



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar

FRC-X versenyautó pneumatikus váltásrendszerének fejlesztése

Száz András BSc II. évf.
e-mail: 100andriska@gmail.com

Konzulens: Dr. Farkas Zsolt József, Gép- és Terméktervezés Tanszék
e-mail: farkas.zsoltgt3.bme.hu



TARTALOM

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | A BME Motorsport | 4 |
| 2 | A Formula Student versenysorozat | 5 |
| 3 | Az FRC-X és elődei | 6 |
| 4 | Munkám a csapatban..... | 7 |
| 4.1 | Feladatom bemutatása | 7 |
| 4.2 | Az előző szezon váltásrendszere | 7 |
| 4.3 | Fejlesztési igények..... | 7 |
| 4.4 | Megkötések..... | 8 |
| 5 | Megoldási lehetőségek..... | 8 |
| 5.1 | Irodalomkutatás | 8 |
| 5.2 | Piackutatás | 9 |
| 5.3 | Elérhető megoldások | 9 |
| 6 | Mérések..... | 10 |
| 6.1 | Telemetria adatok elemzése | 10 |
| 6.2 | Fékpados terheléses tesztelés..... | 11 |
| 7 | A tervezés menete | 12 |
| 7.1 | Rendszerterv | 13 |
| 7.2 | Alkatrészek méretezés | 14 |
| 7.3 | Alkatrész választás | 15 |
| 7.4 | Elektropneumatikai vezérlés..... | 16 |
| 8 | Gyártás és beszerzés | 16 |
| 9 | Tesztelés | 18 |
| 9.1 | Vezérlés tesztelése | 19 |
| 9.2 | Pneumatikai rendszer tesztelése | 19 |

| | | |
|-----|-----------------------------|----|
| 9.3 | Teljes autós tesztelés..... | 20 |
| 9.4 | Kalibrálás..... | 21 |
| 9.5 | A versenyek | 22 |
| 10 | Összefoglalás..... | 24 |
| 11 | Summary | 25 |
| 12 | Irodalomjegyzék..... | 26 |
| 13 | Ábrajegyzék | 27 |
| 14 | Nyilatkozat | 28 |
| 15 | Köszönetnyilvánítás | 29 |

1 A BME Motorsport

A BME Motorsport egy a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem falain belül működő versenycsapat. Pontosabban a két Formula Student csapat egyike a Formula Racing Team mellett. A csapat 2018-ban alakult, amikor is az FRT (Formula Racing Team) az FRC-06 tervezése után átváltott a tisztán elektromos hajtásrendszer tervezésére, és az alapítók úgy döntöttek, hogy mindenképpen megtartanak a belsőégésű hajtásláncot, így egy marék mérnökkel az eddigi tapasztalataikat felhasználva megalapították az egyetem második FS csapatát. A konstruktóri sorozat szabályzata szerint egy egyetemnek több csapata is lehet azonban a hajtásláncok fajtái nem egyezhetnek így csak egy elektromos és csak egy belsőégésű versenyautója lehet. A két csapat természetesen indulhat ugyanazon versenyeken hiszen két külön kategóriában indulnak a hajtáslánc típusa szerint, így a pontozás is külön történik. A két csapat kapcsolata nagyon szoros volt az évek alatt és sokszor segíti az egyik a másikat bármilyen problémáról is legyen szó.

A Motorsport az évek során Európa egyik legdinamikusabban fejlődő csapata volt, minden évben nagyon látványos fejlődésen ment keresztül, ami a versenyeken elért eredmények is nagyon látványosan jeleznek és a világ ranglistán is több évtizedes múltú veterán csapatokat előzték meg.

A csapat nagyon sok előnnyel szolgál azon hallgatóknak, akik a tagjai lehetnek, számos alkalommal tudtam gyakorlatban hasznosítani az egyetemi előadásokon elsajátított tudást. Nagyon sok lehetőségünk van az iparban használt legmodernebb gyártástechnológiákat megismerni és igénybe venni, és belátást kapunk egy igazi cég működésébe, ahol minden problémát nekünk kell megoldanunk és együtt kell dolgoznunk a sikerekért, ezzel olyan versenyképes tudást kapunk, ami kiemeli a hallgatókat a munkaerő piacon.

2 A Formula Student versenysorozat

A Formula Student egy olyan nemzetközi, egyetemek között megrendezett konstruktóri sorozat, ami egyetemi hallgatókból álló verseny csapatok munkáit hasonlítja össze és egy biztonságos és érdekes platformot nyújt a tudásunk és mérnöki képességeink megmérettetésére. A feladat egy Formula típusú versenyautó fejlesztése, karbantartása, és a csapat menedzselése, mind pénzügyi és szervezési szempontból. Célja a hallgatókat motiválni, hogy az egyetemi kötelezettségek mellett egy érdekes projektet is vállaljanak el, ami nagyon jó fejlődési lehetőséget ad minden csapattagnak.

A Versenysorozat az Egyesült államokból indult 1981-ben de azóta az egész világon elterjedt, több mint 20 országban rendezik meg évről évre és minden kontinenst átfed. A verseny történetében több mint 1100 csapat vett már részt.

A pontozás két fő részre választható szét, a Statikus és a Dinamikus versenyszámokra.

A Statikus feladatok közé tartozik:

- Költségvetési terv bemutatása (Business Plan) ami a csapat abban a szezonban szerzett szponzorait és pénzügyi munkáit mutatja be.
- Gyártás és beszerzés (Cost and Manufacturing) ahol az autón megtalálható alkatrészek megvásárlásának és legyártásának menedzselését kell prezentálni, lényegében az autó megépítésének teljes költségét veszik figyelembe.
- Mérnöki tervezés (Engineering Design), talán a legérdekesebb, itt a tervezés csoport mutatja be alegységként a versenybíráknak az autón tervezett alkatrészeket, meg kell indokolni minden változtatást, a cél hogy a legprofesszionálisabb tervekkel tudjunk előállni.

A Dinamikus feladatok:

- Menetdinamika (Skidpad), az autónak egy bójából felrakott 8-as alakot ábrázoló pályán kell köröket megtennie minél jobb időre, ezzel megmutatva a futómű képességeit.
- Gyorsulás, egy 75 méteres egyenes pályán kell minél jobb időre végig érnit, ez a motorteljesítményt és az aerodinamikai elemeket veszi igénybe a legjobban.
- Autocross, egy 1km-es bójából kirakott kanyarokkal és szlalom részleggel tűzdelt pálya, ahol szintén a leggyorsabb időért jár a jobb eredmény.
- Állóképesség (Endurance), egy 22km-es pálya ahol az autó összes részegységének a strapabíróságát figyelik, féltávon pilóta csere is és műszaki átvizsgálás történik.

3 Az FRC-X és elődei



[1.ábra]

A csapat megalakulása óta 4 versenyautót épített és rengetek tapasztalat gyűlt össze a 4 szezon alatt. A fejlődés nem csak az autón látszik, de a műhely felszereltségén is és a szponzorok számán is.

A csapat költségvetésének növekedéséből és az általunk elérhető gyártási lehetőségek számából egyenesen következik az autó minőségének növekedése is. A felhasznált alkatrészek 90%-át mi tervezzük, ez alól kivételt képez a belsőégésű motor, ami egy Suzuki GSXR 600-as, a lengéscsillapítók, a motor víz és olajhűtő hőcserélője, a gumiabroncsok és a differenciálmű. A futómű geometria is saját tervezésű, az aerodinamikai elemek szimulálása és gyártása is a műhelyben történik, valamint az autó egy teljes Carbon monocoque-al rendelkezik, amit minden szezonban saját magunk tervezünk és gyártunk.

4 Munkám a csapatban

2022 szeptemberében jelentkeztem a csapatba, mint első féléves Mechatronika szakos hallgató, és a tagfelvételi interjú után az Elektronika csoportba lettem beosztva, ahol fő feladataim a nyáktervezés és az éppen alakulóban lévő Hibrid csoport támogatása volt. Emellett nagy érdeklődéssel fordultam a váltás pneumatika rendszerének fejlesztéséhez, ez annak köszönhető, hogy édesapámnak Pneumatikus gyártássorok automatizálásához kötődő végzettsége is van, és már voltak elő ismereteim a témával kapcsolatban, foglalkoztam korábban elektropneumatikus rendszerekkel, emellett szabadidőm nagyrészt mikrokontrollerek által vezérelt elektronikai projektekkel töltöm.

4.1 Feladatom bemutatása

A pneumatikus rendszer fejlesztésével Mihók Márton Főmérnök keresett meg, aki az általunk használt munkahengerek lecserésére és a nagynyomású sűrített levegős palackon található reduktor kiválasztásával bízott meg.

4.2 Az előző szezon váltásrendszere

Az 2021-22-es szezonban sok gond adódott a pneumatikus rendszer működésével. Első szembeötlő probléma a rendszer levegőellátása volt, az általunk használt reduktor térfogatárama korántsem szolgálta ki a rendszert, ezért egy 60mm-es dugattyúátmérőjű és 300mm-es lökethosszú munkahenger volt beépítve, ami puffertartályként szolgált. Ez a váltások minőségén is meglátszott, a rendszer túl gyenge volt és így megbízhatatlanná vált, arról nem is beszélve, hogy a puffertartály használata több mint 4 kg tömeget adott az autóhoz, ami egy olyan versenysorozatban, ahol egy egykilós tömegcsökkentés már másodperces javulást jelent a pályán elfogadhatatlan.

4.3 Fejlesztési igények

Az elsődleges probléma a reduktor volt, nagynyomású palackban maximálisan 310 bar nyomás lehet, amit regulálnunk kell egy 10 bar alatti nyomásra, mivel a pneumatikai komponenseink, mint például a szelepeknek és a munkahengereknek ez a maximális üzemi nyomása. Így a reduktornak a be- és kimeneti nyomása között hatalmas különbség van, egy strapabíró megoldást kell találni ide, ami emellett magas térfogatáramot is tud szolgáltatni, ezzel megszüntetve a puffertartály alkalmazását.

4.4 Megkötések

A rendszernek könnyűnek és alacsony tömegűnek kell lennie a menetdinamika javítása érdekében. A rendszer nyomás nem haladhatja meg a 10 bar-t, mivel a versenyszabályzatában [1] az is limitálva van, hogy a nagy nyomású rendszerekben mekkora lehet a legnagyobb érték, (ez alól kivételt képez maga a nagy nyomású palack, viszont a reduktornak egyenesen a palackra kell csatlakoznia, máshol nem lépheti túl a megadott 10 bar-os értéket). A rendszer mellett hő, por és rezgés álló kell, hogy legyen, mivel a hátsó vázon egyből a motor és a váltó mellett helyezkedik el, és verseny közben nagyon sok behatás éri.

5 Megoldási lehetőségek

A rendszer hibáinak kijavítása előtt utánanéztem az elektromos aktuálásnak. A pneumatikus váltás megoldás nagyon gyors, erős és kompakt, viszont nehéz, és a palackot úgy kell méretezni, hogy egy 22 kilométeres verseny szakaszon elég levegő legyen benne, hogy kiszolgálja a munkahengereket. Ezzel szemben az elektromos aktuálás szintén gyors váltásokat eredményezne, és a generátor folyamatos visszatöltése mellett nem kell aggódnni, hogy az autó akkumulátora nem tudná kiszolgálni.

Több versenycsapattal való kommunikáció után viszont kiderült, hogy ez a megoldás nem lenne kedvező versenyhelyzetben, az elektromos aktuátorokat nagyon sokszor kell cserélni, esetekben futamonként mivel nagyon gyorsan elromlanak. Emellett egy gyors piackutatás után kiderült, hogy teljesítmény súlyarányban sokkal gyengébbek, mint egy hasonló tömegű pneumatikus rendszer, és hatalmas áramot vesz fel kiugrás szerűen, ami nem tenne jót az elektromos rendszerünknek hosszú távon. [2] [3]

5.1 Irodalomkutatás

Miután megbizonyosodtunk róla, hogy pneumatikusan lenne a legoptimálisabb megoldani a váltás aktuálást, komoly utánajáráásra volt szükség, hogy az eddigi rendszerünket minél könnyebbre és szerelhetőre tudjuk váltani. Az első kutatási forrás, amit felkerestem az különböző Formula Student csapatok dokumentációi és szakdolgozatai erről a témáról. Megvizsgáltam az ő megközelítéseiket is, milyen változtatásokat használnak a mi rendszerfelépítésünkhöz képest. Kiderült, hogy ez a pneumatikus váltásrendszer egy már

nagyon régóta bevált megoldás a verseny történetében, a belső égésű hajtáslánccal rendelkező csapatok már a 90-es évek óta ezt a módszert használják. Két munkahenger, egy, ami a kuplung benyomó tengelyre van csatlakoztatva, és egy, ami a váltókart mozgatja. A motorkerékpárokból adoptált motoroknál ez egy munkahengerrel megoldható, hiszen úgy vannak kialakítva, hogy a váltókart fel és le mozgatva tud az ember szekvenciálisan fel és leváltani a fokozatok között. A kuplungra csatlakoztatott munkahengert egy proporcionális szeleppel vezérlik, vagy a nyomást lehet állítani ezzel a munkahenger által kifejtett erőt szabályozva érik el a pozíció szabályzást, vagy egy térfogat áramot állító szeleppel változtatják a kuplung behúzásához és kiengedéséhez szükséges időt.

5.2 Piackutatás

Az alkatrészek kiválasztásához szükséges az elérhető lehetőségek ismerete. Először a minket szponzoráló cégek termékkínálatát kezdtem átnézni. Az SMC katalógusaiban megtalálható termékek közül a kompakt megoldásokat kerestünk.

Proporcionális szelepet az Aventics (Emerson) és SMC termékei közül kerestünk, fő szempontok a megfelelő térfogatáram és kis tömeg volt. A vezérlés paraméterei és az elérhető verziók tápfeszültségei is eltérőek voltak, ezért az ezekhez gyártandó elektronikai rendszer tervezése és annak bonyolultsága is segített szűkíteni a választható komponensek közül.

Ezen felül a többi Formula Student csapathoz hasonlóan a nagy nyomású tartályhoz Paintball palackot kerestünk, a magas terhelhetőség, rezgésállóság és kis térfogat miatt, és a bevizsgáltatást is könnyebbé teszi mert sokkal több helyen tudják ezt elvégezni, valamint az ilyen palackhoz használt kiegészítők és reduktorok sokkal nagyobb számban elérhetőek. [4]

5.3 Elérhető megoldások

A Palackra a különböző Paintball áruházak kínálatát vettük figyelembe. Két elterjedt palack típus létezik, kompozit és alumínium. A kompozit palackok nagyságrendekkel könnyebbek, mint az alumínium, viszont a legkisebb ilyen palack 0,8 literes űrtartalommal elérhető, viszont ezek még így is sokkal könnyebbek, mint a legkisebb elérhető alumínium változat.

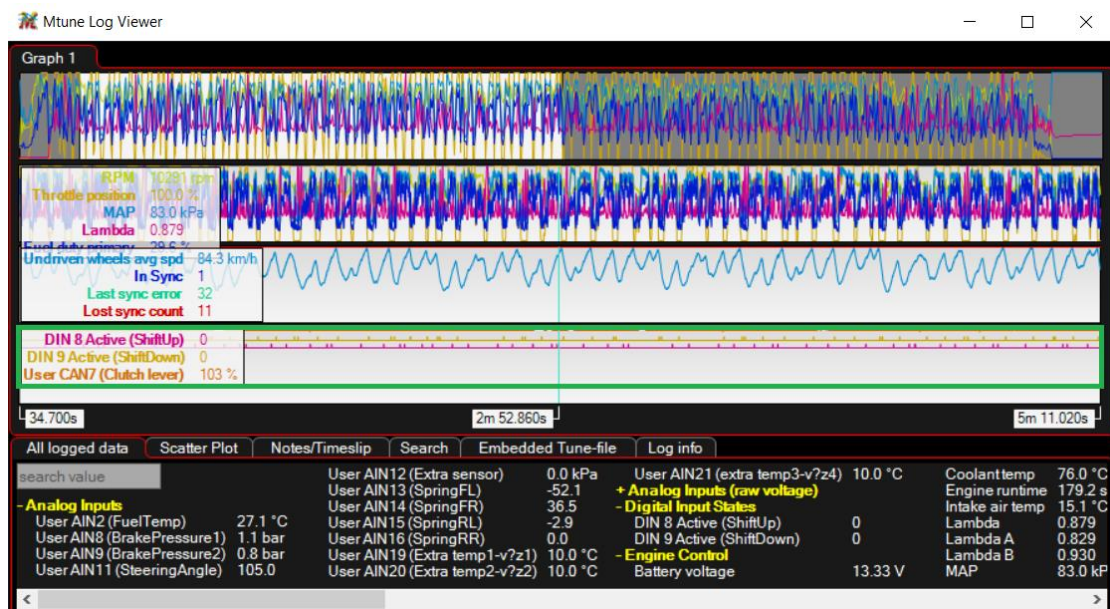
A reduktor szintén paintball kiegészítő, az itt használt reduktorok közül több termék is a finomhangolhatóságra van tervezve, némelyik akár 0 és 10 bar között állítható kimeneti nyomásértékkel rendelkezik. Emellett a kész paintball puskákon használt reduktoroknak van még egy jelzője, egy lövés/másodperc érték, amiből a puskacső méretével átszámolva megkapjuk a reduktor maximális térfogatáram értékét.

6 Mérések

A rendszer méretezéséhez tudnunk kell annak igényeit. A maximális rendszernyomás 10 bar lehet, viszont a folytonos és gyors működés miatt ezt egy maximális 8 bar-ra limitáltuk a komponensek élettartamának növelése érdekében.

6.1 Telemetria adatok elemzése

Az autón elhelyezett telemetria rendszer minden szenzorértéket figyel, és minden a motorvezérlőn átmenő jelet is feljegyez, így ezek vizsgálatával pontos értéket kapunk a váltás és a kuplung használatáról különböző versenyhelyzetekben. A váltások számát és a köztük eltelt időt is megtudjuk mondani, ez például a nagynyomású levegős palack méretezéséhez kell.



[2. ábra]

6.2 Fékpados terheléses tesztelés

A váltásnál használt munkahenger méretezéséhez tudnunk kellett az erőt, amivel a váltókart tolnunk vagy húznunk kell a fokozatok közötti váltáshoz. Ennek a mérését úgy terveztük, hogy egy 25mm-es dugattyúátmérőjű munkahengert csatlakoztattunk a váltókarra, és egy reduktorral állítottuk a bemenő nyomást, és azt állítva megkaptuk a váltásokhoz szükséges minimum erőt.

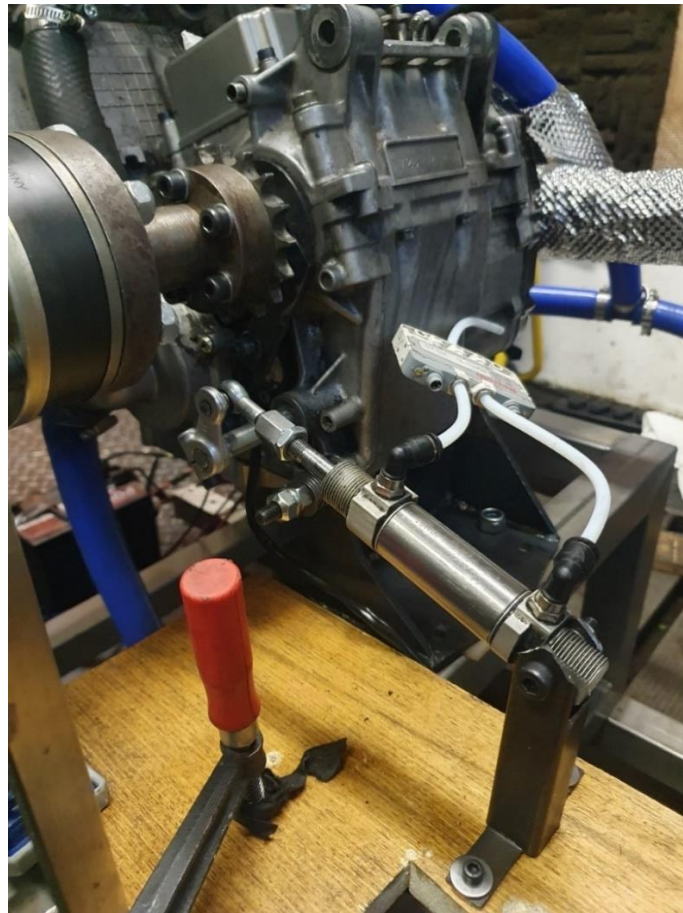
Tisztában voltunk a szükséges nyomással és dugattyú átmérőjével, így könnyen ki lehetett számolni a szükséges erőt az alábbi egyenletet használva:

$$(1) F_1 = P \times A_1 = P \times (\pi/4) \times D^2$$

Ahol:

- F = A váltáshoz szükséges Erő
- P = A munkahengerben fennálló nyomás
- D = A munkahenger dugattyújának átmérője

A nyomás érték, ahol minden fokozaton elsőre sikerült átváltani 3bar (289 579.806 Pa). Ezzel egy 142.15 N értéket kapunk. Ez az a minimum érték, ami a munkahenger kimeneti ereje kell legyen ahhoz, hogy a váltásrendszer működőképes legyen.



[3. ábra]

7 A tervezés menete

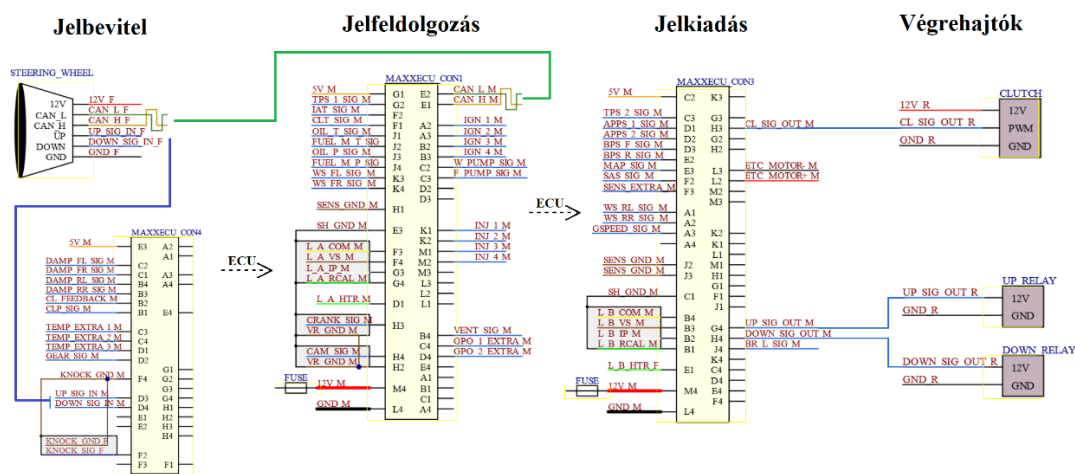
A megvalósítás előtt figyelembe vettem az általunk kiválasztott komponensek elérhető változatait és első lépésként el kellett dönteni az alap rendszerfeszültséget. A gyártásautomatizálásnál használt ipari pneumatikus termékekre jellemzőbbek a 24 V-os rendszerek, ha ezt mi is adoptálnánk sokkal nagyobb termék szelekcióból tudnánk választani. Ehhez egy saját vezérlő nyákot kellett tervezni, ami az autó 12 Voltos elektronikai rendszer alapfeszültségét átkonvertálja 24 Voltra ezzel az elektropneumatikus rendszernek tápfeszültséget biztosítva. Erre a feladatra egy MC34063-as kapcsolóüzemű feszültségátalakító integrált áramkört választottam, a szelepek átlag áramfelvételét megvizsgálva ez teljesen megfelel a maximális 1,5 Amperes kimenő áramkorlátával.

A proporcionális szelep még egy 0 és 10 Volt közötti analóg jelet is felhasznál, ezzel állítva a minimum és maximum nyomás közötti értéket, amit a munkahengernek lead. Az áramkör megtervezése így még egy 10 voltos feszültségforrást igényel, amit egy tervezérlésű

tranzisztorral és impulzus szélesség modulációval lehet változó feszültségű analóg jellé átalakítani.

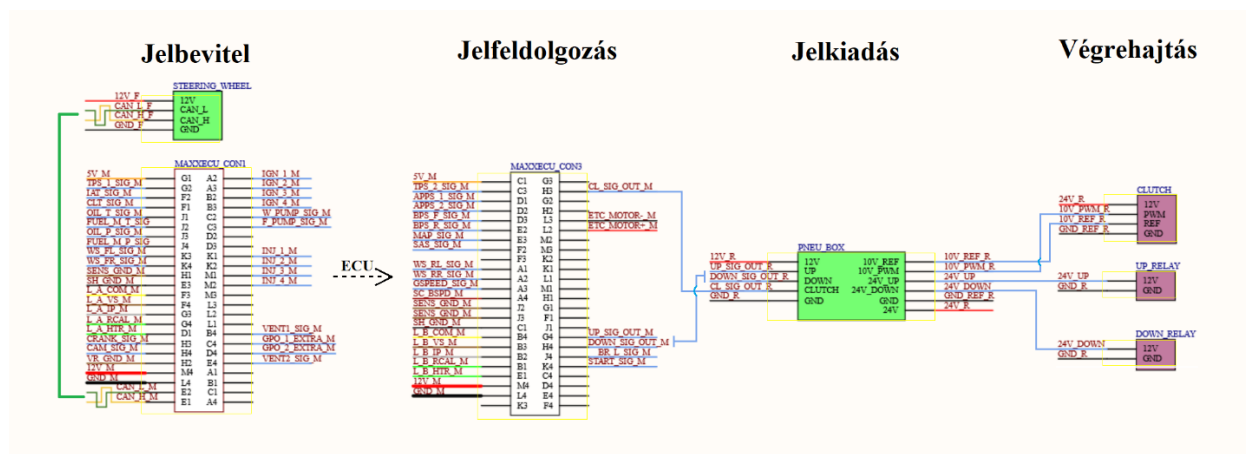
7.1 Rendszerterv

A 2022-es szezonban az elektropneumatikus szelepek működtetését teljes mértékben az autóban megtalálható elektromos motorvezérlő számítógép végezte. A bemeneti jelet a kormányon elhelyezett pilóta által kezelt pillangó karoktól kapta. Egy fel egy leváltást vezérlő kapcsoló, és egy kuplung állást szabályozó potenciométerre kötött kar. Ezeket az értékeket a motorvezérlő feldolgozta, és a váltás szelepen található szolenoidokat 12 Volttal aktiválta, a proporcionális szelepnek pedig impulzus szélesség modulációval vezérelte.



[4. ábra]

A 2023-as szezonban viszont a szelepek vezérlését átvette egy különálló nyák, ami az fent vázolt szabályzási mód mellett a már említett kapcsolóüzemű feszültségátalakítót is tartalmazta, ezzel tehermentesítve a motorvezérlőt. Emellett egy ATmega328-as mikrokontrollernek is helyet kapott, ami a bemenő jeleket megfigyeli és a proporcionális szelepet vezérelve a munkahenger pozícióját pontosan állítja be, és visszajelzést kap egy D-MP025 Aktuátor pozícióérzékelő szenzortól ezzel mindig a kívánt értéket tudja elérni. [5]



[5. ábra]

7.2 Alkatrészek méretezés

Mivel tisztában vagyunk az értékekkel így a kiválasztott munkahenger típusból a legkisebb elérhető dugattyúátmérőjűt választottuk mivel az is egy 1.8 szorosát tudta nyújtani, ami egy nagyon jónak mondható biztonsági tényező.

A nagynyomású palack méretezésénél a telemetriai adatokat használtuk fel. Tudtuk, hogy hányszor váltunk, hogy mekkora a munkahenger térfogata és a benne uralkodó nyomás és így ki tudjuk számolni, hogy egy váltásnál mennyi levegőt használunk el.

$$(2) n = PV / RT$$

Ahol:

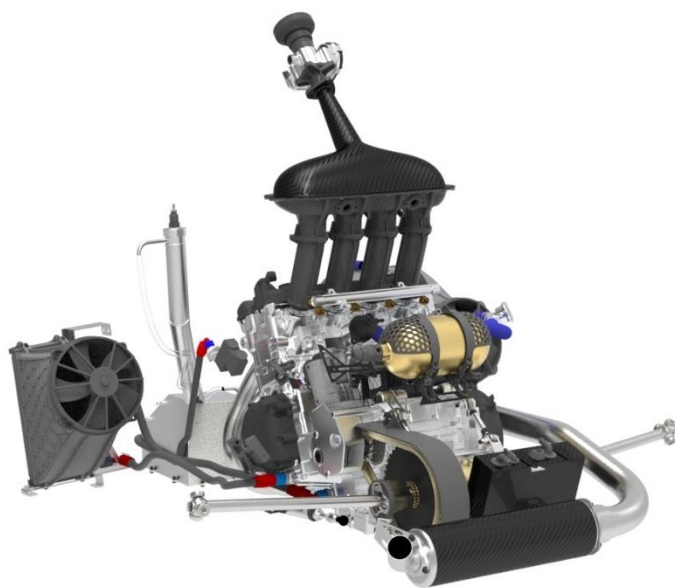
- n = hány mol anyag van a palackban
- P = nyomás
- V = térfogat
- R = egyetemes gázállandó
- T = a levegő hőmérséklete

Ez után a kapott mol anyagot beszorozzuk annak moláris tömegével. Ezt az egyenletet használva megkapjuk, hogy az eddigi 1,1 literes palackban 200 bar nyomáson 143 liter levegő van sűrítve. Egy 20mm dugattyúátmérőjű 25 mm-es löketű munkahengerben 8 bar nyomáson 0,1 liter levegő van sűrítve. Ezeket a számokat és a telemetria adatokat felhasználva futtattunk egy kör szimulációt MatLab-ban, és végeredményül az jött ki, hogy egy 1 literes palackkal 1426-szor lehet váltani mire a palackban lévő nyomás 8 bar alá esne.

Visszanézve a versenyen szerzett adatokat átlagosan a leghosszabb versenyszámban átlagosan 250 váltás történik. Ez a nagy különbség indokolja egy kisebb palack használatát amivel nagyon sok súlyt tudnánk megspórolni. Az általunk talált legkisebb kompozit anyagú palack 0,8 literes űrtartalmú volt, ezzel 1029 szer tudunk váltani, ami egy nagy biztonsági tényezőt jelent, és összeségében is így több mint 400 grammot tudunk megspórolni.

7.3 Alkatrész választás

A komponensek kiválasztásánál nagy segítségemre volt a teljes autó modell, amiben minden részegység össze van gyűjtve, és a különböző koncepciókat sokkal könnyebben ki lehet próbálni. Az általunk kiválasztott lehetséges alkatrészeket a műszaki rajzok segítségével lhelyeztük a CAD modellben, és így az elhelyezéssel, szerelhetőséggel, és tömegközéppont változásról is azonnali visszajelzést kaptunk.



[6. ábra]

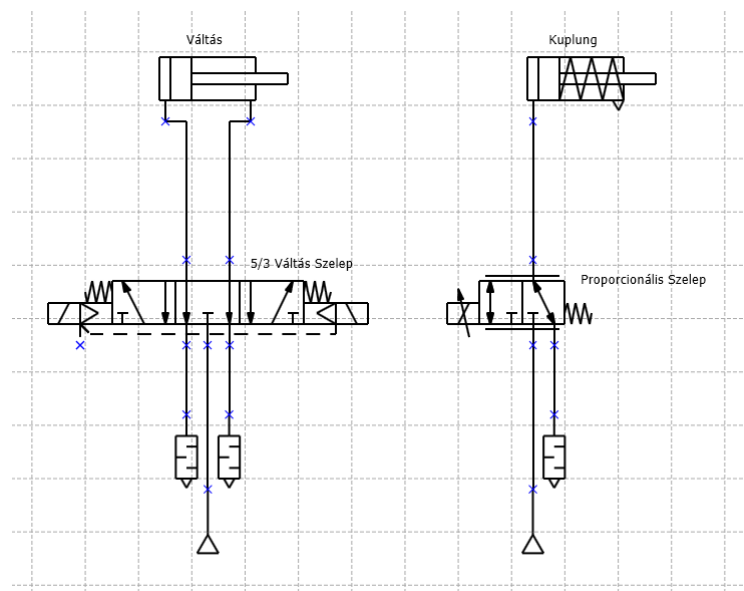
| BME Motorsport | FRC 09 | | | FRC 10 | | | spórolás (g) |
|----------------------------|----------|--------------------------|----------|----------|------------|---------|--------------|
| | gyártó | név | súly (g) | gyártó | név | súly(g) | |
| proporcionális szelep | Aventics | R414002401 | 433 | SMC | ITV005 | 100 | 333 |
| váltás szelep | Haffner | MH531701G | 360 | Aventics | R422103586 | 63 | 297 |
| váltás munkahenger | Aventics | 822034202 | 255 | SMC | CG3BN2025 | 115 | 140 |
| kuplóg munkahenger | SMC | CDG3BN4025 | 346 | SMC | CG3BN2025 | 115 | 231 |
| palack | Empire | 1.1 L HPA | 1060 | Armotech | DYE 0.8 L | 616 | 444 |
| palack levegő (1.1 -> 0.8) | - | - | 428 | - | - | 297 | 131 |
| regulátor | Balystik | HPR800C + centerflag 420 | 250 | ZimKyfa | 0-160psi | 218 | 32 |
| Összesen (g) : | 3132 | | | 1524 | | | 1608 |

[7. ábra]

7.4 Elektropneumatikai vezérlés

A vezérléshez szükséges egy váltás szelep, aminek 5/3-as, középhelyzetben a munkavezetékeket leszellőztető váltószelep, a behúzó tekercseit az erre tervezett nyák vezérli. Erre a szelepre csatlakozik rá a váltást végrehajtó munkahenger, a nagynyomású palackon található reduktor, és két hangtompító, ami a munkahenger leeresztése közben kifújott levegőnek a hangerejét csökkenti.

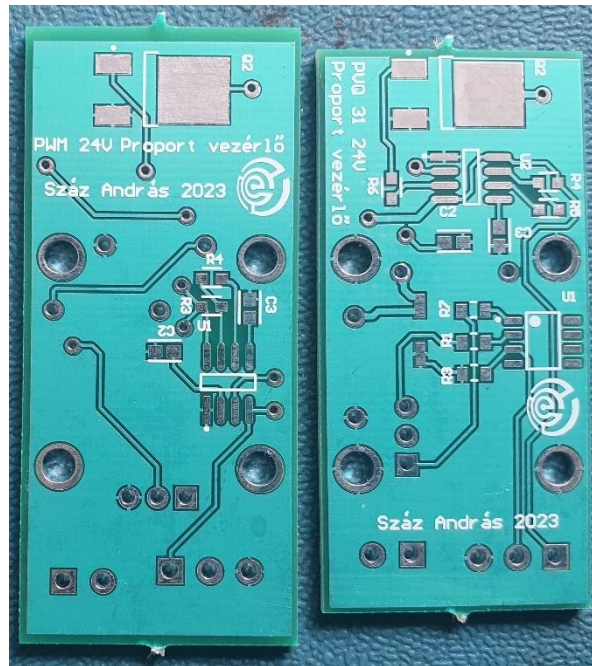
A kuplung munkahengert egy monostabil egyszeres működésű munkahengernek lehet venni mivel a kuplung rugók mindig visszatolják az alaphelyzetbe, így arra csak a benyomáshoz szükséges oldalon van csatlakoztatva a proporcionális szelep, aminek a vezérlését szintén az erre tervezett nyák végzi. A szelepre szintén rá van kötve a reduktor által biztosított levegőellátásra és ezen a szelepen is található egy hangtompító.



[8. ábra]

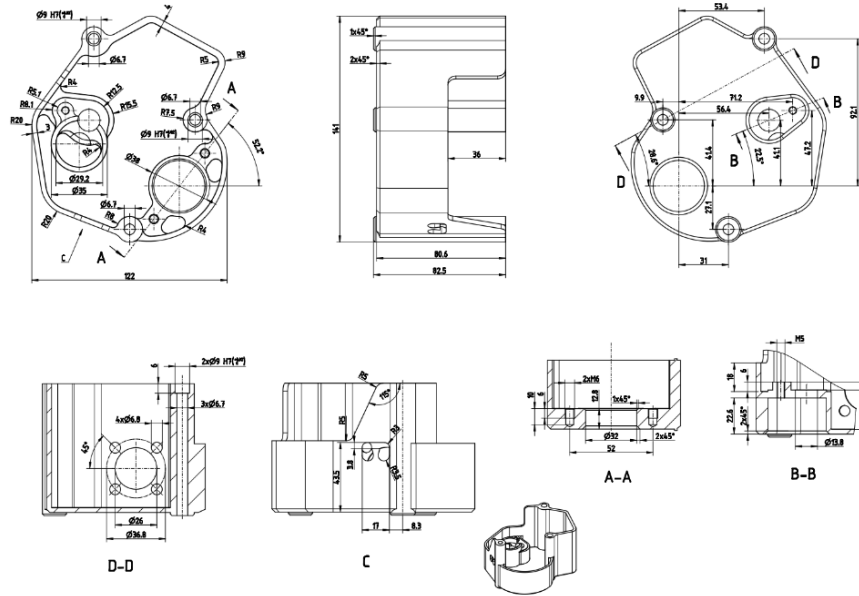
8 Gyártás és beszerzés

A nyák tervének véglegesítése után azt kiküldtük gyártásra. A rendszer elektronikai elemeit az áramkör alapján megrendeltük és miután minden megérkezett azok beültetésre kerültek a kész nyákon. A mikrokontrolleres tesztnyák is összeállításra került, és az általunk eddig ismert változókkal elkészült egy alap programkód, amiben a tesztek során változó paraméterek szabadon lettek hagyva.

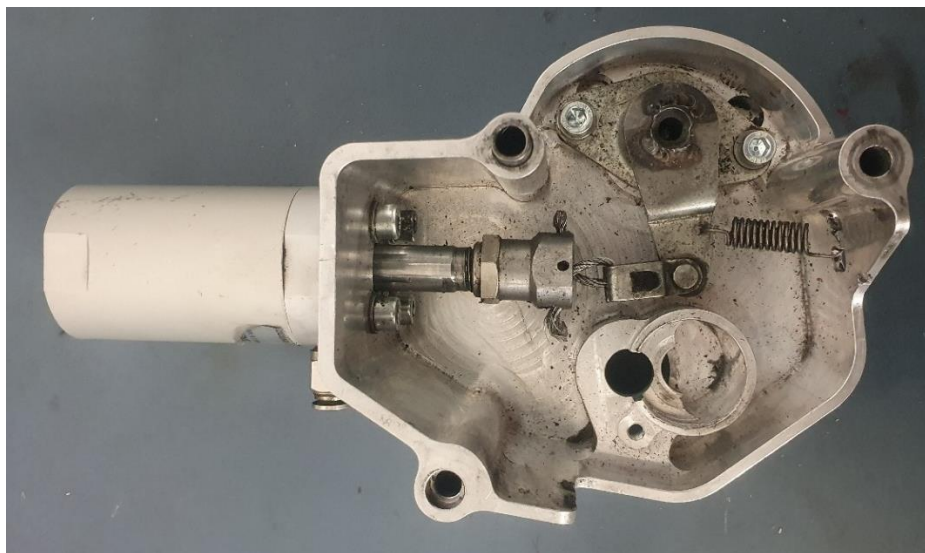


[9. ábra]

A munkahengereket és szelepeket megrendeltük, valamint a szükséges pneumatikai kiegészítőket a rendszer összerakásához. A reduktor és a palack megérkezte után minden azokban felhasznált tömítésekből rendeltünk cseredarabokat. Bemodelleztük az összes komponens és a reduktor kimenő nyomását állító dugattyú menetes rugófesztő alkatrészéről készült műszaki rajz is, amit egy esztergálással foglalkozó cégnek elküldtük hogy legyen pótalkatrészünk ha a tesztek vagy a verseny szezón alatt bármilyen gond adódna vele, mivel ez az a kritikus komponens ami a legkönnyebben meghibásodik.



[10. ábra]

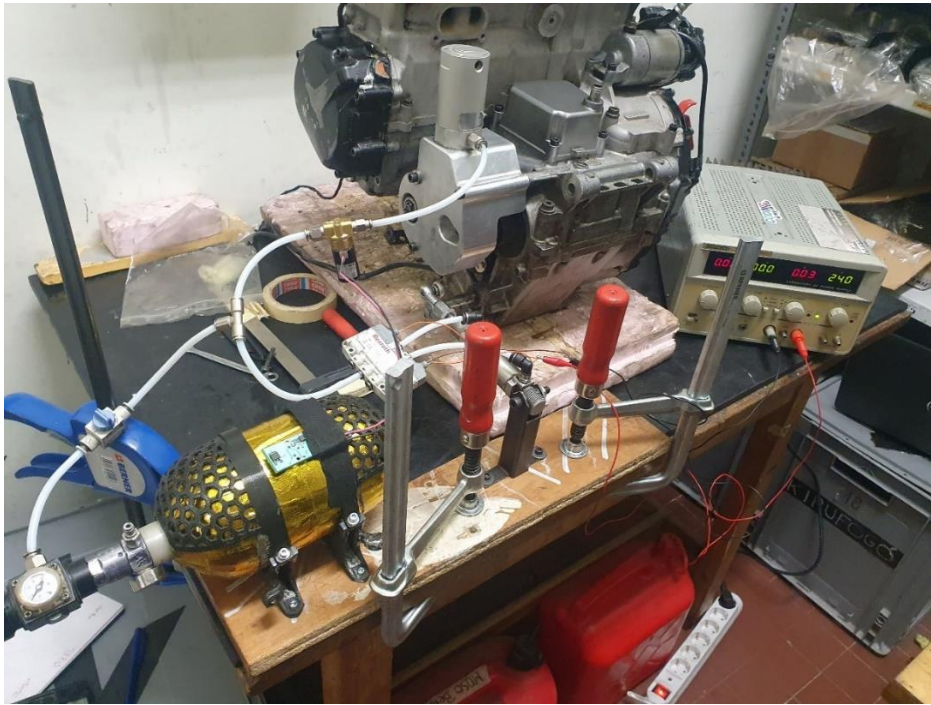


[11. ábra]

9 Tesztelés

Miután minden komponens megérkezett el lehetett kezdeni a teljes rendszert összerakni és részegységként letesztelni. Az első tesztek csak a műhelyben történtek és a reduktor nyomásértékének beállításával, a kuplung felfogatás kipróbálásával, a szelepek összekötésével és a levegőellátás összekötésével teltek.

9.1 Vezérlés tesztelése



[12. ábra]

9.2 Pneumatikai rendszer tesztelése

A Formula Student versenyekre a nevezés előtt kell egy dokumentációt készíteni, amit a verseny időpontja előtt egy hónappal be kell adni. Ennek a dokumentációnak részét képezi egy felvétel, ahol bemutatjuk, hogy a versenyautó képes elindulni és végig menni egy szlalompályán önerőből. Ez egy hétig tartó előkészületet jelentett a csapatnak, többek között itt volt először tesztelve az autó pneumatikus rendszere már a végső helyére beépítve a vázba.

A magasnyomású levegős palackot elláttuk hővédelemmel, egy hővisszaverő bevonatú ragasztószalaggal borítottuk be a külsőjét. A proporcionális szelep beállításait az általam írt programmal itt finom hangoltuk, a kuplung behúzására szükséges működési távot kerestük, és ahhoz igazítottuk a motorvezérlőtől kapott kormányon található kuplung kar jelét.

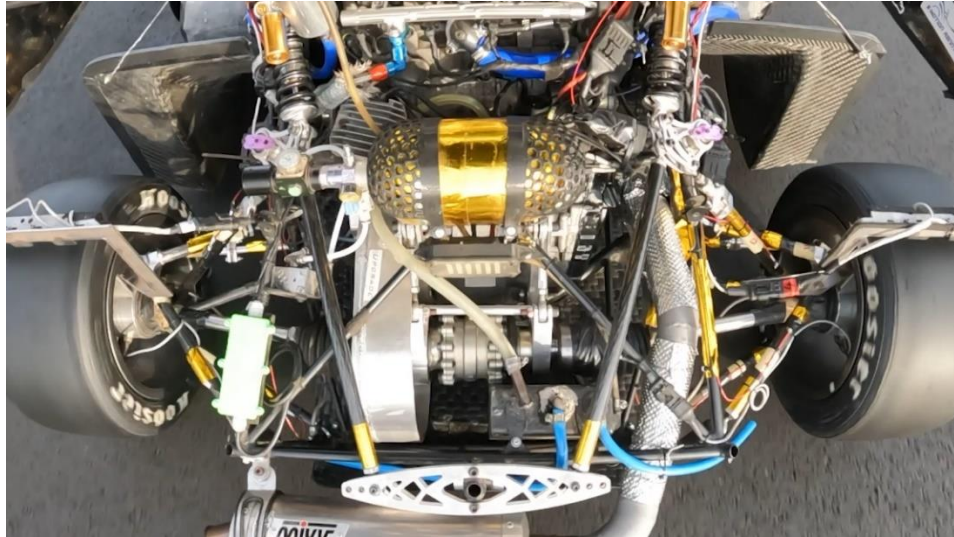


[13. ábra]

9.3 Teljes autós tesztelés

Miután megbizonyosodtunk, hogy a rendszer autón kívül működik, az elektronikai rendszer kábel korbácsának gyártása következett. A rendszerterv alapján végig haladtunk a ki- és bemeneteken, az autó modelljét felhasználva a komponensek helyét véglegesítettük a valós vázon majd a programban lemértük a kábelek távolságát. Ezután a korbácson használt jelrendszerrel elláttuk a kábeleket és összeraktuk a csatlakozókat. Mindent elhelyeztünk a végleges pozíciójában és a szabályzatnak megfelelően rögzítettük az elemeket a vázhoz.

Az első éles teszt júliusban volt, amikor is a csapat lehetőséget kapott az egyetemről az autó tesztelésére a Zalaegerszegi ZalaZone tesztpályán. A rendszer az első beüzemelésétől kezdve tökéletesen működött, a reduktornál található tömítésekkel volt csak probléma, de szerencsére azt gyorsan tudtuk orvosolni, így nem veszítettünk értékes teszteléssel tölthető időt. Mind hosszabb és rövidebb versenyszámok tesztkörülmezeit is teljesítette, ezzel megerősítve, hogy a palack légkapacitása is és a szelepek gyorsasága is jól lett méretezve.



[14. ábra]

9.4 Kalibrálás

A proporcionális szelep működtetésére használt nyák bemenetét rákötöttük a mikrokontrollerre, ami pedig a motorvezérlőtől kapta a jelet a kívánt pozícióról, és a pozíció szenzortól kapott visszajelzést a tényleges munkahenger állásról, ezt a két értéket egy egyszerű programot megírva hangoltuk össze. A mikrokontroller megkapja a kívánt értéket, és mivel a kuplung benyomásához szükséges kifejtendő erő állandó, átszámolja azt nyomásértékre, amit a proporcionális szelepnek továbbít. A munkahenger elkezd elmozdulni, amit a mikrokontroller a szenzor segítségével érzékel, és amint elérte a kívánt pozíciót megállítja a nyomás növekedését és azon a szinten tartja ameddig nem változik a motorvezérlőtől kapott érték.



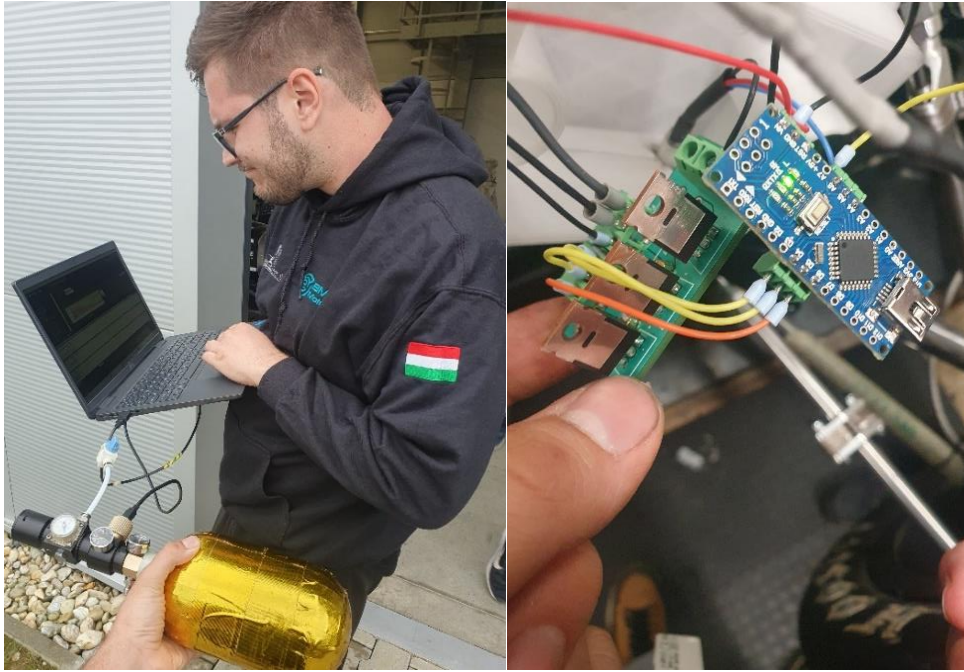
[15. ábra]

9.5 A versenyek

Az első verseny augusztus első hetében volt, a tesztek alatt kikapasztaltuk a rendszer gyengepontjait, minden 3D nyomtatott felfogatásból gyártottunk tartalékot, emellett a rendszerben található összes tömítést lemértük és mindegyikből vittünk magunkkal, ha esetlegesen valahol meghibásodna. A különböző tesztek során a rendszer több mint 300 kilométert tett meg, bármilyen meghibásodás nélkül.

A versenyek során felmerülő problémák a tömítéseket érintették, ezeket gyorsan javítottuk, és egyszer az egyik versenyszám során anyagfáradásnak köszönhetően eltörtött egy futómű alkatrész, ami a jobb hátsó kerék lengés csillapítását érintette, ezzel az autó vázának hasmagassága lecsökkent és az egyik futómű rúd nekifeszült a nagynyomású levegős palack felfogatásának, ezzel eltörve azt. szerencsére a palack több ponton is rögzítve van így abban ez nem okozott kárt, viszont a következő versenyszámig ki kellett cserélni a sérült rögzítő elemet.

A versenyek sikeresen zárultak, a váltásaink a telemetriai adatokat visszanezve 200 milliszekundum alatti idő alatt mentek végbe, amivel csökkentettük az időt, amíg a belső égésű motor nem hajtja a kerekeket.



[16. ábra]

10 Összefoglalás

Ez a dolgozat a BME Motorsport csapat Formula Student versenyautójának egyik részfeladatát foglalja össze. A Formula Student egy konstruktóri versenysorozat, ami egy olyan összetett projekt, amely magában foglalja a tervezést, a gyártást, a tesztelést és a versenyzést. Segíti a résztvevő hallgatókat abban, hogy az elméletet átültessék a gyakorlatba, ezáltal kamatoztassák műszaki tudásukat és feladatmegoldó képességüket.

A 2022-23-as szezonban az egyik feladat az FRC-X váltás pneumatikájának megtervezése és annak karbantartása.

A fő cél a váltások idejének és a rendszer tömegének csökkentése, a nagynyomású palacknál használt regulátor térfogatáramának növelése, a rendszer strapabíróságának és megbízhatóságának javítása és a könnyebb szerelhetőség.

A munkahenger kiválasztása után egy új kuplung proporcionális szelepre is szükség volt, a könnyebb és pontosabb vezérelhetőség miatt.

A rendszer alapvetően két munkahengerből áll, az egyik a gyári motor váltó karját mozgatja, a másik pedig a kuplung kinyomó tengelyt húzza. A váltókart előre és hátra (fel vagy le váltásra) egy 5/3-as középhelyzetben a munkavezetékeket leszellőztető elektropneumatikus szelep váltja, a kuplungot pedig egy proporcionális elektropneumatikus szelep működteti.

A proporcionális szelep vezérléséhez egy egyedi nyákot kellett tervezni. A kormányon elhelyezett kuplung kar egy potenciométerre van kötve, ami a motorvezérlőnek küldi a jelet, az pedig egy 0 és 5 Volt közötti analóg jellé alakítja, ezzel kapok egy 0 és 100% közötti értéket. Ezt az értéket pedig a proporcionális szelepnek egy 0 és 10 Volt közötti feszültségre kell átfordítani, amivel a szelepen leadott nyomást lehet állítani.

A tervezett vezérlő nyák mellett egy tesztelésekre fejlesztett mikrovezérlős irányításra is szükség volt, ami a kuplung munkahengerre felfogatott pozíció érzékelő szenzorral validálja a kuplung pontos behúzásának mértékét, és segíti a kalibrációt, hiszen a behúzás mértéke nem lineárisan megegyező a kuplung működési távolságával, ezt a görbét megtalálva lehet biztosítani a pilótának a kuplung karon a lehető legnagyobb hasznos utat, ezzel segítve a pontos fogási pont megtalálását, az elindulást és a váltások idejének rövidítését.

11 Summary

This text provides an overview of a part of a project related to the BME Motorsport team's Formula Student race car. Formula Student is a construction competition series that involves complex projects, including design, manufacturing, testing, and racing. It helps participating students bridge the gap between theory and practice, allowing them to apply their technical knowledge and problem solving skills.

In the 2022-23 season, one of the tasks is to design and maintain the pneumatic shifting mechanism of the FRC-X transmission. The main goal is to reduce the time required for shifting and the system's weight, increase the volumetric flow rate of the high-pressure regulator, improve the system's durability and reliability, and make assembly easier. After selecting the pneumatic cylinder, a new proportional valve was also needed for better and more precise control.

The system primarily consists of two pneumatic cylinders: one controls the internal combustion engine's transmission lever, and the other pulls the clutch release shaft. Shifting the lever forward and backward (up or down) is achieved using a 5/3 electro-pneumatic valve, while the clutch is operated by a proportional electro-pneumatic valve.

To control the proportional valve, a custom circuit board had to be designed. The clutch lever on the steering wheel is connected to a potentiometer, which sends a signal to the motor controller. The motor controller converts this signal into an analog signal ranging from 0 to 5 volts, providing a value between 0 and 100%. This value needs to be converted into a voltage ranging from 0 to 10 volts to adjust the pressure of the valve.

In addition to the planned control board, a microcontroller-based control system was developed for testing purposes. This system uses a position sensor attached to the clutch pneumatic cylinder to validate the degree of clutch engagement, helping with calibration. Since the degree of engagement is not linearly related to the clutch's operational distance, finding this curve allows the driver to have the maximum useful travel on the clutch lever, assisting in finding the precise engagement point, improving launches, and reducing shift times.

12 Irodalomjegyzék

[1] 2023-es Formula Student versenysorozatra kiírt szabályzat:

https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2024/rules/FS-Rules_2024_v1.0.pdf

[2] ANDREW J. Kennett. *Design of a pneumatically assisted shifting system for Formula SAE® racing applications*. Massachusetts Institute of Technology, 2008.

[3] JONATHAN JAMES REES. *Pneumatic shifting system for a combustion Formula Student car using LabVIEW and myRIO*. Cardiff University, 2016.

[4] ASHTON BRESSLER. *Formula-SAE: Shift System and Controls*. Virginia Commonwealth University, 2015.

[5] RICHARD PITTMAN. *Formula SAE Paddle Shift System*. University of Central Florida, 2015.

13 Ábrajegyzék

- [1] (Az FRC-X modellje)
- [2] (Telemetria adatok elemzése a nagynyomású palack méretezésének számításához)
- [3] (Fékpádon végzett tesztelés a váltókar fokozatainak kapcsolásához szükséges erő mérésére)
- [4] (A 2022-es szezon elektropneumatikus vezérlésének rendszerterve)
- [5] (A 2023-as szezon elektropneumatikus vezérlésének rendszerterve)
- [6] (Részletes modell az autó pneumatikus rendszer elhelyezéséről)
- [7] (Alkatrészlista és a végleges rendszer össztömegének számítása)
- [8] (A váltás- és a kuplungrendszer pneumatikus kapcsolási rajza az SMC PneuDraw programban.)
- [9] (Legyártott nyákok komponens beültetés előtt)
- [10] (A kuplung munkahenger felfogatás gyártásra kiküldött műszaki rajza)
- [11] (Kovács Gábor (Design csoporttag) által tervezett kuplung munkahenger felfogatás)
- [12] (A motorra felhelyezett elektropneumatikai rendszer tesztelése a saját tervezésű vezérlő nyákkal)
- [13] (A Proporcionális szelep tesztelése és munkahenger behúzási erejének tesztelése és validálása)
- [14] (A rendszer első éles teszthelyzetben a ZalaZone tesztpályán)
- [15] (A kuplung munkahengeren elhelyezett D-MP025 pozíció visszajelző szenzor kalibrálása)
- [16] (Az utolsó teszten a motorvezérlőben található kuplung paraméterek véglegesítése a mikrokontrolleren)

14 Nyilatkozat

Alulírott *Száz András*, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának Mechatronikai mérnök szakos hallgatója nyilatkozom, hogy az „FRC-X versenyautó pneumatikus váltásrendszerének fejlesztése” - címmel a 2023-as évben írt és bírálatra beadott dolgozatom a saját munkám eredménye, amelynek elkészítése során a felhasznált irodalmat a szerzői jogi szabályoknak megfelelően kezeltem (a szükséges lábjegyzet/ végjegyzet hivatkozásokat, valamint az ábrák hivatkozását megfelelően helyeztem el).

Budapest, 2023. november 03.

Száz András, (K1L9Y5)

15 Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni a segítségét azoknak, akikre a munkám során számíthattam!

- Farkas Zsolt
- A BME Motorsport csapata, kiemelném:
 - Balogh Eszter Elektronika csoport vezető
 - Gál Péter Hajtáslánc csoport vezető
 - Havasi Marcell Főszerelő
 - Mihók Márton Főmérnök
- Dr. Szabó Tibor
- SMC Hungary Kft. a támogatásért
- ZalaZone tesztpálya
- Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék MT épületi fékpad használati lehetőségéért