

MŰSZAKI SZEMLE

36. szám, 2006.

Szerkesztőbizottság elnöke / President of Editing Committee

Dr. Köllő Gábor

Szerkesztőbizottság tagjai / Editing Committee

Dr. Balázs L. György – HU,
Dr. Biró Károly Ágoston – RO,
Dr. Csibi Vencel-József – RO,
Dr. Fedák László – UA,
Dr. Kása Zoltán – RO,
Dr. Kászonyi Gábor – HU,
Dr. Majdik Kornélia – RO,
Dr. Maros Dezső – RO,
Dr. Nagy László – RO,
Dr. Péics Hajnalka – YU,
Dr. Pungor Ernő – HU,
Dr. Puskás Ferenc – RO,
Dr. Szalay György – SK,
Dr. Turchany Guy – CH

Kiadja / Editor

Erdélyi Magyar Műszaki
Tudományos Társaság – EMT
Societatea Maghiară Tehnico-Științifică
din Transilvania
Ungarische Technisch-Wissenschaftliche
Gesellschaft in Siebenbürgen
Hungarian Technical Scientific Society
of Transylvania

Felelős kiadó / Managing Editor

Dr. Köllő Gábor

A szerkesztőség címe / Address

Romania
400604 Cluj, Kolozsvár
B-dul 21. Decembrie 1989., nr. 116.
Tel/fax: 40-264-590825, 594042
Levél cím: RO – 400750 Cluj, C.P. 1-140.

Nyomda / Printing

Incitato Kft.

ISSN 1454-0746

**CNCSIS által elismert folyóirat
Revistă acreditată de CNCSIS**

www.emt.ro

emt@emt.ro

Tartalomjegyzék – Cuprins – Content

Antal Tibor Sándor, Antal Béla **3**

Egy számítási módszer a hidrodinamikusan kenéssel működő csigahajtások esetében
A Computational Method for the Hydrodynamic Lubricated Worm Gears
O metodă de calcul a angrenajelor melcate care funcționează cu ungere hidrodinamică

Barabás István, Todoruț Adrian, Csibi Vencel **8**

Bio-motorhajtóanyagok befecskendezési jellemzőinek optimalizálása
Optimization of Injection Parameters for Biofuel Jet
Optimizarea parametrilor de injecție a biocombustibililor

Csibi Vencel, Noveanu Simona, Lungu Ion **14**

Rugalmaskötésű minimegfogók meghajtása
The Actuation of the Minigraspers with Flexure Joint
Acționarea unor minigripere cu cuple flexibile

Mészáros Ferenc, Cselényi József **22**

Autóipari klaszter működésének alapelvei
Operating Principles of an Automotive Cluster
Principii de funcționare ale unei grupări din industria de automobile

Szász Csaba **31**

Kistelyesítményű állandómágneses hibrid léptetőmotorok
számítógépes vezérlése
PC-based Control of the Low Power PM-hybrid Stepping Motors
Comanda cu calculator personal a motoarelor pas cu pas hibride de mică putere

Szász Imre, Szász Csaba **35**

Háztartási hulladékgyűjtő rendszer tervezése Harghita megye területén
Household Waste Collection System Design in Harghita County
Proiectarea unui sistem de colectare a deșeurilor menajere în județul Harghita

Teberean Ioan, Csibi Vencel **40**

A forgóelosztós befecskendező-szivattyú nyomás-modellezése
A calculus Model for Pressure of a Rotary Distributor Injection Pump
O metodă a modelării presiunii dintr-o pompă de injecție cu distribuitor rotativ

A kiadvány megjelenését támogatta



Illyés Közalapítvány – Budapest

Oktatási és Kutatási Minisztérium – Bukarest



COMMUNITAS
ALAPÍTVÁNY

Communitas Alapítvány – Kolozsvár

Egy számítási módszer a hidrodinamikusan kenéssel működő csigahajtások esetében

A computational Method for the Hydrodynamic Lubricated Worm gears

Dr. ANTAL Tibor Sándor, Dr. ANTAL Béla

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Gépágyártás-technológia Kar

Abstract

The specific literature, which deals with the worm gears, focuses on the growing of service life. In order to achieve this goal, different methods, during the last years, were established. This paper presents a program that considers the hydrodynamic lubrication for the gearing for growing the service life. The main parameters of the worm gears are being established under these conditions.

Összefoglalás

A csigahajtásokkal foglalkozó szakirodalom kiemelt súlyt helyez a működési élettartam növelésére. Ennek elérésére különböző módszerek léteznek. A jelenlegi dolgozat egy olyan számítási programot mutat be, amely a hidrodinamikusan kenést veszi alapul a hajtás élettartamának növelésére. Ebből kiindulva határozzuk meg a csigahajtás főparamétereit.

1. A hidrodinamikai kenés alapján számítható paraméterek

A [3] szakirodalomban megadott képlet alapján a hidrodinamikusan kenéssel működő evolvens típusú csigahajtások esetében a modul meghatározására a következő összefüggés vezethető le:

$$m_x \geq \frac{2}{q + z_2 + 2x} \cdot 1.39 \sqrt{\frac{T_2^{0.13} \lambda (R_{a1} + R_{a2})}{21 h^* C_\alpha^{0.6} \eta_{OM}^{0.7} n_1^{0.7} E_{red}^{0.03}}}$$
$$h^* = 0.018 + \frac{q}{7.86(q + z_2)} + \frac{1}{z_2} + \frac{x}{110} - \frac{z_2}{36300} + \frac{2(0.5 + \sqrt{q+1})}{370.4} + \frac{\sqrt{2q-1}}{213.9} \quad (1)$$

ahol q az átmenőhányados;
 z_1 a csiga bekezdéseinek száma;
 z_2 a csigakerék fogszáma;
 x a profileltolás tényező;
 T_2 a csigakeréken lévő forgatónyomaték [Nm];
 λ a biztonsági tényező;
 R_{a1} és R_{a2} az átlagos érdességek a kapcsolódó felületeken (köszörült csigánál $R_{a1}=0.4\mu\text{m}$ és mart csigakerénél $R_{a2}=1.6\mu\text{m}$);
 $C_\alpha = 1.7 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{N}$ a nyomás – viszkozitás tényező ásványolaj esetében;
 η_{OM} a kenőanyag dinamikai viszkozitása légköri nyomáson és a kapcsolódásba lépés hőmérsékletén [Ns/m^2];
 n_1 a csiga fordulatszám [min⁻¹];
 $E_{red} = 140144 \text{ N}/\text{mm}^2$ a redukált rugalmassági tényező (a kerék anyaga CuSn12 és a csigáé acél).

Egy adott esetben, a terhelési viszonyok függvényében, az (1) képlet alapján meghatározhatók azok a valós paraméterek, amelyek biztosítják a csigahajtás hidrodinamikusan kenéssel való működését. Ezek közül csak azokat kell figyelembe venni, amelyek biztosítják a csigahajtás megfelelő hatásfokát és a szilárdsági követelményeket (a kapcsolódó fogfelületek között fellépő megengedett feszültséget és a csigatengely merevségét, amely biztosítja a helyes kapcsolódást).

2. A hatások számítása

Figyelembe véve a fogfelületek között lévő kenési viszonyokat, a [2] és [5] alapján a hatások a következő képlettel határozható meg:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\mu}{\cos(\alpha_n)} \frac{V_{12}}{V_1 \cos(\beta_1)}} \quad (2)$$

ahol $\mu = \frac{0.04}{\sqrt{V_{12}}}$ a fogfelületek között lévő súrlódási tényező;

V_{12} a relatív sebesség;

V_1 a csiga kerületi sebessége a gördülőkörön;

α_n a normálmetszet profilszöge ($\alpha_n = 20^\circ$);

β_1 a fogferdeségi szög a gördülőhengeren;

Behelyettesítve a hatások képletében a sebességeket és a ferdeségi szöget a csigahajtás paramétereivel, az alábbi képletet kapjuk:

$$\eta = \frac{z_1(q+2x)\cos(\alpha_n)}{z_1(q+2x)\cos(\alpha_n) + \frac{0.04[z_1^2 + (q+2x)^2]}{\sqrt[4]{\frac{\pi m_x n_1}{60 \times 1000} \sqrt{z_1^2 + (q+2x)^2}}}} \quad (3)$$

Előírjuk, hogy a hatások nagyobb legyen mint egy bizonyos érték, és csak azokat a paramétereket vesszük figyelembe, amelyek kielégítik ezt a feltételt.

3. Az érintkező fogfelületek teherbírása

A fenti feltételek alapján meghatározott paraméterek biztosítják az érintkező fogfelületek teherbírását is. Ezt a Hertz-feszültség képlete alapján lehet ellenőrizni:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_{n2}}{L_k} \frac{1}{\rho} \frac{1}{\pi \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)}} \leq \sigma_{Hmeg} \quad (4)$$

ahol F_{n2} a csigakerék fogára ható erő, normál metszetben;

L_k az érintkező vonal hossza ($L_k \approx \Psi_m d_{m1} = 0.55 m_x (q+2)$);

ρ a redukált görbületi sugár, normál metszetben (1. ábra);

v_1 és v_2 a csiga és csigakerék anyagaira jellemző Poisson számok ($v_1 = 0.30$ acélra és $v_2 = 0.35$ bronzra);

E_1 és E_2 a csiga és csigakerék anyagainak rugalmassági modulusai ($E_1 = 2.1 \times 10^5$ N/mm² acélra és $E_2 = 0.883 \times 10^5$ N/mm² CuSn12 bronzra);

σ_{Hmeg} a megengedett Hertz-feszültség a kerék anyagára ($\sigma_{Hmeg} = 400$ N/mm² CuSn12 bronzra).

A normál erőnek a meghatározása az [1] alapján történik ahol, a kapcsolódási pont a gördülő hengeren van (1. ábra).

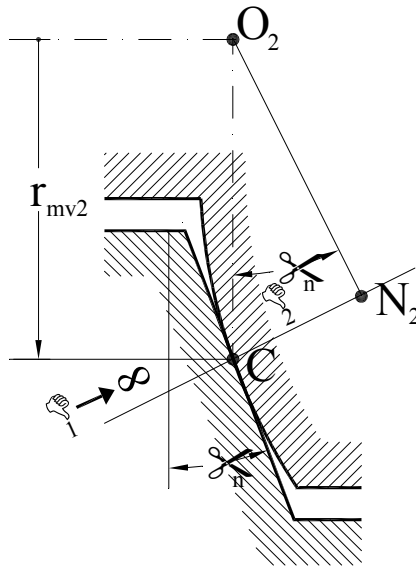
$$F_{n2} = \frac{2T_2}{d_{m2}} \frac{1}{\cos(\alpha_n) (\cos(\gamma) - \tan(\phi_1) \sin(\gamma))} \quad (5)$$

ahol T_2 a keréken lévő forgatónyomaték [Nmm];

$d_{m2} = m_x z_2$ a kerék osztókör átmérője [mm];

$\gamma = \arctg\left(\frac{z_1}{q+2x}\right)$ az emelkedési szög a csiga gördülő hengerén;

$\phi_1 = \arctg(\mu_1) = \arctg\left(\frac{\mu}{\cos(\alpha_n)}\right)$ a redukált súrlódási szög.



1. ábra
A fogpofilok kapcsolódása normálmetszetben.

Az 1. ábra alapján:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{CN_2} = \frac{1}{r_{mv2} \sin(\alpha_n)} = \frac{2 \cos^2(\gamma)}{m_x z_2 \sin(\alpha_n)} = \frac{2(q+2x)^2}{m_x z_2 [z_1^2 + (q+2x)^2] \sin(\alpha_n)} \quad (6)$$

Behelyettesítve az (5), (6) képleteket a (4) képletbe és figyelembe véve a megadott számbeli értékeket, kifejezhető a modul:

$$m_x \geq \sqrt[3]{\frac{504724.11 T_2}{z_2^2} \frac{q+2x}{(q+2x - \mu_1 z_1) \sqrt{(q+2x)^2 + z_1^2}} \frac{1}{\sigma_{Hmeg}^2}} \quad (7)$$

4. A csigatengely merevségének ellenőrzése

A kapcsolódó fogfelületek között lévő érintkezési vonal helyzete függ a csigatengely merevségétől is. Ha a merevség nem felel meg a követelményeknek, az érintkezés befolyásolhatja a hidrodinamikus kenés kialakulását.

A merevség ellenőrzését úgy végezzük, hogy a csigatengelyt kéttámaszú tartónak tekintjük, és meghatározzuk a lehajlást, amelyet a csigára ható, tangenciális erő F_{t1} és a radiál erő F_{r1} okoz [2], [6] és [7].

$$f = \frac{l^3}{48E_1 I_1} \sqrt{F_{t1}^2 + F_{r1}^2} \leq f_{meg}, \quad (8)$$

ahol l a támaszok közötti távolság ($l = \Psi_a a$, általában $\Psi_a \approx 1.5 \dots 2$);

$$a = \frac{m_x (q + z_2 + 2x)}{2} \text{ a tengelytávolság [mm];}$$

$$I_1 = \frac{\pi d^4 w_1}{64} \text{ a másodrendű nyomaték [mm}^4\text{];}$$

f_{meg} a megengedett lehajlás [7] ($f_{meg} = 0.004 m_x$ edzett csigánál és $f_{meg} = 0.01 m_x$ nemesített csigánál).

A felvett érintkezési pontban ható tangenciális és radiális erő az [1] alapján a következő:

$$F_{t1} = \frac{2T_1}{m_x(q+2x)} \quad \text{és} \quad F_{r1} = \frac{2T_1}{m_x(q+2x)} \frac{\tan(\alpha_n)}{\sin(\gamma) + \tan(\varphi_1)\cos(\gamma)} \quad (9)$$

ahol $\tan(\gamma) = \frac{z_1}{q+2x}$, $\tan(\varphi_1) = \mu_1$ és $T_1 = \frac{z_1}{z_2} \frac{T_2}{\eta}$.

Felhasználva a megadott összefüggéseket, edzett csiga esetében a lehajlás:

$$f = \frac{\Psi_a^3}{3\pi E_1} \frac{(q+z_2+2x)^3}{m_x^3(q+2x)^5} \frac{z_1}{z_2} \frac{T_2}{\eta} \sqrt{1 + 0.1324743 \frac{z_1^2 + (q+2x)^2}{[z_1 + \mu_1(q+2x)]^2}} \leq 0.004 \quad (10)$$

Egy megadott esetben, felhasználva a MathCAD programozás lehetőségeit, meghatározhatók azok a paraméterek, amelyek kielégítik a hidrodinamikus kenés feltételét és megfelelnek a teherbírási követelménynek is. A következő számítási algoritmus megadja táblázat formájában a lehetséges variánsokat. Ezek közül a tervező kiválasztja azt, amelyik a legmegfelelőbb a megépítendő hajtás feltételeinek.

$z_1 := 1$	$Smeq := 400$	$E1 := 2.1 \cdot 10^5$	$\lambda := 1$
$n_1 := 1500$	$z_2 := 41$	$Ered := 140144$	
$T_2 := 587.28$	$PSIa := 1.5$	$a_n := \frac{20}{180} \cdot \pi$	
$R_{a1} := 0.4$	$R_{a2} := 1.6$	$Calfa := 1.7 \cdot 10^{-8}$	

$$hcs(q, x) := 0.018 + \frac{q}{7.86 \cdot (q+z_2)} + \frac{1}{z_2} + \frac{x}{110} - \frac{x}{36300} + \frac{\frac{z_2}{z_1}}{370.4} + \frac{2 \cdot (0.5 + \sqrt{q+1})}{213.9} - \frac{\sqrt{2 \cdot q - 1}}{213.9}$$

$$mx(q, x, \eta_{om}) := \frac{2}{q+z_2+2x} \left[\frac{T_2^{0.13} \cdot \lambda \cdot (R_{a1} + R_{a2})}{21 \cdot hcs(q, x) \cdot Calfa^{0.6} \cdot \eta_{om}^{0.7} \cdot n_1^{0.7} \cdot Ered^{0.03}} \right]^{1.39}$$

$$\eta(q, x, \eta_{om}) := \frac{z_1 \cdot (q+2x) \cdot \cos(a_n)}{z_1 \cdot (q+2x) \cdot \cos(a_n) + \frac{0.04 \cdot [z_1^2 + (q+2x)^2]}{4 \sqrt{\frac{\pi \cdot mx(q, x, \eta_{om}) \cdot n_1}{60000} \cdot \sqrt{z_1^2 + (q+2x)^2}}}}$$

$$miul(q, m_x, x) := \frac{1}{2 \sqrt{\frac{\pi \cdot m_x \cdot n_1 \cdot (q+2x)}{60 \cdot 1000} \cdot \sqrt{z_1^2 + (q+2x)^2}}} \cdot \frac{0.04}{\cos(a_n)}$$

$$f(q, x, \eta_{om}) := \frac{PSIa^3}{3 \cdot \pi \cdot E1} \frac{(q+z_2+2x)^3}{mx(q, x, \eta_{om})^3 \cdot (q+2x)^5} \frac{T_2 \cdot z_1}{\eta(q, x, \eta_{om}) \cdot z_2} \sqrt{1 + 0.1324743 \frac{z_1^2 + (q+2x)^2}{[z_1 + miul(q, mx(q, x, \eta_{om}), x) \cdot (q+2x)]^2}}$$

$$fmx(q, x, \eta_{om}) := \sqrt[3]{\frac{504724.11 \cdot T_2}{z_2^2} \cdot \frac{q + 2 \cdot x}{(q + 2 \cdot x - \text{miu}(q, mx(q, x, \eta_{om}), x) \cdot z_1) \cdot \sqrt{(q + 2 \cdot x)^2 + z_1^2}} \cdot \frac{1}{S \text{meg}^2}}$$

```

etava(eps, q1, q2, x1, x2, eta_om) :=
  k ← 0
  for q ∈ q1..q2
    for x ∈ x1, x1 + 0.1..x2
      if (eta(q, x, eta_om) ≥ eps) ∧ (f(q, x, eta_om) < 0.004) ∧ (mx(q, x, eta_om) > fmx(q, x, eta_om))
        Mk,0 ← q
        Mk,1 ← x
        Mk,2 ← eta(q, x, eta_om)
        Mk,3 ← f(q, x, eta_om)
        Mk,4 ← mx(q, x, eta_om)
        Mk,5 ← fmx(q, x, eta_om)
        k ← k + 1
  M

```

M := etaval(0.86, 7, 17, -1, 1, 0.08)

M1 := stack(["q" "x" "eta" "f" "mx" "fmx"), csort(M, 2)]

	0	1	2	3	4	5
0	"q"	"x"	"eta"	"f"	"mx"	"fmx"
1	7	-0.3	0.86	1.333·10 ⁻⁷	17.127	0.555
2	8	-0.8	0.861	1.206·10 ⁻⁷	17.711	0.555
3	7	-0.4	0.863	1.433·10 ⁻⁷	17.396	0.56
4	8	-0.9	0.864	1.294·10 ⁻⁷	17.999	0.56
M1 = 5	7	-0.5	0.867	1.546·10 ⁻⁷	17.672	0.566
6	8	-1	0.868	1.394·10 ⁻⁷	18.295	0.566
7	7	-0.6	0.87	1.676·10 ⁻⁷	17.956	0.573
8	7	-0.7	0.873	1.825·10 ⁻⁷	18.249	0.579
9	7	-0.8	0.876	1.997·10 ⁻⁷	18.55	0.586
10	7	-0.9	0.879	2.198·10 ⁻⁷	18.861	0.593
11	7	-1	0.883	2.434·10 ⁻⁷	19.181	0.601

Szakirodalom

- [1] Antal, T. S., Antal, B.: Algoritmus a csigahajtások főméreteinek meghatározására. Műszaki szemle. EMT. K-vár. 2005, 29 sz. 3-8p.
- [2] Drobni, J.: Korszerű csigahajtások. Tenzor Kft. Miskolc. 2001.
- [3] Döbbel: Taschenbuch für den Maschinenbau, 19 Auflage, 1997.
- [4] Dudás, I.: The Theory and Practice of Worm Gear Drives. Penton Press. London. 2000.
- [5] Lévai, I.: Veszteségszám értelmezése a kitérő tengelyű hajtások relatív csavarterében, ME Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék, Miskolc, 1996.
- [6] Maros, D. Killmann, V., Rohonyi, V.: Csigahajtások. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1970.
- [7] Niemann, G. und Winter, H.: Maschinenelemente Band 3. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. 1983.

Bio-motorhajtóanyagok befecskendezési jellemzőinek optimalizálása

Optimization of Injection Parameters for Biofuel Jet

Dr. BARABÁS István, Dr. TODORUȚ Adrian, Dr. CSIBI VENCEL-József

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Mechanika Kar

Abstract

In terms of energy savings and protection of global environment against air pollution is a very important problem. Vegetable oil is an interesting alternative to fossil diesel fuel, as they are renewable source of energy, have a low sulfur content, and are safe to store. However, using vegetable oils in order to fuel direct injection diesel engines creates problems due to their low heat energy, low volatility and high viscosity.

These problems are reduced to minimum by subjecting the vegetable oils to the process of tranesterification. Some problems remain, like as spray parameters – injection velocity, injection cone angle, spray penetration, droplets size – modified by different fuel properties.

In this paper, using a numerical analysis, which was used to understand the phenomena of fuel injection process and the help the development of the spray specifications, is described.

Bevezetés

Az alternatív motorhajtó-anyagok szükségességének két legfontosabb szempontja a környezetszennyezés és a hagyományos – többnyire fosszilis eredetű – energiahordozók természetes tartaléknak végeessége. Biomasszából előállított motorhajtó-anyagokkal részben vagy egészben kiválthatók a hagyományos hajtóanyagok, azonban széleskörű alkalmazásuk még várat magára.

Új típusú motorhajtó-anyagok bevezetése feltételezi a belsőégésű motor és a hajtóanyag egymáshoz való illesztését. Ennek megvalósítására három megoldás kínálkozik: a hajtóanyag illesztése a motorhoz, a motor illesztése a hajtóanyaghoz és az előbbi kettő kompromisszumos megoldása.

Írásunk a biodízel típusú motorhajtóanyagok illeszthetőségének vizsgálatát tűzte ki célul, a motorikus folyamatokat nagyban befolyásoló befecskendezés minőségének elméleti kutatásával.

1. A biodízel típusú motorhajtó-anyagok a befecskendezés minőségét befolyásoló fontosabb tulajdonságai

A biodízel alapanyaga lehet növényi olaj, állati zsíradék, valamint különböző termokémiai úton előállított biomassza alapú szénhidrogén termék. Napjainkban a legszélesebb körű felhasználásnak a növényi olajok metilészterei örvendenek.

Bár a növényi olajok metilészterei nagyban megközelítik a gázolaj fizikai és kémiai tulajdonságait, mégis maradnak olyan paraméterek, amelyek a motor keverékképzését nagyban befolyásolják. Összehasonlítás-ként, a legfontosabb növényi olajból nyert metilészterek fizikai tulajdonságait az 1. táblázatban foglaltuk össze. A Romániában szabványosított gázolaj (SR EN 590) valamint az Európai Unió biodízellel vonatkozó előírásai (EN 14214) a táblázatban összehasonlítás céljából szerepelnek.

1. Táblázat

A biodízel típusú motorhajtóanyagok fontosabb tulajdonságai

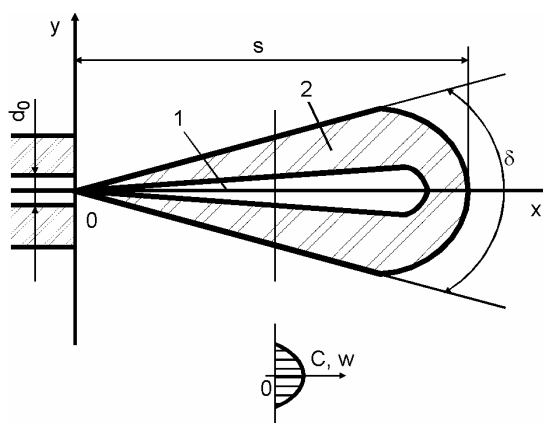
Tulajdonság	Jelölés	Mértékegység	Repceolaj metil észter (RME)	Napraforgóolaj metil észter (NFME)	Szójaolaj metil észter (SZME)	Biodízel, EN 14214	Gázolaj, SR EN 590
Cetánszám	CC	–	54,4	39,9	46,2	min. 51	47,8
Sűrűség 15 °C-on	ρ	kg/ m ³	874	873	884	860-900	852
Kinematikai viszkozitás 40°C-on	ν	m ² /s	6,2·10 ⁻⁶	3,66·10 ⁻⁶	3,8·10 ⁻⁶	5,5-5·10 ⁻⁶	3,2·10 ⁻⁶
Dinamikai viszkozitás 40°C-on	η	N·s/ m ²	5,42·10 ⁻³	3,22·10 ⁻³	3,3·10 ⁻³	nincs meghat.	2,73·10 ⁻³
Felületi feszültség	σ	N/m	25,4·10 ⁻³	28,8·10 ⁻³	28,2·10 ⁻³	nincs meghat.	22,5·10 ⁻³
Alsó fűtőérték	Q _i	MJ/kg	37,77	37,19	37,04	nincs meghat.	(42,50)
Zavarodáspont	t _t	°C	-2	2	0	nincs meghat.	-12
Fagypon	t _f	°C	-9	-3	-2	nincs meghat.	-16
Égési hőmérséklet	t _a	°C	179		188	nincs meghat.	74
Lobbanáspont	t _{aa}	°C	210		204	101	88

A táblázatban bemutatott értékeket összehasonlítva megállapíthatók a következők:

- növényi olajokból nyert biodízel típusú hajtóanyagok sűrűsége bár magasabb a gázolajénál, beilleszkedik a biodízel szabványban előírt intervallumba;
- a bio-motorhajtóanyagok 40°C-on mért kinematikai viszkozitása magasabb a gázolajéhoz képest, azonban csupán a RME esetében észlelhető a szabványban javasolt értékek enyhe túllépése;
- a felületi feszültséget vizsgálva megállapítható, hogy a biohajtóanyagok esetében ennek értéke jóval magasabb a gázolajénál, ami nagyban befolyásolja a befecskendezés minőségét;
- a biodízel fűtőértéke alacsonyabb a gázolajénál, ami a motor teljesítményének a csökkenéséhez és a tüzelőanyag-fogyasztás növekedéséhez vezet;
- alacsony hőmérséklet-tartományban a biodízel hajlamosabb zavarodásra, a fagypontja pedig 8-14 °C-kal magasabb a gázolajénál.

2. A befecskendezési folyamat modellezése

A belsőégésű motorok keverékképző rendszerében a tüzelőanyag befecskendezése a porlasztó csúcs furatán nyomáskülönbség hatására létrejövő erő által átréselt tüzelőanyag porlasztásával jön létre (1-es ábra). A porlasztási kép két jól elkülönülő részt mutat be: az 1-el jelölt folyékony halmazállapotú folytonos tüzelőanyag-sugarat és az ezt körülvevő 2-es jelölésű apró cseppekből alakult, ködszerű burkot.



1. ábra

Egyszerűsített porlasztási kép

A folyékony halmazállapotú hajtóanyagok égéséhez elengedhetetlen a tüzelőanyag aprózódása és az égéstérben történő szétszórása. Befecskendezéssel a folyékony halmazállapotú tüzelőanyag a levegővel kapcsolatba kerülő felülete megközelítőleg az ezerszeresére növekszik, elősegítve az előbbi gyorsabb párolgását és az oxidációs kémiai reakciók elindulását és lefolyását. Ugyanakkor, a befecskendezett sugarat úgy irányítja az égéstérbe, hogy a rendelkezésre álló levegő-mennyiség maximálisan kihasználódjon.

A befecskendezés minősége a befecskendező sugár négy fontosabb jellemzőjével értékelhető: porlasztási finomság, porlasztás egyenmősége, szórási távolság (mélység), szórási szög.

A porlasztás finomsága és egyenmősége főként a tüzelőanyag párolgási folyamatát, míg a szórási távolság és a szórási szög a keverékképzés minőségét határozza meg.

A **porlasztási finomság** a tüzelőanyag-sugár aprózódásával létrejövő cseppek méretével írható le. A dízel motorok esetében magas porlasztási minőségre van szükség, ami 10-20 μm -es cseppméretet jelent. Mivel a porlasztás eredményeként létrejövő cseppek méretének szórása meglehetősen nagy, meghatározásukra, különböző egyszerűsítő feltételek figyelembe vételével több képletet is javasoltak [2, 3, 4, 5]. Ezek közül a párolgási folyamatok számításánál használt Sauter féle átlagátmérőt használtuk, ami a cseppek össztérfogatának és összfelületük hányadosának a hatszorosa [4]:

$$\overline{d_{csS}} = 6 \cdot \frac{V_{cs}}{S_{cs}} = \frac{\sum n_{cs} \cdot d_{cs}^3}{\sum n_{cs} \cdot d_{cs}^2} = 1,445 \cdot \frac{d_0^{0,667} \cdot \sigma_{ta}^{0,1927} \cdot \eta_{ta}^{0,1466}}{\rho_l^{0,226} \cdot \rho_{ta}^{0,0733} \cdot w_0^{0,532}} \quad (1)$$

ahol: d_0 – a porlasztócsúcs furatának az átmérője; σ_{ta} – a tüzelőanyag felületi feszültsége; η_{ta} – a tüzelőanyag dinamikai viszkozitása; ρ_l – a levegő sűrűsége; ρ_{ta} – a tüzelőanyag sűrűsége; w_0 – a tüzelőanyag áthaladási sebessége a porlasztócsúcs furatán.

A **porlasztás egyenmősége** akkor a legnagyobb, ha minden befecskendezett csepp azonos átmérőjű. Mivel a gyakorlatban ez nem kivitelezhető, ezért egy elosztási függvénnyel kell megközelíteni, ami egy adott átmérő-tartományban beilleszkedő cseppek gyakoriságát írja le az átlagos átmérőhöz viszonyítva [5]:

$$F = \Phi \cdot \overline{\Delta d_{prob}} \quad (2)$$

ahol Φ az elosztási függvény, $\overline{d_{prob}}$ a várható cseppátmérő átlagmérete.

A **szórási távolság (S)** a befecskendezett tüzelőanyag által τ idő alatt megtett út, ami a következő összefüggéssel számítható [5]:

$$S = \int_0^{\tau} w_x \cdot d\tau \quad (3)$$

ahol w_x – a tüzelőanyag a fűvókafurat irányában, ettől S távolságra eső sebessége.

A szórási távolság akkor optimális, ha a tüzelőanyag a befecskendezés ideje alatt áthalad a teljes égéskamrán, anélkül hogy ennek szemközti falára csapódna.

Ha a szórási távolság túl nagy, a tüzelőanyag az égéstér hideg falára csapódva lassú kémiai folyamatokon megy át, ami tökéletlen égéshez, az égéstér elkoszosodásához és a motor erős, kék színű füstöléséhez vezet. Túl rövid szórás a porlasztócsók környezetében okoz hasonló jelenségeket, emellett mivel a falak közelében levő levegő nem vesz részt az égésben, így ez tökéletlen marad, ami a motor fekete színű füstölésével jár.

A szórási távolság meghatározható, ha ismerjük a befecskendezési sugár szétesésének a porlasztócsúcs-tól mért S_{sze} távolságát [2, 3]:

$$S_{sze} = w_0 \cdot \tau_{sze} \cong k_1 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ta}}{\rho_l}} \cdot d_0 \quad (4)$$

ahol τ_{sze} a befecskendezési sugár szétesésének pillanatáig eltelt idő, S_{sze} – a befecskendezési sugár szétesésének a porlasztócsúcs-tól mért távolsága, $k_1 = 15,8$ – kísérleti úton megállapított állandó.

A w_0 sebességet az energiamérleg egyenletéből kapott képlettel lehet kiszámolni [1, 5]:

$$w_0 = \mu_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{ta}}} \quad (5)$$

ahol μ_0 állandó a porlasztócsúcs furatában létrejövő veszteségeket veszi figyelembe, Δp – pedig a befecskendezési nyomás és az égéstéri nyomás különbsége.

A előbbi két összefüggésből kifejezhető a befecskendezési sugár szétesésének pillanatáig eltelt idő [2]:

$$\tau_{sze} = \frac{c_1 \cdot \rho_{ta} \cdot d_0}{\sqrt{2 \cdot \mu_0^2 \cdot \rho_l \cdot \Delta p}} \quad (6)$$

Abból a feltételből kiindulva, hogy a befecskendezési sugár szétesésének pillanatától a szórási távolság egyenesen arányos a befecskendezési sugár szétesésének pillanatáig eltelt időnek a négyzetgyökével, e pillanattól kezdve a szórási távolságot a következő egyenlet írja le:

$$S = k_2 \cdot \sqrt{\tau_{sze}} \quad (x.10)$$

ahol a c_2 állandó értékét az $S = S_{sze}$ és $\tau = \tau_{sze}$ feltételekből lehet kifejezni:

$$k_2 = \sqrt[4]{2} \cdot \sqrt{k_1 \cdot \mu_0 \cdot d_0} \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta p}{\rho_l}} \quad (7)$$

A hidraulikus veszteségeket figyelembe vevő együtttható kísérleti úton meghatározott értéke $\mu_0 = 0,39$, amivel a szórási távolságot a következőképpen lehet felírni [4, 5]:

$$S = \begin{cases} 0,39 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_l}} \cdot \tau & 0 < \tau < \tau_{sze} \\ 2,95 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta p}{\rho_l}} \cdot \sqrt{d_0 \cdot \tau} & \tau > \tau_{sze} \end{cases} \quad (8)$$

ahol

$$\tau_{sze} = 28,65 \cdot \frac{\rho_{ta} \cdot d_0}{\sqrt{\rho_l \cdot \Delta p}} \quad (9)$$

A szórási távolság egyenesen arányos a d_0 , w_0 , ρ_{ta} , η_{ta} , τ , és fordítottn a ρ_l , σ_{ta} paraméterekkel, vagyis a porlasztás egyneműségét és a szórási távolságot ugyanazok a tényezők határozzák meg.

A szórási szög (δ) a porlasztási kép körvonalára érintőlegesen, a porlasztócsónk furatából kiindulva szerkesztett kúp központi szöge. Kísérleti úton bizonyított, hogy a szórási szög időben változó paraméter, aminek értéke csupán a befecskendezési idő vége felé állandósul. A szórási szög a szórási távolsággal együtt a tüzelőanyag égéstéri eloszlását jellemzi. Értékének meghatározására több tapasztalati összefüggést is javasoltak. Ezek közül az egyik [2]:

$$\delta = k_3 \cdot \left(\frac{\rho_{ta}}{\rho_l} \right)^{m_1} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{ta}}} \cdot \frac{d_0 \cdot \rho_{ta}}{\mu_l} \right)^{m_2} \quad (10)$$

ahol ρ_l a levegő kinematikai viszkozitása, $k_3 = 0,00413$; $m_1 = -0,25$; $m_2 = 0,5$ tapasztalati állandók.

Behelyettesítve az előbbi összefüggésbe, a szórási szög értéke a következőképpen alakul [2]:

$$\delta = 0,05 \cdot \sqrt[4]{\frac{d_0^2 \cdot \rho_l \cdot \Delta p}{\mu_l^2}} \quad (11)$$

Egy másik tapasztalati összefüggés a szórási szög meghatározására [2, 5]:

$$\tan(\delta) = \frac{1}{A} 4\pi \sqrt{\frac{\rho_{ta}}{\rho_l}} \frac{\sqrt{3}}{6} \quad (12)$$

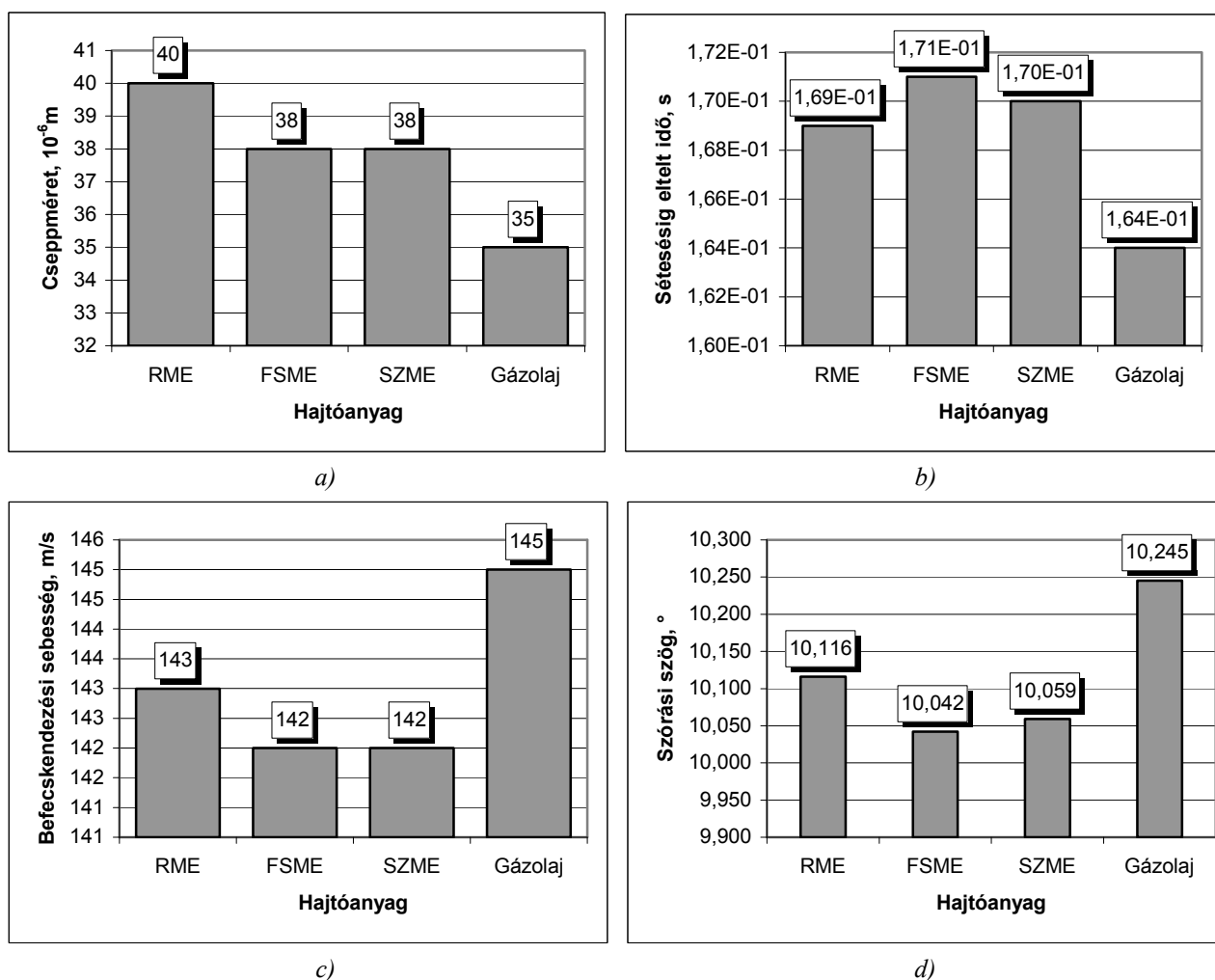
ahol

$$A = 3 + 0,28 \frac{l_0}{d_0} \quad (13)$$

3. Számítási eredmények

A modell alapján elvégzett számítások eredményeit a 2. ábrán mutatjuk be. Megállapítható, hogy a cseppméret növekszik a biohajtóanyagok esetében, elsősorban a magasabb viszkozitásuk és felületi feszültségük eredményeképpen. A megnövekedett cseppméret egyenes következménye, hogy kevésbé egynemű lesz a keverék, az alacsonyabb párolgási sebesség pedig lassúbb keverékképzést eredményez. Egyidejűleg megnő a tüzelőanyag-sugár széteséséig eltelt idő, ezzel együtt pedig a porlasztási távolság, aminek következtében a tüzelőanyag rácsapódik az égéstér falára. Mindezek a körülmények a tüzelőanyag tökéletlen égéséhez vezet.

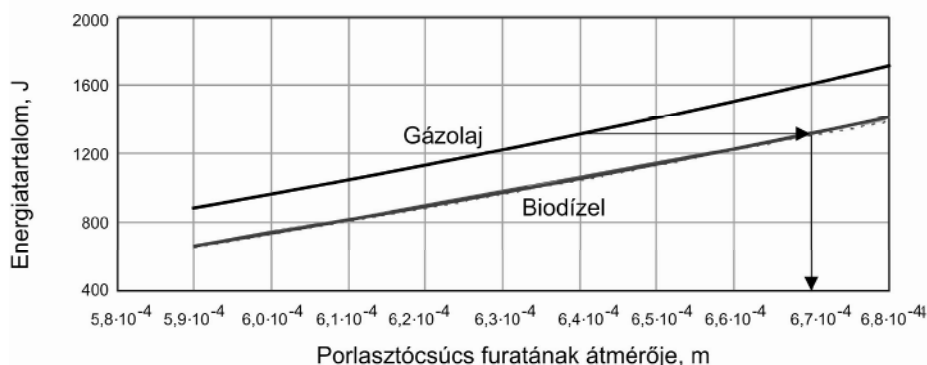
A lecsökkent befecskendezési sebesség miatt az égéstérbe juttatott tüzelőanyag mennyisége csökken, ami, az alacsonyabb fűtőérték mellett, tovább rontja a motorba fecskendezett energia mennyiségét. Megállapítható, hogy a szórási szög lényegesen nem változik.



2. ábra

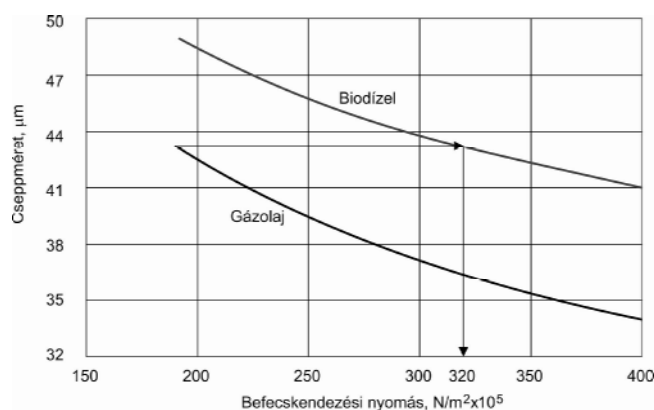
A befecskendezés fontosabb minőségi mutatói: a – cseppméret, b – szétesésig eltelt idő, c – befecskendezési sebesség, d – szórási szög

A fentiekből megállapítható, hogy ahhoz, hogy a motor teljesítménye ne csökkenjen, meg kell növelni a motor-ciklusonként befecskendezett tüzelőanyag-adagot. A szórási távolság lecsökkentéséhez valamint a porlasztás egyneműségének javításához pedig le kell csökkenteni a cseppméretet. Ezeknek megvalósításához meg kell növelni a porlasztócsúcs furatának átmérőjét (3. ábra) és a befecskendezési nyomást (4. ábra).



3. ábra

A befecskendezett tüzelőanyag energiataralmának változása a porlasztócsúcs furatának függvényében



4. ábra

A befecskendezési nyomás optimalizálása a megfelelő cseppméret eléréséhez.

Összefoglalás

A bio-hajtóanyagok motorikus felhasználásával középtávon kiválthatók a hagyományos motorhajtó anyagok. Mivel a bio-motorhajtóanyagok fizikai tulajdonságai különböznek a gázolajétól, ezek alkalmazása megköveteli a motor egyes paramétereinek módosítását. A porlasztócsúcs furatának növelésével megvalósítható a motor teljesítményének megtartása, a befecskendezési nyomás növelésével pedig elérhető a porlasztás minőségének megtartása.

Felhasznált irodalom

- [1] Christopher von Kuensberg Sarre, Song-Charng Kong, Rolf D. Reitz: *Modeling the Effects of Injector Nozzle Geometry on Diesel Sprays*, SAE Paper 1999-01-0912.
- [2] Hiroyasu, H., Arai, M.: *Fuel Spray Penetration and Spray Angle of Diesel Engines*, Trans. of JSAE, Vol. 21, pp. 5-11, 1980.
- [3] Jung, D., Assanis, D. N.: *Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model for Cycle Simulation Studies of Engine Performance and Emissions*. SAE Paper 2001-01-1246.
- [4] Mariașiu, F.: *Modelarea injectiei de combustibil la motoare cu aprindere prin comprimare*. Cluj-Napoca, Sincron könyvkiadó, 2001.
- [5] Mariașiu, F., Bățaga, N., Barabás, I.: *Modelarea curgerii hidrodinamice a combustibilului prin orificiul unui injector*. Pitești, 2000.

Rugalmaskötésű minimegfogók meghajtása

The Actuation of the Minigrippers with Flexure Joint

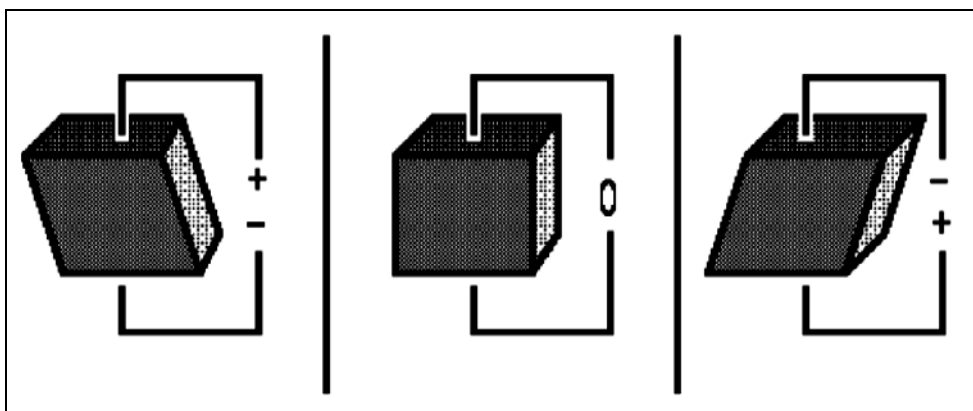
Dr. CSIBI Vencel, NOVEANU Simona, LUNGU Ion
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Mechanika Kar

Abstarct

In this paper, the compliant mechanisms are presented and the piezoelectric actuation principle was used to generate movement of the minigripper with flexure hinge. Because compliant mechanisms are different from the traditional rigid body mechanisms, in second part, we proposed a method for analysis with finite elements. Finally any constructively varianst of minigrippes are presented.

1. Bevezetés

A minimegfogók kis mérete miatt sajátos meghajtókat használunk. Ilyenek a piezoelektromos meghajtók, melyek a kis, de ellenőrzött alakváltozású aktív részű meghajtók csoportjába tartoznak. Ezek az elektromos energiát mechanikai energiává alakítják át piezoelektromos effektus alapján. Ha az elektromos teret változóárammal képezzük, kétirányú vibráló mozgást kapunk, melynek amplitúdója és frekvenciája ellenőrizhető (1. ábra)[1]. A mellékelt ábrán látszik az ellenkező irányú kilengés a pólusváltozás hatására.



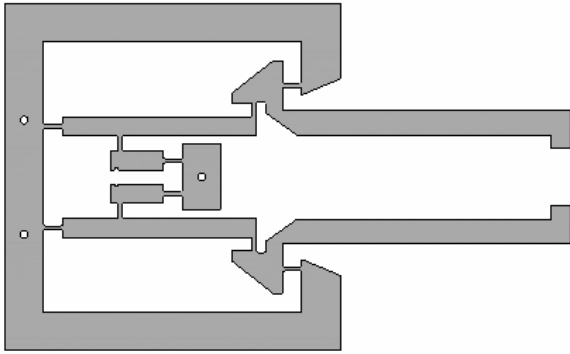
1. ábra

Mivel a piezoelektromos anyagok alakváltozása kicsi, ezért a meghajtók szerkezeti felépítésében több ilyen összeillesztve, csoportosan használják. Ha egymásra teszik őket, akkor az elmozdulások összeadódnak, ellenben ha egymás után illesztik össze, akkor hosszában elhajló alakzatot kapunk [1].

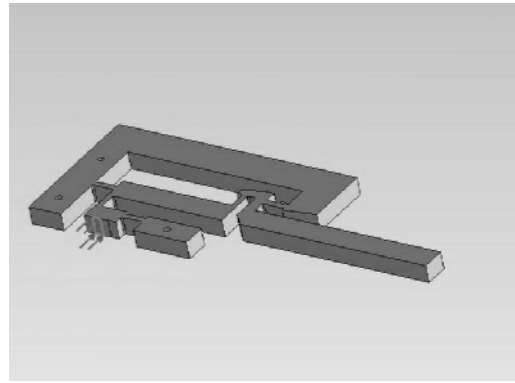
2. Végeselemes analízis rugalmaskötésű megfogónál

A dolgozatban egy rugalmaskötésű robotmegfogónál alkalmazunk piezoelektromos meghajtást. A megfogónak öt rugalmas kötése van egy-egy szárában, melyek többszörösen növelik a piezoelektromos mozgást (2. ábra).

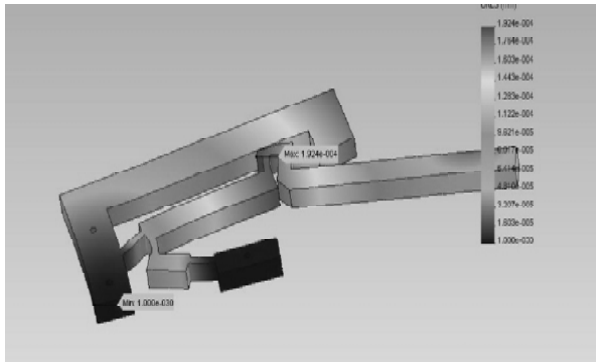
A megfogó megterhelését és elmozdulását végeselem módszerrel ellenőrizzük. Mivel a megfogó hosszantian szimmetrikus, csak az egyik szára volt megterhelve (3, 4, 5 ábrák).



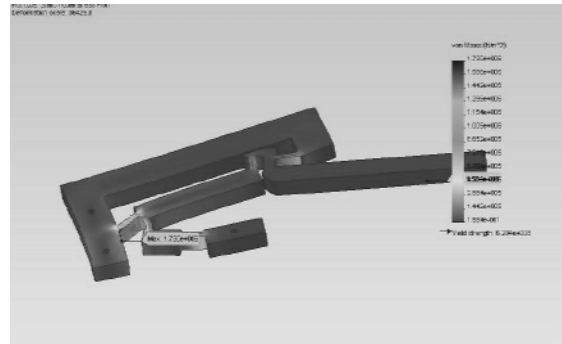
2. ábra



3. ábra



4. ábra



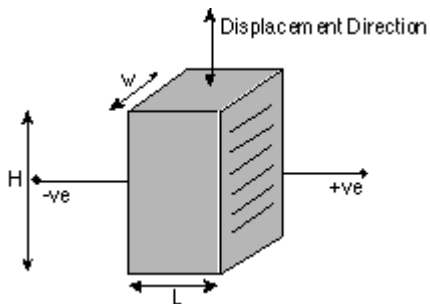
5. ábra

3. A piezoelektromos meghajtó vezérlése

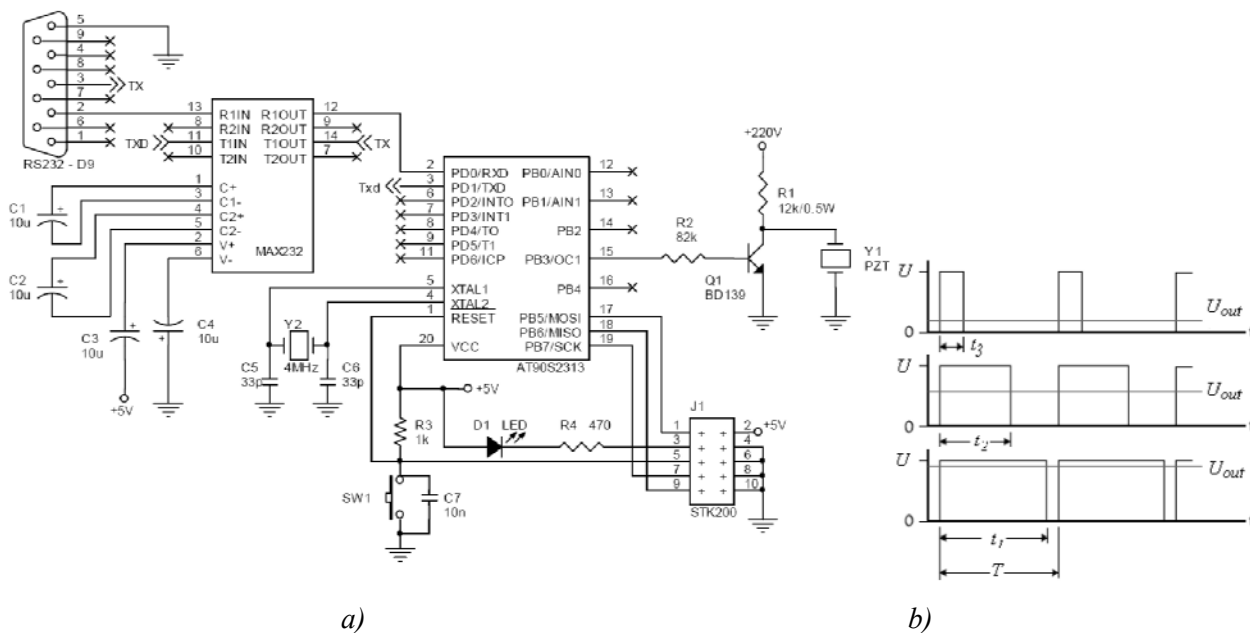
Egy egymásra illesztett Morgan Electro Ceramics d_{33} , PXE54 típusú piezoelektromos meghajtót használunk. Az egymásra illesztett meghajtó ereje $0,1 \div 14$ N, a biztosított löket $30 \div 5000$ μm és a tápláló feszültség $-10 \div 60$ V között van. A megszabott frekvencia 1,95 kHz. Az 1. táblázat a gyártó cég által megadott paramétereket tartalmazza.

1. Táblázat

	Unit	Min.	Max.
Length	mm	9	65
Width	mm	4	12
Height	mm	0.4	1.5
Dielectric Thickness	μm	10	40
Operating Voltage	V	-10	60
Displacement	μm	30	5000
Blocking Force	N	0.1	14
Clamping Length	mm	3.5	
Termination	evaporated Cr, Ni, Au		



A fenti adatok figyelembevételével megalkottuk a piezoelektromos impulzusos hajtás kapcsolási rajzát PWM (Pulse-Width Modulated) (6.a ábra). Az impulzusok az állandó U amplitúdó és a T periódus értékskaláját jelentik, ahol a szélesség változó (t_1, t_2, \dots).



6. ábra

Az impulzusok szélessége arányos a tápláló U feszültséggel, míg az időtartama a kijövő U_{out} feszültséggel. Ezeket az összefüggéseket szemlélteti a 6.b ábra. A PWM impulzusokat egy AT90S2313 mikrokontroller kelti.

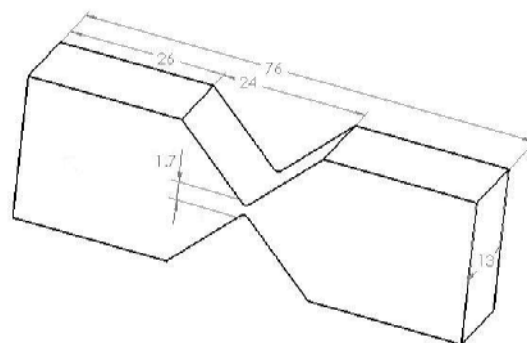
A fentiek alapján két program keletkezett, egy Bascom AVR, a mikrokontroller programozására és egy DELPHI program, amely a tényleges vezérlést végzi.

4. Gyakorlati kísérletek

A teljes megfogó vizsgálata előtt, csak egy-egy rugalmas kötést terhelünk meg. E célból egy parabolikus és egy hiperbolikus rugalmas kötés terhelésre történő viselkedését tanulmányozzuk.



7. ábra



8. ábra

A hiperbolikus profilú, valódi rugalmas kötést a 7. ábra, míg a méreteit a 8. ábra szemlélteti.

A hiperbolikus kötés erőmegterhelés méretének mértékét és a mért elhajlásokat a 2. táblázat szemlélteti.

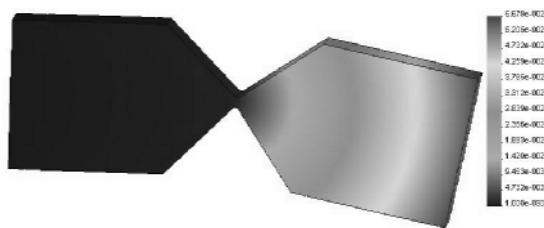
2. Táblázat

Mérések	1	2	3	4	5	6	7
Terhelési erő [N]	4.9	7.35	9.8	14.7	19.6	24.5	27.44
Elhajlás [mm]	0.01	0.012	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08

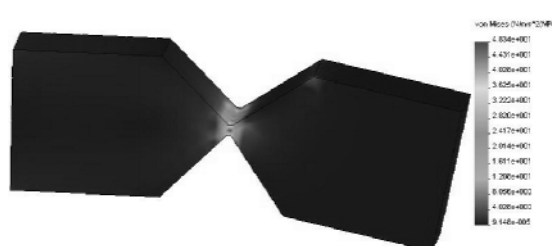
Ismervén a kötés méreteit, lehetőség nyílt, a kísérleti megterheléseket alkalmazva, a végeelem módszerrel való tanulmányozásra is, mely eredményeit a 3. táblázat szemlélteti. A legnagyobb kilengést a 9. ábra, míg a megterhelést az 10. ábra szemlélteti.

3. Táblázat

	ME	1	2	3	4	5	6	7
Erő	N	4.9	7.35	9.8	14.7	19.6	24.5	27.44
Von Mises feszültség	N/mm ² (Mpa)	8.6313	12.947	17.263	25.894	34.525	43.156	48.335
P1: Normális feszültség (első főirány)	N/mm ² (Mpa)	10.088	15.132	20.176	30.264	40.352	50.44	56.492
P2: Normális feszültség (második főirány)	N/mm ² (Mpa)	-4.0714	-6.1072	-8.1429	-12.214	-16.286	-20.357	-22.8
P3: Normális feszültség (harmadik főirány)	N/mm ² (Mpa)	-11.113	-16.669	-22.225	-33.338	-44.45	-55.563	-62.23
Elhajlás	mm	0.010139	0.015209	0.020279	0.030418	0.040557	0.050697	0.05678
Ekvivalens feszültség		8.58E-05	0.000129	0.000172	0.000258	0.000343	0.000429	0.000481

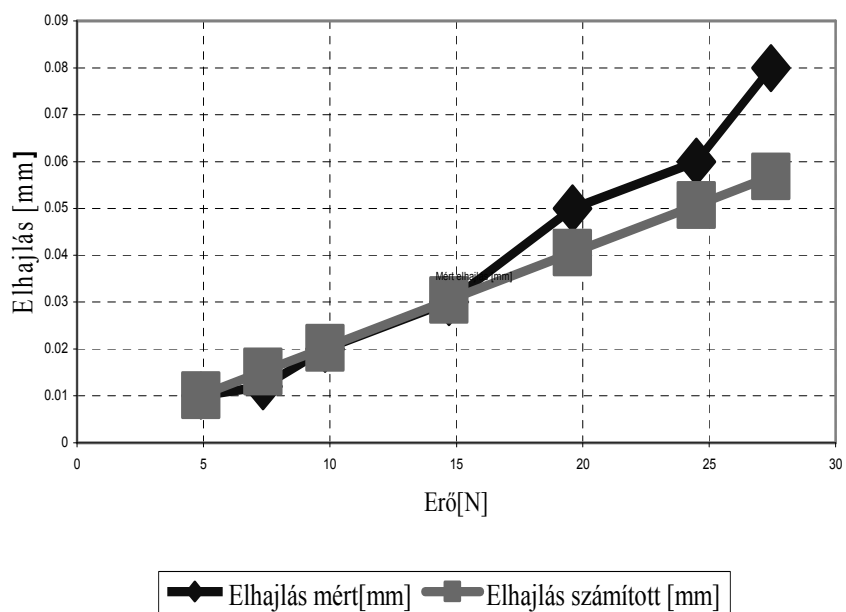


9. ábra



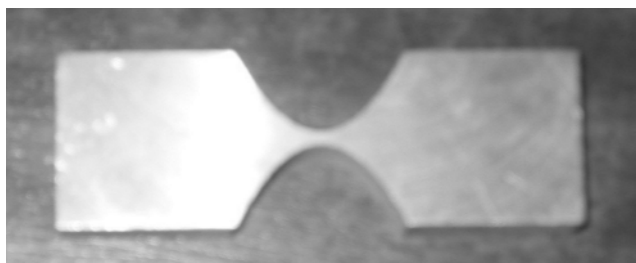
10. ábra

A mért és a végelemmel számított eredmények összehasonlítását a 11. ábra szemlélteti, melyből kitűnik, hogy az eltérések nem nagyok.

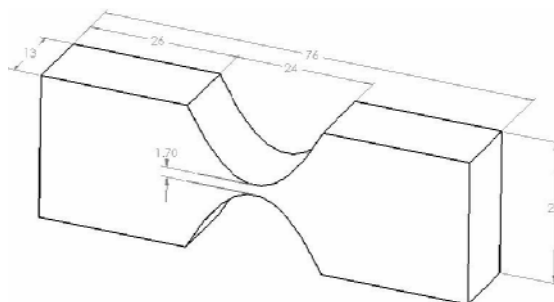


11. ábra

A második esetben, ugyanolyan technológiai eljárással egy **parabolikus profilú** rugalmas kötést (12., 13. ábra) vizsgáltunk, a 4. táblázat szerinti megterhelés hatására.



12. ábra



13. ábra

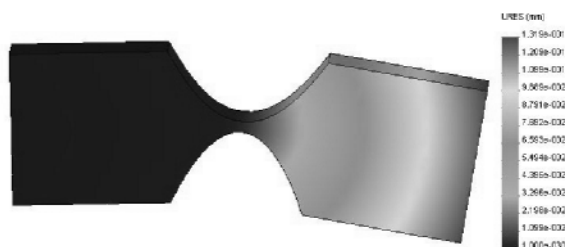
4. Táblázat

Mérések	1	2	3	4	5	6	7
Erő [N]	4.9	7.35	9.8	14.7	19.6	24.5	27.44
Elhajlás [mm]	0.02	0.03	0.04	0.08	0.09	0.1	0.13

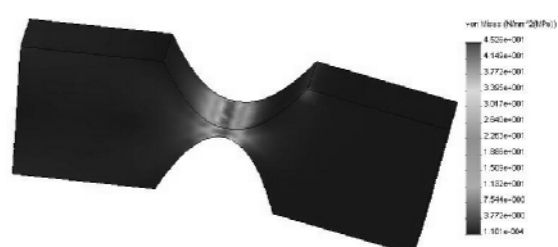
A végelemmel való tanulmányozást a 14. ábra, a maximális von Mises feszültséget a 15. ábra, a számított eredményeket az 5. táblázat szemlélteti.

5. Táblázat

	ME	1	2	3	4	5	6	7
Erő	N	4.9	7.35	9.8	14.7	19.6	24.5	27.44
P1: Normális feszültség (első főirány)	N/mm ² (Mpa)	9.3759	14.064	18.752	28.128	37.504	46.879	52.505
P2: Normális feszültség (második főirány)	N/mm ² (Mpa)	-3.2085	-4.8128	-6.417	-9.6255	-12.834	-16.043	-17.968
P3: Normális feszültség (harmadik főirány)	N/mm ² (Mpa)	-9.5483	-14.322	-19.097	-28.645	-38.193	-47.742	-53.471
Elhajlás	mm	0.023546	0.035319	0.047092	0.070639	0.094185	0.11773	0.13186
Ekvivalens feszültség		8.02E-05	0.00012	0.00016	0.000241	0.000321	0.000401	0.000449

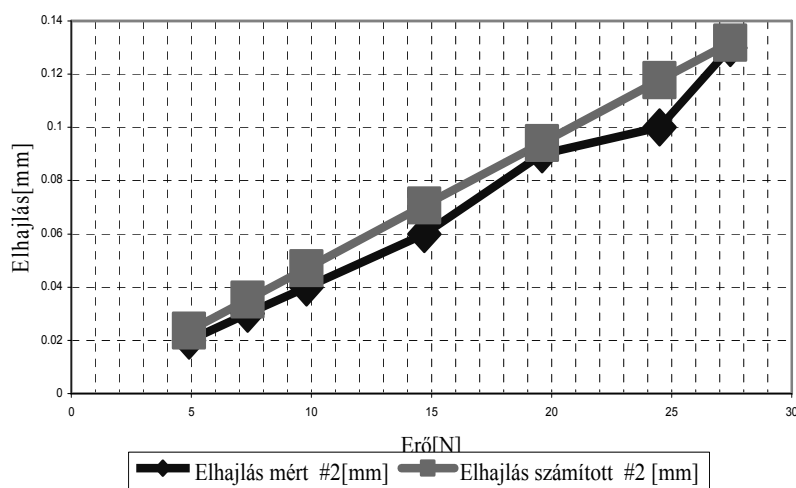


14. ábra



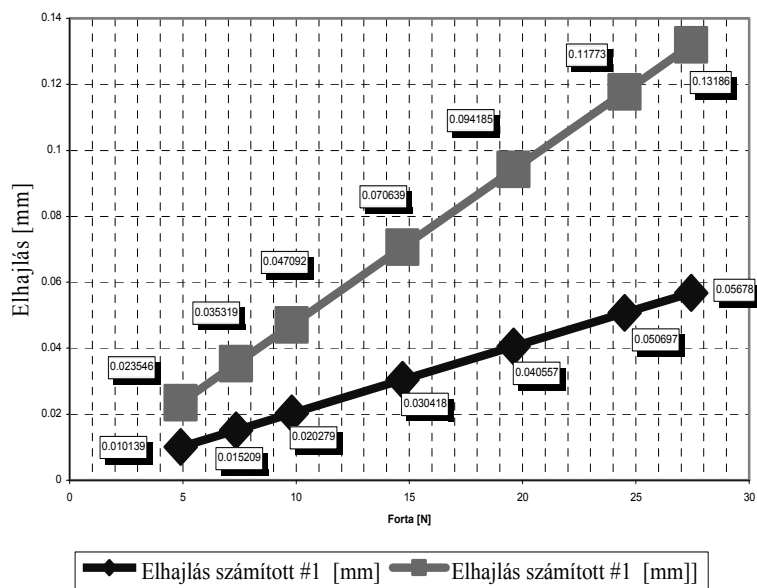
15. ábra

A mért és a számított eredmények között nincs nagy eltérés, amint a 16. ábrán is látható.



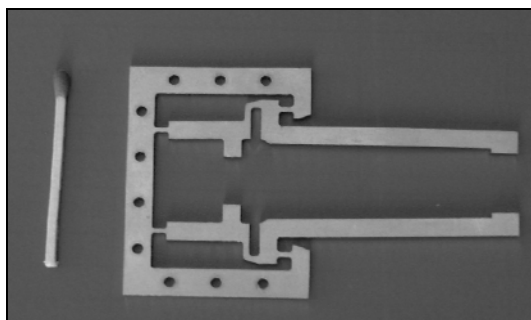
16. ábra

Végül, összehasonlítva a két különböző profilú rugalmas kötés tanulmányozásánál kapott eredményeket (17. ábra), azt a következtetést lehet levonni, hogy a parabolikus profilnak nagyobb elhajlása van ugyanolyan megterhelésnél, mint a hiperbolikusnak. Ezt a tulajdonságot a különböző működési paramétereket biztosító mikromechanizmusok tervezésénél kell figyelembe venni.

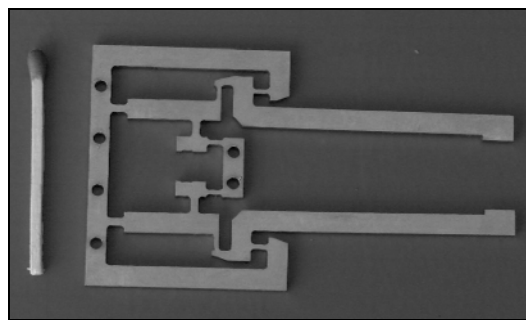


17. ábra

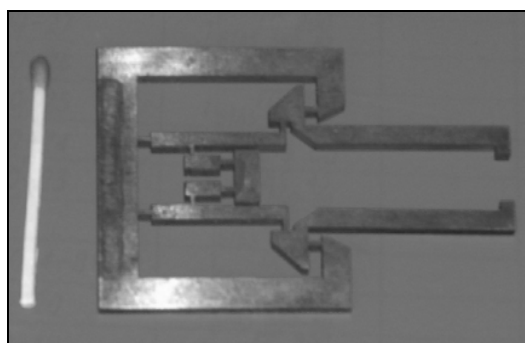
A fenti rugalmas kötések felhasználva több minimegfogót gyártottunk, melyeket a 18, 19, 20, 21 ábrák szemléltetnek:



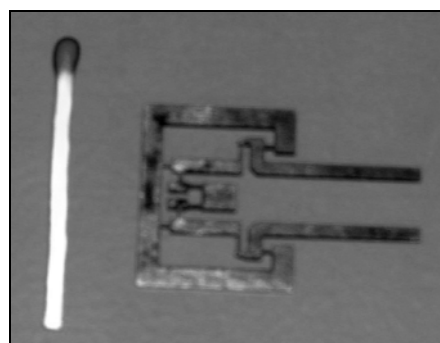
18. ábra



19. ábra



20. ábra



21. ábra

Végül, a végeelem módszerrel tanulmányozott megfogók eredményeit összehasonlítottuk a mért értékekkel, melyek között nem voltak nagyok az eltérések.

Irodalom

- [1] Csibi, V., Mandru, D., Noveanu, S., Crisan, R.: Research concerning micromanipulation and design of microgrippers, In *Miskolcér Gesprache*, “Die neuesten ergebnisse auf dem gebiet fordertechnik und logistik”, pp. 175 – 181, Cluj-Napoca, 2003.
- [2] Fatikow, S., Rembold, U., *Microsystem Technology and Microrobotics*, Springer-Verlag, Berlin, 1997.
- [3] Goldfarb M., Celanovic N., A flexure-based gripper for small-scale manipulation, *Robotica*, vol. 17, pp. 181-187, 1999.
- [4] Howell, L.L., *Compliant Mechanisms*, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [5] Kohl M., Just E., Pflöging W., Miyazaki S., SMA microgripper with Integrated antagonism, *Sensors and Actuators* 83 (2000), pp. 208-213.
- [6] Lobonțiu N., *Compliant mechanisms : design of flexure hinges.*, CRC Press LLC: New York, 2002, pag.1-15
- [7] Mandru, D. Actuating system in Precision Engineering and Mechatronics, Ed. Alma Mater, Cluj-Napoca, 2004.
- [8] Noveanu, S., *Research concerning compliant mechanisms*, Raport of Doctoral Thesis, Supervisor: Csibi V., Technical University of Cluj-Napoca, 2004.
- [9] Paros, J.M. and Weisbord, L., How to design flexure hinges, *Machine Design*, November, 151, 1965.
- [10] Pisel, P., *Design and EDM Machining of SMA actuated mini/microgrippers*, Master of Science Thesis, Supervisor: Mandru D., Technical University of Cluj-Napoca, 2005.
- [11] Salim, R., Schwuchow, S.: Designing microgrippers for shape memory actuators - *Proceedings of Actuator 2000*, The 7th International Conference on New Actuators, Bremen, pp. 576-578.
- [12] Smith, S.T., *Flexures. Elements of Elastic Mechanisms*, Gordon & Breach, Amsterdam, 2000.
- [13] Tanikawa, T., Arai, T.: Development of a Micro – Manipulation System Having a Two – Fingered, Micro – Hand, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 15, pp. 152-162, 1999.
- [14] <http://www.morganelectroceramics.com/techpub1.html>

Autóipari klaszter működésének alapelvei

Operating Principles of an Automotive Cluster

MÉSZÁROS Ferenc, Dr. CSELÉNYI József

Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Kar

Abstract

The paper introduces the structure and tasks of Carpathian Incarrier Network and describes the services given for the supplier members (mainly small and medium sized enterprises) and the buyer members (mainly automotive manufacturers, first and second tier suppliers) of the cluster. The possible variations for assigning the suppliers-buyers, and mathematical methods of assigning are considered in the paper.

Összefoglaló

Az dolgozat áttekinti a Kárpátok Beszállítói Klaszter felépítését, feladatait, illetve a klaszter beszállító tagjainak (főleg kis és középvállalatok) és a felhasználóknak (főleg járműgyártók, illetve azok elsődleges és másodlagos beszállítói) nyújtott szolgáltatásokat. Ismertetjük a beszállítóknak a felhasználókhöz való hozzárendelésének lehetséges változatait, valamint az optimális hozzárendelés lehetséges matematikai módszereit.

Kulcsszavak: logisztika, klaszterek, ellátási lánc, autóipar, KKV-k

1. Bevezetés

Napjainkban az egyik legmeghatározóbb gazdaságfejlesztési irányzat a klaszterorientált fejlesztés, melynek célja az egy adott iparágon belül – értéklánc mentén – szerveződő vállalkozások, az állami és a magánszféra kutatóintézetei és oktatási intézményei, különböző gazdaságfejlesztési szervezetek, és az egyéb szolgáltatásokat (pl. logisztika) nyújtó cégek közötti együttműködés elmélyítése, erősítése. A klaszter tagjait az alábbi tényezők közül egy vagy több köti össze általában:

- beszállítói kapcsolatok;
- közös technológiák;
- közös vásárlók és disztribúciós csatornák;
- közös munkaerőpiac.

A klaszterek alkalmazásának tipikus területe az autóipar, ahol az alkatrészek és a részegységek sokféleségéből adódóan nagy a térben elkülönülő beszállítók száma, és a járműgyártók termelékenységének fenntartása érdekében különösen nagy jelentősége van a szállítási határidők betartásának, így kiemelt jelentősége van a logisztikának. Jelen dolgozat a Miskolci Egyetemen működő Tudásintenzív Mechatronikai és Logisztikai Rendszerek Regionális Egyetemi Tudásközpont keretei között zajló, a Kárpátok Beszállítói Klaszter logisztikai rendszerének kialakítására irányuló kutatások kezdeti eredményeit kívánja bemutatni.

2. Az autóipari klaszter feladatai

A beszállítói klaszter alapvető feladatainak elsődlegesen logisztikai szempontú csoportosítása a következő:

- alkatrész, részegység beszállítóknak (döntően KKV-knak) a felhasználókhöz (döntően a járműgyártók elsődleges, illetve másodlagos beszállítóihoz) való hozzárendelése;
- logisztikai és bizonyos nem logisztikai szolgáltatók és a szolgáltatást igénybe vevő vállalatok egymáshoz való hozzárendelése, és a nyújtott szolgáltatások ütemezése;
- logisztikai és bizonyos nem logisztikai szolgáltatások nyújtása a klasztertagoknak, amelyek lehetnek:

- elsődlegesen logisztikai szolgáltatások (pl. raktározás, üzemek közötti szállítás, csomagolás stb.);
 - elsődlegesen nem logisztikai, de jelentős anyag- és információáramlással járó szolgáltatások (pl. karbantartás, hulladékkezelés, -szállítás, -raktározás);
- bizonyos klasztermenedzsment feladatok, ahol szintén fontos szerepet kell kapnia a logisztikának (pl. logisztikai képzések szervezése, K+F programok indítása, logisztikai benchmarking projektek szervezése, folyamatos beszállító fejlesztés).

A feladatok felsorolása természetesen nem teljes körű, hiszen a klaszter tagjai számára számos egyéb – döntően üzleti jellegű – szolgáltatás nyújtása is indokolt és célszerű, mint a pénzügyi szolgáltatások, üzleti tanácsadás, vagy a munkaerőkölcsönzés. A klasztermenedzsment előzőekben felsorolt feladatai sem természetesen csak logisztikára terjednek ki, hanem számos egyéb területet is érintenek, ezen túlmenően vannak olyan jellegű klasztermenedzsment feladatok is, amelyek nem kötődnek a logisztikához (pl.: közös marketing kialakítása).

A beszállítók és felhasználók egymáshoz rendelése

A beszállítói klaszterek logisztikai szempontból legfontosabb feladata a beszállítók és a felhasználók optimális egymáshoz rendelése. A hozzárendelésnek több változata lehetséges, amelyeknél a figyelembe vendő feltételek és a döntési változók eltérőek. A klaszter működése során a hozzárendelés elvi változatai a következők lehetnek:

- (A) adottnak tekintjük azokat a beszállítókat, amelyek a klaszter tagjaiként előállítanak bizonyos alkatrészeket, részegységeket és hozzájuk rendeljük azokat a felhasználókat, amelyek igényt tartanak az adott beszállítók termékeire;
- (B) a különböző felhasználók eltérő igényekkel jelennek meg a klaszterban, és hozzájuk keressük azokat a beszállítókat, amelyek ki tudják elégíteni az egyes felhasználók igényeit;
- (C) adottnak tekintjük mind a felhasználói igényeket, mind a beszállítói oldalon rendelkezésre álló kapacitáskorlátokat és ezen feltételek mellett keressük az optimális felhasználó-beszállító hozzárendelést.

Az optimális hozzárendelés kialakítása az alábbi szempontok figyelembevételével történhet:

- egy adott beszállító minél kisebb ráfordítással tudja a felhasználó(k) igényét kielégíteni;
- a beszállító a megkívánt minőséget biztosítani tudja;
- a beszállító minél nagyobb megbízhatósággal tudja a megrendelést teljesíteni;
- minél rövidebb legyen a rendelés átfutási ideje;
- a beszállító a kívánt ütemű beszállítást tudja teljesíteni;
- minél nagyobb megbízhatósággal tudja a követelményeket teljesíteni;
- egy adott beszállító minél több alkatrészcsoportot, részegységet tudjon egy-egy felhasználónak beszállítani;
- a beszállítók közül a legnagyobb kooperációkészséggel rendelkezők kiválasztása;
- klaszteren kívüli beszállító csak akkor választható, ha a klasztertag beszállítók közül az adott feltételek mellett egyik sem képes ellátni az felhasználó(ka)t.

3.1 Beszállítási változatok

A klasztertag felhasználók illetve beszállítók között az alábbi beszállítási változatok alakíthatók ki:

Közvetlen beszállítás (1. ábra):

Az igényelt alkatrészek, részegységek szállítása a beszállítótól közvetlenül a felhasználó telephelyére történik, ott a felhasználó saját raktáraiba betárolja, vagy felhasználása azonnal elkezdődik.

Közvetett beszállítás (2. ábra):

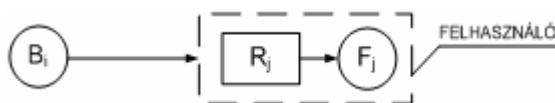
A beszállítók a legyártott mennyisége először valamely logisztikai szolgáltató vagy felhasználó(k) által üzemeltetett gyűjtőraktárba szállítja, majd innen kerülnek a felhasználó(k)hoz.

Felhasználónál telepített beszállítói raktár (3. ábra):

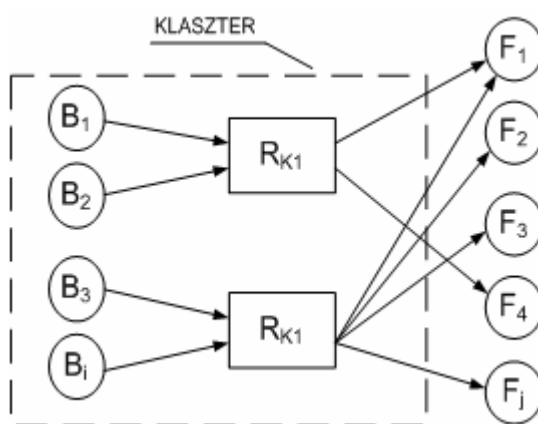
A felhasználó és a beszállító között létrejött egyedi megállapodás alapján (pl. konszignációs raktározási szerződés) a beszállító a felhasználó által rendelkezésre bocsátott területen készleteket helyez el, amely készleteket a felhasználó a termelés ütemében fokozatosan felhasznál.



1. ábra
Közvetlen beszállítás



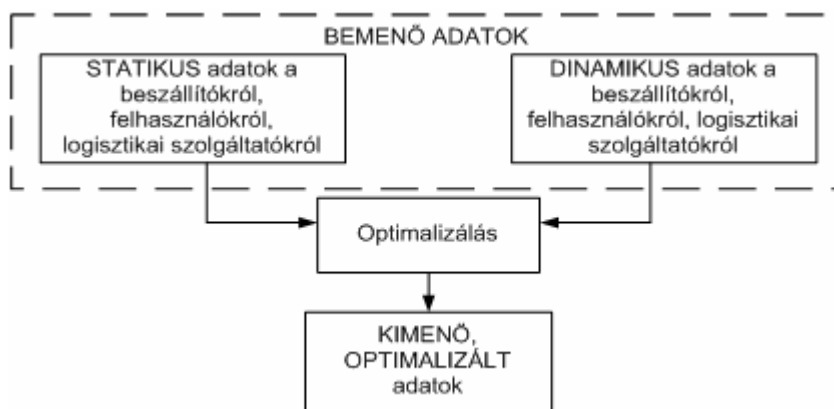
3. ábra
Felhasználónál telepített beszállítói raktár



2. ábra
Közvetett beszállítás

3.2 Az optimális hozzárendelés kialakításához szükséges adatbank és elemei

A beszállítók-felhasználók-logisztikai szolgáltatók optimális egymáshoz rendeléséhez szükséges adatmodell felépítését a 4. ábra mutatja.



4. ábra
A hozzárendelés adatmodellje

Az adatbank **beszállítókra** vonatkozó statikus illetve dinamikus adatai a következők:

- beszállítónkénti évi teljes gyártókapacitás;
- pillanatnyilag lekötött gyártókapacitás;
- adott beszállító által évente beszállítani képes mennyiség minimális és maximális értéke;
- éves beszállítások gyakoriságának minimális és maximális értéke;
- beszállításonkénti alkatrészmennyiség minimális és maximális értéke;
- a beszállításonkénti maximális és minimális mennyiségű szállításokból évente vállalt darabszám;
- adott feltételek melletti (pl. mennyiség, rendelési időpont) beszállítási rendelési átfutási ideje;
- alkatrészenkénti egységár a beszállított mennyiség és rendelési időpont függvényében
- egyes beszállított alkatrészek, részegységek minőségi paraméterei;
- a beszállító megbízhatósági jellemzője;
- a beszállító telephelye(in)ek földrajzi elhelyezkedése.

Az adatbank **felhasználókra** vonatkozó statikus illetve dinamikus adatai a következők:

- a felhasználó által igényelt alkatrészcsoporthoz, részegységek;
- felhasználó által évente igényelt mennyiség minimális és maximális értéke;
- a felhasználó által igényelt beszállítások gyakorisága évente (minimum, maximum);
- a felhasználó által igényelt beszállításonkénti alkatrészmennyiség minimális és maximális értéke;
- az adott megrendelés elvárt átfutási ideje (minimum, maximum);
- felhasználó által felkínált alkatrészenkénti egységár a rendelt mennyiség a rendelési időpont és egyéb szállítási feltételek függvényében;
- egyes alkatrészeknek, részegységeknek a felhasználó által elvárt minőségi paraméterei;
- a szállítási folyamattal kapcsolatban támasztott követelmények;
- felhasználó földrajzi elhelyezkedése;
- a rendszeresen igényelt alkatrészcsoporthoz, részegységek fajtái.

Az adatbank **logisztikai szolgáltatókra** vonatkozó statikus illetve dinamikus adatai a következők:

- szolgáltató raktára(i) földrajzi elhelyezkedése;
- szolgáltató raktára(i) teljes és rendelkezésre álló szabad tárolási kapacitása alkatrészcsoporthoz;
- szolgáltatónál jelentkező fajlagos raktározási költség (tárolt mennyiség, tárolandó áru, tárolási mód függvényében);
- szolgáltató raktára(i) minőségi jellemzői;
- szolgáltató szállítójárműveinek típusai, azok minőségi jellemzői;
- szállítási kapacitás járműtípusonként alkatrészcsoporthoz;
- szolgáltató flottájának évi teljes és rendelkezésre álló szabad kapacitása;
- lehetséges jármű indítási pontok;
- szállítási kapacitás járműtípusonként az adott szolgáltatónál;
- fajlagos szállítási költség (szállítandó mennyiség, szállítási távolság, járműtípus, rendelési időpont, és egyéb feltételek függvényében)
- járműtípusok rakodóképessége az adott szolgáltatónál;

Az adatbank kialakításakor a klaszteren kívüli potenciális beszállítók és logisztikai szolgáltatók adatait is figyelembe kell venni.

3.3 A beszállító-felhasználó egymáshoz rendelésének matematikai modellje

Az optimalizálás során keresett mátrixok a következők:

- **beszállító-felhasználó hozzárendelést leíró mátrix a k-adik alkatrész, részegység esetében**
($X^k = [x_{ij}^k]$):

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 1 \dots k \dots z \\ \leftarrow \hspace{1.5cm} \rightarrow \end{array} \\
 \begin{array}{c} 1 \dots j \dots m \\ \leftarrow \hspace{1.5cm} \rightarrow \end{array} \\
 X^k = \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ n \\ \hline n+1 \\ \vdots \\ n^* \end{array} \left[\begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \hline \\ \\ \\ \end{array} \right]
 \end{array}$$

Ahol

- $i = 1 \dots n$: a klasztertag beszállítók azonosítója;
- $i = (n + 1) \dots n^*$: a klaszteren kívüli potenciális beszállítók azonosítója;
- $j = 1 \dots m$: a klasztertag felhasználók azonosítója;
- $k = 1 \dots z$: a beszállított alkatrészek, részegységek azonosítója.

Ha $x_{ij}^k = 0$, akkor az adott az i -edik objektumból a j -edik objektumba a k -adik alkatrészből nem történik beszállítás.

Ha $0 < x_{ij}^k \leq 1$, akkor a hozzárendelés különböző i és j értékek melletti értelmezését a következő táblázat mutatja.

1. Táblázat

i-értéke:	Hozzárendelési változat értelmezése:
$1 \leq i \leq n$	A k -adik alkatrészből az i -edik klasztertag beszállító a j -edik felhasználónak beszállít
$(n + 1) \leq i \leq n^*$	A k -adik alkatrészből az i -edik klaszteren kívüli beszállító a j -edik felhasználónak beszállít

A hozzárendelés az alábbi feltételek mellett történik:

$$\sum_{i=1}^{n^*} x_{ij}^k = 1 \quad ; \tag{1}$$

$$q_i^{Ak} \leq \sum_{j=1}^m x_{ij}^k q_j^{Bk} \leq q_i^{Ck} \tag{2}$$

Ahol

- q_i^{Ak} : az i -edik beszállítónál a k -adik alkatrészből beszállítható mennyiség alsó határértéke [db];
- q_j^{Bk} : a j -edik felhasználónál a k -adik alkatrészből igényelt mennyiség [db];
- q_i^{Ck} : a i -edik beszállítónál rendelkezésre álló kapacitással a k -adik alkatrészből legyártható mennyiség [db].

- beszállítási változatot kijelölő mátrix az ε -adik alkatrész, részegység esetében ($Y^\varepsilon = [y_{ij}^\varepsilon]$):

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} \leftarrow 1 \dots \varepsilon \dots z \rightarrow \\ \leftarrow \hspace{10em} \rightarrow \end{array} \\
 Y^\varepsilon = \begin{array}{c} 1 \dots j \dots m \mid (m+1) \dots m^* \\ \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ n \\ \hline n+1 \\ \vdots \\ n^* \end{array} \left[\begin{array}{c|c} & \\ \hline & \end{array} \right] \end{array}
 \end{array}$$

Ahol

- $i = 1 \dots n$: a klasztertag beszállítók azonosítója;
- $i = (n + 1) \dots n^*$: a klaszteren kívüli potenciális beszállítók azonosítója;
- $j = 1 \dots m$: a klasztertag felhasználók azonosítója;
- $j = (m + 1) \dots m^*$: a logisztikai szolgáltatók, illetve felhasználók raktárainak azonosítója;
- $\varepsilon = 1 \dots z$: a beszállított alkatrészek, részegységek azonosítója.

Ha $y_{ij}^\varepsilon = 0$, akkor az adott az i -edik objektumból a j -edik objektumba az ε -adik alkatrészből nem történik beszállítás.

Ha, $y_{ij}^\varepsilon = 1$ akkor a beszállítási változatok különböző i és j értékek melletti értelmezését a következő táblázat mutatja.

2. Táblázat

i -értéke:	j -értéke:	Beszállítási változat értelmezése:
$1 \leq i \leq n$	$1 \leq j \leq m$	Az i -edik klasztertag beszállítótól a ε -adik alkatrész a j -edik felhasználóhoz közvetlenül kerül.
$1 \leq i \leq n$	$(m + 1) \leq j \leq m^*$	Az i -edik klasztertag beszállítótól a ε -adik alkatrész a j -edik raktárba kerül.
$(n + 1) \leq i \leq n^*$	$1 \leq j \leq m$	Az i -edik klaszteren kívüli beszállítótól a ε -adik alkatrész a j -edik felhasználóhoz közvetlenül kerül.
$(n + 1) \leq i \leq n^*$	$(m + 1) \leq j \leq m^*$	Az i -edik klaszteren kívüli beszállítótól a ε -adik alkatrész a j -edik raktárba kerül.

- relációhoz rendelt logisztikai szolgáltatót kijelölő mátrix az ε -edik alkatrész, részegység esetében ($Z^\delta = [z_{ij}^\delta]$):

$\overset{1 \dots \delta \dots v}{\leftarrow \rightarrow}$

$$Z^\delta = \begin{array}{c} \begin{array}{l} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ n \\ \hline n+1 \\ \vdots \\ n^* \\ \hline n^*+1 \\ \vdots \\ n^* + \Delta m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \dots j \dots m \end{array} \\ \left| \begin{array}{c} (m+1) \dots m^* \end{array} \end{array} \right. \\ \left. \begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \right] \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \right. \end{array}$$

Ahol

- | | |
|--|--|
| $i = 1 \dots n :$ | a klasztertag beszállítók azonosítója; |
| $i = (n + 1) \dots n^* :$ | a klaszteren kívüli potenciális beszállítók azonosítója; |
| $i = (n^* + 1) \dots (n^* + \Delta m) :$ | a logisztikai szolgáltatók raktárainak azonosítója (szállítmányok indítási pontjai) |
| $j = 1 \dots m :$ | a klasztertag felhasználók azonosítója; |
| $j = (m + 1) \dots m^* :$ | a logisztikai szolgáltatók, illetve felhasználók raktárainak azonosítója (szállítmányok célpontjai); |
| $\delta = 1 \dots v :$ | a szállítást végző logisztikai szolgáltatók azonosítója. |

Ha $z_{ij}^\delta = 0$, akkor az adott az i -edik objektumból a j -edik objektumba a δ -adik logisztikai szolgáltató nem végez szállítást.

Ha $z_{ij}^\delta = 1$, akkor a hozzárendelés különböző i és j értékek melletti értelmezését a következő táblázat mutatja.

3. Táblázat

i -értéke:	j -értéke:	Hozzárendelés értelmezése:
$1 \leq i \leq n$	$1 \leq j \leq m$	Az i -edik klasztertag beszállítótól a j -edik felhasználóhoz a beszállítást a δ -adik logisztikai szolgáltató végzi.
$1 \leq i \leq n$	$(m + 1) \leq j \leq m^*$	Az i -edik klasztertag beszállítótól a j -edik raktárba a beszállítást a δ -adik logisztikai szolgáltató végzi.

$(n+1) \leq i \leq n^*$	$1 \leq j \leq m$	Az i -edik klaszteren kívüli beszállítótól a j -edik felhasználóhoz a beszállítást a δ -adik logisztikai szolgáltató végzi.
$(n+1) \leq i \leq n^*$	$(m+1) \leq j \leq m^*$	Az i -edik klaszteren kívüli beszállítótól a j -edik raktárba a beszállítást a δ -adik logisztikai szolgáltató végzi.
$(n^*+1) \leq i \leq (n^* + \Delta m)$	$1 \leq j \leq m$	A i -edik raktárból a j -edik felhasználóhoz a beszállítást a δ -adik logisztikai szolgáltató végzi.

Az optimalizálás célfüggvényei a következők:

1. Célfüggvény a költségek minimalizálására:

$$K(X, Y, Z, T_{RA}, M_T, \eta, Q^B, \alpha, \beta, R, T_{R0}) = K_V(X, T_{RA}, M_T, \eta, Q^B, \alpha, \beta) + K_S(X, Y, Z, L, Q^B, \eta) + K_R(X, Z, R, T_{R0}) \rightarrow Min! \quad (3)$$

2. Célfüggvény a rendelési átfutási idő minimalizálására:

$$T_{RA} = T_{RA}(X, Y, L, Q^B, \eta) \rightarrow Min! \quad (4)$$

3. Célfüggvény a rendelési átfutási idő minimalizálására:

$$\alpha \rightarrow Max! \quad (5)$$

Az alábbi feltétel mellett:

$$M_T \geq M_E \quad (6)$$

Ahol

- K_V : A teljes vásárlási költség [pénzegység];
- K_S : A teljes szállítási költség [pénzegység];
- K_R : A teljes raktározási költség [pénzegység];
- Q_B : felhasználók által évente vásárolt alkatrészmennyiség $\left[\frac{db}{év} \right]$;
- T_{RA} : rendelési átfutási idő [nap];
- M_T : tényleges minőségi mérőszám az egyes alkatrészcsoportoknál;
- M_E : előírt minőségi mérőszám az egyes alkatrészcsoportnál;
- β : adott egy beszállítótól vásárolt alkatrészcsoportok fajtszáma felhasználónként [db];
- η : évi beszállítások száma az adott felhasználónál $\left[\frac{db}{év} \right]$;
- L : relációnkénti szállítási távolság [km];
- R : átlagos raktározott mennyiség [db];
- T_{R0} : átlagos raktározási idő [nap];
- α : A beszállítás megbízhatósági jellemzője;

3.4 Az optimalizálási feladat megoldási módszerei

A hozzárendelési feladat a többcélú programozási feladatok közé tartozik, így célravezető megoldások lehetnek a következő módszerek:

- egy-egy célfüggvény szerint optimalizálunk, a többi célfüggvényből feltételeket (korlátokat) képezünk;
- normalizált célfüggvényeket képezünk, és ezek súlyozott összegéből egyetlen célfüggvénnyel rendelkező optimalizálási feladatra vezetjük vissza a problémát;
- más Pareto-programozási módszert alkalmazunk;

A fenti megoldások mellett szűkíthető az optimalizálás az X , Y , és Z mátrixokra, vagy egyes elemekre bizonyos értékeket írunk elő.

4. Irodalom

- [1] Dr. Cselényi József, Dr. Illés Béla: Logisztikai Rendszerek I., Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2004.
- [2] Lengyel Imre, Grósz András: Lokális hálózati gazdaság: regionális és iparági klaszterek, MTA-RKK Nyugat-Magyarországi Kutatóintézet, Győr, 2003.
- [3] A Pannon Autóipari Klaszter bemutatása, www.panac.hu

Kistelyesítményű állandómágneses hibrid léptetőmotorok számítógépes vezérlése

PC-based Control of the Low Power PM-hybrid Stepping Motors

Dr. SZÁSZ Csaba

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Villamosmérnöki Kar

Abstract

The paper deals with a personal computer-based development system for the low power PM-hybrid stepping motors open-loop control. The main parts of the system are the IBM-PC computer, the current source asynchronous PWM inverter, and the two-phase PM-hybrid stepping motor. The control signals for the stepping motor drive through the standard parallel port are generated and applied to the PWM inverter inputs. All the basic modules of the development system are carefully presented in the paper, and laboratory measurement results are indicated too.

Összefoglaló

A dolgozat a kistelyesítményű állandómágneses hibrid léptetőmotorok nyílt-hurokban történő vezérlésére megépített számítógépes fejlesztői rendszert mutat be. A rendszer egy IBM-PC típusú számítógépből, az impulzus-szélesség moduláció (ISzM) elvén működő aszinkron áramgenerátoros inverterből, valamint a kétfázisú állandómágneses hibrid léptetőmotorból áll. A számítógép a standard párhuzamos kapun keresztül generálja a megfelelő impulzusokat az inverter bemeneteire, a motor nyílt-hurokban történő vezérlésére. A dolgozatban bemutatom a vezérlőrendszer minden részegységét, valamint a laboratóriumi mérési eredmények is.

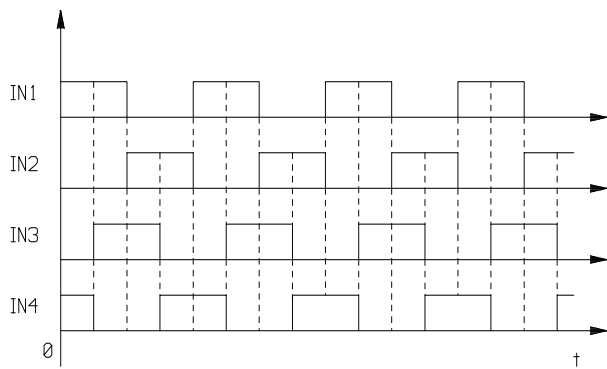
1. Bevezetés

Nagypontosságú villamos meghajtások esetében a kétfázisú állandómágneses hibrid léptetőmotor egy igen gyakran használt vezérlőeszköz. Leggyakrabban a számvezérléses gépeknél, a robotikában, valamint az inkrementális mozgást igényelő alkalmazásoknál használják. Ezek a meghajtások igen olcsók, mert a vezérlés nyílt-hurokban történik, szenzorok vagy bármilyen visszacsatolás nélkül. Kis forgási sebességek esetében, vagy ha a terhelőnyomaték kevésbé változik a motor tengelyén, számos alkalmazásban kielégítő pontosságot biztosítanak. Egy megfelelő fejlesztői környezet segítségével ezeket a meghajtásokat tovább lehet fejleszteni, és kidolgozhatóak olyan vezérlési algoritmusok, amelyek nagymértékben javíthatják a motor dinamikai jellemzőit.

2. Az állandómágneses hibrid léptetőmotor vezérlési stratégiája

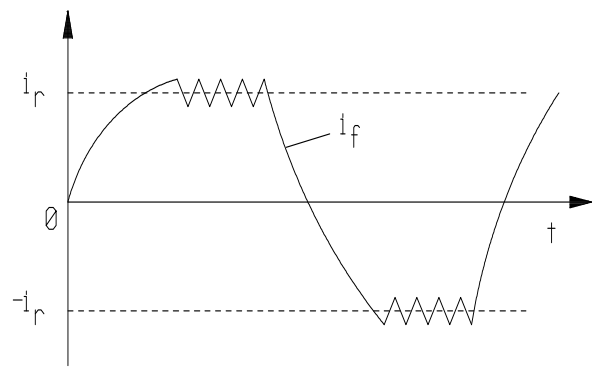
A kísérletezésre használt motor egy kétfázisú bipoláris hibrid léptetőmotor, melynek forgórészében állandómágnes található. A motor meghajtása nyílt-hurokban történik, kihasználva azt a jellemzőjét, hogy minden elektromos impulzus hatására a forgórész egy mechanikai lépésnek megfelelően fordul. A tanulmányozott motor esetében ez a mechanikai lépés 1.8° -os elfordulást jelent (200 lépés/fordulat) [1].

A léptetőmotor meghajtására a számítógép standard párhuzamos kapuja segítségével az 1-es ábrán látható impulzusokat generálja. Az IN1 és IN2 jeleket az első, az IN3 és IN4 jeleket pedig a motor második tekercsének a táplálására használjuk. Ahogyan az ábrán is látható, az IN1 és IN3 jelek egymáshoz képest $\pi/2$ szögben vannak eltolva.



1. ábra

A számítógép által generált vezérlőjelek



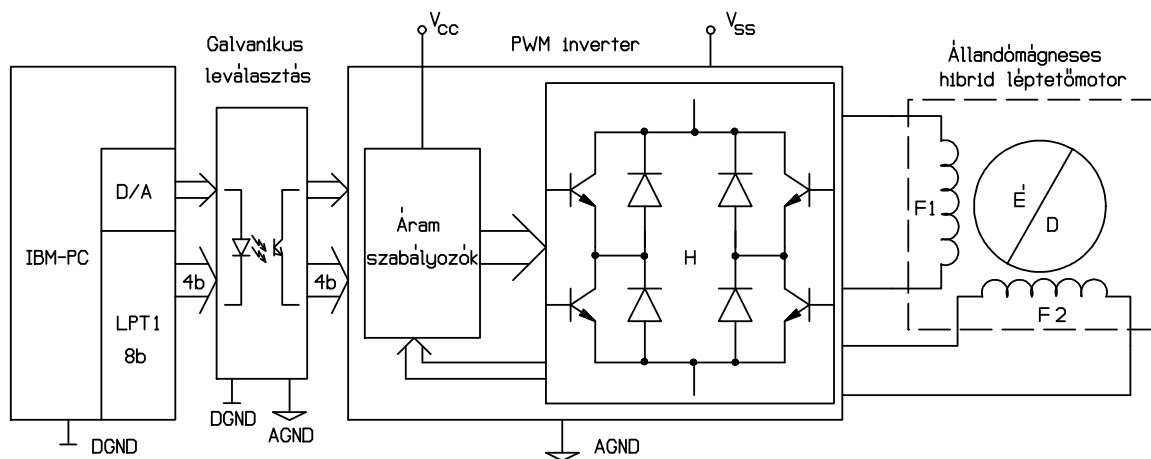
2. ábra

Az impulzus-szélességben modulált áram formája a motor tekercsében

A motor állórészében levő tekercsek táplálása az impulzus-szélesség moduláció elve alapján történik (ISzM), úgy, ahogyan a 2-es ábra is szemlélteti. Az ábrán i_r az előírt referenciaáramot jelenti, amelyet a moduláció segítségével követ a tekercsben folyó áram.

3. Az állandómágneses hibrid léptetőmotor vezérlőrendszere

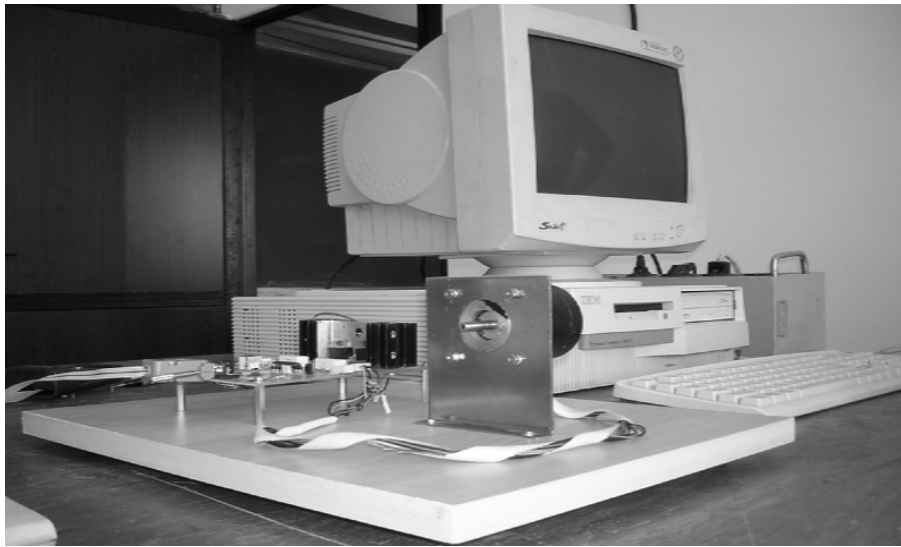
A kétfázisú állandómágneses hibrid léptetőmotor nyílt-hurokban történő meghajtására használt számítógépes vezérlőrendszer elvi rajza a 3-as ábrán látható. Az IBM típusú számítógép a standard LPT1 párhuzamos kapuján keresztül 4 biten generálja az 1-es ábrán látható jeleket. Ha a számítógépbe egy digitális/analog átalakítót illesztünk, akkor ennek segítségével az i_r referenciaáramot is generálhatjuk, ha nem, akkor az ISzM inverter áramszabályozó egységében fogjuk beállítani [2].



3. ábra

A léptetőmotor számítógépes vezérlőrendszerének elvi rajza.

A számítógép által generált jelek galvanikus leválasztás segítségével vannak a teljesítmény inverter bemeneteire kapcsolva. Az ISzM teljesítmény inverter két fontos egységből áll. Az egyik az áramszabályozó rész, amelyik a modulációhoz szükséges logikát generálja, a másik pedig a H típusú tranzisztoros teljesítmény hidak, amelyek a motor tekercseit táplálják. Ahogyan az ábrán is látható, a léptetőmotor vezérlése nyílt-hurokban történik, visszacsatolások nélkül. A kifejlesztett számítógépes vezérlőrendszer laboratóriumi protótípusa a 4-es ábrán látható.

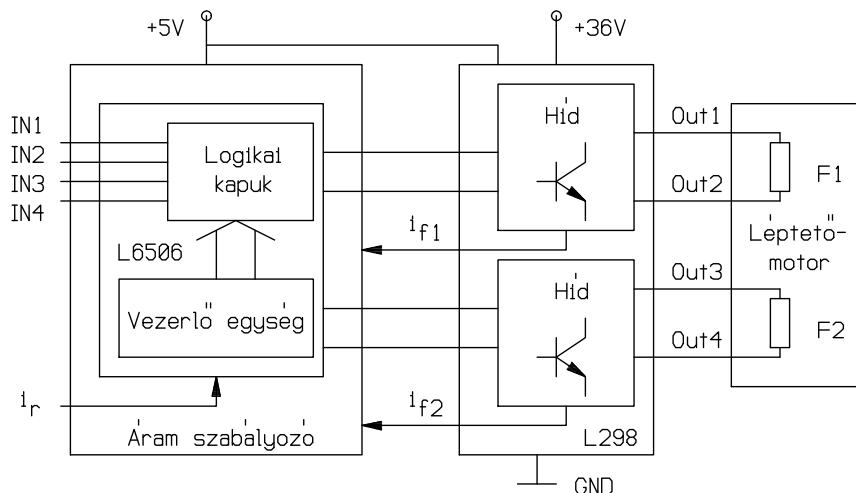


4. ábra
A léptetőmotor vezérlőrendszerének laboratóriumi prototípusa

A képen látható az IBM típusú számítógép, a tartóvasra rögzített kétfázisú állandómágneses hibrid léptetőmotor, valamint a motor meghajtására használt ISzM áramgenerátoros aszinkron inverter.

4. Az ISzM áraminverter felépítése

Az állandómágneses hibrid léptetőmotor vezérlésére megépített ISzM áramgenerátoros inverter elvi rajza a 4-es ábrán látható. Az inverter az SGS-Thomson L6506-os integrált áramkör segítségével megépített áramszabályozókból, valamint az L298-as telyesítmény-hidakból áll [3]. Az áramszabályozó egység IN1, IN2, IN3 és IN4 bemeneteire a számítógép segítségével az 1-es ábrán feltüntetett jeleket generáljuk.

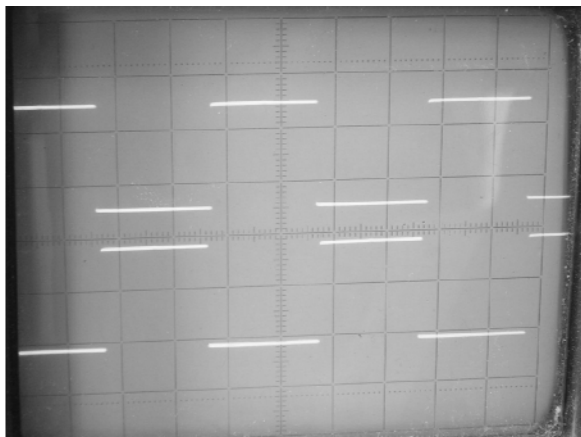


5. ábra
Az ISzM áramgenerátoros inverter elvi rajza

Ugyanakkor, az i_r bemeneten beállítjuk a motor tekercseiben előírt áram nagyságát. Ezt a referencia-áramot összehasonlítjuk a léptetőmotor fázisaiban lévő i_{f1} és i_{f2} áramokkal. Az összehasonlítás eredményének függvényében a logikai kapuk a megfelelő vezérlőjeleket fogják generálni a H típusú tranzisztros telyesítmény-hidak bemeneteire. Az L298-as integrált áramkör két hidat tartalmaz, mindegyikük a motor egy-egy tekercsét fogja táplálni.

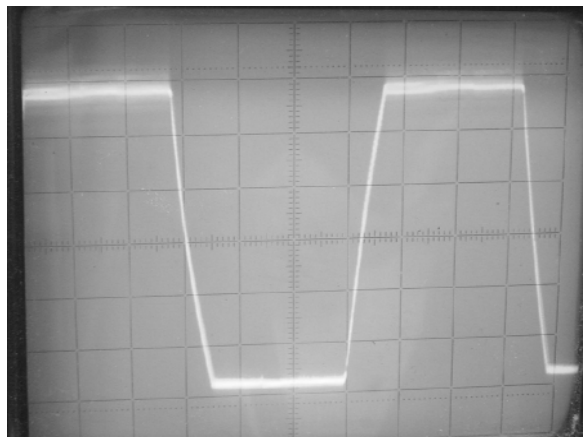
5. Mérési eredmények

A laboratóriumban elvégzett mérések a kétfázisú hibrid léptetőmotor számítógépes vezérlőrendszerének pontos, és a tervezésnek megfelelő működését bizonyítják.



6. ábra

A számítógép által a párhuzamos kapun keresztül generált IN1 és IN2 jelek.



7. ábra

A léptetőmotor tekercsében levő áram ($f=50\text{Hz}$)

A 6-os ábrán a számítógép által generált digitális jelek egy része látható (IN1, IN2), amelyek egy teljesítmény-híd vezérlésére alkalmasak. Ha ezeket a jeleket az L298-as áramkör bemeneteire kapcsoljuk, akkor a motor tekercsében a 7-es ábrán látható áram generálódik. Az ábrán jól látható az áram nagy frekvencián történő impulzus-szélesség modulációja, valamint az, hogy nincsenek elektromos zajok és amplitúdó aszimmetriák. Magas frekvenciákon a +36V-os tápfeszültség már nem elegendő a megfelelő fázisáram generálására, így az áramnak háromszögű formája lesz.

6. Következtetések

A dolgozat az állandómágneses hibrid léptetőmotor számítógépes vezérlésére megtervezett rendszert mutatja be. A fejlesztői környezet segítségével ezeket a meghajtásokat tovább lehet tanulmányozni, és kidolgozhatóak olyan vezérlési algoritmusok, amelyek nagymértékben javíthatják a motor dinamikai jellemzőit. Ipari alkalmazások esetében a vezérlést biztosító IBM típusú számítógépet egy sokkal olcsóbb, digitális áramkörökkel megépített jelgenerátorral ajánlatos helyettesíteni.

Szakirodalom

- [1] Szász Cs. - Low-power current-source PWM inverter for stepping motors drive. ENELKO-2004, Conference of Energetics and Electrical Engineering, 8-10 October Cluj-2004, pp. 179-185.
- [2] Radu B., Szász Cs., - Position control of field-oriented stepper motor using fuzzy strategy, Acta Electrotehnica, Academy of Technical Sciences of Romania, Mediamira Science Publisher, Cluj, vol. 46 nr. 3/2005, pp. 149-152.
- [3] *** - SGS-Thomson Microelectronics, Data on Disc, 3rd edition, 1996.

Háztartási hulladékgyűjtő rendszer tervezése Harghita megye területén

Household Waste Collection System Design in Harghita County

¹SZÁSZ Imre, ²Dr. SZÁSZ Csaba

¹Eurofer Trio K.F.T, Csíkszereda

²Kolozsvári Műszaki Egyetem

Abstract

The paper presents a design proposal regarding to an environmental-friendly household waste collection system in Harghita county. In the first step the proposed collection system is presented and the block diagram of this system is indicated. Taking into account the existing statistical measurements, the accumulated household waste quantities in the county it is possible to be evaluated. Also the necessary deposition space for the generated waste in the next 20 years is estimated.

Összefoglaló

A dolgozat a környezetvédelmi szempontoknak is megfelelő háztartási hulladékgyűjtési rendszer megtervezésére tesz javaslatot Harghita megye területén. Az első részében a javasolt hulladékgyűjtési rendszer működésének a leírása, valamint a tömbmodellje látható. Figyelembe véve a már létező statisztikai adatokat, egy felmérés történik a megyében keletkező háztartási hulladékmennyiségekről. A lakosság várható számbeli alakulásának függvényében a következő 20 évre fel lehet becsülni a szükséges háztartási hulladéktárolási térfogatmennyiséget is.

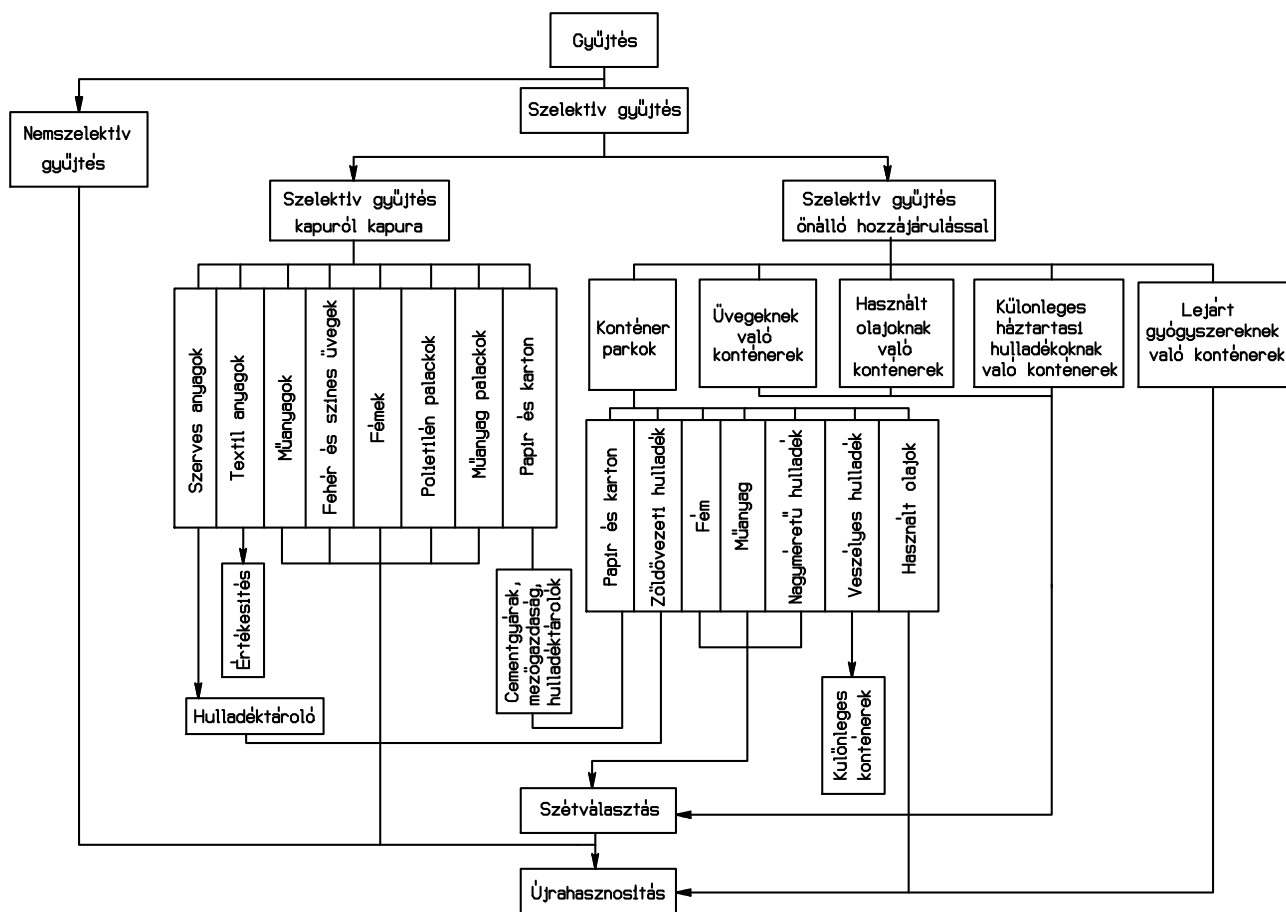
1. Bevezetés

Napjainkban egyre fokozottabb az energia-, anyag- és nyersanyaghiány, ugyanakkor a nyersanyagtartalmú anyagok egyre kisebbek. Egyes fogyasztókban levő nyersanyagok pótlását a háztartási hulladékokból lehetne visszanyerni. Köztudott, hogy a lakosság életszínvonalának emelkedésével együtt a háztartási hulladékok mennyisége is egyenes arányban növekszik. Ezeknek a hulladékoknak a gyűjtése és elraktározása jelenleg hatalmas gondot okoz az ország valamennyi részében. A legtöbb megyében jelenleg nincs megfelelően kidolgozott és megszervezett gyűjtési, újrahasznosítási és elraktározási rendszer. Éppen ezért szükséges lenne kidolgozni a háztartási hulladékokra vonatkozóan egy olyan jól működő gyűjtési és tárolási rendszert, amely a feldolgozási és az újrahasznosítási követelményeket is figyelembe veszi.

A dolgozat egy háztartási hulladékgyűjtő rendszer megtervezésére tesz javaslatot Harghita megye területén. Ugyanakkor, a létező statisztikai adatokat felhasználva, felmérés történik a megyében keletkezett háztartási hulladékok mennyiségéről, és a következő 20 évre szükséges hulladéktárolási térfogatmennyiségről.

2. A javasolt hulladékgyűjtési rendszer

A háztartási hulladékok gyűjtése és szállítása szoros összefüggésben áll egymással, együttvéve egy egységes rendszert alkotnak. A hulladékok gyűjtésének és szállításának az együttes kezelési folyamata alkotja a háztartási hulladékgyűjtési rendszert [1]. A hulladékgyűjtési rendszer megvalósításának módozata az, amikor egy jól meghatározott technológiai rend szerint a hulladékot elszállítják a gyűjtési helyszínről. Egy ilyen rendszer megvalósításának vázlata az 1-es ábrán látható.



1. ábra
Háztartási hulladékgyűjtő rendszer Hargita megyében.

A háztartási hulladékgyűjtési rendszereket kétféleképpen lehet megszervezni: szelektív hulladékgyűjtéssel, vagy nemszelektív hulladékgyűjtéssel. A szelektív hulladékgyűjtés háromféleképpen történik [1]:

- szelektív hulladékgyűjtés kapuról kapura;
- szelektív hulladékgyűjtés önkéntes hozzájárulással;
- szállítás a háztartási hulladéklerakókba (ahol szétválasztás és elsődleges feldolgozás történik).

A szelektív hulladékgyűjtés kapuról kapura egy olyan gyűjtési rendszer, amely periodikus formában történik, jól meghatározott termékekre nézve: kerti hulladékok, különleges háztartási hulladékok (festékek, oldószerek, gyógyszerek), nagyméretű hulladékok (bútorok, háztartási villamosgépek stb.). Azok a lebomló anyagok, amelyek általában szerves összetevőkből állnak, egy komposztálási folyamaton mennek keresztül, amelynek során egy komposzt nevezetű végtermék jön létre. Ezt a mezőgazdaságban használják fel a talaj termékenyebbé tételének érdekében. Ugyanakkor, ezek a szerves hulladékok egy biometanizálási folyamat során is felszámolhatóak. Az újrafelhasználható anyagok nyolc kategóriánként, külön edényekbe lesznek gyűjtve, ami után a szétválasztó központokba kerülnek, és különböző kezelési folyamatokon mennek keresztül. A nyolc kategóriánként gyűjtött anyagok a következők: papír, karton, műanyag palackok (PVC és PET), polietilén palackok, fémek, fehér és színes üvegek, textil anyagok, különböző műanyagok [2].

A szelektív hulladékgyűjtés önálló hozzájárulással egy olyan rendszer, amely csak a lakosság részvételével valósulhat meg. Ennek kivitelezéséhez, a lakosságra egy előzetes oktatási és ösztönzési stratégiát kell gyakorolni. A rendszernek a következő célkitűzései vannak: annak a hulladékmennyiségnek a csökkentése amely a konténerbe kerül, az újrafelhasználható anyagok mennyiségének a maximális visszanyerése, a különleges háztartási hulladékoknak a hulladéklerakókba való jutásának megelőzése, valamint a nemengedélyezett hulladéklerakók szaporodásának a megelőzése. Az önálló hozzájárulással történő szelektív hulladékgyűjtés típusai a következők:

- a) Konténer parkok segítségével: egy bekerített és felügyelt terület, ahová a belépés ingyenes. A környéken élő lakók ezekbe a parkokba hozzák a háztartási hulladékaikat, és szelektíven, különböző konténerekbe helyezik el ezeket. A következő háztartási hulladékok gyűjthetők ide: kerti hulladékok, papír és karton, fémek, műanyagok, használt olajok, nagy térfogatú hulladékok, veszélyes hulladékok (festékek, rovarirtószer, akkumulátorok).
- b) hulladékgyűjtő edények segítségével: ezeket az edényeket minden településen elhelyezik, a lakosság számának függvényében. A módszer hátránya az, hogy ha idejében nem történik meg az edény kiürítése, akkor a hulladékok az edény körül lesznek lerakva.
- c) konténerek különleges háztartási hulladékoknak: ilyen konténerek a konténer parkokban vannak elhelyezve, vagy pedig több helyen egy településen belül (például használt olajoknak, vagy lejárt szavatosságú gyógyszerek gyűjtésére).

A szállítás a háztartási hulladéktárolókba módszer esetében a hulladéktárolókat a nagy lakóközpontok közelében kell elhelyezni. A regionális hulladéktárolók tervezésében jártas cégek statisztikai adatai szerint egy hulladéktárolóig való szállítási távolság maximum 30 km körzetben belül gazdaságos (az optimális körzeti távolság 25 km).

A nemszelektív hulladékgyűjtés gyakorlatilag az Európai Unió országain belül nagyon kis százalékban létezik, és csak olyan helyeken alkalmazzák, ahol nincs lehetőség szelektív gyűjtésre.

3. A háztartási hulladékok tárolásához szükséges térfogatmennyiség Hargita megyében

A háztartási hulladékok mennyiségének felbecsüléséhez alapvetően szükséges a lakosság számának az ismerete. Ennek alapjául az 1999-es népszámlálási adatok állnak rendelkezésünkre, melyek szerint az 1990 és 1996 közötti években Románia lakosságának száma minden évben csökkent, és 1997-ben az ország összlakossága 22,6 millió volt. Statisztikai adatok szerint egy lakos után évente kb. 300kg háztartási hulladék keletkezik, és átlagban 2,8 személy jut egy romániai háztartásra. Az 1-es táblázat a Hargita megyében keletkezett háztartási hulladékmennyiségre vonatkozóan nyújt rövid tájékoztatást. A táblázatban a megye nagyobb városaiban, valamint a körzetükben lévő helységekből keletkezett háztartási hulladékmennyiség, a háztartások száma, valamint a körzetben élő lakosok száma van feltüntetve.

1. Táblázat

A háztartási hulladékmennyiségek előzetes felbecsülése Hargita megyében [3]

Régió	Helységek száma	Lakosság száma	Háztartások száma	Háztartási hulladékmennyiség [t/év]
Csíkszereda	17	114014	40719	34204
Székelyudvarhely	24	126552	45197	37966
Gyergyószentmiklós	9	65205	23288	19562
Maroshévíz	8	37285	13316	11185
Összesen	58	343056	122520	102917

Hargita megye lakossága 1992-ig növekedett, azóta pedig egy lassú csökkenési folyamaton megy keresztül (kb. évi 1,05%-al csökken). Az előrejelzések szerint az elkövetkező pár évben is érvényes lesz ez a csökkenő tendencia, viszont azután egy stabilizálódás várható. A lakosság száma alakulásának elemzése érdekében három feltételezett esetet tanulmányozunk:

- A) –a lakosság száma állandó marad az 1999-es évhez viszonyítva;
- B) –a lakosság száma évente 0,5%-al növekedik;
- C) –a lakosság száma évente 0,5%-al csökken az 1999-es évhez viszonyítva.

A hulladéktárolók kiaknázási ideje alatt –előreláthatólag 2023-ig – a lakosság számának alakulása az A esetben 0,34 millió, a B esetben 0,39 millió, és a C esetben pedig 0,30 millió lesz (2. táblázat). Mivel 2003 óta Hargita megyében szervezett hulladékgyűjtés létezik, akkor 20 év alatt, a lakosság számának alakulása függvényében 2 és 2,3 millió köbméter közötti tárolási térfogat szükségeltetik. Első lépésben, a kiadások megsz-

lása érdekében, előreláthatólag legkevesebb 5 évre szóló hulladékgyűjtéshez szükséges térfogat lesz biztosítva, amely Hargita megye összlakossága esetében 427.000 köbméter tárolási helyet jelent (3. táblázat). A szükséges tárolási térfogatok nagyságát a lakosság száma és a 300 kg/év/lakos háztartási hulladékmennyiség alapján állapíthatjuk meg. A hulladéktárolási térfogattal szembeállítva a felbecsülésének érdekében $\gamma = 1,2 \text{ [t/m}^3\text{]}$ virtuális tárolási sűrűséget használunk. Ez a virtuális sűrűség szemelölt tartja azt, hogy az elraktározott szerves anyagok által keletkezett gázok egy bizonyos idő után az elraktározott anyagok térfogatának csökkentését idézik elő, összeállításuk után a térfogatuk kb. 50%-al csökken.

2. Táblázat

A lakosság száma és a háztartási hulladékok előrejelzése Hargita megyében

	Lakosság száma [millió]	Hargita megye lakossága [millió]			Háztartási hulladékmennyiség [tonna]		
		Románia (állandó marad)	+0,5%/év	-0,5%/év	(állandó marad)	+0,5%/év	-0,5%/év
1990	23,40	0,35	0,35	0,35	106.742	106.742	106.742
1991	23,30	0,35	0,35	0,35	106.285	106.285	106.285
1992	22,70	0,34	0,35	0,35	103.548	103.548	103.548
1993	22,63	0,34	0,34	0,34	103.228	103.228	103.228
1994	22,50	0,34	0,34	0,34	102.635	102.635	102.635
1995	22,70	0,34	0,34	0,34	103.548	103.548	103.548
1996	22,51	0,34	0,34	0,34	102.636	102.636	102.636
1997	22,50	0,34	0,34	0,34	102.590	102.590	102.590
1998	22,50	0,34	0,34	0,34	102.590	102.590	102.590
1999	22,50	0,34	0,34	0,33	102.590	102.590	102.590
2000	-	0,34	0,35	0,33	102.590	103.103	102.077
2001	-	0,34	0,35	0,33	102.590	103.618	101.566
2002	-	0,34	0,35	0,33	102.590	104.136	101.059
2003	-	0,34	0,35	0,33	102.590	104.657	100.553
2004	-	0,34	0,35	0,33	102.590	105.180	100.050
2005	-	0,34	0,36	0,32	102.590	105.706	99.550
2006	-	0,34	0,36	0,32	102.590	106.235	99.052
2007	-	0,34	0,36	0,32	102.590	106.766	98.557
2008	-	0,34	0,36	0,32	102.590	107.300	98.064
2009	-	0,34	0,36	0,32	102.590	107.836	97.574
2010	-	0,34	0,36	0,32	102.590	108.375	97.086
2011	-	0,34	0,37	0,31	102.590	108.917	96.601
2012	-	0,34	0,37	0,31	102.590	109.462	96.118
2013	-	0,34	0,37	0,31	102.590	110.009	95.637
2014	-	0,34	0,37	0,31	102.590	110.559	95.159
2015	-	0,34	0,37	0,31	102.590	111.112	94.683
2016	-	0,34	0,38	0,31	102.590	111.668	94.210
2017	-	0,34	0,38	0,30	102.590	112.226	93.739
2018	-	0,34	0,38	0,30	102.590	112.787	93.270
2019	-	0,34	0,38	0,30	102.590	113.351	92.803
2020	-	0,34	0,38	0,30	102.590	113.918	92.339
2021	-	0,34	0,39	0,30	102.590	114.487	91.878
2022	-	0,34	0,39	0,30	102.590	115.060	91.419
2023	-	0,34	0,39	0,30	102.590	115.635	90.961
Összeg		2003 – 2007			512.950	528.544	497.762
Összeg		2003 – 2023			2.154.390	2.311.246	2.009.303

3. Táblázat

Szükséges tárolási térfogat az első 5 és 20 évre Hargita megyében (tárolási sűrűség $\gamma = 1,2 \text{ t/m}^3$)

		A lakosság számának alakulása		
		(állandó ma- rad)	+0,5%/év	-0,5%/év
2003 - 2007	Háztartási hulladék (m ³)	854.916	880.906	829.604
	Tárolási térfogat (m ³)	427.458	440.453	414.802
2003 - 2023	Háztartási hulladék (m ³)	3.590.650	3.852.076	3.348.838
	Tárolási térfogat (m ³)	1.795.325	1.926.038	1.674.419

A háztartási hulladékmennyiség térfogatának a felbecsülése után pontosan meg lehet határozni a rendszerben lévő szállítóeszközök számát és a szükséges szállítókapacitásokat, valamint alapvető információkat kapunk a regionális hulladéktárolók nagyságának a kiszámítására vonatkozólag is.

4. Következtetések

A dolgozat egy háztartási hulladékgyűjtési rendszer megtervezésére tesz javaslatot Hargita megye területén. Röviden tárgyalja a javasolt hulladékgyűjtési rendszer egy lehetséges megszervezési és működési változatát, valamint a létező statisztikai adatokat felhasználva bemutatja, hogyan lehet felbecsülni a lakosság számbeli alakulásának függvényében a szükséges hulladéktárolási térfogatt mennyiséget. A dolgozatban felvetettek elősegíthetik mindazon törekvéseket, amelyek a megye korszerű háztartási hulladékgyűjtési rendszerének a kifejlesztésére irányulnak.

Szakirodalom

- [1] Man C., Ivan I. – Strategii în managementul deșeurilor și reziduriilor. Ed. Mesagerul, 2001.
- [2] Tănescu S. – Igiena mediului. Ed. Medicală, București, 1981.
- [3] *** - Direcția Județeană de Statistică Harghita, Raport 2004.

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

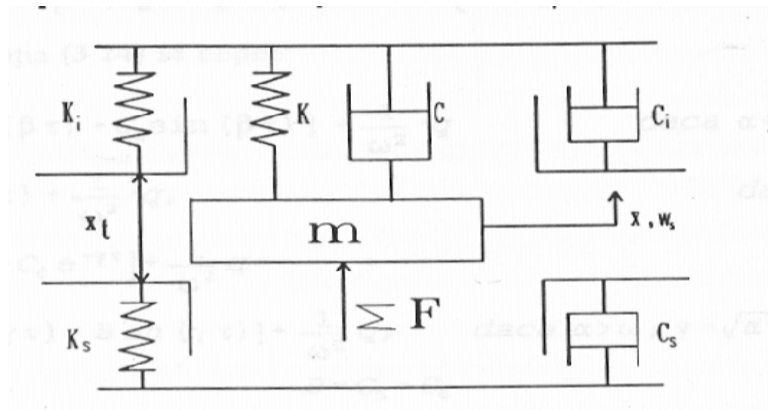
A nyomócsenk szelep mozgásának differenciál egyenlete a következő :

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

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:

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

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

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:

$$\tau = 0; \quad x_s = x_{0s}; \quad w_s = 0; \quad q_0 = \frac{p_{\text{max}} A_s}{m}.$$

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

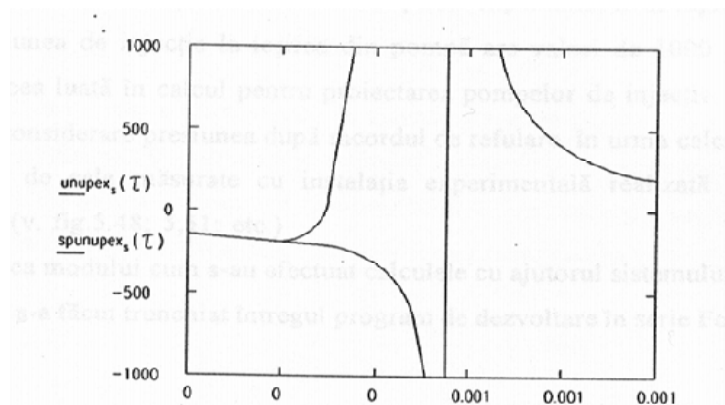
Az $\frac{1}{x_s(\tau)}$ függvény hatvány-sorozat alakja:

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

Integrálva az egyenletet, kapjuk:

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

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



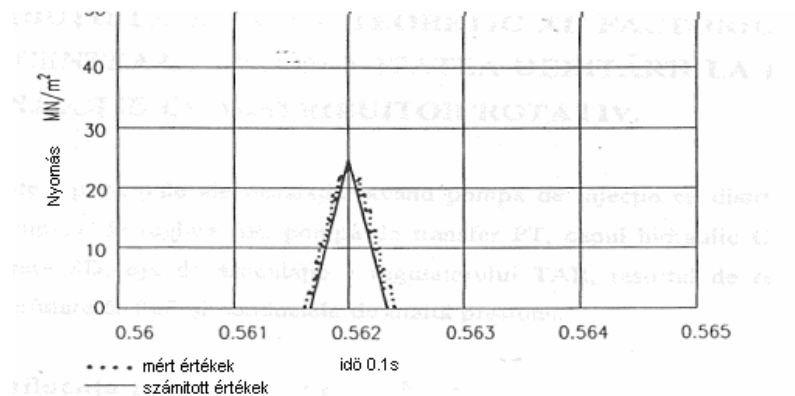
2. ábra

Az értékek egymást fedő területe:

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

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

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



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.