



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Mechatronikai Mérnök Szak

**Beiskolázási célú két szabadságfokú mozgásszimulációs ülés
tervezése**

Belső konzulens: Erdélyi Viktor Ferenc
Egyetemi Tanársegéd

Külső konzulens: Vaszil Ádám
Osztályvezető

Készítette: Gyórfi József
FNNM0K
Nappali tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet,
Mechatronika Tanszék

Gödöllő
2023.

Tartalom

1.	Bevezetés.....	6
1.1.	Téma jelentősége.....	6
1.2.	Célkitűzés.....	6
1.3.	Mi az a szimulátor?.....	6
1.3.1.	A szimulátor történelme	6
2.	A váz koncepciója	8
2.1.	Működtetési mód	9
2.1.1.	Pneumatikus aktuátor	9
2.1.2.	Hidraulikus aktuátor	10
2.1.3.	Elektronikus aktuátor.....	11
2.2.	Hajtás	12
2.2.1.	Motorok	12
2.2.2.	Példa egy mozgásszimulációhoz használt DC forgómotorra	12
2.2.3.	Példa egy mozgásszimulációhoz használt lineáris aktuátorra	13
3.	Vezérlés.....	16
3.1.	Arduino és Raspberry Pi összehasonlítása.....	16
3.1.1.	Arduino.....	16
3.1.2.	Arduino UNO technikai adatai	17
3.1.3.	Raspberry Pi	18
3.1.4.	Raspberry Pi 4 technikai adatai	18
3.2.	Motorvezérlő.....	19
3.2.1.	PWM.....	20
3.2.2.	MonsterMoto	22
3.2.3.	IBT2.....	22

3.2.4.	Motorvezérlő szoftver.....	23
3.3.	Enkóderek	24
3.3.1.	Inkrementális enkóder	24
3.3.2.	Abszolút enkóder	25
3.3.3.	Mágneses enkóder	26
3.4.	Vezérlés koncepciója	27
3.5.	Szabályozás	28
3.5.1.	Vezérlés és szabályozás közti különbség	29
3.5.2.	PID ismertetése	30
3.5.3.	A szabályozót leíró összefüggés.....	31
3.5.4.	PID hangolás, Ziegler-Nichols módszer.....	31
4.	Mechanika	33
4.1.	Zártszelvény vázak.....	33
4.2.	Hegesztés	35
4.2.1.	Bevont elektródás kézi ívhegesztés	36
4.2.2.	Porbeles ívhegesztés (FCAW-S)	37
4.2.3.	Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés (MIG).....	39
4.3.	Hajtás elemei.....	41
4.4.	Összeállított szimulátor.....	44
5.	Gazdasági számítás	45
5.1.	Gazdasági számítások táblázata	45
6.	Összefoglalás.....	49
7.	Summary	50
8.	Nyilatkozat	51
9.	Hivatkozások.....	53

10.	Köszönetnyilvánítás.....	56
-----	--------------------------	----

Kitöltött feladatlap



Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

MŰSZAKI INTÉZET
MECHATRONIKAI MÉRNÖK ALAPSZAK
Gépipari mechatronika specializáció

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Györfi József (FNNMOK)

részére

A szakdolgozat címe:

Mozgásszimulációs berendezés koncepcionális tervezése

Feladatkiírás:

Bevezetés, szakirodalom feldolgozás, probléma bemutatás, két szabadságfokú, villamos mozgatású mozgásszimulációs ülés mechanikai tervezése és szimulációja, kivitelezése, vezérlés koncepcionális tervezése és megvalósítása, gazdasági számítás, összefoglalás

Közreműködő tanszék: Mechatronika

Külső konzulens: *Vaszil Ádám, PC & IS osztályvezető, P&G Hyginett Kft.*

Belső konzulens: *Erdélyi Viktor Ferenc, egyetemi tanársegéd, MATE, Műszaki Intézet*

Beadási határidő: 2023. november 06.

Gödöllő, 2023. szeptember 04.

Jóváhagyom

(tanszékvezető)

(szakfelelős)

Átvettem

(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2023. 11. hó 03.nap

(külső konzulens)

1. Bevezetés

1.1. Téma jelentősége

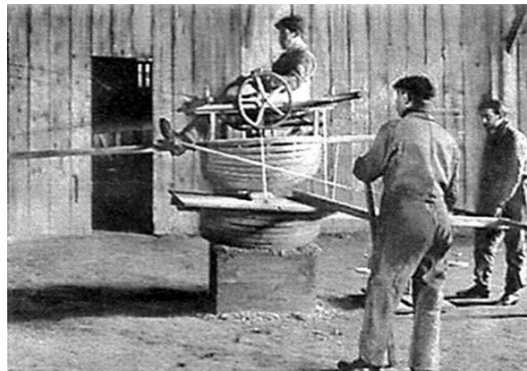
Ez a téma az egyetemi beiskolázást segíti oly módon, hogy nyílt napokon a leendő hallgatók kipróbálhatják és megismerhetik a két szabadságfokú szimulátorok technológiát, valamint bemutatja, mire képes egy végzett mechatronikai mérnök hallgató.

1.2. Célkitűzés

A céloom egy olyan szimulációs berendezés megvalósítása, amelynek kipróbálásával a későbbiekben egyetemi nyílt napokon, kiállításokon a leendő hallgatóknak betekintést nyújtson a mechatronika világába. Ebben a projektben egyszerre szerepel az elektronika, elektrotechnika, programozás, fémmegmunkálás, valamint a hegesztés.

1.3. Mi az a szimulátor?

1.3.1. A szimulátor történelme



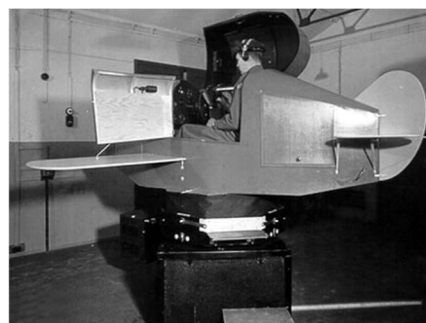
1. ábra: Antoinette Trainer (Forrás:IEEE USA Insight)

A repülésszimulátorok majdnem olyan régóta léteznek, mint a repülőgépek. Céljuk a biztonság növelése és a pilótaképzés költségeinek csökkentése, a drága repülési órák olcsóbb szimulátoros órákkal való helyettesítése, valamint az oktatóeszközök kímélése. Néhány évvel azután, hogy a Wright fivérek 1903-ban felszálltak az első "Flyer"-rel, kifejlesztették az első repülésszimulátorokat. Ezek 1909-ből származnak.

Az "Antoinette Trainer" például egymásra rakott félhordókból állt, amelyeket asszisztensek mozgattak, miközben a pilóta egy széken ülve próbálta egyensúlyban tartani a szerkezetet. 1910-ben a repülőgép balesetek számának drasztikus növekedése megkövetelte a pilóták hatékonyabb képzését. Ebből az időszakból származik a Sanders Teacher szimulátor is. Ez egyfajta egyszerű repülőgép-másolat volt, amelyet egy gömbcsuklóra szereltek, hogy a fő repülési mozgásokat (csűrés, bólintás és fordulás) szimulálni lehessen.



2. ábra: Sanders Teacher (Forrás: *The Digital Antiquarian*)



3. ábra: Link Trainer (Forrás: *Britannica*)

A Sanders Teacher eredeti, gömbcsuklóra szerelt repülőgép-alkatrészekből állt, és mindig úgy volt beállítva, hogy széllal szemben álljon. Így lehetővé vált a gyakorlatok során a kormánylapátok, a vezérsík és a csűrőlapok használata [1].

Az idő múlásával egyre magasabb szintű műszerezettséggel lettek ellátva a szimulátorok, majd 1929-ben megjelent egy jelentős áttörés, a Link Trainer. Ez a szimulátor lehetővé tette a pilótáknak, hogy csekély látási viszonyok között is tudjanak repülni. Ezt úgy érték el, hogy a Link Trainer volt az első olyan szimulátor, aminél a működtető karok, vagy pedálok hatására maga a szimulátor is mozgott, mint a valódi repülőknél [2]. Manapság nagy teljesítményű, 6 szabadságfokú (6 Degrees of Freedom - 6DOF) mechanizmusokat alkalmaznak ilyen célokra.

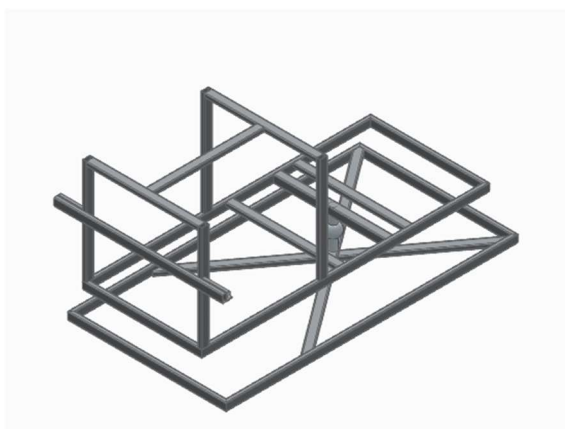
A 6 szabadságfokú szimulátoros mozgásplatformok (csűrés, bólintás, fordulás, hátra/előre, fel/le, balra/jobbra) nagyszerű példája a Stewart platform, amely kifinomult algoritmusokat alkalmaz a nagy pontosságú mozgások és gyorsulások biztosítására.



4. ábra: Stewart platform
(Forrás: ResearchGate)

A legtöbb repülésszimulátor a Stewart-platfómot alkalmazza mozgásalapként, amely egy mozgó platformból áll, amely hat lábon keresztül kapcsolódik egy rögzített alaphoz. Minden láb egy-egy prizmacsuklóból (azaz elektromechanikus vagy elektrohidraulikus aktuátorból), egy kardáncsuklóból és egy gömbcsuklóból áll, amelyek az alaphoz és a mozgó platformhoz kapcsolódnak [3].

2. A váz koncepciója



5. ábra: A csupasz váz koncepciója

Alapvetően a koncepció kettő darab, egy alsó és egy felső keretből áll. Az alsó vázon helyezkedik el a komplett hajtás és a vezérlés, a felső vázon szerepel a kormány, pedál és a váltó, valamint az ülés. A két keret közti fő tartásért felelős pont egy autóból való első féltengelycsukló. Ez a csukló kiválóan ellenáll az axiális és a radiális terheléseknek is, kedvező méretre tudtam vágni, és az utómunkák sem okoztak problémát.

2.1. Működtetési mód

Itt három választási lehetőségem volt, pneumatikus, hidraulikus, vagy elektronikus aktuátorokkal történjen a mozgatus.

2.1.1. Pneumatikus aktuátor



6. ábra: Pneumatikus aktuátorral felszerelt szimulátor
(Forrás: ResearchGate)

A pneumatikus működtetéshez szükséges pneumatikai rendszer egy levegőelőkészítő egységből (ami 6bar stabil üzemi légnyomást biztosít), szelepekből (fojtó-visszacsapó, útváltó), pneumatikus munkahengerekből, erősítőből és visszacsatoló modulból áll. Itt csak az alapvető szükségleteket soroltam, nem tértem ki a biztonságtechnikai aspektusára a rendszernek. A pneumatikus aktuátor egy kettős működésű munkahenger. A pneumatikáról köztudott, hogy egyáltalán nem, vagy csak nagyon nehezen és drágán alkalmas precíz pozicionálásra. Ennek legnagyobb oka, hogy a munkaanyag (ez esetben levegő) összenyomható. A szervószelepekkel ellátott pneumatikus rendszer lehetővé teszi a munkahengerrúd helyzetének pontos szabályozását, ebben különbözik a hagyományos szeleptől, amely csak nyit és zár. A szervószelep működtetéséhez szervóerősítőre is szükség van. A szervóerősítő változó feszültség szintek segítségével vezérli a szervószelepeket. [4].

2.1.2. Hidraulikus aktuátor



7. ábra: Hidraulikus aktuátorral felszerelt szimulátor (Forrás: Hydraulic Controls)

A hidraulika olyan szinten költségessé teszi a vezérlést, hogy szinte sosem található meg szórakoztató célra épült szimulátorokban aktuátorként. A hidraulikus működtetés felépítése hasonló a pneumatikushoz, az aktuátorok használatához ugyan úgy szükség van egy hidraulikus tápegységre, irányítókészülékekre (útirányító, nyomásirányító, áramirányító), valamint munkavégzőkre (munkahengerek, hidromotorok).

Míg a pneumatikánál a sztenderd üzemi légnyomás egységesen 6bar a rendszer részeitől függetlenül, itt bár a nyomás hidraulikus rendszerben található különböző elemek, terhelések és veszteségek függvényében változik, még így is két nagyságrenddel nagyobb nyomásértékekről beszélhetünk. További hátrány a mozgás sebessége, ugyanis a hidraulikus mozgás a munkafolyadék ellenállása miatt lassú. A munkafolyadék nem összenyomható, így precíziós mozgásra ugyan képes, de hirtelen gyors mozgásokra nagy költségek árán alkalmas.

2.1.3. Elektronikus aktuátor



8. ábra: Elektronikus aktuátorral felszerelt szimulátor (Forrás: Motion for Simulators)

Az elektronikus működtetéshez szükséges rendszer egy tápegységből, motorvezérlőkből, a visszacsatolást biztosító szenzorokból, egy fő vezérlőből, és az elektromos aktuátorokból (forgó motorok, lineáris aktuátorok) áll. A különbség a fluidtechnikai működtetési módszerekhez képest a bekerülési és az üzemeltetési költségekben mutatkozik. Előnyük, hogy mindenhol rendelkezésre áll hálózati feszültség, nem kell külön kiépíteni pneumatikus vagy hidraulikus tápegységet. A helyigény is kisebb a rendszer részeinek a mérete miatt. A költségek pedig jelentősen alacsonyabbak.

Bár hidraulikával sokkalta nagyobb tömegek mozgathatók, itt ez a tulajdonság nincs feltétlenül kiaknázva. További hasznos tulajdonsága az elektronikus működtetésnek az, hogy a megfelelően vezérelt aktuátorok képesek hirtelen, nagy sebességű precíz mozgások végrehajtására.

1. táblázat: Működtetés válassztási mátrix

Működtetés	Precíz pozicionálás	Kiépítés költségei	Üzemeltetés költségei	Alkalmasság	Összesen
Pneumatika	5	5	4	8	22
Hidraulika	8	2	2	6	18
Elektronika	10	7	9	10	36

Az előzőekben felsoroltak alapján a fluidtechnika költségessége miatt az elektronikus működtetést választottam.

2.2. Hajtás

2.2.1. Motorok



9. ábra: 24V DC motor (Forrás: XSimulator)

A motorok kiválasztásában nagyon sokat segített az, hogy komplett szimulátorokat tanulmányoztam. Olyanokat is, amik saját készítésűek, valamint kereskedelmi forgalomban lévőket is. Leggyakrabban kétfajta aktuátor alkalmazására találtam példát, a lineáris aktuátorokra, és a DC motorokra.

A léptetőmotoros lineáris aktuátor opciót a legtöbb professzionális szimulátoron gyakran használják. Kiváló teljesítményt nyújtanak, és nagy sebességük, pontos mozgásuk és gyors irányváltoztatási képességük miatt jól alkalmazhatók szimulációs célokra.

2.2.2. Példa mozgásszimulációhoz használt DC forgómotorra



10. ábra: Bodine DC motor
(Forrás: Acomee)

A DC motoros megoldások (például az ablaktörlőmotorok) sokkal alacsonyabb belépési árat kínálnak, de sokkal bonyolultabbak és a legtöbb esetben gyengébb teljesítményűek is. Ha azonban a költségvetés az elsődleges szempont, akkor egy tápegység, H-hidak és enkóderes visszacsatolás beiktatásával az egyenáramú motorok életképes megoldást jelentenek.

Egy jó példa egy felső kategóriás DC forgómotorra a Bodine 42A5BEPM E3 motor [5].

Ennek a motornak néhány technikai tulajdonsága:

- 12V állandó mágneses motor
- 23A maximális áramfelvétel
- 0.25 lóerős teljesítmény
- 35Nm maximális nyomaték
- 1:60 áttétel
- 41 fordulatszám/perc

Ez a motor nem tartalmaz hajtóművet, és a piaci ára 100.000 – 150.000 forint körül mozog. A mi esetünkben mindenképp szükség van egy a motor kihajtására szerelt fogaskerekes, vagy csigahajtásos hajtóműre.

2.2.3. Példa egy mozgásszimulációhoz használt lineáris aktuátorra

A lineáris aktuátorok közül is mutatok egy felső kategóriás példát, ami a Dyadic SCN5 [6]:

- Zárt hurkú szervomotor, szervóerősítő és vezérlés.
- Függetlenül programozható pozíció, sebesség, gyorsulás, erő stb.
- Programozás kézi függőpanelről vagy PC-ről.
- Hálózatba kapcsolható akár 16 tengely programozásáig.
- 50-300 mm-es löketű változatok.
- 0,4m/s maximális sebesség.

Az SCN5 sorozat ideális abban a tekintetben, hogy a motor, az enkóder, a motorvezérlő és az aktuátor egység egyetlen integrált csomagot alkot. Viszont, mint ahogy az előző példánál, itt is az ár jelent problémát, ugyanis egy ilyen lineáris aktuátor 130.000 forint piaci áron, de vannak kisebb teljesítményű, elérhetőbb DC motor verziók ezen ár töredékéért is.



11. ábra: Dyadic
SCN5 (Forrás: Servo2Go)

2. táblázat: Aktuátor választási mátrix

Aktuátorok	Alkalmasság	Helyhasználat	Beszerzési költség	Összesen
Forgó aktuátor	10	6	10	26
Lineáris aktuátor	10	9	4	23

A fentebbi két példából kiindulva, és az eddigi tanulmányaim alatt szerzett ismereteimet figyelembe véve DC forgómotorok alkalmazása mellett döntöttem.



12. ábra: RIDEX ablaktörlő motor (Forrás: Autoalkatreszonline24)

Mivel nem állt ekkora anyagi háttér a projekt mögött, hogy felső kategóriás termékeket vásároljak, így egy egyszerűbb, és jóval elérhetőbb megoldást, egy ablaktörlő motort választottam.

Az ára, elérhetősége és egyszerűsége mellett az az érv is mellette szól, hogy kialakításánál fogva alaptól egy házban, egy egységként szerepel maga a motor, és a csigahajtás útján működő hajtómű is. Végül két RIDEX típusú ablaktörlő motor került beszerzésre egy Volkswagen típusú autóból. A motorok néhány tulajdonsága:

- 12V DC motorok
- 120W névleges teljesítmény
- 10A névleges áramfelvétel
- 12Nm névleges nyomaték

Ezek két sebességes motorok (egy alacsony és egy magas, a lassú és gyors törléshez), amiknek a testelése a beszereléskor a kasztnival történő érintkezés útján történik. A szimulátorhoz történő használat miatt át lettek alakítva úgy, hogy a testelés külön vezetékről érkezzen, így kompatibilisek lettek a külső motorvezérlővel.



13. ábra: Motortartó konzolok

A motoroknak külön készültek 10mm vastagságú szerkezeti acélból hajlított és hegesztett konzolok. Ezekre tettem 3db 8mm-es átmérőjű furatot, amik segítségével maga a motorház lett rögzítve, valamint egy nagyobb átmérőjűt, a motor tengelyének a kivezetéséhez. Ezek után a konzolok fel lettek hegesztve az alsó zártszelvény vázra. Mivel a motorokra a kihajtó tengely kialakításánál fogva (ebben az esetben egy M8-as menettel rendelkező tengely, ami 10mm-rel lóg ki) nehéz megoldani a helyhiány miatt felmerülő problémákat, így mindenképp egyedi alkatrészeket kellett gyártani. Először egy közdarabot terveztem, ami a motor kihajtására megy rá.

Ennek kettős feladata van, egyrészt egy nagyobb felületet ad magának a hajtókarnak a rögzítésére a hosszabb menetes szár miatt, másrészt így a hajtókar elfér a motort tartó acéllemeztől, és a benne lévő motortartó csavaroktól. A közdarab úgy lett kialakítva, hogy ahol felcsavarodik a motor kihajtó tengelyére, ott a paláston lévő illesztett furatokon keresztül egymáshoz is lehet rögzíteni az alkatrészeket illesztőcsapokkal, ezzel megakadályozva a motor menetes tengelyének és a közdarabnak az egymáson történő elfordulását terhelés esetén.

3. Vezérlés

A vezérlés terén mindenképp költséghatékony megoldást kerestem. Alapvetően kétfajta módszer merült fel a projekt kezdetekor, vagy Arduino, vagy Raspberry Pi. Ebben a szekcióban összehasonlítom ezt a két megoldást.

3.1. Arduino és Raspberry Pi összehasonlítása

3.1.1. *Arduino*



14. ábra: *Arduino Uno R3* (Forrás: *Conrad*)

Az Arduino egy bárki által megvásárolható, nyitott forráskóddal rendelkező fejlesztői platform. Hatalmas támogatói köre van, rengeteg különböző felhasználási módja dokumentálva van, külön fórummal rendelkezik, ahova a felhasználók kérdéseket tehetnek föl, vagy megmutathatják és dokumentálhatják saját projektjeiket, melyhez Arduino-t használtak.

Ezek a mikrokontrollerek képesek különféle bemeneti jeleket érzékelni, majd kimeneti jellé alakítani. Egy egyszerű példa erre például egy bemenetre kötött gomb, ami egy kimenetre kötött LED-et kapcsol ki-be. A bemenetek és a kimenetek közötti kapcsolatot a felhasználó hozza létre az Arduino saját programozó felületén keresztül.

A programozás alapvetően egy C-hez vagy C++ -hoz hasonló nyelven történik az Arduino IDE-n keresztül (Integrated Development Environment – Integrált Fejlesztői Környezet). Mivel ez egy nyílt forráskódú platform, így a programozás közben teljes hozzáférést nyújt a különböző előre elkészített kiegészítő könyvtárakhoz, valamint rengeteg bővítmény létezik hozzá, például GPS modulok, LED mátrixok, motorvezérlők, különféle érzékelők stb [7].

Az Arduino alkalmas olyan projektekhez, amelyekben egy egyszerű feladatot kell ismételtén végrehajtani. Egy olyan feladathoz, amihez elég egy bemeneti jeltől függő kimeneti jel, mint például a külső hőmérséklet mérése és megjelenítése egy kijelzőn, ez a mikrokontroller tökéletes platform [8].

3.1.2. Arduino UNO technikai adatai

- Üzemi feszültség: 5V
- Tápfeszültség: 6-20V
- Analóg pinek száma: 6
- Digitális pinek száma: 14
- Flash memória: 36kB
- SRAM (Static Random Access Memory) memória: 2kB
- EEPROM: 1kB
- CPU sebesség: 16MHz

3.1.3. Raspberry Pi



15. ábra: Raspberry Pi 4 (Forrás: Conrad)

A Raspberry Pi az Arduino-tól eltérően tulajdonképpen egy miniszámítógép, amely el van látva bemeneti és kimeneti csatlakozókkal. Ugyancsak egy nyílt forráskódú platform, de saját Linux operációs rendszere van. A Raspberry Pi önállóan is tud számítógépként működni, ehhez is vannak különféle bővítmények, mint például az USB, Ethernet, Wifi és Bluetooth modulok [9].

Mivel egy önálló számítógépről beszélünk, így érthető, hogy egy sokkal bonyolultabb felépítésű platform a Raspberry Pi, mint az Arduino. A Raspberry Pi összetettebb feladatok elvégzésére is alkalmas. Szemléltetés gyanánt az előző példámhoz visszatérve, ha nemcsak a külső hőmérsékletet szeretnénk mérni, hanem az időjárás-előrejelzést is ellenőrizni, és a kerti öntözőrendszert előre meghatározott kritériumok (pl. magas hőmérséklet és alacsony eső valószínűsége) alapján elindítani, akkor a Raspberry Pi a jobb választás.

3.1.4. Raspberry Pi 4 technikai adatai

- CPU: Boardcom BCM2711, négymagos 1.5GHz-es 64 bites ARM v8
- RAM: 8GB LPDDR4-3200 SDRAM
- GPU: VideoCore 6
- Wifi: 2,4 és 5GHz
- Bluetooth: BT5.0
- Csatlakozási pontok: 2db USB 2.0 és 2db USB 3.0, 2db micro HDMI, valamint USB Type C tápegység csatlakozó

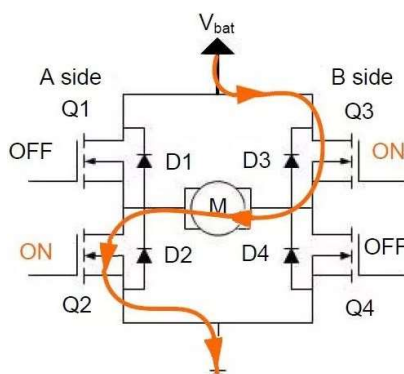
3. táblázat: Vezérlő választási mátrix

Vezérlő	Alkalmasság	Költséghatékonyság	Egyszerű kezelés	Összesen
Raspberry	10	4	6	20
Arduino	10	8	7	25

Az én szempontomból azért jobb választás az Arduino, mert a motorvezérlők és a visszacsatoló ágban lévő enkóderek kezelését teljes mértékben képes elvégezni, egy Raspberry Pi fölöslegesen „okos” ehhez a feladathoz. Bár a Raspberry Pi is tökéletesen képes ellátni ezt a feladatot, de annyira alacsony szinten lenne kihasználva, hogy nem éri meg egy ilyen szintű vezérléshez használni. A másik döntő ok a költséghatékonyság, ugyanis egy Raspberry Pi 4 olyan 40-100 euró között mozog verziótól függően, míg egy Arduino 35-40 euró. Az általam választott Arduino vezérlő egy ATmega 328P chip köré épülő Arduino UNO R3.

3.2. Motorvezérlő

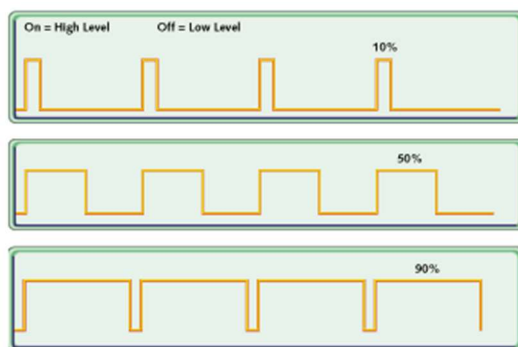
Egy DC villanymotor meghajtása alapvetően egyszerű, hisz elég a két pólusára egy-egy vezetékkel elegendő mennyiségű feszültséget kapcsolunk, és forog is. Viszont nekünk nem csak egyszerűen forgó mozgásra van szükségünk, hanem tudnunk kell szabályozni ennek a mozgásnak az irányát, és a sebességét is. A motorvezérlő a számítógépen található szoftver mozgásjelzéseit veszi át, és ezeket szinte bármilyen motor tényleges pozíciójává tudja alakítani. A pozicionálás a motor kimenetére kapcsolt kompatibilis érzékelővel valós idejű pozicionálási hurkot hoz létre.



16. ábra: H-híd szemléltetése
(Forrás: Utmel Electronic)

A motorok vezérléséhez szükségem volt valamilyen motorvezérlő áramkörre, ugyanis közvetlenül nem tudom vezérelni az aktuátorokat az Arduino-ról, így ezt a problémát H-hidak segítségével oldottam meg. A H híd egy meglehetősen egyszerű felépítésű motorvezérlő rendszer. Alapvetően 4 kapcsolóból (esetünkben MOSFET-ek) áll, amelyek a motorhoz csatlakoznak, közöttük a motorral egy "H" alakot alkotva. Amennyiben átlósan két kapcsolót aktiválunk, a motor megindul egy adott irányba. Azonban, ha a másik két átlóban lévő kapcsolót aktiváljuk, akkor a motor a másik irányba kezd el forogni. Így a forgásirányváltás meg van oldva, annyi kiegészítéssel, hogy az áramkör túláramvédelem gyanánt el van látva minden MOSFET előtt egy Schottky diódával a hirtelen forgásirányváltáskor bekövetkező feszültséglöket ellen.

3.2.1. PWM

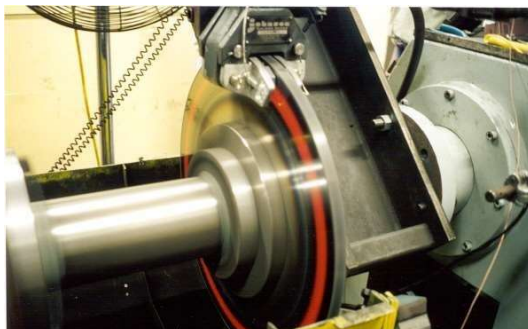


17. ábra: PWM négyzetjelek (Forrás: Barr Group)

A motorok forgási sebességéért PWM (Pulse Width Modulation – Impulzusszélesség Moduláció) jel felelős. A PWM-mel tulajdonképpen analóg jelszinteket vezérlünk digitálisan. Maga a PWM jel digitális, hiszen egy adott pillanatban a felfutó és lefutó ágakon kívül a jelszintünk vagy a magas értéken van, vagy pedig alacsony értéken. Ezt a mellékelt ábra szemlélteti [10].

Az előző ábra nagyon jól bemutatja, hogy miért hívják ezt a módszert impulzusszélesség modulációnak. Tekintsünk erre az ábrára úgy, mint egy olyan izzó feszültségdiagramjára, amire egy kapcsolóval kapcsolunk 6V DC feszültséget. Amennyiben 50ms ideig a kapcsoló segítségével feszültség alá helyezzük az izzót, majd 50ms ideig bontjuk az áramkört, és ezt a folyamatot ismételtjük másodpercenként 10-szer, akkor az izzó olyan fényerővel fog világítani, mintha a névleges 6V felét, konstans 3V tápfeszültséget kapna.

Ennél a példánál tulajdonképpen a kitöltési tényező 50%, a modulálásért felelős frekvencia pedig 10Hz. Persze ez a frekvencia meglehetősen alacsony, hogyha mondjuk egy villanymotor működtetése a cél, de a legtöbb PWM moduláló frekvenciája 1kHz és 200kHz között mozog.



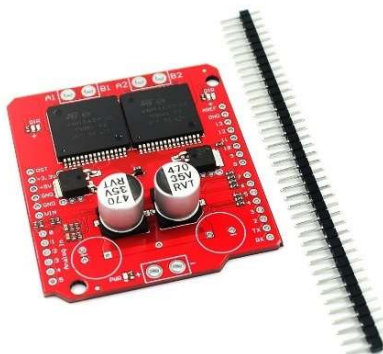
18. ábra: Teljesítménymérő pad fékezése
(Forrás: Johnson Industries Ltd.)

Egy, a motorok vezérlésétől eltérő példa, ami ugyancsak jól szemlélteti a PWM egyéb alkalmazási területeit, egy fékező berendezés. Itt gondolhatunk például egy nagyméretű ipari szállítószalagnál, vagy teljesítménymérő padoknál alkalmazott tárcsafékekre. A legtöbb ipari fékberendezésnél azt az erőt, amivel tárcsafékek esetén a betétet nekinyomjuk a tárcsának, analóg jellel vezérleljük. Minél nagyobb a feszültség vagy az áram, annál nagyobb a fékerő. Egy PWM itt is hasznunkra válhat, hisz hogyha nagyobb fékezőerőt szeretnénk elérni, akkor csak növelnünk kell a kitöltési tényezőt. A teljesítménymérő pad azért is jó példa, mert itt tipikusan nem csak egy forgó mozgás megállítása a cél, hanem terhelés alatt a fordulatszám szinten tartása, szabályozása is. Hogyha egy bizonyos mértékű konstans fékerőt szeretnénk elérni, akkor, ha meghatározzuk a matematikai összefüggést a fékezéshez szükséges hidraulikus nyomás és a kitöltési tényező nagysága között, precízen szabályozni tudjuk a fékerőt.

A PWM egy másik előnye, hogy a motoroktól a vezérlőig a teljes folyamat digitális, így nincs szükség analóg-digitális konverterekre. Mivel nincs ADC, így a zajszint is minimális [11].

Két motorvezérlőt is alkalmasnak találtam erre a feladatra. Az egyik a MonsterMoto bővítőkártya Arduino-hoz, a másik pedig az IBT2 H-híd.

3.2.2. *MonsterMoto*



19. ábra: *MonsterMoto Shield*
(Forrás: *MikroElektronik*)

A MonsterMoto is egy H-híd, viszont itt a H-híd nem egy egység, hanem két úgynevezett fél hídból áll össze. Ezek VN2SP30 fél hidak, melyekben két MOSFET van sorba kapcsolva egy táppal. Ez az egység egy négy kapcsolót használó H-híd egyik fele, ebből van 2db az alaplapon. Ezt a vezérlőt kifejezetten nagy áramfelvételű applikációkra szánták, nem csak a kisebb motoros alkalmazások során megszokott néhány amper, pár watt teljesítményigény ellátására [12].

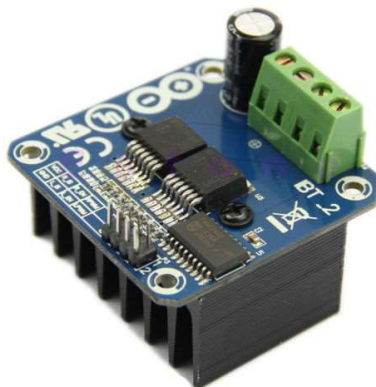
Néhány technikai adat:

- Maximális motor feszültség: 16V
- Maximális kapcsolt áram: 30A
- Maximális kapcsolt áram folyamatos üzemben: 14A
- Maximum PWM frekvencia: 20kHz

Az egység rendelkezik hőmérsékletvédelemmel, back EMF védelemmel, valamint alacsony-, magas-, és túlfeszültségvédelemmel [13].

3.2.3. *IBT2*

Az IBT-2 nem specifikusan Arduino-hoz való, ugyanis használható PIC és AVR chippekkel is, viszont a MonsterMoto-hoz hasonlóan két félhídból áll össze, ezek BTS7960 típusú chippek, melyeknek belső ellenállása nagyon alacsony, 16mOhm értékű, így nagyon alacsony veszteség mellett üzemelnek. A chippek akár 43A csúcsértéke van, így az IBT2 is használható nagyáramú alkalmazásokra.



20. ábra: 43A IBT2 H-híd
(Forrás: ElektROBOT)

A vezérlő technikai adatai:

- Bemeneti feszültség: 5,5-27V
- Maximális kapcsolt áram: 43A
- Maximum PWM frekvencia: 25kHz

Ez a vezérlő is rendelkezik hőmérsékletvédelemmel, back EMF védelemmel, valamint alacsony-, magas-, és túlfeszültségvédelemmel [14].

4. táblázat: Motorvezérlő választási mátrix

Motorvezérlő	Alkalmasság	Beszerezhetőség	Beszerzési költség	Összesen
MonsterMoto	10	8	6	24
ITB2	10	10	9	29

Mérlegelve a fentebb írtakat, az IBT2 mellett döntöttem költséghatékonysága miatt. Egy MonsterMoto H-híd ára 11500Ft, míg egy IBT-2 ára 4500Ft.

3.2.4. Motorvezérlő szoftver

A H-hidak vezérlésére az SMC3-at (Simulation Motor Controller for 3 Motors) választottam, amely az általam választott Arduino UNO R3-ra íródott. Néhány technikai adat:

- Akár 3 motort is tud vezérelni analóg visszajelzéssel
- Meghatározott határértékek a motorok tengelyének, amit ha túllépnek, akkor lefékezi őket

- 10 bites pontosság
- A konfiguráláshoz külön Windows szoftver

Jelenleg két működési mód létezik, amelyek egy kódsorral vannak konfigurálva a fordításkor, az Arduino vezérlőbe történő feltöltés előtt.

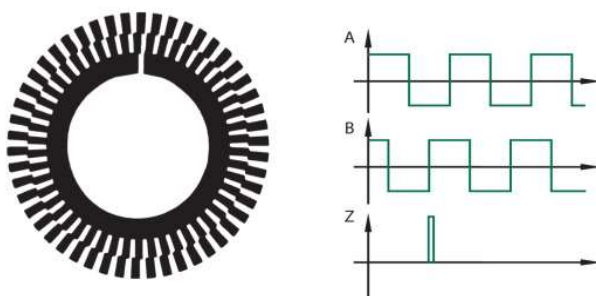
- MODE1: Ez az üzemmód egy PWM kimeneti pinct és két motor irányváltásra szolgáló kimeneti pinct használ. Így működik például a MonsterMoto vezérlő.
- MODE2: Ebben az üzemmódban az egyik pin irányváltóként üzemel, a másik pedig a PWM kimenetéről van meghajtva, azonban a PWM-jelet invertálni kell, amikor a motor irányt vált. Ennek a megoldásnak példája az IBT2 [15].

3.3. Enkóderek

A motorok vezérlésének megvalósításához szükségünk van egy visszacsatolásra, ugyanis a fő vezérlő úgy működteti a motorvezérlőket, hogy figyelembe veszi a motorok tengelyének jelenlegi pozícióját. Ehhez forgó enkódereket használtam.

A forgó enkóderek olyan elektromechanikai eszközök, amelyeket forgó pozíció meghatározásra használnak. Egy tengelyre rögzítve a forgást követik, és analóg, vagy digitális jeleké konvertálják (amelyeket a mi esetünkben fel lehet használni a motorok vezérlésére). Többféle csoportosításuk is lehetséges, de a két legnagyobb fő csoport az inkrementális, és az abszolút enkóderek.

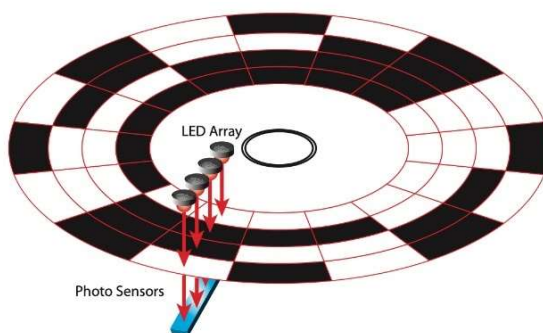
3.3.1. Inkrementális enkóder



21. ábra: Inkrementális enkóder kódolótrácsája, és négyszögjelei (Forrás:ScienceDirect)

Inkrementális enkódereket azokban az esetekben alkalmaznak, amikor relatív pozícióra van szükség. Ez a fajta enkóder abszolút pozíciót nem tud visszaadni, csak mozgás változást, és ennek a mozgásváltozásnak az irányát. Ezeket az adatokat viszont nagyon gyorsan képes küldeni, így gyakran használják olyan helyzetekben, ahol hirtelen irányváltozások, vagy nagy sebességek mellett is kiemelt fontosságú a precízió. Két kimeneti érzékelőjük van, egy A és egy B, az ezekből érkező kimeneti jelek az enkóder forgása közben egymástól 90°-kal eltolt négyszögjelekként mutatkoznak. Minél gyorsabban forog az enkóder, annál magasabb a kimeneti jelek frekvenciája, így mivel a sebesség egyenesen arányos a frekvenciával, egyszerűen mérhetővé válik. Attól függően, hogy az A négyszögjel követi a B-t, vagy fordítva, a forgásirány is meghatározható. Ezen felül gyakran alkalmaznak egy “index” kimeneti jelet is referencia pozíció gyanánt, amely egy fix ponton van elhelyezve a tárcsán [16] [17].

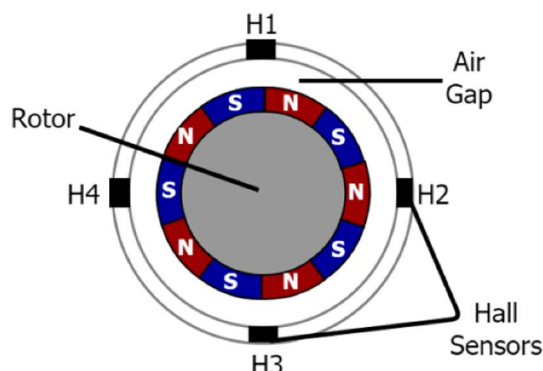
3.3.2. Abszolút enkóder



22. ábra: 4 bites optikai abszolút enkóder működési elve (Forrás: LinearMotionTips)

Az abszolút enkóderek minden rögzített pozíciónál másfajta jelet küldenek, így képesek mutatni a tengely abszolút helyzetét. Egy abszolút enkóder több tárcsából és érzékelőből áll, a kimeneti jeleket pedig eltolt négyszögjelek helyett Gray-kódként értelmezhetjük [18]. A Gray-kód, a Johnson-kóddal együtt olyan 5 bites kód, amire jellemző, hogy két szomszédos kódszó csak egy bitben tér el. Mivel egyik pozíciónak sincsen közös “bitje”, így a pozíciók összetéveszthetetlenek, ellenben a bináris kódolással, ahol két kódszó között akár 3 azonos bit is lehet. Léteznek több fordulatos abszolút enkóderek is, ezek több tárcsát alkalmaznak, melyek a fő tárcsához csatlakoznak áttételen keresztül, így akár 4096 teljes fordulat számolására is képesek [19].

3.3.3. Mágneses enkóder



23. ábra: Mágneses enkóder működése
(Forrás: MDPI Open Access Journals)

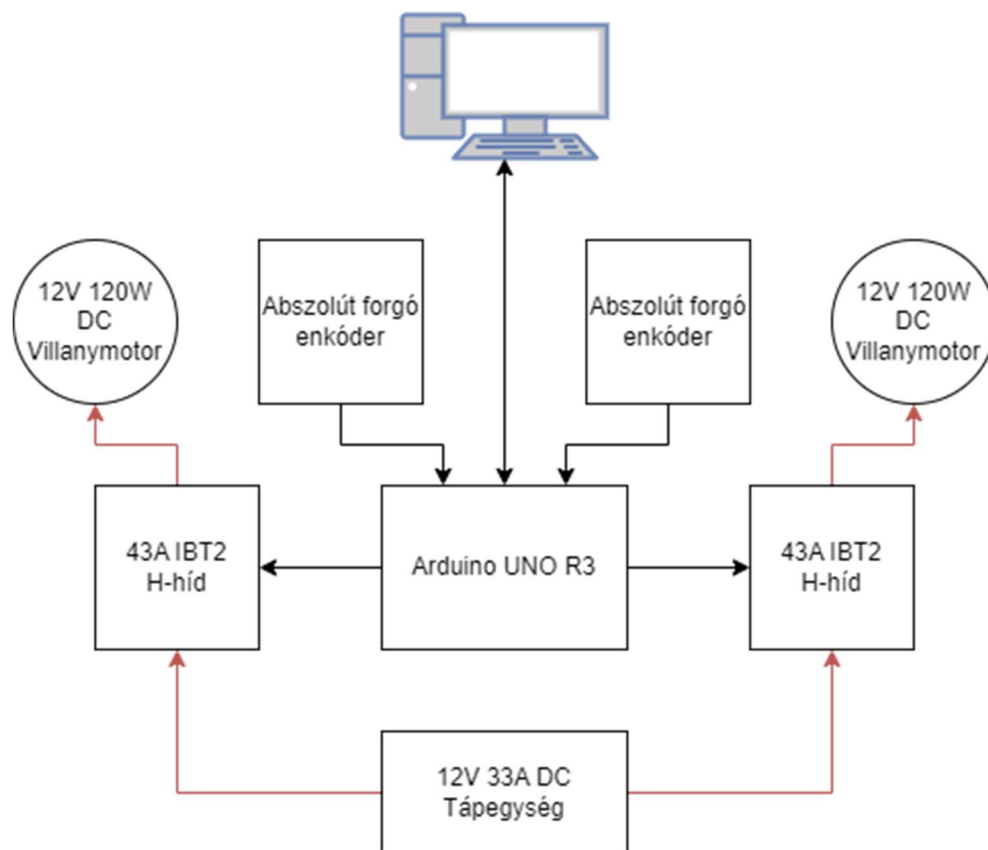
A mechanikus enkóderek fizikai érintkezőket használnak, ezek a tengely forgásával érintkezés közben a tengely szögét jelző bináris adatokat küldenek vissza. Az ismétlődő fizikai kontaktálás és kopás miatt érthető módon az élettartamuk alacsonyabb, mint más alternatíváké. Erre a problémára egy megoldást kínáló alternatíva a mágneses enkóder.

A mágneses enkóder megbízhatóan működik olyan környezetben is, amiben ütéseknek, rezgéseknek és magas hőmérsékleteknek van kitéve. Működését a mágneses törmeléken kívül más nem befolyásolja, így a külső hatások és szennyeződésekkel szembeni ellenállása miatt gyakran használják optikai enkóderek helyett, ha a kültéri vagy ipari strapabíróság is fontos szempont. Ahogy fentebb említettem, itt nincs a kontaktok között fizikai kapcsolat, mitöbb nincsenek is kontaktok, ez a fajta enkóder szenzorok segítségével érzékel.

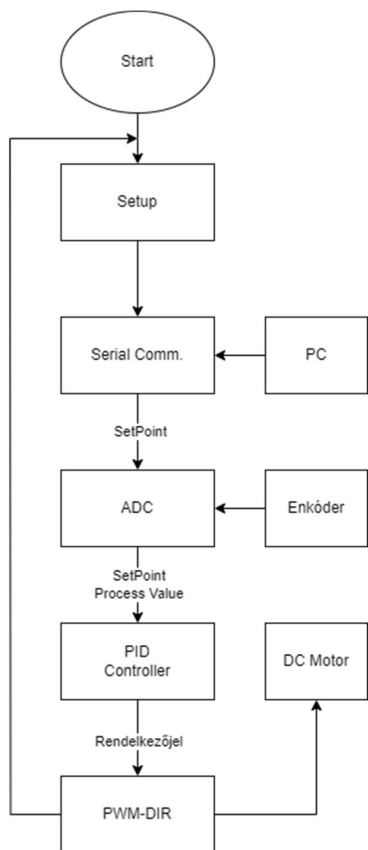
Másik előnyük a sokoldalúságuk, ugyanis az olcsó, tömeggyártásban történő alkalmazásoktól (pl. gépjárművek ABS rendszerei) kezdve egészen az ipari automatizáláshoz, vagy a mozgásszimulációhoz szükséges összetett enkóderekig mindenhol megtalálhatóak. Léteznek belőlük abszolút és inkrementális kivitelek is. Az enkóder tárcsáján mágneses sávok vannak kialakítva, ezeknek a mozgását a fordulatszám és a pontosság függvényében Hall-szenzor vagy MRS (Magnetorezisztív) szenzor érzékeli [18].

Az építéshez 5V DC feszültségű, Hall-szenzoros, állandómágneses forgó enkódereket választottam. Összesen 12 bitet, azaz 4096 pozíciót tudnak érzékelni egy teljes fordulaton belül, így a pontosságuk $0,088^\circ$ ($360^\circ/4096$).

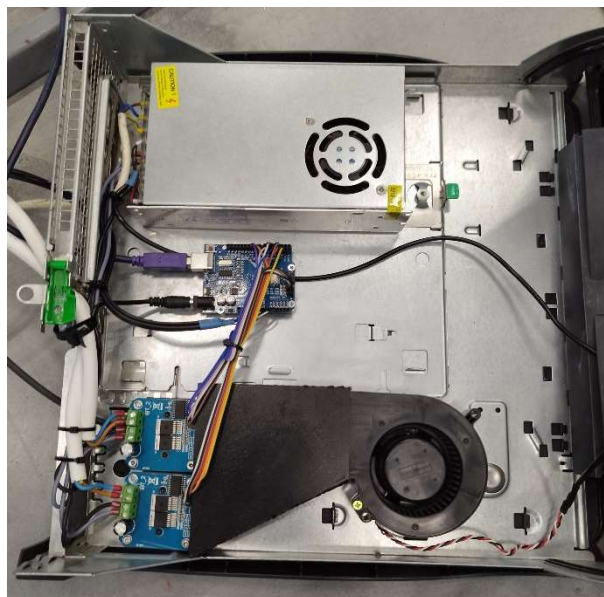
3.4. Vezérlés koncepciója



24. ábra: A vezérlés bemutatása



25. ábra: A vezérlés folyamatábrája



26. ábra: Az elkészült vezérlés

3.5. Szabályozás

Így, hogy készen van a vezérlés, a következő feladat találni egy olyan megoldást, amivel egy adott számítógépes játékból kinyert adatok vezérlik a szimulátornak a mozgásait, ez a valóságban azt jelenti, hogy pl. ha fékezek a játékban, akkor a szék előre billen, kanyarodásnál oldalra billen, így biztosítva az élethűséget. Erre a célra a SimTools programot választottam. Ez egy olyan program, ami a fentebb írtakban felvetett problémára kínál megoldást, a szoftverünkhöz tudunk csatolni egy hardvert.

Szükséges még megoldanunk a kommunikációt a szimulátor és a számítógép között. Az Arduino UNO R3 soros porton keresztül kommunikál, viszont a számítógép USB-n keresztül, emiatt az UNO fel van szerelve egy CH340 illesztő chippel, ami lehetővé teszi az USB és az RS232 közötti kommunikációt.

3.5.1. Vezérlés és szabályozás közti különbség

A vezérlő, az enkóderek, a motorvezérlők és a motorok összehangolása előtt fontos különbséget kell tennünk két irányítástechnikai fogalom, a vezérlés, és a szabályozás között.

A vezérlés egy nyílt hurkú irányítási rendszer, azaz a bemeneti jel és a kimenő jel között semmiféle visszacsatolás nincs. A vezérlő a bemenő jel hatására olyan rendelkező jelet hoz létre, ami jelformálás, erősítés, végrehajtás majd beavatkozás után a kimeneti jelet az elvárásoknak megfelelővé alakítja. A nyílt hurkú irányítási rendszerekben a kimeneti jel egyáltalán nincs mérve, és nincs visszacsatolva, állapota nem befolyásolja a folyamatot.

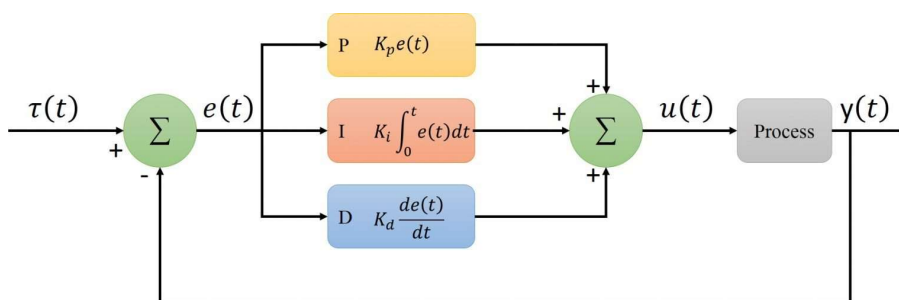
Ezzel szemben a szabályozás egy zárt hurkú irányítási rendszer, tehát rendelkezik valamiféle visszacsatolással. A szabályozó feladata a szabályozott jellemző kívánt értéke (SP – Setpoint) és a tényleges értéke (PV – Process Value) közötti eltérés, azaz hiba megszüntetése. A szabályozás a bemeneti érték, mint alapérték és a kimeneti érték, azaz a szabályozott jellemző közötti előírt kapcsolatot úgy valósítja meg, hogy összehasonlíja a bemenetet és a kimenetet, és a kettő közötti különbség függvényében avatkozik bele a folyamatba.

A két fogalom közötti különbséget példákkal a legegyszerűbb bemutatni. A vezérlés működésének bemutatására egy jó példa a mosógép. Hogyha mosógéppel egy adott programon mosunk ruhákat, és a cél az, hogy tiszták legyenek a ruhák, ott az áztatás, a mosás és az öblítés a ruhák tisztaságától teljesen független folyamat. Ezek a folyamatok időzítés alapján működnek, ezeket az időintervallumokat a mosóprogram kiválasztásakor határozzuk meg. Viszont, hogyha mondjuk erősen olajosak a ruhák, akkor hiába lesznek egy tisztítóprogramon kimosva, a folyamat lejárta után ugyancsak olajfoltosak maradnak, hisz nincs semmiféle érzékelő beépítve a mosógépbe, ami a ruhák tisztaságáról tájékoztatná a vezérlőt. Más szavakkal, nincs visszacsatolás, a vezérlő csupán e mosóprogram által meghatározott paramétereknek megfelelően végezte el a folyamatot, függetlenül a végeredménytől, azaz a ruhák tisztaságától.

Amennyiben szabályozásról van szó, egy jó példa mondjuk egy sütő. Ha olyan ételt szeretnénk készíteni, aminek a sütéséhez 200°C kell (SP), akkor a beépített hőmérséklet szenzorokkal a sütő monitorálja a jelenlegi hőmérséklet értékét (PV), és amint eléri a kívánt hőmérsékletet, kikapcsol. Amint a hőmérséklet visszaesik egy meghatározott pontra, megint bekapcsol, majd ki, és így tovább [20].

3.5.2. PID ismertetése

Érthető módon egy szimulátor működéséhez szabályozás szükséges, mert a szék mozgását a PC-n futó szoftver adatai befolyásolják a folyamat közben. Az általam épített szimulátor egy PID szabályozást használ.



27. ábra: PID blokkdiagram (Forrás: PLCynergy)

A PID (Proporcionális Integráló Deriváló) egy olyan szabályzó, amely arányos, integráló és deriváló tagokból áll össze, így figyelembe veszi a jelenlegi hibák, a múltbéli hibák és a várható hibák függvényét is.

A P, azaz proporcionális, vagy arányos tagot úgy kapjuk meg, ha a hiba ($e(t)$) értékét megszorozzuk a K_p proporcionális tényezővel. Ezesetben a beavatkozó jel arányos a mért hibával, tehát minél nagyobb az e szabályozási hiba, annál nagyobb lesz a beavatkozó jel (u). A probléma az arányos vezérléssel az, hogy mivel egy adott hibaérték szükséges a rendszer működéséhez, így sosem éri el teljesen a kívánt értéket. Hogyha a hiba túl nagy, akkor a szabályozott érték túllendülhet a kívánt értéken, ha túl kicsi, akkor pedig, nem feltétlen éri el azt, mindig marad egy ún. „offset”. Ezt kompenzálja az I, azaz integráló tag. Az integráló tag nem csak a hiba nagyságával arányos, hanem az időtartamával is, így tulajdonképpen a hibajel integrálva megadja az offset-hibát, viszont a hibajel meredekségének hirtelen változásakor kilendüléseket produkálhat. A P és az I tagokat egyesítve egy PI szabályzót kapunk, ami a P tag miatt a jelenlegi, az I tag miatt pedig a múltbéli hibákat is figyelembe veszi a szabályozásnál, viszont a PV hirtelen változásánál könnyen felléphetnek instabilitások, lengések. Ha egy D, azaz differenciáló tagot is beépítünk, akkor nem csak a hiba jelenlegi és múltbéli értékeit vesszük figyelembe, hanem a hibajel meredekségét deriválva csökkenteni tudjuk az integráló tag miatti túllendüléseket, így fokozva a folyamat stabilitását. A három tag együttese a PID szabályozó.

3.5.3. A szabályozót leíró összefüggés

A PID szabályozó működése a következőképp írható fel

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

amit egyszerűsítve azt kapjuk, hogy

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) dT + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Ahol K_p az arányos tag erősítési tényezője, $\frac{K_p}{T_i}$ a K_i , az integráló tag erősítési tényezője, $K_p T_d$ pedig a K_d , a differenciáló tag erősítési tényezője.

3.5.4. PID hangolás, Ziegler-Nichols módszer

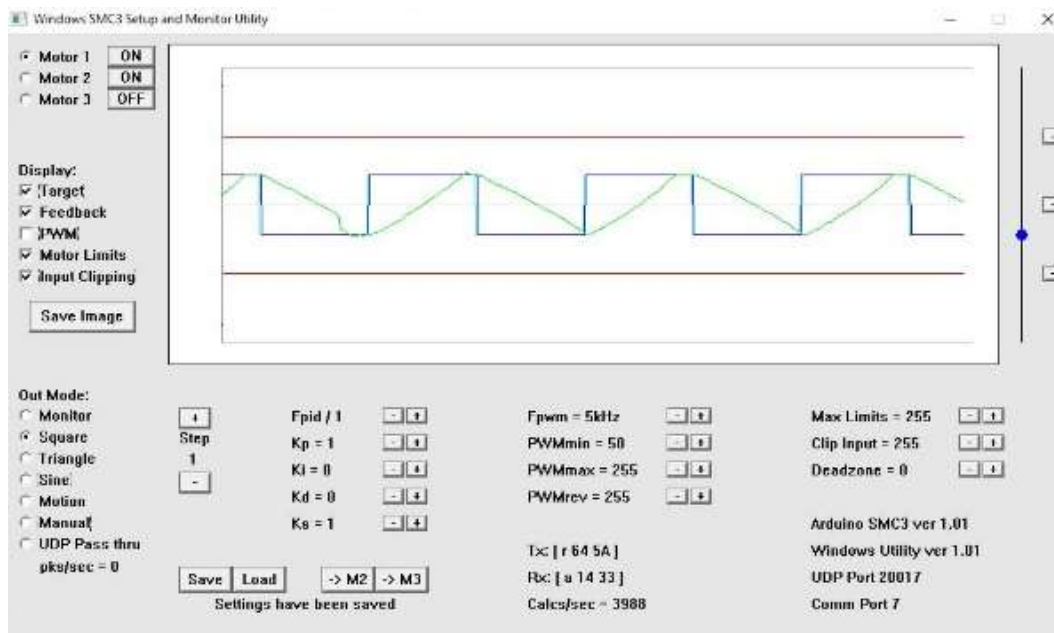
Mivel a PID egy munkapontfüggő szabályozás, így a működéséhez hangolás szükséges. A PID hangolásához a Ziegler-Nichols módszert választottam. Ez a módszer heurisztikus, azaz nem teljesen tökéletes eredményeket ad, online, azaz valós időben történik a hangolás, és iterációs, vagyis próba alapú.

A ZN módszer lényege, hogy a K_i és a K_d értékét nullára csökkentjük, majd a K_p értékét a stabilitás határáig (K_u) emeljük, amíg a rendszer stabil lengéseket produkál a kívánt érték körül. Ezután a K_u és a T_u , azaz a lengés periódusideje értékének segítségével egy előre meghatározott táblázat alapján beállítjuk a K_p , T_i , T_d , K_i és a K_d értékeket.

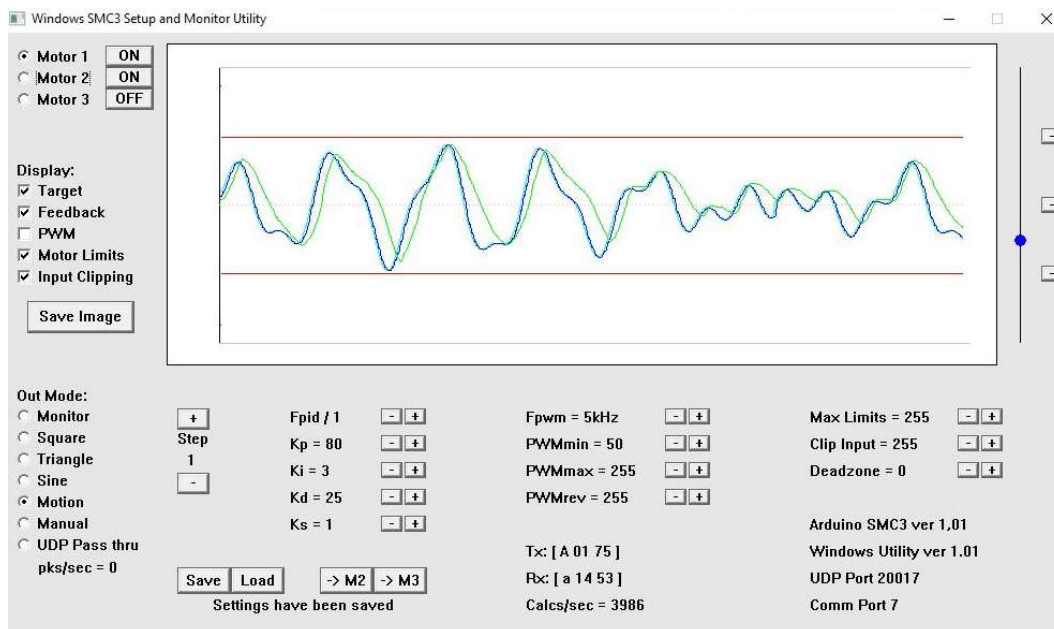
Rule Name	Tuning Parameters
Classic Ziegler-Nichols	$K_p = 0.6 K_u$ $T_i = 0.5 T_u$ $T_d = 0.125 T_u$
Pessen Integral Rule	$K_p = 0.7 K_u$ $T_i = 0.4 T_u$ $T_d = 0.15 T_u$
Some Overshoot	$K_p = 0.33 K_u$ $T_i = 0.5 T_u$ $T_d = 0.33 T_u$
No Overshoot	$K_p = 0.2 K_u$ $T_i = 0.5 T_u$ $T_d = 0.33 T_u$

28. ábra: Ziegler-Nichols táblázat (Forrás: Microstar Laboratories)

Ez a módszer nem tökéletes, ugyanis magas túllendüléssel operál, ami egy szimulátor szempontjából nem optimális, így a mellékelt táblázat legalsó sorából vett értékekkel dolgoztam. A lengés megszűnése mellett kívánt értékek eléréséhez a ZN módszer használata után kézi hangolást alkalmaztam.



29. ábra: ZN hangolás kezdete



30. ábra: ZN hangolás után

4. Mechanika

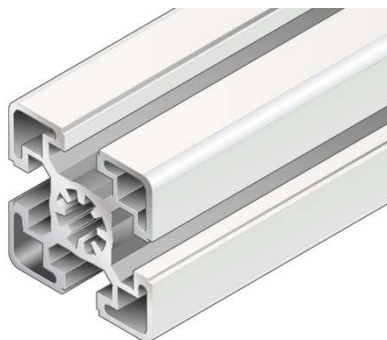
4.1. Zártszelvény vázák



31. ábra: Előkészített zártszelvények

A keretek 20x40x2 zártszelvényből állnak. Amiatt választottam ezt a specifikus méretet, mert korábbi projektjeim során már volt szerencsém dolgozni ilyen alapanyaggal, valamint könnyen beszerezhető, és szépen lehet vele dolgozni (értem itt a darabolást, és a hegesztést).

Egy kritikus ponton, a féltengely csukló és a felső keret összekötésénél található egyedül egy 40x40x2-es zárt szelvény.



32. ábra: Bosch profil
(Forrás: AI ESD Equipment)

A másik opció a Bosch Profil lett volna. Ezzel sokkal egyszerűbb dolgozni, mert nem hegeszteni kell, hanem a különböző darabok csavarokkal csatlakoznak egymáshoz, valamint jóval könnyebb lenne tőle az egész szerkezet. Ezzel a gépépítő profillal egy probléma van, mégpedig az, hogy egy ilyen 20x20-as profilnak az ára folyóméterenként egy 20x40-es zártszelvény folyóméter árának több mint 3-szorosa.



33. ábra: Gérbevágott zártszelvények

A költséghatékonyság miatt a zártszelvényeket választottam. A szálakat sarokcsiszolóval vágtam méretre, majd a csatlakozásoknál minden szál gérbe lett vágva gépi fémfűrészrel, így szinte mindenhol 45°-os csatlakozások találhatóak. Mivel a projekt nem napról napra folyamatosan haladt, hanem egyéb dolgok miatt voltak kimaradt hetek is, így miután méretre szabtam a szelvényeket, cinkspray-vel lefújtam őket. Ez azért hasznos módszer, mert így se belül, se kívül nem rozsdásodnak, előtte az olajfilm le lett törölve, így nem is koszolnak, valamint a cinkspray át is hegeszthető, csiszolni sem kellett a lekezelt szálakat.



34. ábra: Hegesztés előtti összemérések

Az összeállítás egy hegesztőasztalon történt, hogy a lehető legtöbb helyen egymásnak lehessen fogatni hegesztés előtt az egyes szálakat szorítókkal.

A pedálok helyzete fix, azt lemértem, hogy milyen dőlésszögben kell állniuk ahhoz, hogy nekem kényelmes legyen, így a pedálhelyzet lett az origó. Az ülés egy BMW E36 típusú autó anyósülése, ennek egy hasznos tulajdonsága, hogy sínnel együtt került felszerelésre, így az ülés ugyan olyan mértékben állítható itt is, mint az autóban.

Miután a pedál és az ülés középállásban vett távolságát beállítottam, megmértem, hogy milyen magasan kell lennie a kormánynek ahhoz, hogy középállásban kényelmes legyen. Erre a magasságra vágtam azokat a zártszelvényeket, amik a kormányt tartó keretet alkották, így a térdem elfért alattuk.



35. ábra: Súlypont meghatározása

Amint készen lettem a felső kerettel, és rajta volt az ülés, a kormány és a pedálok is, bejelöltem a súlypontot. Abban a vonalban lett felhegesztve az egyetlen szál 40x40-es zártszelvény, benne a hüvellyel, amibe a féltengely csúszik. Miután mindent összeszorítottam pozícióra, mehetett a hegesztés.

4.2. Hegesztés



38. ábra: Hegesztések



37. ábra: Hegesztések



36. ábra: Hegesztések

Az zártszelvények összehegesztését szinte bármilyen kézi hegesztési módszerrel el tudom végezni. Azért a következő 3 fajta hegesztési technológiát és berendezést hasonlítom össze, mert ezek álltak rendelkezésemre.

4.2.1. Bevonat elektródás kézi ívhegesztés



39. ábra: Bevonat elektródás kézi ívhegesztés
(Forrás: The Precision Companies)

A bevonat elektródás kézi ívhegesztés (MMAW – Manual Metal Arc Welding) egy Slavianoff-féle hegesztési eljárás, ami azt takarja, hogy az egyik pólus a hegesztő elektróda, a másik pólus pedig a munkadarab. Amint a pálca összeér a munkadarabbal, záródik az áramkör, és a magas áram okozta nagy hőhatás miatt a pálca és a munkadarab is megolvad. A varratot a pálcából leolvasztott ömledék tölti ki, a pálca porózus bevonata pedig eléggé ún. „védőgázként” szolgál [21].

Nagyon elterjedt egyszerűsége, olcsósága és sokoldalúsága miatt. Nagyon könnyen elsajátítható a technika, valamint szinte minden ötvözethez tartozik külön hegesztőpálca. A bevonatoknak 3 alapvető típusa van:

- Cellulóz
 - A cellulóz bevonatú elektródát a mély beolvasztási képessége miatt használják, nagyobb anyagvastagsággal rendelkező anyagoknál. Magas hegesztési sebesség is elérhető vele gyors égésének és olvadásának köszönhetően. Durva és lassú salaklerakódás jellemző rá, ezt a fedőréteget nehezebb eltávolítani. [22].
- Rutilos
 - A rutilos elektródák bevonata nagy mennyiségű titánium oxidot (rutilt) tartalmaz. Így hamar gyullad az ív, és keveset fröcsköl, ami miatt szebb lesz a varrat is, és a körülötte lévő területtel sincs akkora utómunka. Otthoni és általános felhasználásra, közepes szilárdság eléréséhez használatos.

- Bázikus
 - A bázikus elektródák bevonata nagy mennyiségben tartalmaz meszet és fluorit részecskéket, amik miatt a salak sokkal „folyékonyabb” és gyorsabb a salaklerakódás. Emiatt előszeretettel alkalmazzák fej fölötti, vagy fentről lefelé irányban történő hegesztéshez.

A bevont elektródás kézi ívhegesztés talán a legegyszerűbb elven működő eljárás a három közül, valamint rendelkezésemre állt külön ezt a célt szolgáló hegesztőtranszformátor, és a MIG és a porbeles berendezések is alkalmasak lettek volna a bevont elektródához egy külön munkakábelrel. Azért nem ezt az eljárást választottam, mert ebben volt a legkevesebb tapasztalatom, és az ezzel az eljárással készíthető varratok esztétikája sem felelt meg az elvárásaimnak.

4.2.2. Porbeles ívhegesztés (FCAW-S)



40. ábra: Porbeles ívhegesztés (Forrás: Plasmatech)

A porbeles ívhegesztés (FCAW – Flux Core Arc Welding) az 1950-es években terjedt el, a bevont elektródás kézi ívhegesztés egy alternatívájaként. A működési elvük nagyon hasonló, viszont az automata huzaladagolásnak köszönhetően (ezért hívják a huzaladagolás berendezéssel kézzel való hegesztést félautomata hegesztésnek) legtöbb hátrányosságát kiküszöböli a bevont elektródás hegesztésnek, és sokkal produktívabb is az eljárás.

A porbeles huzalt gyakran „kifordított bevont elektródának” hívják, ami nincs messze a valóságtól, hiszen ez egy flexibilis üreges töltőanyag, melynek a belsejében por töltet van, elégéskor ez biztosítja a védőgázt [23].

Ez a védőgáz

- Deoxidálja és denitrifikálja a varratot
- Védősalakot képez, amely formálja a varratot és helyén tartja az olvadt fém
- Ötvözőket is tartalmaz, amelyek segítik elérni a fémnek a kívánt mechanikai tulajdonságokat
- Befolyásolja a hegesztés karakterisztikáit (salaklerakódási képesség, penetráció mélysége)

A porbeles hegesztésnek két fajtáját lehet megkülönböztetni:

- FCAW-G
 - o Flux Core Arc Welding – Gas Shielded: Gázárnyékolt porbeles hegesztés, ami azt takarja, hogy a töltőanyagból származó védőgázon felül egy külső palackból is kap védőgázt, mint egy MIG/MAG hegesztő.
 - o A kettős védőgázforrás (huzal+palack) miatt hívják „double shielded”, azaz duplán árnyékolt hegesztésnek is. A hatékonyabb védőgáz használatnak köszönhetően szebb varratok húzhatóak vele, mint az önárnyékolttal, és kevésbé körülményes a hegesztés.
- FCAW-S
 - o Flux Core Arc Welding – Self Shielded: Önárnyékolt porbeles hegesztés, itt az egyedüli védőgáz forrás maga a töltőanyag, a benne lévő porózus töltettel. Ez a töltet hegesztés közbeni égéskor védőgázt képez, valamint ez képzi a varratot megvédő salakot is. Mivel itt nincs külső védőgáz palack, így jóval könnyebben szállítható a hegesztő berendezés. Emellett mivel a töltőanyagból képződik kényszeresen a védőgáz, így kültéri hegesztésekre kiválóan alkalmas, mert könnyen is hordozható, és az időjárás folyamatok sem befolyásolják nagy mértékben a hegesztés minőségét a védőgáznak köszönhetően.

Ahogy említettem, kültéri használatra alkalmasabb, mint egy MIG/MAG hegesztő, hiszen nincs külső gáztartály (önvédő esetén), ellenáll a szélnek is. Ötvözeteket is jól lehet vele hegeszteni, valamint stabilabb az ív gyújtása, és gyorsan is lehet vele hegeszteni anélkül, hogy ez negatívan befolyásolná a varrat minőségét.

Viszont vannak hátrányai is. A védőgáz nem csak hogy mérgező, de intenzív is, a képződő füst miatt nehezen lehet látni magát a varratot hegesztés közben. A varratok zárványossá válhatnak, ha előbb megköt a salakréteg mint ahogy a hegesztésnél keletkező gázok távozni tudnának. Mint ahogy a bevont elektródásnál, itt is célszerű megválasztani a megfelelő hegesztő huzalt, mert különböző anyaghoz másfajta szükséges, valamint vékony falvastagságú elemek, vagy vékony lemezek hegesztésére alkalmatlan. Lemezek esetén ~1mm-nél vékonyabb lemez folytonos hegesztésére nem alkalmas. Ha olyan hegesztést végzünk, ahol a varratok egymáson helyezkednek el, például vastagabb lemezeket hegesztünk össze egymáshoz, akkor minden új varrat előtt az előzőről el kell távolítani a hegesztőport, és a salakot, különben a szigetelésük miatt nehéz lesz az ívfogás, és nem lesz folytonos az ívtartás [23].

Az önárnyékolt porbeles hegesztés közelebb állt az általam elképzelt megvalósításhoz, és ezzel a géppel már jóval több tapasztalatom volt, de a kezelése körülményesebb. Itt figyelembe kell venni az áramerősségen kívül a huzal előtolásának sebességét is. Nekem olyan gép állt rendelkezésemre, ahol az előtolást egy potenciométer segítségével tudtam szabályozni, viszont az áramerősség állítására egy kétállású billenőkapcsoló szolgált, így finomhangolásra nem volt lehetőség. További nehezítő tényező, hogy az én gépem amint a huzal hozzáér a hegeszteni való munkadarabhoz, egyből ívet fog, míg a MIG berendezésnél csak a hegesztőpisztoly ravaszának meghúzása után fog ívet.

4.2.3. Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés (MIG)



41. ábra: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés (Forrás: MATEWELD Hungary)

A MIG (Metal Inert Gas) és a MAG (Metal Active Gas) mind a GMAW (Gas Metal Arc Welding) hegesztőberendezésekhez tartoznak. Ismertető jelük, hogy hasonlóan a gázárnyékolt porbeles hegesztéshez, itt is külső forrásból, a pisztolyon át érkezik a védőgáz. A különbség onnan ered, hogy a töltőanyag nem üreges, hanem tömör.

Az egyetlen jelentős különbség a MIG és a MAG hegesztés között a védőgáz.

- A MIG passzív védőgázelegyet használ. Argon és Hélium keverékek a legelterjedtebbek erre a célra.
- A MAG aktív védőgázelegyet használ. Ezek a gázok képesek befolyásolni a hegesztett anyag kémiai és mechanikai tulajdonságait. Ilyen gázelegyek a CO₂, az Ar + 5%O₂, Ar+25%CO₂ és az Ar+CO₂+O₂.

A MIG/MAG hegesztés alkalmazható manuális, félautomata és automata módon, akár robotizálni is lehet. Jellemzőek a gyors, jó minőségű hegesztések, és mivel a védőgáz képzéséhez nem szükséges por, így nincs arra esély, hogy zárványos lesz a varrat. Sokoldalú, sokfajta ötvözet hegeszthető vele, és bármilyen pozícióban (pl. magunk felett, esetleg fejjel lefelé) lehet hegeszteni, ami sokkal előnyösebbé teszi, mint a bevont elektródás kézi ívhegesztést. Kültéri használatnál viszont ügyelni kell a szélre, valamint a porbelessel ellentétben fémtisztára kell tisztítani az anyagot megmunkálás előtt [24].

5. táblázat: *Hegesztési eljárás választási mátrix*

Eljárás	Egyszerűség	Alkalmasság	Költséghatékonyság	Összesen
MMAG	9	4	9	22
FCAW	8	7	8	23
MIG	7	10	8	25

A MIG hegesztési eljárást választottam végül, ennek több oka is van. Bár ehhez külön argon védőgázzal megtöltött palack szükséges, nekem rendelkezésemre állt, így tudtam használni. Mivel a védőgáz külön palackból jön, a töltőfém pedig egy tömör huzal, így a minimális fröcskölés miatt sokkal esztétikusabb varratokat lehet vele húzni, nem „fröcsköl”. Ezen a gépen már az áramerősség állításáért is egy potenciométer a felelős, így sokkal finomabb beállításokat lehet vele elérni, mint az előzőekkel, ami azt eredményezi, hogy a hegesztés kivitelezése sokkal egyszerűbb, a végeredmény pedig egy esztétikus, kellően beolvadt, tartós varrat lesz.

4.3. Hajtás elemei



42. ábra: Hajtókar és menetes csap

Következő lépés a hajtókar. Egy forgácsolóműhelyben dolgozom, ahol rendelkezésre állt 15x15-ös szerkezeti acél szálanyag, így erre esett a választás. A hajtókar hosszát úgy választottam meg, hogy a lehető legrövidebb legyen amellett, hogy el tud fordulni a motorokat tartó konzolok körül. A menetrögzítés a motor tengelyén lévő közdarabhoz hasonló kialakítással lett megvalósítva, az alkatrészen található mind a három menet palástjában található egy M4-es furat, a hernyócsavarokkal történő rögzítéshez.

A hajtókar végére is kellett egy egyedi gyártású menetes végű csap, ahova a gömbcsukló csatlakozik, így ilyet is esztergáltam. A gömbcsukló a tengelyre seeger-gyűrűvel van rögzítve.



43. ábra: Közdarabok

Gömbcsuklóból 4db SKF SIKAC 10M típust választottam, mert ezek belső menettel rendelkeztek, és megfelelő paramétereik voltak. Bármely csapágyboltban beszerezhető jobb- és balmenetes verzióban is, nekem viszont egy régebbi projektből megmaradt 4db M10LH balmenetes csukló. Ezek a csuklók rendelkeznek zsírzógommbal is, így biztosítva a folytonos kenést és a hosszú üzemi élettartamot. Ezekhez is kellett esztergálnom 4db olyan közdarabot, ami össze tudja hozni a gömbcsukló M10LH belső menetét egy jobbmenetes M10-es szárral.



44. ábra: Szorítók ideiglenes alkalmazása

A menetes szár két végére a gömbcsukló menetrögzítővel lett szerelve, emiatt és a menetek miatt a hajtókar hosszának az állítása nem kivitelezhető, így a méretre vágott szárok közötti kicsi eltéréseket, valamint a hajtás összerakásából adódó egyenetlenségeket csak szoftveresen lehet kompenzálni.

A hajtórudak és a felső váz csatlakozási pontjaira több tervem is volt, több megoldást is felvettem, így mikor először próbáltuk a széket az egyetemi tanműhelyben, akkor csak asztalos szorítókkal lett a helyére rögzítve. A hajtókarok és a felső váz is vízszintes helyzetben lett rögzítve, így lettek méretre vágva a hajtórudak és a megjelölt helyekre felhegesztve a két tartó csap a felső vázra is.



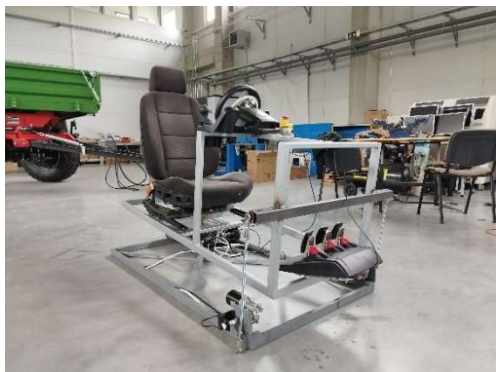
45. ábra: A felső csapok hegesztés előtt

A felső tartó csapok úgy lettek kialakítva, hogy két betéttel egy 20x40-es zártszelvény végébe tudjam őket hegeszteni, és az előzőekben említett csapokhoz hasonlóan ugyan úgy seegergyűrűvel rögzítik a gömbcsuklókat.

A következő problémát az jelentette, hogy a féltengelycsuklón egymáshoz képest az alsó és a felső váz el tudtak fordulni, így nem billent a szék a motorok mozgására, hanem összecsuklott, ha nem fogta senki. Ez úgy lett orvosolva, hogy az egyetemi műhelyben a csukló össze lett hegesztve a felső vázban lévő hüvellyel, ahova csatlakozik, ennek viszont az a negatívuma, hogy nem lehet roncsolás nélkül eltávolítani egymástól az alsó és a felső keretet, így a szállítás nehezkesebb.

4.4. Összeállított szimulátor

Így néz ki közel kész állapotában a szimulátorszék. Még vannak hiányosságai, beleértve a fényezést, a kábelrendezést, valamint a biztonságtechnikai burkolatokat a motorok köré.



46. ábra: Elkészült szimulátor



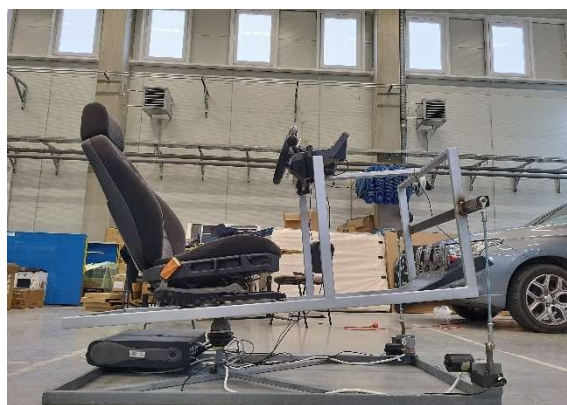
47. ábra: Elkészült szimulátor



48. ábra: Elkészült szimulátor



50. ábra: Elkészült szimulátor



49. ábra: Elkészült szimulátor

5. Gazdasági számítás

A szimulátorszék a szórakoztató elektronikai szegmensben egy nagyon is elterjedt „játék”, szinte minden formában kapható készen, akár kormányval, pedállal, váltóval, kézifékkal és monitorral együtt is.

Létezik belőle csak egy fix keret állítható ülésel és kormányval, létezik az én munkámhoz nagyon hasonló kialakítású 2 szabadságfokúrendszer is, ugyan ez 3, 4, 5, akár 6 szabadságfokkal, vagy akár motorok helyett lineáris aktuátorokkal felszerelve. Mivel a piac már kialakult erre a hobbira, így érdemes fontolórába venni a termék értékesítését.

A szimulátor összes alkatrésze úgy lett megválasztva, hogy kereskedelmi forgalomban is nagyon könnyen beszerezhető legyen, maguktól a zártszelvényektől kezdve egészen a vezérlésig és a motorokig, ez egy fő szempont volt a tervezés során.

A kalkulációk tartalmazzák a nyers alapanyag árakat, valamint az egyedileg gyártott alkatrészek árát is a forgácsoló műhely bruttó órabérével számolva! Továbbá számításba veszem az én általam befektetett munkaórákat is, a Magyar Mérnöki Kamara aktuális áraival számolva.

5.1. Gazdasági számítások táblázata

6. táblázat: Gazdasági számítás

	Megnevezés	Mennyiség	Ár (Nettó)	Ár (Bruttó)	Össz. nettó	Össz. bruttó
1.	Zártszelvény (6fm)	3db	6299	8000	18897	24000
2.	Menetes szár	2db	630	800	1260	1600
3.	Motor	2db	10017	12722	20034	25444
4.	Gömbcsukló	4db	3307	4200	13228	16800
5.	Egyedi alk.	12db	31748	40320	31748	40320
6.	Vezérlő	1db	10381	13184	10381	13184
7.	Tápegység	1db	1362	1730	1362	1730

8.	Enkóder	2db	5160	6553	10320	13106
9.	Motorvezérlő	2db	4559	5790	9118	11580
10.	Logitech kormány, pedál, váltó	1db	31496	40000 (használt)	31496	40000
11.	Ülés	1db	6299	8000 (használt)	6299	8000
12.	Féltengely	1db	9052	11496	9052	11496
Összesen					163197	207260

A fentebb számolt 207260Ft-os bruttó ára még rájön 8 órás intervallumokkal számolva a 7 nap mérnöki munka díja is, ami a megvalósításhoz szükséges volt. 2023 január 1.-től a kezdő mérnöki napidíj 101000Ft, ez 707000Ft költséggel megnöveli az eddig számítottakat.

Így a mozgásszimulációs platform megalkotásának teljes ára bruttó **914260Ft**.

Mivel ez az ár így önmagában nem mond sokat, így összehasonlítom más, teljesen kapható szimulátorszékekkel, és azok árával.



51. ábra: NGT Formula (Forrás: Next Level Racing)

Egy viszonylag megfizethető, mégis az árak összehasonlításához megfelelő platform a Next Level Racing FGT Formula ülése. Ez a fajta kialakítás egy belépő szintű platform a szimulátorok világába, ugyanis egy versenyautóhoz hű vezetési pozíciót ad a kormány és

pedálok pozíciójának tekintetében, valamint kereten ki van alakítva az összes kezelőszerv és a monitor helye is.

Ez nem egy mozgó platform, hanem teljesen fix, tulajdonképpen csak egy keret, viszont ennek köszönhető viszonylag alacsony ára miatt nagyon népszerű bevezető a mozgó platformok világába. Ennek a konkrét szimulátornak az ára 550€, ami átszámolva a jelenlegi árfolyamon 209000Ft, ami csak a keretre vonatkozik, nem tartalmazza a kezelőszerveket.



52. ábra: H2 CMSP (Forrás: DOF Reality)

A DOF Reality oldalán sokfajta eladó kész szimulátor található, én egy, a sajátomhoz hasonló elven működő 2 szabadságfokú mutatót, a DOF Reality H2 Consumer Motion Simulator Platform-ot. Ez már egy komplett szimulátor platform, viszont kormány, pedál, váltó és vezérlés nélkül, így ezen szimulátor beüzemelése a vételáron felül még egyéb költségekkel jár. Beüzemelve képes az „X” és az „Y” tengely körüli limitált mozgásra (csúrés és bólintás, 16° mindkét irányban), de a „Z” tengely körüli elfordulásra már nem képes. Míg az előző példánál bármilyen realisztikus mozgást maximum egy Force Feedback-es kormánnyal tudunk elérni, ami motorok segítségével szimulálja azokat az erőket, amik a kezünket érik valós vezetés közben, ez a szimulátor a 2 szabadságfokú mozgásoknak köszönhetően sokkal élethűbb élményt nyújt. A 2DOF szimulátorok a mozgásszimulációs platformok belépő szintjét képviselik, ennek a konkrét szimulátornak az ára 1500\$, ami 531000Ft.



53. ábra: H3 CMSP (Forrás:
DOF Reality)

Egy komplikáltabb, 3 szabadságfokú szimulátor erről az oldalról a H3 Consumer Motion Simulator Platform. Ezt a platformot a 2 helyett már 3 forgómotoros aktuátor mozgatja, és képes a saját „Z” tengelye körüli elfordulásra is. Amennyiben autóvezetésről beszélünk, a „Z” tengelytől történő elmozdulásokon kívül ez a platform bármilyen féle valós, vezetés közben a pilótát érő mozgást tud szimulálni. A szimulátor teljes ára kezelőszervek nélkül 2530\$, ami átszámítva 895620Ft.

Ahogy a fenti példákban látható, meglehetősen költséges egy előre összeállított szimulátor megvétele. Az általam készített darab a fentebbi példákkal összehasonlítva nagyon magas árral rendelkezik, de ez megfelelő felszerszámozottsággal csökkenthető.

Jelenleg az általam készített szimulátor teljes ára 914260Ft, a munkadíjat leszámítva viszont 207260Ft. A munkával töltött órák csökkentéséhez szükség lenne egy felső kategóriás védőgázos ívhegesztő berendezésre, valamint egy hegesztőasztalra, ugyanis a hegesztés vette el a legtöbb időt. Egy megfelelő méretű hegesztőasztalon sokkal egyszerűbben le tudnám pozícióba rögzíteni a zártszelvényeket, így a hegesztés is egyszerűbb és gyorsabb lenne. Amennyiben több darabot kellene készíteni, mindenképp szükség lenne egy fémfűrészgép beszerzésére is, a zártszelvények darabolásához és gérbévágásához.

6. Összefoglalás

A célom ezzel a projekttel az volt, hogy egy olyan két szabadságfokú mozgásszimulációs berendezést valósítsak meg, melyet a későbbiekben az egyetem a nyílt napokon beiskolázási és kiállítási célokra is alkalmazhat. A tervezés során áttekintettem a releváns szakirodalmakat, elsajátítottam a megépítéshez szükséges módszereket, és kiválasztottam a számomra legmegfelelőbb különböző mechanikai és elektronikai komponenseket. A szimulációs berendezés a kiválasztott alkatrészek segítségével épült meg, jelenlegi formájában pedig a feladatát pedig minden téren ellátja. A következő lépések a fényezés, és a biztonságtechnikai szabályoknak megfelelővé tétel lesz.

7. Summary

My goal with this project was to implement a two-degree-of-freedom motion simulation device that the university can later use for enrolment and exhibition purposes during open days. During the planning process, I reviewed the relevant literature, learned the methods required for construction, and selected the various mechanical and electronic components that suited me best. The simulation equipment was built with the help of selected components, and in its current form, it fulfills its task in all areas. The next steps will be painting and compliance with safety regulations.

8. Nyilatkozat

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Gyórfi József (név) (hallgató Neptun azonosítója: FNNM0K) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Gödöllő 2023 év 11 hó 10 nap



Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

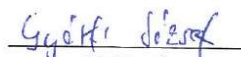
³ A megfelelő aláhúzendő.

NYILATKOZAT

Alulírott Györfi József, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Mechatronikai mérnöki szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő 2023 év 11 hó 10 nap


Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatos/Szakdolgozatos/Diplomadolgozatos áttekinttem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatos/Szakdolgozatos/Diplomadolgozatos záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő 2023 év 11 hó 10 nap


Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

9. Hivatkozások

- [1] „Havkar,” 2018. [Online]. Available: <https://havkar.com/en/blog/view/first-aircraft-simulator/90>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [2] J. DeAngelo, 10 június 2000. [Online]. Available: <https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/who%20we%20are/engineering%20history/landmarks/210-link-c-3-flight-trainer.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 23 10 2023].
- [3] M. Becerra-Vargas és E. M. Belo, „Application of H_{∞} theory to a 6 DOF flight simulator motion base,” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2012.
- [4] D. Lee, „Arduino-Pneumatic Flight Simulator,” Autodesk Instructables, 2012.
- [5] „Bodine 42A5BEPM-E3 Gearmotor,” eBay, 2021.
- [6] „Mirai Inter-Tech,” Dyadic, [Online]. Available: <https://miraiintertech.com/products/dyadic/scn5/>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [7] „What is Arduino?,” Arduino.cc, 05 február 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [8] A. Szczepaniak, „Raspberry Pi or Arduino – when to choose which?,” Leo Rover, 15 május 2023. [Online]. Available: <https://www.leorover.tech/post/raspberry-pi-or-arduino-when-to-choose-which>. [Hozzáférés dátuma: 23 10 2023].
- [9] „What is Raspberry Pi?,” OpenSource.com, [Online]. Available: <https://opensource.com/resources/raspberry-pi>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [10] „Essential Electronics - The H-bridge Motor Controller,” Toshiba. [Online]. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [11] M. Barr, „Pulse Widht Modulation,” *Embedded Systems Programming*, pp. 103-104, 2001.

-
- [12] „Single-Switch Circuit Driving and Half-Bridge Circuit Driving,” Tech Web, 24 augusztus 2022. [Online]. Available: <https://techweb.rohm.com/product/motor/brushed-motor/brushed-motor-basic/397/>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [13] „VNH2SP30 - MonsterMoto Shield,” *Jungletronics*, 2018.
- [14] „DC motor sebesség szabályzó, H-bridge,” ElektROBOT, [Online]. Available: https://www.elektrobot.hu/termek.php?filename=meghajto_panel_H-Bridge_Stepper_43A.html&i=1133. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [15] „SMC3 Arduino 3DOF Motor Driver and Windows Utilities,” 2013.
- [16] J. Pollefliet, „Current-, Angular Position-, Speed Transducers,” *Power Electronics*, 2018.
- [17] „Sensoray Embedded Electronics,” [Online]. Available: <https://www.sensoray.com/support/appnotes/encoders.htm>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [18] E. Eitel, „Basics Of Rotary Encoders,” *Machine Design*, 2014.
- [19] D. Collins, „Linear Motion Tips,” 7 január 2021. [Online]. Available: <https://www.linearmotiontips.com/when-is-encoder-resolution-specified-in-bits-and-what-does-that-tell-us/>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [20] J. D. A. Ildikó, Szerző, *Szabályozástechnika 1.* [Performance]. 2015.
- [21] „MATEWELD Hungary,” [Online]. Available: <https://www.hegesztestechnika-webaruhaz.hu/bevontelektrodas-ivhegesztes>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [22] „TWI Global MMAW,” [Online]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/the-manual-metal-arc-process-mma-welding-002>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [23] „MATEWELD Hungary,” 25 február 2023. [Online]. Available: <https://www.hegesztestechnika-webaruhaz.hu/blog/mi-az-a-porbeles-hegesztes-pontosan-fcaw-jo-ha-tudod>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].

-
- [24] „TWI Global MIG,” [Online]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-mig-mag-welding>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [25] „Thanos Motion Simulator Electronics,” 2016. [Online]. Available: <https://motionsim.blogspot.com/p/links-and-info.html>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [26] D. R. Hessmer, „IBT2 H-Bridge with Arduino,” 2014.
- [27] J. Gannsle, „A Designer's Guide to Encoders,” 2012.
- [28] „Encoder Basics”.
- [29] J. Gannsle, „Encoders provide a sense of place,” 2005.
- [30] „GMC Camille Bauer,” [Online]. Available: <https://www.embedded.com/encoders-provide-a-sense-of-place/>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [31] A. Szczepaniak, „LeoRover Tech,” 15 május 2023. [Online]. Available: <https://www.leorover.tech/post/raspberry-pi-or-arduino-when-to-choose-which>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [32] „TWI Global FCAW,” [Online]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/flux-cored-arc-welding-fcaw>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [33] „Thanos Motion Simulation Electronics,” [Online]. Available: <https://www.thanos-motion.com/products/thanos-amc-controller-rgb-v1-4/>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].

10.Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni, és tiszteletemet nyilvánítani Erdélyi Viktornak, aki munkám során végig hasznos tanácsokkal látott el, és végig kísérté a folyamatot. Bátran fordulhattam hozzá a koncepcióval és a megvalósítással kapcsolatos kérdéseimmel.

Továbbá úgyszintén szeretném megköszönni és tiszteletemet nyilvánítani Dr. Tóth Jánosnak, akire számíthattam, ha szoftverekkel kapcsolatos, vagy programozási kérdéseim akadtak!