln\left(\frac{V_s(\tau)}{V_{0s}}\right) + p_{\max}$$

$$\tau = 0.01, 0.033..8$$



3. ábra

3. Következtetések

A kapott eredményeket összehasonlítottuk egy, az [5]-ös dolgozatban bemutatott saját fejlesztésű készüléken mért adatokkal. A 3-as ábrán megfigyelhető, hogy a számításokból kapott eredmények jól megközelítik a kísérleti méréseket.

Pontosítva, a módszert csonkítottuk, ahogy végrehajtottuk a számításokat a MathCAD program segítségével, mivel az egész program kifejlesztése Fourier sorozatba igen hosszasan.

Irodalom

- [1] Apostolescu, N., s.a., 1974 Bazele cercetării experimentale a mașinilor termice, EDP, București
- [2] Bațaga, N., s.a., 1995, Motoare cu ardere internă, EDP, București,
- [3] Radu, B, s.a., 1992 Dezvoltarea unui model de calcul al proceselor din instalația de injecție cu pompă cu piston sertar. Construcția de Mașini nr.8, pag.56-63.
- [4] Teborean, I., s.a.,1998 Modelarea proceselor dintr-o pompă de injecție cu distribuitor rotativ, Trans Agra Techn'98 Cluj-Napoca. Pag.59-62
- [5] Teborean, I., 1987 Contribuții la reducerea gradului de neuniformitate al debitării combustibilului pentru pompele de injecție cu distribuitor rotativ, Teză de doctorat.