

**ERŐVISSZACSATOLT HIDRAULIKUS EMELŐBERENDEZÉS
MODELL MEGVALÓSÍTÁSA IPARI ESZKÖZÖKKEL****IMPLEMENTATION OF FORCE FEEDBACK LIFTING
EQUIPMENT MODEL WITH INDUSTRIAL DEVICES**Zilahi Krisztián László¹, Szabó Norbert², Piros Sándor³¹Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék,
4028, Magyarország, Debrecen, Ótemető utca, 2-4, imkrisztian@hotmail.com²FESTO Kft., 1037, Magyarország, Budapest, Csillaghegyi út, 32-34, Telefon: +36
(1) 436-5111, norbert_szabo@festo.com³Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék,
4028, Magyarország, Debrecen, Ótemető utca, 2-4, piros@eng.unideb.hu**Abstract**

Lifting equipment are used in many fields of industry. In this paper, we will introduce a special construction of an electro-hydraulic lifting equipment application which is regulated by an electro-pneumatic force feedback controller. The created system can be used in special fields, where the physical feedback is important for the operator of the lifting process. To ensure the reliability, we used industrial sensors, actuators and controller units in the system.

Keywords: hydraulics, PLC, closed-loop control, lifting equipment, force-feedback.

Összefoglalás

Az iparban számos területen alkalmaznak emelőberendezéseket. A tanulmányban egy speciális elektrohidraulikus emelőberendezés modelljének létrehozását mutatjuk be, mely egy erővisszacsatolásos, elektropneumatikusan működtetett munkahenger segítségével szabályozható. A létrehozott rendszer alkalmazható olyan területeken, ahol a kezelő számára fontos, hogy fizikai visszahatása legyen az emelési folyamatnak. A megbízhatóság érdekében a berendezés érzékelő, végrehajtó és vezérlő egységei, ipari eszközök segítségével kerültek kialakításra.

Kulcsszavak: hidraulika, PLC, szabályozás, emelőberendezés, erővisszacsatolás.

1. Bevezetés, előzmények

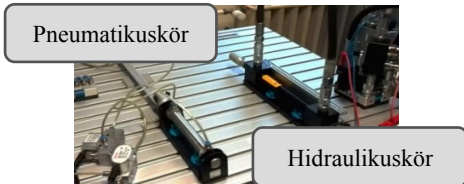
Hidraulikus végrehajtóegységek alkalmazása számos területen előfordul az iparban. Ezen egységek mozgatására többféle megoldást dolgoztak már ki. Lehetséges a munkahengereket, összetett kinematikai lánc (például földmunkagépek, markolók) esetén, analóg alapjelképző (joystick) segítségével irányítani [1]. Egyes helyzetekben,

veszélyes vagy a kezelő számára elérhetetlen, veszélyes munkakörnyezet esetében az elvégezendő folyamatot a kezelő egy teleoperációs rendszer segítségével végzi el. Ilyen rendszerek esetében az irányító és a végrehajtó berendezést térben elválasztva helyezik el egymástól, ezzel létrehozva egy master - slave kapcsolatot [2].

A rendszer kialakítása során figyelembe vettük a jelenlegi megoldásokat, alkalmaz-

va azok előnyös tulajdonságait. Az emelőberendezés biztonságos üzemét a felhasznált ipari fluid elemek és ipari programozható logikai vezérlő (PLC) biztosítja.

2. Az emelőberendezés modell bemutatása



1. ábra. Az emelőberendezés hidraulikus és pneumatikus egységei

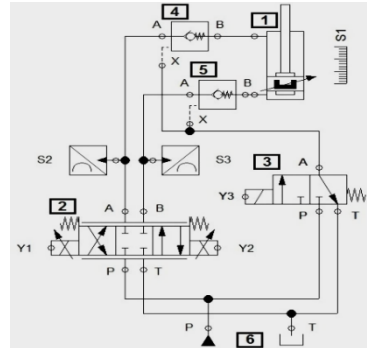
A dolgozat alapjául az elkészített emelőberendezés modell (1. ábra) szolgál. A modell főbb részegységei: a végrehajtó egység, mely a teher süllyesztését, illetve emelését végzi, a hidraulikus kör, amelyet a kezelő egy pneumatikus körrel tud működtetni, a vezérlő egység, a számítógépen futtatható megjelenítő és mérésadatgyűjtő alkalmazás, és egy mobil eszköz, mellyel a távvezérlési funkció végezhető. A fluid egységeket a FESTO DIDACTIC oktatókészlet elemeiből építettük fel.

2.1. A hidraulikus kör felépítése

Az emelőberendezés végrehajtó egységét egy hidraulikus kör (2. ábra) alkotja. A hidraulikus kapcsolást a FESTO FluidSim programmal rajzoltuk meg.

A hidraulikus kör fő egységei: egy hidraulikus munkahenger és egy 4/3-as proporcionális útszelep. A 3/2-es útszelep és a vezérelt visszacsapó szelepek biztonsági funkciót látnak el (a henger zuhanásgátlását áramkimaradás vagy nyomásesés, csőtörés esetén). A hidraulikus munkahenger pozíciójának meghatározásához a munkahengerhez rögzített utadó szenzort használtunk fel. A henger által kifejtett eredő erő meghatározásához egy-egy nyomásmérő

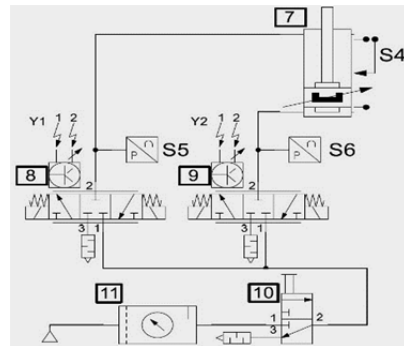
szenzorthelyeztünk el a munkahenger munkacsatlakozásain.



2. ábra. A hidraulikus kör kapcsolási rajza

2.2. A pneumatikus kör bemutatása

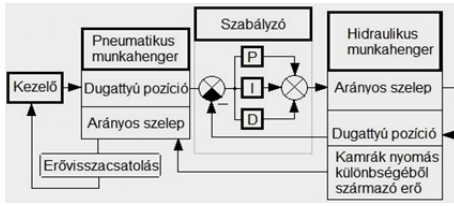
Az emelőberendezés működtetése egy pneumatikus munkahenger mozgásával történik. A Rexroth D&C Scheme Editor program segítségével megterveztük a pneumatikus kapcsolást (3. ábra).



3. ábra. A pneumatikus kör kapcsolási rajza

Az emelőberendezés működtető karjának funkcióját a pneumatikus munkahenger tölti be, így a henger dugattyújának pozíciója szolgáltatja a referencia jelet az emelő hengernek. A pozíciót egy utadó szenzor határozza meg. A kezelő számára az erővisszahatást a pneumatikus munkahengerre kötött két elektropneumatikus nyomásszabályozó biztosítja.

3. Az emelőberendezés irányítása



4. ábra. A komplex rendszer hatásvázlata

Az emelő mozgásához szükséges egy vezérlőegység (FESTO CPX-CEC típusú PLC) mely a modellben elhelyezett szenzorok adatait feldolgozza, és szabályozza a komplex rendszert (4. ábra). A szabályozás kialakítása azért szükséges, hogy a működtető kar- mely a szabályozás alapjel képző szerve - helyzetének függvényében az emelőhenger pozícióra történő beállása létrejöphessen.

3.1. A PID szabályozó implementálása

A szabályozáshoz egy diszkrét PID szabályozó funkcióblokkot készítettünk el a PLC-re. A folytonos PID szabályozás átviteli függvénye:

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{d e(t)}{dt} \quad (1)$$

ahol: K_p : arányos átviteli tényező, K_I : integráló átviteli tényező [1/s], K_D : differenciáló átviteli tényező [s], $e(t)$: az aktuális hiba az alapjel és a visszacsatolt jel között.

Az (1)-es számú összefüggés és a PLC programfuttatási struktúrája alapján meghatározható a programkódba implementálható diszkrét PID szabályozó átviteli függvénye pedig:

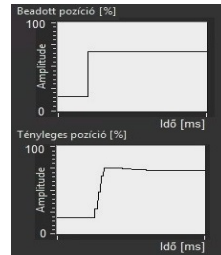
$$u(k) = K_p e(k) + K_I \frac{e(k) + e(k-1)}{2} * 0,01s + K_D \frac{e(k) - e(k-1)}{0,01s} \quad (2)$$

ahol: $e(k)$: hiba az aktuális ciklusban, $e(k-1)$: az előző ciklusban számított hiba értéke.

A (2)-es számú egyenlet alapján felvettük a funkcióblokk változóit, majd elkészítettük a programkódot.

3.2. A szabályozás kompenzálása, vizsgálata

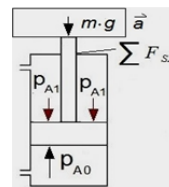
A szabályozás kompenzálását a Ziegler – Nichols frekvencia válasz módszere szerint végeztük el. Meghatároztuk a kritikus erősítési tényezőt (K_{PKRIT}), valamint az ahhoz tartozó lengések periódusidejét (T_{KRIT}), majd a hangolási összefüggések alapján kiszámoltuk a rendszer időállandóit ($K_P, T_I \rightarrow K_I, T_D \rightarrow K_D$). Ezen értékek meghatározásának segítségével hangoltuk be a szabályozási kört [3]. A hangolás folyamatát LabVIEW alkalmazáson keresztül végeztük.



5. ábra. Vizsgálat az egységugrás függvényre

A szabályozás az egységugrás vizsgáló függvényekre adott válaszfüggvénye az 5. ábrán látható. A hidraulikus munkahenger az átmeneti állapotban kis túllendüléssel, az emelési feladat ellátásához kellően gyorsan és pontosan, valamint lengés nélkül veszi fel pozícióját. A munkahenger állandósult állapotban tartja pozícióját, kisebb erőhatásokra sem tér ki abból.

4. Az erővisszacsatolásszármaztatása a terhelés függvényében



6. ábra. A hidraulikus munkahenger által kifejtett erő származtatása

A hidraulikus munkahenger kifejtett erejének származtatása a **6. ábrán** látható, ahol: p_{A1} : a hidraulikus munkahenger dugattyúrúd oldali töltőnyomása, p_{A0} : a hidraulikus munkahenger dugattyúrúd nélküli oldal töltőnyomása.

Továbbá felírható az alábbi egyenlet:

$$F_A(t) = p_{A1}(t) \cdot A_2 - p_{A0}(t) \cdot A_1 - \sum F_{sA}(T_k, t, v) = -(m \cdot g + m \cdot a(t)) \quad (3)$$

ahol: $F_A(t)$: a hidraulikus munkahenger által kifejtett pillanatnyi erő, A_1 : a hengerben lévő dugattyú felületének nagysága, A_2 : a dugattyú dugattyúrúd felőli felületének nagysága, $\sum F_{sA}(T_k, t, v)$: a súrlódásokból fellépő pillanatnyi erők összessége, m : a mozgatandó teher tömege, g : a gravitációs gyorsulás, $a(t)$: a teher aktuális gyorsulása.

Az emelésből visszaható erő meghatározható a (3)-as számú egyenlet alapján. Jelen esetben a súrlódásból származó erőktől eltekintettünk. A kiszámított terhelőerővel arányos nyomást - annak előjelétől függően - a nyomásszabályozó szelepek állítják elő a pneumatikus munkahengerben. Az mozgatási folyamat alatt a hidraulikus munkahenger által kifejtett erő, a súlyerővel és a gyorsulásból származó erővel tart egyensúlyt. A fenti összefüggéseknek megfelelően elkészítettük az erővisszacatolás PLC programját.

5. Továbbfejlesztési lehetőségek, alkalmazási területek

Összetettebb megfogási és mozgatási folyamatok ellátása az emelőberendezés kinematikai láncának bővítésével biztosítható (többtengelyes manipulátor).

A programozható logikai vezérlőre megírt PID szabályozást kiegészítve automatikus hangolás funkcióval, a rendszer könnyebben lenne csatolható különböző végrehajtó egységekhez is.

A rendszer felhasználható földkitermelő-rakodógépeknél, ahol előfordulhat, hogy a munkafolyamat közben a földben lévő

vezetéket, kábelt sért meg a gép, az erővisszacatolással ezek a balesetek nagy részt elkerülhetőek lennének. Ezen esetben a rendszer könnyen telepíthető, mivel a munkagépek is hidraulikus segédenergiával üzemelnek.

6. Összegés, következtetések

Létrehoztunk egy emelőberendezés modellt, melynek segítségével a felhasználó olyan emelési, manipulációs feladatok elvégzését tudja végrehajtani, melynél fontos a folyamat fizikai visszacsatolása. Továbbá az elkészített rendszerrel teleoperációs feladat is végezhető. A rendszer kinematikai láncának bővítése esetén a kezelő számára egyszerűbb, egyértelmű felhasználást biztosít, a joystick-os megoldásokhoz képest.

Megterveztünk egy pneumatikus kapcsolást, amelyben a felhasznált arányos nyomásszabályozók segítségével az erő visszacsatolás pontosan szabályozható.

Összeállítottunk egy - az aktuátor funkcióját betöltő - hidraulikus kört, mellyel könnyen mozgathatóak nagy tömegű terhek.

Elkészítettük a berendezés irányítóegységeként felhasznált PLC programkódját, melynek rugalmasságából adódóan, az könnyen konfigurálható különböző fluid végrehajtóegységekhez [4].

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] J. Yoon, A. Manurung: *Development of an intuitive user interface for a hydraulic backhoe*, Elsevier: Automation in Construction 19 (6), 2010, 779-790. oldal.
- [2] S.Hirche, M.Buss: *Human-Oriented Control for Haptic Teleoperation*, Proceedings of the IEEE 100 (3), 2012, 623-647. oldal.
- [3] *Holtidős folyamatok szabályozása* http://www.ms.sapientia.ro/~martonl/Docs/Lectures/Holtidos_Folyamatok_Iranyitasa.pdf Letöltve: 2014. 11. 12.
- [4] *A rendszer működése, videó:* <https://www.youtube.com/watch?v=sloi49zT8pUMegtekintve>: 2015. 02. 01.