

# SZERVO MECHANIZMUS MECHATRONIKA TERVEZÉSE MECHATRONIC DESIGN OF SERVO MECHANISMS

Nagy Lajos, tanársegéd, Miskolci Egyetem, Robert Bosch Mechatronikai Tanszék

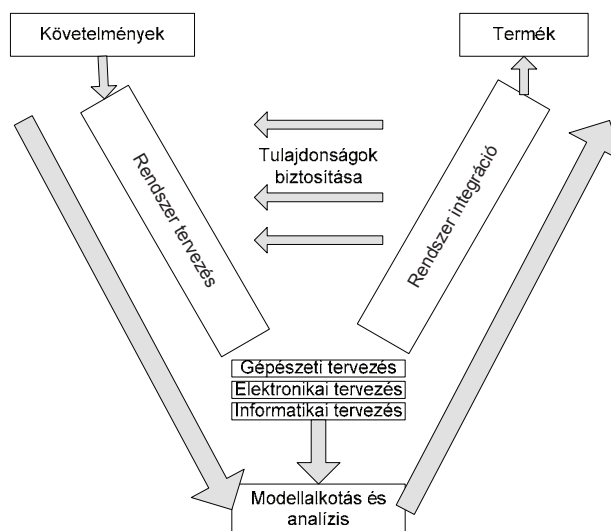
## ABSTRACT

The goal of this paper is to present a part of an industrial project which can be solved by mechatronic design method. In general, it follows VDI Guidelines 2206 and applying a model-based design tool, focusing on conceptual design stage.

## 1. BEVEZETÉS

Számos tervezésemélet és módszer került kifejlesztésre az elmúlt évtizedekben [2]. Ezek a módszerek, eljárások a klasszikus elméletekkel (VDI 2221, VDI 2222, PAHL, BEITZ, HUBKA FRANKE, KOLLER, ROTH, stb.) ellentétben figyelembe veszik az idővel fellépő változásokat, az eljárások rugalmasak, megjelennek a szervezés, gazdasági hatások és a menedzsment aspektusait. A követelményjegyzékekben előtérbe kerültek az újszerűsége, a rövid innovációs szakasz megvalósítására, a gazdaságos anyag- és energiafelhasználásra, a minőségre, a megbízhatóságra, a biztonságra, a környezeti hatásokra stb. vonatkozó követelmények. Új fogalmakat, elméleteket vezettek be mind az oktatásban, mind pedig a kutatásban [12], [13]. A multidiszciplináris tudományok térhódításával megjelennek a mechatronikai termékek, amelyek komplexitása már a tervezési és kialakítási fázisban megköveteli a funkciókra és a kialakításra irányuló rendszerkialakítás elvének alkalmazását a költségek, a gyártás és a technológia szempontjából [17]. A mechatronikai rendszerek tervezésének általános V modelljét [15] az 1. ábra mutatja. A folyamatmodell a VDI 2221, VDI 2422 elméletekre épül, amelyhez megfelelő feladat specifikus tervezési eszközök és platformok szükségesek. Egy komplex mechatronikai gyártmány rendszerint nem egy tervezési ciklusban keletkezik. Sokkal inkább jellemző, hogy több ismételt tervezési ciklusra is szükség van. A mechatronikai rendszer összetett funkciója az alrendszerek (mechanikai, elektronikai, információtechnológiai) egymást erősítő kölcsönhatásán alapul, amelyek

különböző fizikai szinteken, de párhuzamosan valósulnak meg [4]. Az alrendszerek együttműködése funkcionális és térbeli integráció által valósul meg. A funkcionális integráció lehetővé teszi a vevői igényekhez való rugalmas illesztést. A térbeli integrációnál a sokfunkciós elemek, egységek képzése (funkcióösszevonással), a mechanikai építőelemek számának csökkenéséhez, térfogatcsökkenéshez vezethet, vagy akár a dinamikai határértékek is javulhatnak



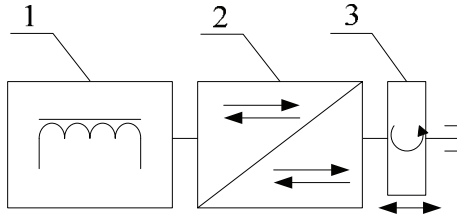
1. ábra. A mechatronikai tervezés V-modellje

A cikkben bemutatásra kerül egy innovatív megoldás módszeres mechatronikai tervezésének folyamata.

## 2. MÓDSZERES MECHATRONIKAI TERVEZÉS

A feladat indítómotorok kapcsoló-mechanizmusának mechatronikai fejlesztése. A napjainkban alkalmazott kapcsoló-mechanizmusok funkcionális modellét a 2. ábra szemlélteti. Jelölései a következők: elektromágnes (1), haladó-haladó (2) mozgásátalakító, hajtó-fogaskerék (3). A mechatronikai tervezés első lépése minden esetben a gépészeti tervezés [5], azaz olyan mechanizmust célszerű kidolgozni, amely teljesíti a kapcsolómechanizmussal szemben

támasztott követelményeket. A követelményjegyzéket a [11] irodalom alapján az 1. táblázat foglalja össze. Az új kapcsolómechanizmus kidolgozásához a [7] publikációban ismertetett folyamatterv lépéseit követjük, amelyet a 3. ábra szemléltet.



2. ábra. Indítómotor kapcsolómechanizmusának funkcionális modellje

1. táblázat. Követelményjegyzék

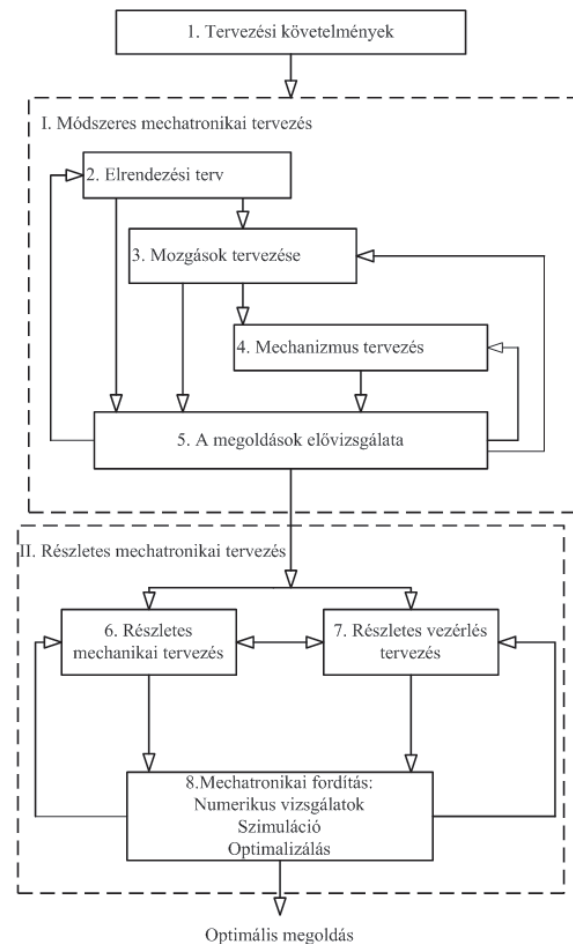
1. Tervezés követelmények	
Funkcionális	13,5 mm axiális elmozdulás
	Pontos pozicionálás
	Megfelelő erő és nyomaték létrehozása
	Innovatív megoldás
Általános	Rövid kapcsolási idő (<0,03 s)
	Nagy kapcsolási szám (>250 000)
Kiemelt	Moduláris kialakítás
	Kis helyszükséglet és súly
	Nagy élettartam
Minden gépre jellemző	Gyártási, iparjogi, egyéb követelmények

A tervezés első (I.) fázisában a mozgásátalakító szerkezetek változatai szolgálnak a vizsgálat alapjául. A mozgásokat megvalósító szerkezeteknél, mechanizmusoknál elemi mozgások (egyenes vonalú haladó H és forgó F) megvalósítása célszerű, ugyanis bonyolultabb mozgások is ezekből származtathatók. A mozgásátalakítók 4 nagy csoportra (H-H, H-F, F-F, F-H) bonthatók az [1] szerint. H-H mozgásátalakítók csoportjába tartozik a vizsgált mechanizmus. A kidolgozáshoz és a megfelelő változat kiválasztásához az [1], [8], [10], [16] munkák szolgálnak alapul, amelyben több megoldásváltozatot ismertetnek mozgásátalakítók témakörében.

Az F-F és H-F típusú mozgásátalakítókat rögtön el is vethetők, mert nem felelnek meg a

funkcionális követelményeknek, így a vizsgálatok a H-H és F-H típusú mozgásátalakítóokra korlátozódnak.

Egyenes vonalú haladó mozgást általában a forgó mozgású kinematikai lánc végén forgó-haladó (F-H) mozgásátalakítókkal hoznak létre, mert a forgó mozgással magas mozgásparaméterek biztosíthatók, ezért az új kapcsolómechanizmus kialakításánál célszerűnek mutatkozik, egy F-H típusú mozgásátalakító alkalmazása.



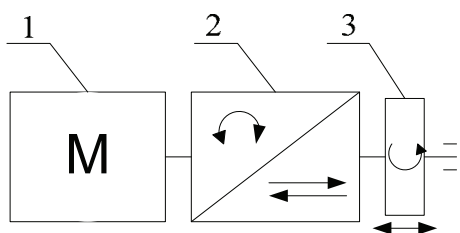
3. ábra. A tervezés folyamata és lépései [7]

F-H típusú mozgásátalakítók csoportjába tartoznak a bütykös mechanizmusok, ezért a további vizsgálatok erre korlátozódnak. A bütykös mechanizmusok sokoldalú, speciális kialakítású alkatrészek, amelyek állandó és közvetlen kapcsolatban vannak az ún. kapcsolódótaggal. Osztályozásuk többféle szempont, pl. a kapcsolódótag alakja a kapcsolódó tag mozgása a bütyöktest típusa stb. szerint lehetséges [8], [10]. A kapcsolódótag mozgása általában valamilyen matematikai (polinom, trigonometrikus, spline) függvénnyel leírható. A függvények megválasztásakor

figyelembe kell venni a kinematikai és dinamikai paramétereket, peremfeltételeket. Kinematikai és dinamikai szempontból kedvező viselkedést csak azok a mozgásfüggvények mutatnak, amelyek függvénye ütés-és lökésmentes.

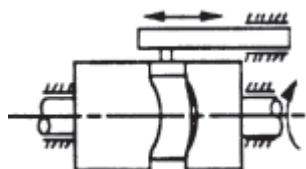
### 3. RÉSZLETES MECHATRONIKAI TERVEZÉS

Az előző fejezetben ismertetett eljárás alapján az új kapcsolómechanizmus funkcionális modellje a 4. ábrán látható. Részei a következők: DC motor (1), F-H mozgásátalakító (2), hajtófogaskerék (3).



4. ábra. Az új mechanizmus funkcionális modellje

Az F-H mozgásátalakító a *kiemelt követelmények* alapján egy axiális követőgörgős mechanizmus (5. ábra), melynek 180°-os elfordulása biztosítja a 13,5 mm-es axiális elmozdulást. A kiválasztott mozgásfüggvény pedig ötödfokú Hermite típusú polinom.



4. ábra.: Az F-H mozgásátalakító elvi vázlata

A mechanizmust meghajtó motor kiválasztása az egyik legfontosabb feladat a berendezés működésének szempontjából, ugyanis a motor szögelfordulása határozza meg a mechanizmus hajtott tagjának axiális elmozdulását. Servo motoros hajtások részegységeinek kiválasztása összetett probléma mind mechanikai, mind pedig elektronikai szempontból [14].

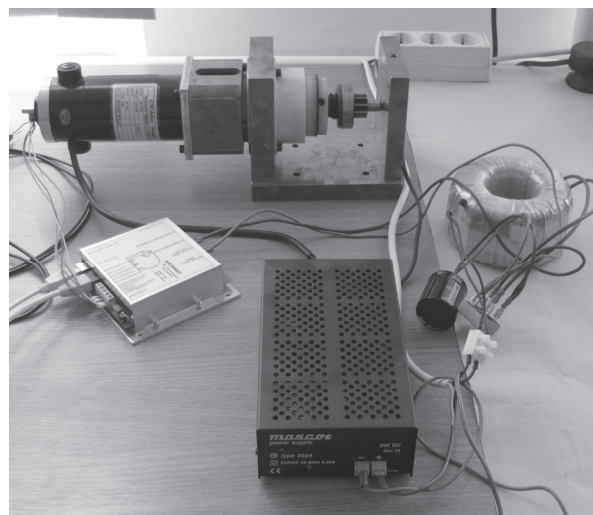
A további vizsgálatok célja a megfelelő motor kiválasztása, amely teljesíti az előírt működési időt ( $t=0,03$  s) és elmozdulást. Számos publikáció [3], [6], [9], [14] jelent meg hajtóművel kombinált servo motoros hajtások kiválasztására. Különböző módszereket, tervezési eljárásokat ismertetnek a méret, súly,

maximális teljesítmény-, nyomaték- és hatásfok optimalására vonatkozóan. A [6] irodalomban háromszög és trapéz sebességprofilok esetén határozzák meg a servo motorok minimális teljesítményigényét. A vizsgálatok során a motor bekapcsolási jelenségeitől eltekintettek. A minimális mechanikai teljesítmény a [6] szerint a következő összefüggéssel határozható meg:

$$\frac{\partial P}{\partial \omega} = \frac{J_{red} \omega^2 (3(\omega t - \gamma) - \omega t)}{(\omega t - \gamma)^2} = 0, \quad (1)$$

ahol  $J_{red}$  a motor tengelyére redukált tehetetlenségi nyomaték,  $\omega$  a motor szögsebessége,  $t$  a működési idő,  $\gamma$  a mechanizmus elfordulási szöge.

A fentiek alapján kidolgozásra került a kapcsolómechanizmus kísérleti berendezése (5. ábra). A berendezés fő részegységeit, és a működtetéshez szükséges elemeket a 2. táblázat foglalja össze. A servo motor vezérlését és konfigurálását a CNC-DRIVE Hungary cég munkatársai végezték servokonfigurator szoftver segítségével. A motor vezérlő funkciója a kiválasztott PMDC motor +180°, és a -180°-os pozicionálása. A szabályozás zárt hurkú, a pozíció visszajelzése az inkrementális encoder feladata. A szabályozás alapjele lépés és iránybit (step/direction) formájában lett előállítva.



5. ábra. A megvalósított kísérleti berendezés fényképe

2. táblázat. A kísérleti berendezés elemei

Megnevezés	Típus	Jellemző
PMDC Szervo motor	Serial Nr. ACAH8856	P=45 W
Tengelykapcsoló	MKM 2	$M_{\max}=2$ Nm
Inkrementális encoder		5.5 VDC
Szervo motor-vezérlő	Mammut	18-28 VDC $I_{\max}=40$ A
Toroid transzformátor	Serial Nr. NT320	320 VA 230V/24V

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatásra került egy új típusú kapcsolómechanizmus mechatronikai tervezése, amely a VDI 2206 és a szerszámgépek mechatronikai részegységeinek tervezésére érvényes általános folyamattervét követte. Megállapításra került, hogy F-H típusú mozgásátalakítóval a tervezési követelmények teljesíthetők. Az új kapcsolómechanizmus kísérleti berendezése kidolgozásra került. Az elvégzett kapcsolások száma meghaladta a célként kitűzöttet. A mechanizmuson szignifikáns elváltozásnak, kopásnak nyoma sem volt, ami igazolta a berendezés célszerűségét. A megépített kísérleti berendezés újszerűségét igazolva, a német szabadalmi hivatal DE 10 2010 064 352 A1 lajstromszámmal iparilag alkalmazható megoldásként elfogadta és szabadalmi oltalomként közzétette.

#### KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

#### IRODALOM

[1] Chiou, S.-J. – Kota, S.: Automated conceptual design of mechanisms, Mechanism and Machine Theory 34 (1999) pp. 467-495.  
 [2] G. Pahl-W. Beitz: Engineering Design. London, The Design Council, 1984.  
 [3] Grotstollen, H.: Optimal design of motor and gear for drives with high acceleration and load torque, Electric Machines and Drives Conference, 2009. IEMDC '09., doi: 10.1109/IEMDC.2009.5075352 pp.1173 - 1179

[4] Isermann, R.: Mechatronic systems— Innovative products with embedded control, Control Engineering Practice 16 (2008) pp. 14–29  
 [5] Janschek, K.: Mechatronic Systems Design, Methods, Models, Concepts, Springer, 2012.  
 [6] Mermelstein, S. P.- Hale, D.- Acar, M.- Jackson, M.R.- Roberts, K.: Patterning servo-mechanism for a circular warp knitting machine, Mechatronics 11 (2001), pp. 617-630.  
 [7] Neugebauer, R. – Denkena, B. – Wegener, K.: Mechatronic Systems for machine tools, Annals of the CIRP Vol. 56/2/2007. pp. 657-686. doi:10.1016/j.cirp.2007.10.007.  
 [8] Norton, R. L.: Cam Design and Manufacturing Handbook, New York, Industrial Press, 2002.  
 [9] Roos F., Johansson H., Wikander J.: Optimal selection of motor and gearhead in mechatronic application, Mechatronics Vol.16, 2006, pp.63-72  
 [10] Rothbart, H. A.: Cam Design Handbook, New York, McGraw-Hill, 2004.  
 [11] Tajnafői, J: Szerszámgéptervezés II. Budapest, Tankönyvkiadó, 1990.  
 [12] Tomiyama, T. -P. Gu, P. - Jin Y.- Lutters, D. - Kind, Ch.- Kimura, F.: Design methodologies: Industrial and educational applications, CIRP Annals - Manufacturing Technology 58 (2009) pp. 543–565.  
 [13] Vajna, S.: Theories and methods of product development and design, Gépészet 2008 Budapest, 29-30.May 2008. G-2008-P-02 p 23.  
 [14] Van de Straete H.J, Degezelle P., de Shutter J., Belmans R.: Servo Motor Selection Criterion for Mechatronic Application, IEEE/ASME Transaction on mechatronics Vol.3, 1998, pp.43-50.  
 [15] VDI 2206: Design methodology for mechatronic systems, Düsseldorf, 2004.  
 [16] Vizi, G. – Jakab, E.: Latest Results in the Machining of Epicycloidal Gearing, WESIC 2003, Advanced Technologies in Manufacturing, 4th Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration, Vol. I-II., (2003) pp. 457-464.  
 [17] Y, Zeng - S, Yao: Understanding design activities through computer simulation, Advanced Engineering Informatics (23) 2009. pp. 294–308.