

Bemutató céljára épített mechatronikai rendszer fejlesztése

Development of a Mechatronic System for Demonstration Purpose

Györkovács István,¹ Forgó Zoltán²

¹ Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, gyorkovacs12@gmail.com

² Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, zforgo@ms.sapientia.ro

Abstract

The aim of the paper is to present a modular system, with the help of which it is possible to reveal the structure and analysis of a mechatronic system, taking into account several disciplines that contribute to the structure of the system. The planned system will include devices from different disciplines, the operation and coordination of which will be observable. The designed system is a two-degree-of-freedom mechanism with a translational and a rotary joint. The movement of the joints are obtained by different types of energy converters (pneumatic, electric). The replacement of the different types of drives can be performed quickly and easily without drastically changing the system setup. The simulations are implemented using the MATLAB Simscape software package.

Keywords: *mechatronic system, energy converters, joints, mechanism, simulation.*

Összefoglalás

A dolgozat célja egy moduláris rendszer bemutatása, mely segítségével lehetőség nyílik egy mechatronikai rendszer felépítését és elemzését felfedni, figyelembe véve több tudományterületet, mely hozzájárul a rendszer felépítéséhez. A tervezett rendszerben különböző tudományterületekről érkező eszközök lesznek megtalálhatóak, amelyek működése és összehangolása lesz megfigyelhető és tanulmányozható. A tervezett rendszer egy két szabadságfokú mechanizmus, amely egy translációs és egy rotációs csuklóval rendelkezik. A csuklók a mozgásukat különböző típusú energiaátalakítókba nyerik (pneumatikus, villamos energia). A különböző hajtások cseréje egyszerűen és gyorsan végrehajtható, a rendszer alakjának és összetételének erőteljes megváltoztatása nélkül. A szimulációk a MATLAB Simscape szoftvercsomag felületén keresztül valósulnak meg.

Kulcsszavak: *mechatronikai rendszer, energiaátalakítók, csuklók, mechanizmus, szimuláció.*

1. Bevezetés

Napjainkban a mechatronikai rendszerek anyyira elterjedtek, hogy majdnem mindenhol megtalálhatók körülöttünk: találkozhatunk velük a munkahelyeken, de az otthonainkban is. Az ipar különböző területein is nélkülözhetetlen szerepet töltenek be [1]. Az elektronika, a gépészet és az intelligens számítógépes vezérlés egymást erősítő

integrációja figyelhető meg ezekben a rendszerekben [2, 3].

Az indulásnál felmerült egy olyan kérdés, hogy hogyan lehetne egy olyan rendszert tervezni, amelyen bemutatható lesz, hogy mi is áll az a szó mögött, hogy mechatronika, hogy milyen tudományterületek alkotják. Tehát egy olyan rendszer szükséges, amelyben mind a gépészet, mind

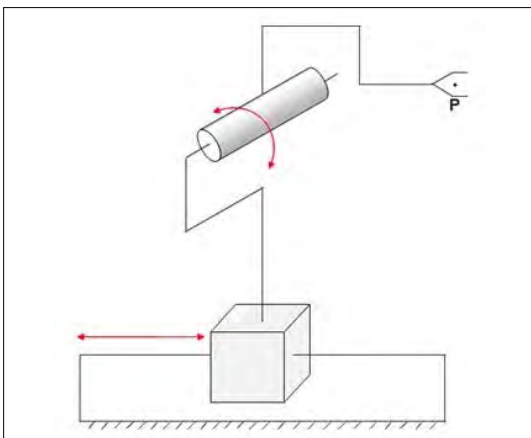
a villamosság és mind a vezérlés-programozás területéről érkező eszközök, alkatrészek helyet kapnak [1–3]. A legegyszerűbben megvalósíthatónak ezen elképzelések mellett egy két szabadságfokú, soros robotkar, melynek egy translációs csuklója és egy rotációs csuklója lesz. Ezek a csuklók különböző energiaátalakítók, és mechanizmusok hajtják, így biztosítva minél több eszköz működésének, alkatrészeinek bemutathatóságát. A csuklók több meghajtó energia-átalakítóval/mechanizmussal való felszerelhetősége egy új követelményt is behozott a tervezés kapcsán: ezek gyors és egyszerű cserélhetőségét. Tehát a csuklókat meghajtó eszközök gyorsan és egyszerűen leválaszthatóak és felszerelhetőek kell, hogy legyenek anélkül, hogy a berendezés fő részét szét kelljen szerelni.

2. A berendezés tervezése

A tervezett moduláris rendszer egy szemléltetőeszközként kell, hogy működjön, melyen jól láthatóak és tanulmányozhatóak a különböző alkatrészek, mechanizmusok, energiaátalakítók, amelyek a rendszert alkotják.

A tervezés első fázisában a tervezendő moduláris rendszer típusa, illetve maximális geometriai méretei lettek meghatározva. Ebből kiindulva egy rotációs és egy translációs csuklót tartalmaz, és ezáltal is minél többfajta hajtás bemutatására lesz alkalmas.

A berendezés bázisához az első kar egy translációs csuklóval kapcsolódik, majd ezt követi egy rotációs csukló. Ezek helyzete látható a 1. ábrán, amely a kinematikai vázlatot tartalmazza. Ezek alapján a bemutató berendezés testmodellje az Autodesk Inventor tervezőprogram segítségével készült el.



1. ábra. A berendezés kinematikai vázlata

2.1. A translációs rész tervezése

A tervezett berendezés translációs részének alapja egy lineáris golyós vezetősin, amely a 2. ábrán látható, és 8 darab M10-es süllyesztett fejű csavar segítségével van rögzítve az asztallaphoz (1).

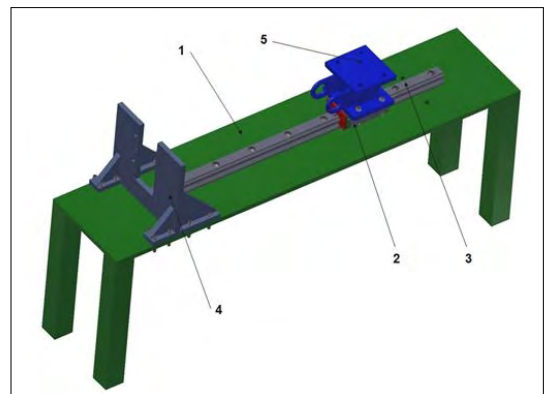
A translációs mozgást a sínen lévő csúszka (2) valósítja meg. A sín (3) hossza 650 mm, így biztosítva, hogy minden típusú hajtás esetén megvalósuljon az 500 mm-es mozgási táv.

A 2. ábrán még látható egy állvány (4) a sín egyik végén, ennek az állványnak a feladata a különböző energiaátalakítóknak a rögzítése. A mechanizmus többi részének az alátámasztása érdekében a csúszkára egy állvány (5) került, amely alsó és felső lapjának mérete megegyezik a csúszka méreteivel.

A translációs rész mozgatása négytípusú energiaátalakítóval valósítható meg:

- pneumatikus hajtás;
- golyósoros hajtás;
- fogasléces hajtás;
- forgókaros hajtás.

Hely hiányában, a felsorolt hajtástípusok közül csak a golyósoros hajtás lesz bemutatva, illetve a szimuláció is ezzel a hajtástípussal készült el. A pneumatikus hajtás esetében a csúszka mozgását egy 500 mm-es lökethosszú, kétszeres működtetésű munkahenger biztosítja. A fogasléces hajtás esetében a léptetőmotor forgó mozgását egy fogaskerék-fogasléc páros alakítja át translációs mozgássá. A forgókaros hajtásnál a léptetőmotor forgó mozgásának átalakításáért egy hajtó és egy hajtott kar felel.

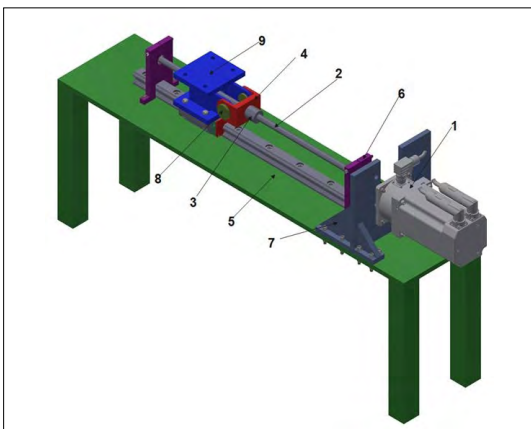


2. ábra. A translációs rész felépítése: 1-asztallap, 2-csúszka, 3-sín, 4-hajtásrögzítő állvány, 5- csúszkán lévő állvány.

A golyósorsós hajtás leírása:

A második típusú hajtásnál (3. ábra) a villamos energiát alkalmazzuk egy léptetőmotor (1) segítségével. A motor forgómozgását egy golyósorsó-golyóánya páros alakítja át translációs mozgássá. A választott golyósorsó (2) egy 600 mm hosszú (melyből a menetes rész 513 mm), 12 mm névleges átmérőjű, 2 mm golyóátmérőjű, C7-es precíziós osztályba tartozó, jobb menetes, hengerelt golyósorsó. A golyósanya (3) RSH-típusú, menetes felfogatási lehetőséggel.

A golyósorsó-golyóánya páros a 3. ábrán látható módon van beszerelve a rendszerbe. A golyósanya (3) egy M10-es csavarkötésen keresztül kapcsolódik a piros összekötő alkatrészsel (4), a csúszkán lévő állványhoz (9) pedig két, 20 mm hosszú, 25 mm átmérőjű acélszeggel (8) csatlakozik. A golyósorsó (2) a csúszkán található állvány (9) közepén halad át, ebből a célból az állványon található egy 28 mm átmérőjű furat. Az orsón (2) a menetes rész két vége csapágyazva van, a csapágybefogók (6) két-két M5-ös süllyesztett fejű csavarral vannak rögzítve az asztallaphoz (5). A csapágyak beszorítása egy-egy M5-ös csavarral történik, lineáris mozgásukat pedig a csapágybefogón (6) és a golyósorsón (2) kialakított vállak akadályozzák. A léptetőmotor (1) tengelye egy Oldham-tengelykapcsolón (10) keresztül kapcsolódik a golyósorsóhoz. Az említett tengelykapcsoló megenged egy kis sugárirányú eltérést a motor tengelye és a golyósorsó között, és kisebb helyet foglal el, mint a más típusú tengelykapcsolók.



3. ábra. A golyósorsós hajtással felszerelt translációs rész modellje: 1- léptetőmotor, 2- golyósorsó, 3- golyósanya, 4- összekötő alkatrész, 5- asztallap, 6- csapágybefogó, 7- hajtásrögzítő állvány, 8- acélszeg, 9- a csúszkán lévő állvány.

2.2. A rotációs rész tervezése

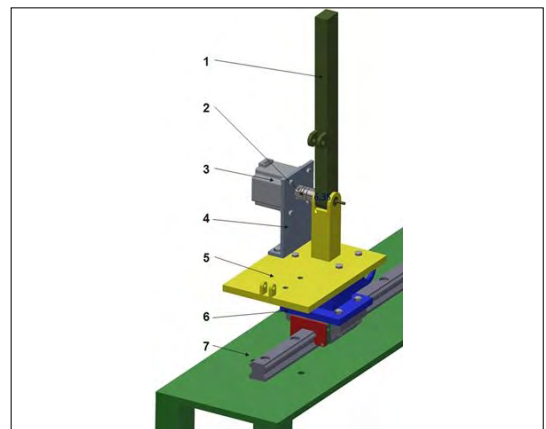
Az általam tervezett berendezés rotációs része a 4. ábrán látható, két fő alkotóelemből áll: az alaptól (5) és a karból (1).

A sárga alap (2) egy 210 mm hosszú, 140 mm széles és 10 mm vastag alumíniumlemezből és egy 100 mm hosszú, 30 × 30 mm-es alumíniumtömbből van kialakítva. A 30 × 30-as alumíniumtömb helye az alumíniumlemezen úgy van meghatározva, hogy amikor a talpat (5) és a kart (1) felszerelik a csúszkán lévő állványra (6), akkor a kar (1) függőleges helyzetében a csúszkán lévő állvány felületének közepén legyen. Amint a 4. ábrán is megfigyelhető, a talp (5) felülete nagyobb, mint a csúszkán lévő állvány (6) felülete, ennek az az oka, hogy a rotációs rész meghajtását segítő energia-átalakítókat lehessen rögzíteni. A kar (1) két 15 mm belsőátmérőjű golyóscsapágyon keresztül kapcsolódik a talphoz, itt alakul ki a rotációs csukló. A kar (1) egy 300 mm hosszú, 20 × 30 mm-es alumínium zártszelvényből készül.

A rotációs rész meghajtása háromtípusú energiaátalakítóval vagy mechanizmussal történik:

- munkahengerrel történő pneumatikus hajtás;
- léptetőmotoros hajtás;
- léptetőmotoros hajtás fogasszíjjal.

A rotációs hajtástípusok közül csak a léptetőmotoros hajtás lesz továbbá bemutatva, mivel a szimulálás során ez a hajtástípus volt felszerelve a berendezésre. A pneumatikus hajtás esetén a rotációs kar elfordulását egy 150 mm-es löket-hosszú, kétszeres működtetésű munkahenger



4. ábra. A berendezés rotációs része a léptetőmotoros meghajtással felszerelve: 1- kar, 2- tengelykapcsoló, 3- léptetőmotor, 4- motortartó, 5- rotációs csukló-alap, 6- csúszkán lévő állvány, 7- asztallap.

biztosítja. A fogasszíjhajtás esetén a léptetőmotor forgó mozgása egy fogasszíjtáttelen keresztül adódik át a rotációs csuklónak.

A léptetőmotoros hajtás leírása:

Ennél a meghajtástípusnál (4. ábra) a motor (3) forgása egy tengelykapcsoló segítségével a rotációs csukló tengelyére kerül át, tehát a kar (1) forgási sebessége megegyezik a léptetőmotor (3) rotorjának forgási sebességével.

A motortartó állvány (4) két M8-as csavarral van felfogatva a rotációs csukló-alapra (5), úgy, hogy a léptetőmotor (3) rotorja és a rotációs csukló tengelye egytengelyű legyen. Az állvány (4) egy 5 mm vastag alumíniumlemezből készül. A léptetőmotor (3) tengelye és a rotációs csukló tengelye egy 6 mm-es belső átmérőjű csőmembrános tengelykapcsoló (2) segítségével kapcsolódik, azért választottam ezt a típusú tengelykapcsolót, mert elnyeli a két tengely közötti szög-, párhuzamossági hibákat.

3. A berendezés szimulációja

A berendezés szimulálása a MATLAB Simulink felületén keresztül történt, így megteremthetőek azok a körülmények a berendezés számára, amelyekkel a valós környezetben találkozna a működése során.

A szimuláció során a bemutatott mechanizmus karakterisztikus pontját (P) egy függőleges egyenes mentén mozgatjuk (5. ábra).

3.1. A szimulációhoz szükséges számítások

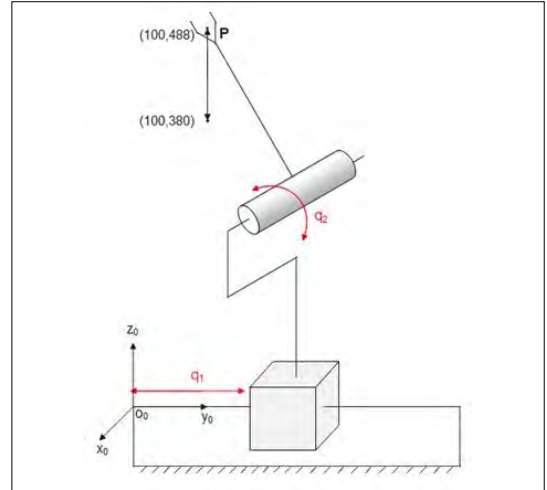
Ahhoz, hogy a karakterisztikus pont a 5. ábrán látható függőleges egyenesen haladjon végig, a berendezés mindkét csuklója mozgásba kell, hogy jöjjön, tehát a q_1 és a q_2 csuklóparaméterek állandó változásban lesznek. A változásukat pedig egy-egy egyenlet fogja leírni, amelyek a mechanizmus inverz geometriai feladatának segítségével határozhatóak meg.

Az inverz geometriai feladat megoldásához, a Denavit–Hartenberg-konvenciót alkalmazva, az 1. táblázatban látható paraméterek lesznek használva a modellezés során.

Az (1), (2), (3), (4) képletekbe behelyettesítve a paramétereket, és a szorzásokat elvégezve, majd az egyenletekből a q_1 és q_2 csuklóváltozókat kifejezve, meghatározhatók ezek értékei (5) a karakterisztikus pont koordinátájának és a mechanizmus geometriájának függvényében. Behelyettesítve a rendszer méreteit ($l_1 = 209$ mm, $l_2 = 290$ mm, $l_3 = 0$ mm), a csuklóváltozók parametrikus egyenletei lettek kiszámítva (6), melyek alapját képezik

1. táblázat. A Denavit–Hartenberg-paraméterek táblázata

DH	α_{i-1}	a_{i-1}	θ_i	d_i
1	$-\pi/2$	0	$-\pi/2$	$l_3 + q_1$
2	$\pi/2$	l_1	$0 + q_2$	0



5. ábra. A berendezés vázlatja a függőleges a karakterisztikus pont (P) útvonalával, illetve a mechanizmus csuklóparamétereivel.

a Simulink modellben a rotációs és a translációs csuklók vezérlésének.

$$[T] = T_R \left(x_0, -\frac{\pi}{2} \right) \cdot T_T (x_0, 0) \cdot T_R \left(z_1, -\frac{\pi}{2} \right) \cdot T_T (z_1, (l_3 + q_1)) \quad (1)$$

$$[T] = T_R \left(x_1, \frac{\pi}{2} \right) \cdot T_T (x_1, l_1) \cdot T_R (z_2, q_2) \cdot T_T (z_2, 0) \quad (2)$$

$${}^0_2[T] = {}^0_1[T] \cdot {}^1_2[T] \quad (3)$$

$${}^0_{RP} = {}^0_2[T] \cdot {}^2_{RP} \quad (4)$$

$$\begin{cases} q_1 = y_P - l_3 - l_2 \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{z_P - l_1}{l_2} \right) \right) \\ q_2 = \arccos \left(\frac{z_P - l_1}{l_2} \right) \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} q_1 = y_P - 290,488 \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{z_P - 209,512}{290,488} \right) \right) \\ q_2 = \arccos \left(\frac{z_P - 209,512}{290,488} \right) \end{cases} \quad (6)$$

3.2. A szimuláció menete

Az Autodesk Inventor szoftverben megtervezett háromdimenziós modellt a Simscape Multibody

Link szoftvercsomag segítségével a MATLAB Simulink környezetbe lehet áttölteni, ahol megfigyelhető és tanulmányozhatóvá válnak a különböző alkatrészek, alszerelések közti kapcsolatok, és lehetőség nyílik a berendezés működésének szimulálására is.

A szimulálás során a berendezés translációs csuklójának hajtásaként a golyósoros megoldás van beszerelve, a rotációs csuklón pedig a léptetőmotoros hajtás kapott helyet. Ennek a rendszernek a Simscape MultiBody modellje látható az **6. ábrán**. A szimulálás a rotációs (R-csukló) és a translációs (T-csukló) csuklóra az egyenletek szerinti mozgás bevitelével történt. Ebből adódóan a mozgás geometriai vezérlése a bemenetről van biztosítva, míg a mozgás megvalósításához szükséges dinamikus erőt és nyomatékot a rendszer számolja ki.

A középső, *Mechanizmus* nevű kék keretben található meg a rendszer alapja, és az ahhoz tartozó alkatrészek tömbjei (a tömbök azokat az alkatrészeket tartalmazzák, amelyek egymáshoz képest nem mozdulnak el):

- a tömb, amely magában foglalja az asztalt, a sánt, és a sán végén lévő állványt;
- a translációs csukló, amely a sánt és a csúszkát kapcsolja össze, ezt kell működtetni a q_1 paraméter (6) egyenletével;
- a csúszkaszerelés tömb, amely magában foglalja a csúszkát, a csúszkán lévő állványt és a rotációs rész alapját;

- a rotációs csukló, amely a rotációs rész alapja és a rotációs kar közé van beépítve, ennek a hajtása történik a q_2 paraméter (6) egyenletével;

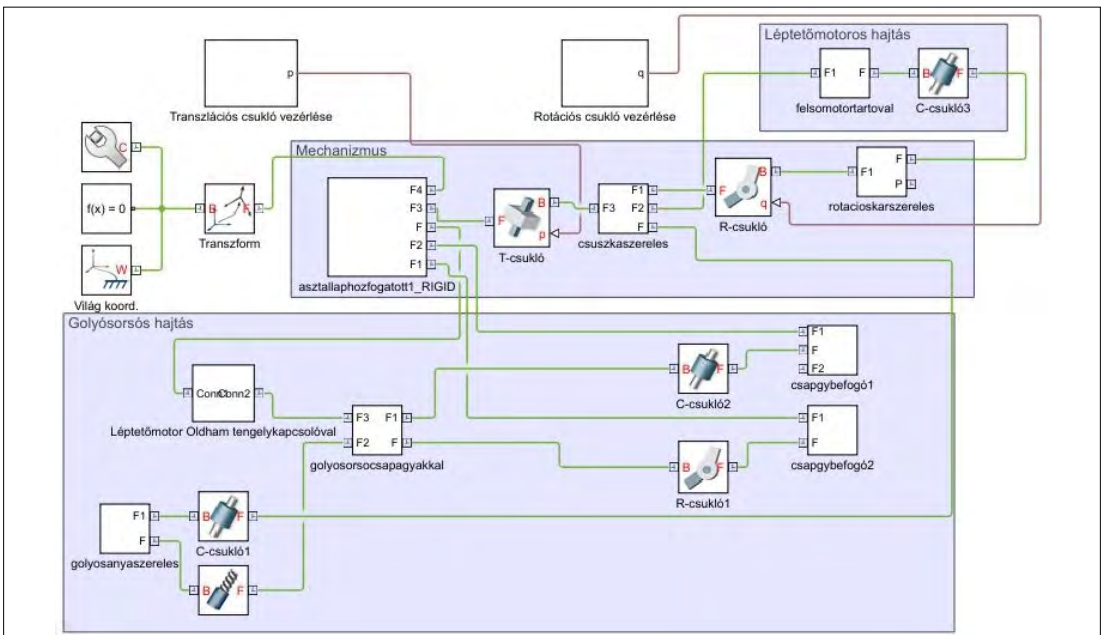
- a végső kar tömbje.

A felső keretben található a rotációs rész hajtásának modellje, amely jelen esetben a léptetőmotoros hajtás, itt is megfigyelhetők a hajtást alkotó alkatrészek és azok kapcsolódása:

- a léptetőmotor-tartó tömb, amely tartalmazza a léptetőmotor, a léptetőmotor-állvány és a csőmembrános tengelykapcsoló modelljét;
- egy hengeres csukló rögzíti a rotációs csukló tengelyét és a léptetőmotor tengelyére szerelt csőmembrános tengelykapcsolót.

Az alsó keretben található a translációs rész hajtása, amely ebben az esetben a golyósoros hajtás, itt is szintén megfigyelhetők a hajtás összetevői:

- a tömb, melyben a léptetőmotor és az Oldham-tengelykapcsoló kapott helyet;
- a csapágybefogó 1 és csapágybefogó 2 tömbökben a két csapágybefogó található, és a hozzájuk tartozó csapágyak;
- a golyósanya-szerelés tömbben a golyóánya és a köztes alkatrész kapott helyet, ezzel kapcsolódik a csúszkához;
- a golyósoróscsapágyakkal tömbben a golyósoró található meg;



6. ábra. A szimulálás során használt Simscape MultiBody-modell

–egy csavarcsuklón keresztül kapcsolódik össze a golyósorsó és a golyósanya.

Meg kell még említeni, hogy a szimuláció során csak a golyósorsós hajtást és a léptetőmotoros hajtást lett vizsgálva, viszont a Simscape-modell esetében is lehetőség van a translációs és a rotációs rész meghajtásainak típusának a cseréjére, mivel a modell is modulárisan készült.

Amint a **6. ábrán** megfigyelhető, a rotációs csuklóba (R-csukló) a q bemeneten keresztül van bekötve a mozgást megadó Rotációs csukló vezérlése nevű alrendszer. A translációs csuklóba (T-csukló) pedig a p bemeneten keresztül van bekötve a mozgását meghatározó Transzlációs csukló vezérlése nevű alrendszer. Ebben a két alrendszerben vannak implementálva a (6) egyenletben meghatározott q_1 és q_2 csuklóváltozók egyenletei.

3.3. A szimuláció kiértékelése

A szimuláció végeztével lehetőségünk van a megjeleníteni különböző kinematikai és dinamikai paramétereket, melyek meghatározzák a rendszer működését. Például, ábrázolni lehet a karakterisztikus pont elmozdulását, sebességét, gyorsulását, a derékszögű viszonyítási rendszerhez képest, a szimuláció teljes idejére, vagy akár a csuklók elmozdulását, sebességét, gyorsulását, a rendszer működéséhez szükséges nyomatékokat/erőket is lehetőség van meghatározni, majd számrétekként vagy grafikusan megjeleníteni a szimuláció eredményeképpen.

4. Következtetések

Következtetésként összefoglalható, hogy sikerült megtervezni és szimulálni egy olyan moduláris rendszert, amelynek a segítségével lehetőség nyílik bemutatni és tanulmányozni egy mechatronikai rendszer felépítését, összetételét. A tervezés során előírt követelményeket sikerült teljesíteni: több energiaátalakítóval, mechanizmussal történő meghajtását a csuklóknak, a hajtások gyors és viszonylag egyszerű cserélhetőségét.

A berendezés tervezése és szimulálása során beigazolódtak a szakirodalomban is leírt előnyök és hátrányok a különböző meghajtástípusoknak.

A pneumatikus hajtás esetében az előnyök: egyenes vonalú mozgások egyszerű megvalósítása, zavaró hatásokra kevésbé érzékeny, rugalmas (mechanikaisokk-elnyelő képesség). Hátrányai: viszonylag nagy energiaköltségek, egyenletes, állandó sebességű mozgások, a terheléstől függetlenül nem állíthatók elő.

A fogasléces hajtás előnyei a mechanikai egyszerűség, nagy terhelhetőség, míg hátránynak az esetleges holtjáték miatt pontatlan vezérlését és a gyengébb hatásfokot említhetjük.

A golyósorsós hajtás esetében a nagy pontosság, merevség, jó hatásfok, kicsi súrlódás a gördülő elemek között előnynek számít, míg a nagyobb beszerzési költség hátrányt jelenthet.

A forgókaros hajtás előnye az egyszerű felépítés, majd a nagy terhelés a motorra indításnál, illetve hátrány lehet, hogy a csúszka lineáris állandó sebességéhez a forgótengelyű motor megfelelő vezérlése szükséges.

Rotációs mozgás esetében a pneumatikus hajtás előnyei az egyszerű forgásirányváltás, az egyszerű vezérlőrendszer felépítése, károsodás nélkül viselik az esetleges túlterhelést, míg hátrányai a forgómozgás nehézkes megvalósítása, állandó sebességű mozgás terhelés függvényében nehezen előállítható, illetve nagy energiaköltségek.

A léptetőmotoros hajtás esetében a legjobb hatásfok, legkisebb energiaköltségek, pontos pozícionálhatóság kedvező megoldást jelent. Hátrányai között az alacsony fordulatszám, nem számítógépes környezetben bonyolultabb vezérlés, azonos teljesítmény mellett nagyobb tömeg jelenik meg, mely a rendszer dinamikáját befolyásolja kedvezőtlenül.

A fogasszíjhajtás előnyei: könnyen gyártható és szerelhető energiaátvitelt biztosít, jó hatásfokkal dolgozik (90–98%), pontos szinkronhajtást tesz lehetővé. Fő hátrányának a gyengébb pozícionálhatóság említhető meg.

Mindezek által egy olyan mechanikai rendszert és modellezési, szimulációs eljárást valósítottunk meg, mely modularitásának segítségével a különböző megoldások kinematikai és dinamikai, leginkább oktatási célra történő összehasonlítását teszi lehetővé.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Forgó Z.: *Bevezetés a Mechatronikába*. Erdélyi Műzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009. <https://doi.org/10.36242/mtf-06>
- [2] Antal H., Aradi P., Czmerk A., Lakatos B., Chován T. és Varga T.: *Mechatronikai berendezések tervezése*. Kiadó BME MOGI, TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0042 projekt keretében készült, 2014.
- [3] Bencsik A.: *Mechatronika alapjai*. Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0054 projekt keretében készült, Budapest, 2014.