

SÁROSI JÓZSEF* – DR. PHD GYEVIKI JÁNOS – CSIKÓS SÁNDOR:*****
Mesterséges pneumatikus izomelemek modellezése és paramétereinek
szimulációja MATLAB környezetben

Abstract

Pneumatic artificial muscles (PAMs) are becoming more commonly used as actuators in modern robotics. The most made and common type of these artificial muscles in use is the McKibben artificial muscle that was developed in 1950's. The braided muscle is composed of gas-tight elastic bladder, surrounded by braided sleeves. Typical materials used for the membrane constructions are latex and silicone rubber, while nylon is normally used in the fibres.

This paper presents the geometric model of PAM and different MATLAB models for pneumatic artificial muscles. The aim of our models is to relate the pressure and length of the pneumatic artificial muscles to the force it exerts along its entire exists.

1. Bevezetés

A mesterséges pneumatikus izom (Pneumatic Artificial Muscle, PAM) működési elve számos műben alapos részletességgel fellelhető már (Chou és Hannaford 1996, Daerden 1999, Tondu és Lopez 2000, Daerden és Lefebvre 2002). A PAM elemek alapvetően abban különböznek a hagyományos pneumatikus munkahengerektől, hogy nincs belső mozgó alkatrészük, nincsenek egymáson elcsúszó felületek, vagyis nincs a klasszikus munkahengereknél tapasztalható súrlódás sem, igazán könnyűek, mert fő részüket egy rugalmas, megerősített, 2-3 mm falvastagságú anyag alkotja. Igen komoly előnyük a hagyományos pneumatikus vagy más elven működő aktuátorokkal szemben, hogy jelentősebb a teljesítmény/tömeg (1 W/g) és a teljesítmény/térfogat (1 W/cm³) arányuk (Chou és Hannaford 1996, Tondu és Lopez 2000). Legnagyobb hátrányukként a pneumatikus rendszerekre jellemző nemlineáris tulajdonság említhető meg, mely révén a szabályozásuk nehézkes (Caldwell et al. 1993, Caldwell et al. 1995, Medrano-Cerda et al. 1995, Situm és Herceg 2008).

A legelterjedtebb, McKibben típus mellett a szakirodalom további pneumatikus izmot is megemlítenek: Yarrott, ROMAC, Kukolj, Morin, Baldwin, Pleated PAM, Rubber-tuator stb. (Daerden 1999, Daerden és Lefebvre 2002).

A munkánkhoz a Festo által szabadalmaztatott, DMSP-20-200N-RM-RM típusú, ún. Fluid Muscle-t használtuk, melynek maximális kontrakciója a névleges hossza vonatkoztatva 25–27%.

* Tanársegéd – Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar.

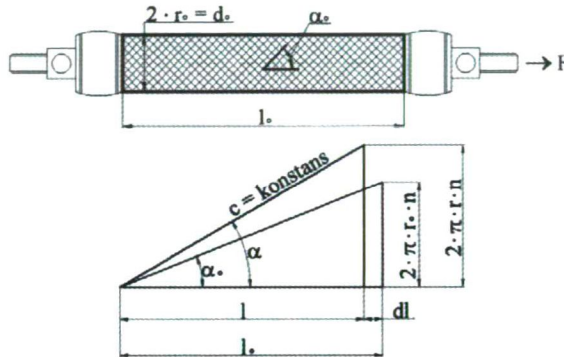
** Főiskolai docens – Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar.

*** Hallgató – Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar.

2. A Mesterséges pneumatikus izomelemek geometriai modellje

Az általunk tervezett és összeállított tesztberendezésről, továbbá az azzal elvégezhető kísérletekről és azok eredményeiről beszámol több korábbi munkánk is (Tomán et al. 2008, Gyeviki et al. 2009, Sárosi et al. 2009).

Tondu és Lopez (2000) megállapítják, hogy a PAM által kifejttet erő, a kontrakció és a felvett alak kiterjesztett állapotban a nyugalmi helyzetben mérhető geometriai paramétereiktől (1. ábra) és a PAM anyagától is függ.



1. ábra. A mesterséges pneumatikus izomelem geometriai paramétereit
(Forrás: A szerzők saját szerkesztése)

Az előzőekben említett megállapítás és az 1. ábra alapján definiálhatjuk a PAM által kifejttet húzóerőt:

$$F(p, \kappa) = p \cdot \pi \cdot r_0^2 \cdot \left(\frac{3}{\operatorname{tg}^2 \alpha_0} \cdot \frac{l^2}{l_0^2} - \frac{1}{\sin^2 \alpha_0} \right) = p \cdot \pi \cdot r_0^2 \cdot (a \cdot (1 - \kappa)^2 - b) \quad (1)$$

$$\text{Megjegyzés: } a = \frac{3}{\operatorname{tg}^2 \alpha_0}, \quad b = \frac{1}{\sin^2 \alpha_0}, \quad \kappa = \frac{l_0 - l}{l_0} \text{ és } 0 \leq \kappa \leq \kappa_{\max}$$

Ahol: F az húzóerő, p az alkalmazott nyomás, r_0 , l_0 , α_0 a nyugalmi állapotban mérhető belső sugár, hossz, valamint a bezárt szög a fonat és a hossz tengely között, r , l , α a kiterjesztett állapotban mérhető belső sugár, hossz, valamint a bezárt szög a fonat és a hossz tengely között, c a fonat hossza a , n a fonat menetszáma és κ a kontrakció.

Kutatásokat találhatunk arra vonatkozóan, hogy az (1) által értelmezett teoretikus erő korrigálni szükséges a mérésekkel meghatározott értékek jobb közelítése érdekében. Már Tondu és Lopez (2000) is azt javasolja, hogy e kezdeti megközelítést egy ε korrekciós tényezővel kell kiegészíteni, egyrészt, mert (1) figyelmen kívül hagyja az izom anyagát, másrészt az alkalmazott nyomástól függetlenül azonos maximális kontrakciót jósol. Az ε bevezetésével a felvett erők egy jobb megközelítést kapjuk $p \geq 2$ bar nyomás esetén. Kerschler et al. (2005) ezért azt tanácsolják, hogy egy μ korrekciós tényezőt is alkalmazunk az egyenlet további kiterjesztésére $p \leq 2$ bar nyomásra. Az ε és μ korrekciós tényezőkkel kiegészített teoretikus egyenletünk az erőre tehát:

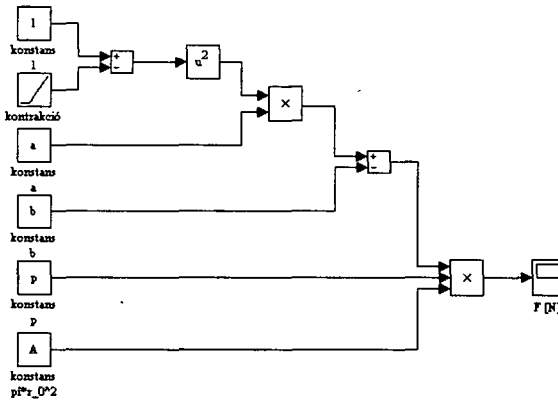
$$F(p, \kappa) = \mu \cdot p \cdot \pi \cdot r_0^2 \cdot (a \cdot (1 - \varepsilon \cdot \kappa)^2 - b) \quad (2)$$

Megjegyzés: $\varepsilon = a_e \cdot e^{-p} - b_e$ és $\mu = a_\kappa \cdot e^{-\kappa \cdot 40} - b_\kappa$

3. A mesterséges pneumatikus izomelemek MATLAB modelljei

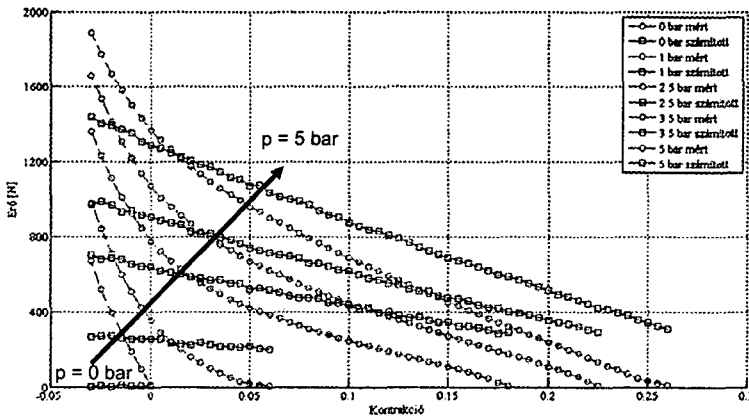
A *The MathWorks* által kifejlesztett programrendszer, a MATLAB (Matrix Laboratory) szoftver, széles körben vehető igénybe modellezésre, szimulációra és elemzésre.

Első lépésként megszerkesztettük az (1) blokkdiagramját MATLAB-ban (2. ábra). A benne szereplő konstansok egy ún. M-file-ban kerültek definiálásra.



2. ábra. Az (1) blokkdiagramja MATLAB-ban
(Forrás: A szerzők saját szerkesztése)

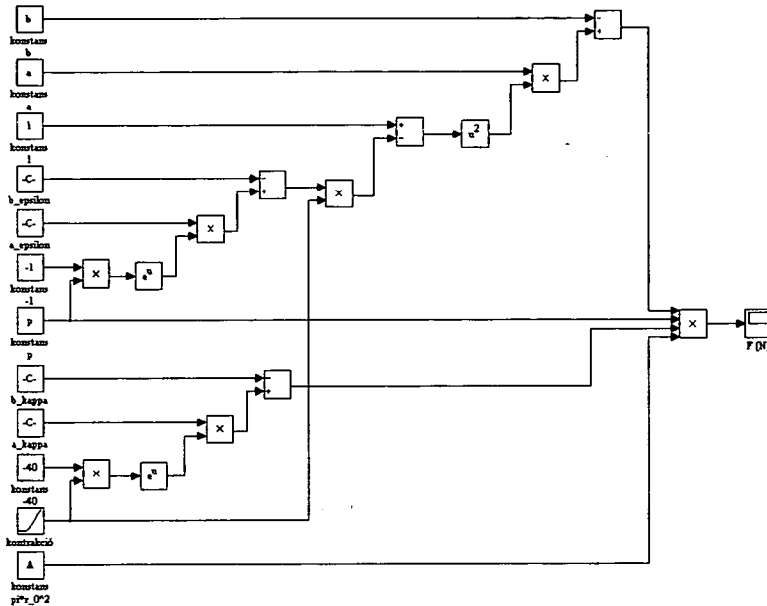
Az (1) és az általunk elvégzett kísérletek eredményei összehasonlíthatók a 3. ábrán.



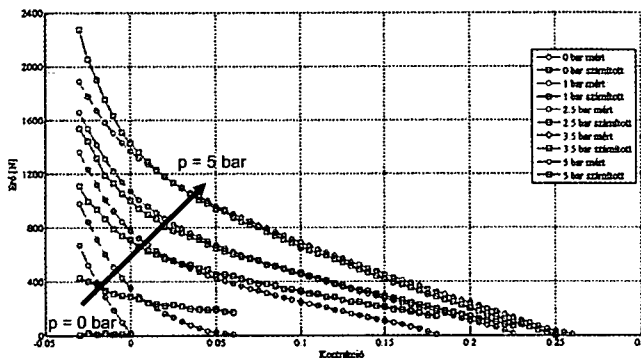
3. ábra. A mért és az (1)-gyel számított értékek összehasonlítása állandó nyomásokon
(Forrás: A szerzők saját szerkesztése)

A fenti diagramból is jól látható a szignifikáns különbség a teoretikus és a mérésekkel meghatározott értékek között.

Az összehasonlítást megismételtük ugyanazon kísérleti adatsorokkal, de most a (2)-vel. Először elkészítettük a (2) blokkdiagramját MATLAB-ban (4. ábra) – ami lényegesen komplexebb lett –, a benne szereplő konstansok szintén egy M-file-ban kerültek megadásra, majd a (2)-ben szereplő a_e , b_e , a_k és b_k paramétereket határoztuk meg a legkisebb négyzetek módszerével. Az összehasonlítás eredményét, az erők közötti kisebb eltérést szemlélteti az 5. ábra.



4. ábra. A (2) blokkdiagramja MATLAB-ban
(Forrás: A szerzők saját szerkesztése)



5. ábra. A mért és a (2)-vel számított értékek összehasonlítása állandó nyomásokon
(Forrás: A szerzők saját szerkesztése)

4. Következtetések, jövőbeni kutatási irányok

A bemutatott összefüggések még a korrekciós tényezők bevezetésével sem, vagy csak részben tudták megközelíteni a mérési sorozatokkal nyert, katalógusadatokkal összevetett és azokkal megegyező értékeket. Komoly eltérést tapasztaltunk továbbra is a $p \leq 2$ bar nyomástartományra. Célunk egy olyan új függvény meghatározása, mely teljes mértékben a mérési pontokra illeszthető. Úgy véljük, ennek meglétével a precíz szabályozók pontosságát közelítő vezérléssel is képesek lehetünk a PAM-ek pozícionálására.

Irodalomjegyzék

- Caldwell, D. G., Razak, A., Goodwin, M. J.* (1993): Braided pneumatic muscle actuators, Proceedings of the IFAC Conference on Intelligent Autonomous Vehicles, Southampton, United Kingdom, 18–21. April, pp. 507–512.
- Caldwell, D. G., Medrano-Cerda, G. A., Goodwin M.* (1995): Control of pneumatic muscle actuators, IEEE Control System Magazine, Volume 15 (1), pp. 40–48.
- Chou, C. P., Hannaford, B.* (1996): Measurement and modelling of McKibben pneumatic artificial muscles, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Volume 12 (1), pp. 90–102.
- Daerden, F.* (1999): Conception and realization of pleated artificial muscles and their use as compliant actuation elements, PhD Dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Faculteit Toegepaste Wetenschappen Vakgroep Werktuigkunde, pp. 5–33.
- Daerden, F., Lefeber, D.* (2002): Pneumatic artificial muscles: actuator for robotics and automation, European Journal of Mechanical and Environmental Engineering, Volume 47, pp. 10–21.
- Gyeviki, J., Sárosi, J., Véha, A., Tomán, P.* (2009): Experimental investigation of characteristics of pneumatic artificial muscles, 5th European Challenge International Conference, 16 October, Szeged, Hungary, p. 5. (under edit)
- Kerscher, T., Albiez, J., Zöllner, J. M., Dillmann, R.* (2005): FLUMUT – Dynamic Modelling of Fluidic Muscles using Quick-Release, 3rd International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines, Ilmenau, Germany, 25–30 September, p. 6.
- Medrano-Cerda, G. A., Bowler, C. J., Caldwell, D. G.* (1995): Adaptive position control of antagonistic pneumatic muscle actuators, International Conference on Intelligent Robots and Systems, Pittsburgh, PA, USA, 5–9 August, pp. 378–383.
- Tomán, P., Gyeviki, J., Endrődy, T., Sárosi, J., Véha, A.* (2008): Design and fabrication of a test-bed aimed for experiment with pneumatic artificial muscle, International Conference on Science and Technique in the Agri-food Business, Szeged, Hungary, 5–6 November, pp. 361–367.
- Sárosi, J., Gyeviki, J., Endrődy, T., Szabó, G., Szendő, P.* (2009): Characteristics of the pneumatic artificial muscles, International Conferences in Agricultural Engineering “Synergy and Technical Development”, Gödöllő, Hungary, 30 August–03 September, Conference CD, p. 6.
- Situm, Z., Herceg, Z.* (2008): Design and control of a manipulator arm driven by pneumatic muscle actuators, 16th Mediterranean Conference on Control and Automation, Ajaccio, France, 25–27 June, pp. 926–931.
- Tondu, B., Lopez, P.* (2000): Modelling and control of McKibben artificial muscle robot actuator, IEEE Control System Magazine, Volume 20, pp. 15–38.