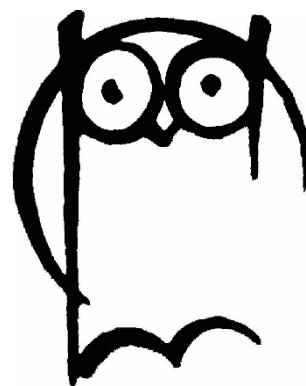


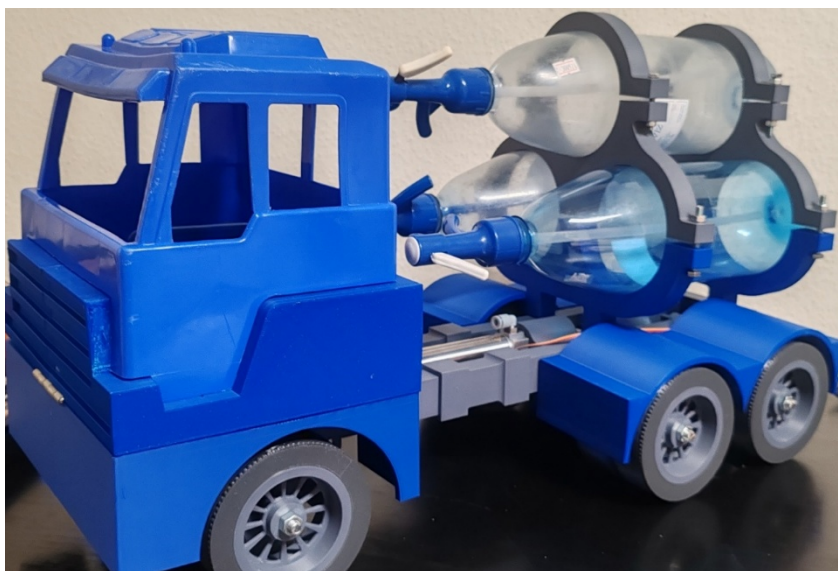
Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Gépészmérnök Tanszék



## **Pneumatikus vezérlésű teherautó**



Szerző(k): **Tóth Máté Gépészmérnök BSc hallgató**

Témavezető(k): Domokos István

Géresi Zoltán Gergő

Tanszékvezető: Dr. Mankovits Tamás

Debrecen

2024.

## Tartalom

|            |                                                            |    |
|------------|------------------------------------------------------------|----|
| <u>1</u>   | <u>Bevezetés és célkitűzés</u>                             | 4  |
| <u>2</u>   | <u>Pneumatika</u>                                          | 5  |
| <u>2.1</u> | <u>A sűrített levegő, mint a pneumatika alapja</u>         | 5  |
| <u>2.2</u> | <u>A levegő fizikai tulajdonságai, törvényszerűségei</u>   | 6  |
| <u>3</u>   | <u>A sűrített levegő előállítása</u>                       | 7  |
| <u>4</u>   | <u>A sűrített levegő a járművek tiszta hajtásáért</u>      | 8  |
| <u>5</u>   | <u>A tervezés korai fázisa, megoldási lehetőségek</u>      | 12 |
| <u>5.1</u> | <u>Első megoldási lehetőség: modell autó alváz</u>         | 12 |
| <u>5.2</u> | <u>Második megoldási lehetőség: Játékautó</u>              | 13 |
| <u>5.3</u> | <u>Harmadik megoldási lehetőség: 3D nyomtatás</u>          | 14 |
| <u>5.4</u> | <u>Tervezőprogram választás, Creo 8 előnyei</u>            | 16 |
| <u>6</u>   | <u>Tervezés és kivitelezés</u>                             | 18 |
| <u>6.1</u> | <u>Hajtás</u>                                              | 18 |
| <u>6.2</u> | <u>Kormányzás</u>                                          | 20 |
| <u>6.3</u> | <u>Levegőrendszer fő eleme a szeleptömb</u>                | 23 |
| <u>6.4</u> | <u>Egyéb pneumatika alkatrészek</u>                        | 24 |
| <u>6.5</u> | <u>Elektronika</u>                                         | 25 |
| <u>7</u>   | <u>Biztonság</u>                                           | 27 |
| <u>8</u>   | <u>Hajtáshoz kapcsolódó számítások:</u>                    | 29 |
| <u>8.1</u> | <u>A tartályokban lévő levegő energiatartalma</u>          | 29 |
| <u>8.2</u> | <u>Egyenes vonalú hatótáv:</u>                             | 29 |
| <u>9</u>   | <u>További fejlesztések</u>                                | 33 |
| <u>9.1</u> | <u>Első fejlesztés: csavarok rögzítése</u>                 | 33 |
| <u>9.2</u> | <u>Második fejlesztés: töltőlevegő nyomás szabályozása</u> | 33 |

|                            |                                                                      |    |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------|----|
| <a href="#"><u>9.3</u></a> | <a href="#"><u>Harmadik fejlesztés: leszellőztető szelep</u></a>     | 34 |
| <a href="#"><u>9.4</u></a> | <a href="#"><u>Negyedik fejlesztés: elem helyett akkumulátor</u></a> | 34 |
| <a href="#"><u>9.5</u></a> | <a href="#"><u>Ötödik fejlesztés: hatótáv növelés</u></a>            | 34 |
| <a href="#"><u>10</u></a>  | <a href="#"><u>Távoli célok</u></a>                                  | 35 |
| <a href="#"><u>11</u></a>  | <a href="#"><u>Összegzés: a megvalósult projekt értékelése</u></a>   | 36 |
|                            | <a href="#"><u>Irodalomjegyzék</u></a>                               | 37 |

# 1 Bevezetés és célkitűzés

Tóth Máté vagyok, a Debreceni Egyetem Műszaki Karán harmadéves gépészmérnök hallgató. A tanulmányaim második félévében jelentkeztem, majd felvételt nyertem az Emerson Automation FCP Kft. és a Debreceni Egyetem duális képzésébe. Az Emersonnál töltött időben mélyebben megismerkedtem a pneumatikával és annak működésével. Az Emerson minden évben megrendezi az Innovetas konferenciát és vele párhuzamosan a Műszaki játszótér nevű, mérnök hallgatóknak szóló versenyt. A verseny célja olyan pneumatikus szemléltető eszközök készítése, amelyek érdekesek lehetnek mind a pneumatikához laikusan állók (például a gyerekek), mind a pneumatikában mélyebb ismeretekkel rendelkezők számára. A cég méltán híres pneumobil versenyére készített néhány pneumobillal és azok működésével is megismerkedhettem, amiből született az ötlet, hogy az Emerson által 2024. évre hirdetett műszaki játszótéren elindulok egy saját tervezésű, mini, távirányítással működő pneumobillal, amivel elnyertem a legkidogozottabb pályaműért járó különdíjat. A dolgozatom alapját az Emerson műszaki játszótér versenye adta, amelyhez elkészítettem a műszaki dokumentációt illetve ismertetném a projektben rejlő további lehetőségeket.



1 ábra, Pneumobil verseny 2019 [1]

## 2 Pneumatika[2]

Kutatások szerint a sűrített levegő a legrégebbi energiaforma, amelyet több évezrede használnak munkavégzésre. Már kétezer évvel ezelőtt volt az első biztosan sűrített levegővel működő gép, (mely egy katapult volt) amelyet a görög KTESIBIOS készített. A levegő munkavégző képességét először időszámításunk előtti első században foglalták írásos keretek közé. Ez a könyv meleg levegővel használható gépeket ír le, mutat be.

A pneumatika szó a régi görög pneuma szóból származik, mely lélegztételre és a szélre volt használatos és bizonyos környezetben (filozófia) még a lélekre is ezt a szót használták. A pneumatika jelentése légmozgások, légfolyamatok tana, mely a legrégebbi ismeretek közé tartozik, az alapjaira vonatkozó kutatásokat csak az 1900-as években kezdték el. A gyártástechnológiában csak az 1950-es évektől jelent meg, míg a bányászatban, a vasutaknál és az építőiparban már jóval hamarabb használták (pl. vonat légfék). Ez a fejlődés mára már nélkülözhetetlenné tette a pneumatika alkalmazását a modern gyáregységekben, a racionalizált gyártás elérése és a könnyű automatizálhatóság miatt.

### 2.1 A sűrített levegő, mint a pneumatika alapja

A pneumatika gyors térnyerése az iparban annak köszönhető, hogy a gépesített majd automatizált gyárakban, gyáregységekben kialakult feladatok elvégzése sűrített levegőn kívül más energiahordozóval csak sokkal drágábban vagy egyáltalán nem is lehetséges.

A sűrített levegő fő előnye, hogy hozzá az alapanyag (levegő) mindenhol elérhető méghozzá korlátlan mennyiségben. A sűrített levegő könnyen szállítható egyszerű csőrendszeren keresztül és jól tárolható tartályokban, aminek köszönhetően nem kell a sűrített levegő előállítását végző kompresszoroknak állandóan üzemelni. Nagy előnye még az extrém körülményekkel szembeni jó tűrőképessége, mint például a magas hőmérséklettel szembeni érzéketlensége, illetve tűz- és robbanás biztos, ez lehetővé téve egyéb biztonsági szerkezetek nélküli alkalmazását ilyen területeken is. Nagy előnye még a tisztaság melynek köszönhetően

a tömítetlen szerkezeteken (pl. hibás csőrendszer) keresztül nem szennyezi be az adott munkaterületet. Ez elengedhetetlen például az élelmiszeriparban, bőriparban. A sűrített levegővel működő munkaeszközök egyszerű felépítésűek ennek köszönhetően olcsók. A pneumatikus rendszerekben a levegő nagy sebességgel halad, amely gyors munkavégzést tesz lehetővé, de ennek ellenére könnyen szabályozható is, amelynek köszönhetően lassabb mozgásokra is használható. A levegő összenyomhatóságából adódóan a rendszerek túlterhelés ellen védettek.

A rengeteg előny mellett sajnos vannak hátrányai is, mint például a gondos előkészítés, aminek köszönhetően megszabadulnak a pneumatikus eszközökre káros hatásokkal lévő víztől és szennyeződésektől. Sűrített levegőt csak magas költségek mellett lehet előállítani, ami az összenyomhatóság miatt nem tud gazdaságosan túl nagy terheket mozgatni.

## 2.2 A levegő fizikai tulajdonságai, törvényszerűségei

Nyomás méréskor megkülönböztetünk túlnyomást, illetve abszolút nyomást. Az abszolút nyomás a mért túlnyomás és a légköri nyomás összegeként értelmezhető. A légköri nyomás függ az időjárástól és a földrajzi helyzettől, ami miatt nehezen lehet vele számolni, ezért egyezményesen 1 bar-ként számoljuk. Az abszolút nyomás lehet negatív érték is ekkor vákuumról beszélünk.

A gázoknak nincs jól meghatározható alakja így a levegőnek sincs, aminek köszönhetően mindig a környezethez alakul, felveszi annak alakját. A Boyle-Mariotte törvény szerint a levegő ugyanúgy képes az összenyomódásra mint a kitágulásra (expandálásra). Ennek pontosabb leírása szerint egy tartályban lévő levegő, állandó hőmérséklet esetén, a levegő nyomása fordítottan arányos a térfogatra. Ezt másként értelmezve elmondható, hogy állandó hőmérsékleten állandó mennyiségű levegőnek a térfogat és nyomás szorzata állandó.

Két tartályban lévő levegő térfogatának hányadosa egyenlő lesz a két tartály hőmérsékleteinek hányadosával. Ennek feltétele az anyagmennyiség változatlansága és az állandó nyomás.

Utolsó általam leírt fizikai tulajdonság a gázok állapot egyenlete másnéven az általános gáztörvény. Ez kimondja, hogy állandó anyagmennyiség mellett a térfogatot és a nyomást összeszorozva majd elosztva a gáz hőmérsékletével egy állandót kapunk.

### 3 A sűrített levegő előállítása[3]

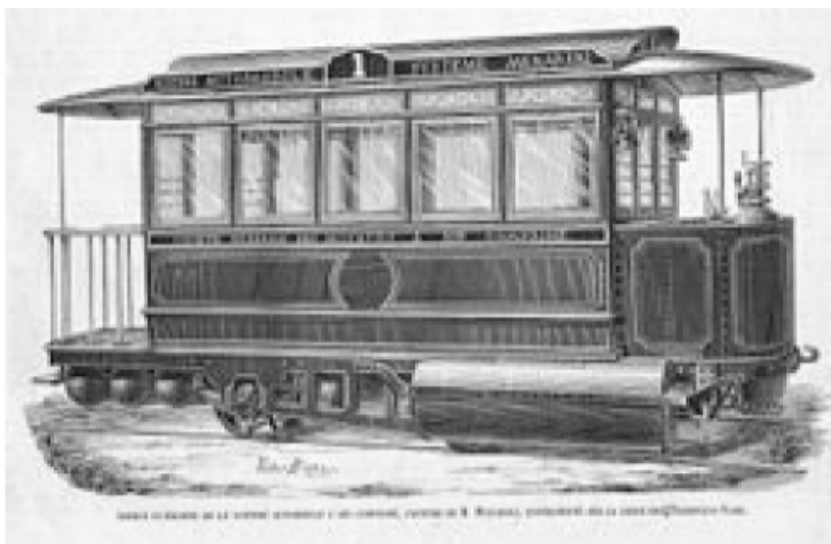
Levegő többnyire atmoszférikus nyomáson fellelhető, de mivel az atmoszférikus nyomásra való expandálásával termel munkát, így azt először komprimálni kell. Ezt valamilyen légsűrítővel lehet elérni, melynek egyszerű mindenki által ismert formája kis mennyiségben egy kerékpár pumpa is lehet. Ezt természetesen az iparban jóval nagyobb kompresszorok végzik, melyeket valamilyen erőforráshoz kötve működtetünk. A nagyobb gyárakban a sűrített levegő kompresszor telepekből érkezik a gyár minden pontjába, ennek köszönhetően nem kell külön sűrített levegő termelő egységeket méretezni minden felhasználási helyen, hanem elég csak a vezérlést és a munkavégző egységeket a gyárban elhelyezni. Léteznek nem telepített (hordozható) kompresszorok is, melyek például az éptőiparban tesznek jó szolgálatot.

A kompresszor telepek méretezésénél nem csak a jelenlegi igényeket kell figyelembe venni, hanem későbbi esetleges bővítéseket is. A kompresszor telepet általában jóval drágább bővíteni, mint eredetileg egy esetlegesen nagyobb megtervezni. Ezek miatt, ha egy bővítés során fény derül a problémára, hogy az eszközök túlterhelik a telepet, az drágább hiba lesz, mint ha eredetileg egy nagyobb telepet építettünk volna be.

A kompresszorok által előállított nyomást általában üzemi nyomásként szoktuk megadni, ami magasabb érték, mint a munkanyomás, amin a tényleges munkavégzés történik (ez általában 6.3 bar nyomásnak fele meg).

## 4 A sűrített levegő a járművek tiszta hajtásáért[4]

A belsőégésű motorok megjelenése előtt széles körben elterjedtek voltak a sűrített levegős hajtásláncok. Erre nagyon jó példa a vasúti közlekedésben megtalálható gőzgép. Ennek oka az egyszerű felépítésük, ami könnyeb szerelhetőséget tesz lehetővé, amire az egyszerűség miatti megbízhatóság miatt ritkán van szükség. Az ezernyolcszázas évek második felében több cég is fejlesztett sűrített levegős lokomotívokat, amelynek eredményeként 1886-ban Luis Mekarski feltalálta a Mekarski rendszert a lokomotívok (2. ábra) meghajtására. Ennek lényege, hogy a sűrített levegőt egy forróvízes tartály segítségével melegíti fel és egyetlen munkahengert használ a hajtásra. Ennek a technológiának a fő előnye a belsőégésű motorokkal szemben, hogy nem termelnek hőt és nem szikráznak. Ezen tulajdonságaik miatt az 1900-as évekig széles körben használták elsősorban az Egyesült Államokbeli szénbányákban. A pneumatika alkalmazása az 1930-as évekre jelentősen visszaesett a belsőégésű motorok elterjedésével. A hetvenes években lévő energiaválság új lendületet adott a kutatásoknak és fejlesztéseknek. Ezen időszak alatt találta fel Joseph P. Troyan is a zárt rendszerű lendkerékkel hajtott járművét. Egy másik egyedülálló példa volt Terry Miller Spirit of Joplin elnevezésű pneumatikus járműve. [5]

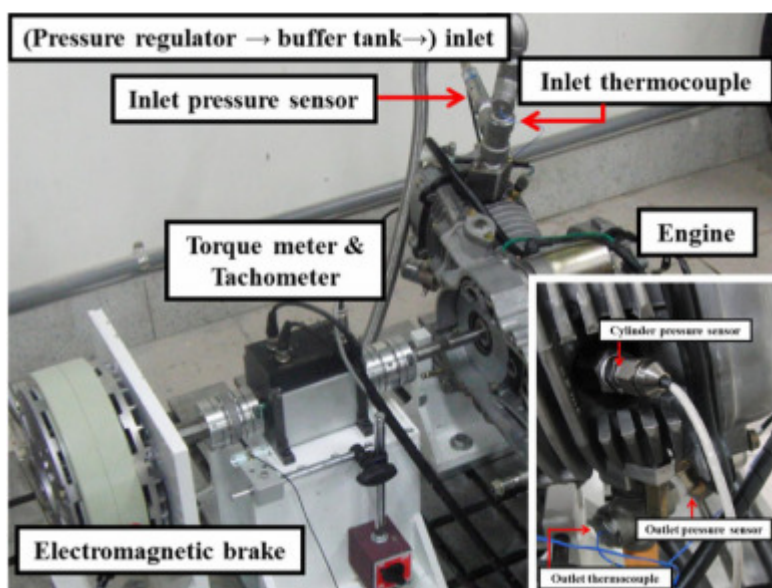


2. ábra, Mekarski Lokomotív [6]

A pneumatikus motorokban a sűrített levegő tágulás közben mechanikus erőt fejt ki a dugattyúra. Ehhez a dugattyú felső holtpontján kell a nyomást a hengerre engedni, ekkor beszívási ciklusról beszélünk, ami a munkaciklus első fele. Amikor a dugattyú eléri a másik holtpontját, akkor indul a második fele a ciklusnak, a leürítés. Ekkor már a munkahenger nem végez munkát. [7]

A be- és kiáramlási folyamatok optimalizálásával jelentős teljesítmény növekedést lehet elérni, ezért több tanulmány is tárgyalta milyen szeleptervezési stratégiákkal lehet növelni a hatékonyságot. Erre jó példa Jia és társai által bemutatott megoldás, mellyel akár 40 %-kal lehetett növelni a hatékonyságot. [8]

A sűrített levegős motorral működő járművekkel kapcsolatos kísérletek többnyire egyetemi kutatóintézetekben készülnek, melyek kvantitív adatokat nyújtanak a későbbi fejlesztésekhez, mind az újabb kutató csoportoknak, mind az autógyártó cégeknek. Ilyen például a Zhejiang egyetem kutatóiból álló csoport. A kutatásuk során egy egyhengeres dízelmotort módosítottak sűrített levegős működéshez. (3. ábra) Ennek a motornak a maximális teljesítménye elérte a 2,6 kW-ot 0,8 MPa nyomáson. Sajnos a teljesítmény lineárisan csökkent a sebesség növekedésével, bár ennek ellenére, ha a sebességet változatlanul hagyták, de növelték a nyomást a teljesítmény is nőtt amellett, hogy a levegőfogyasztás csökkent. [9]



3. ábra. Sűrített levegős prototípus [10]

Ezen kísérletek alapján számos autógyártó fogott bele sűrített levegős hajtások fejlesztésébe. Az első prototípust a francia MDI cég mutatta be 1998-ban, AIRPod néven (4.

ábra). A cég tervei szerint 2000-re sorozatgyártásba vitték volna a sűrített levegős járműveiket, ám azóta nem érkezett hír ezek állapotáról. A sűrített levegős hajtáson dolgozott még a Tata is, amibe egy MDI motor került volna, és 2017-ben már piacra szánták. Egy ausztráliai cég az EngineAir is kifejlesztett egy motort Di Pietro néven (5. ábra). Kutató intézetek is próbálkoztak teljes járművek fejlesztésével is, amik közül kiemelkedő a Zhejiang egyetem kutatása (6. ábra).



4. ábra. AirPod



5. ábra 'DI Pietro motor' az EngineAir prototípusában [11]

Kína első sűrített levegős járműve 4 db 50 literes légtartállyal rendelkezett, amivel akár 1,87 kilométert is képes volt megtenni. [12]



6. ábra. Kína első pneumatikus járműve [13]

A csak sűrített levegővel működtetett hajtásláncok nem túl hatékonyak, ezért hosszú távon nem a legjobb megoldások a közlekedésben. A sűrített levegő alkalmazása hibrid hajtáshoz azonban nagy mennyiségű megtakarítást eredményez az üzemanyagfelhasználásnál. Az elektromos hajtás mellett a jövőben a sűrített levegős hibrid hajtás lehet egy fenntartható technológia a közlekedésben alkalmazott meghajtások között, már csak azért is, mert a nehézgépjárműveknél még jellemzően belső égésű motorokat használnak.[14]

A részben sűrített levegős hajtás egyik problémája az energiafelhasználás és energiaátalakítás. A járművek a léghalackok korlátozott mérete miatt eléggé kis távolságot tudnak megtenni sűrített levegővel. Ezt a problémát részben megoldja a levegő nagy nyomáson tárolása, mert így megnő az energiasűrűsége. Valamint további segítség lehet a levegő áramlási veszteségének csökkentése a visszatermelő fékezés hatékonyságának növelésében.[15]

Összefoglalva a pneumatikus technológia közlekedésben való hasznosítását elmondható, hogy a jövőben további kutatások szükségesek annak érdekében, hogy a belső égésű motorok kevesebb üzemanyagot használjanak. A tisztán elektromos hajtás mellett érdemes energiát fektetni a részben pneumatikus hibrid hajtás fejlesztésébe, hiszen vannak olyan járművek – nehézgépjárművek – amelyek meghajtásában az elektromos hajtás nem annyira hatékony.[16]

## 5 A tervezés korai fázisa, megoldási lehetőségek

### 5.1 Első megoldási lehetőség: modell autó alváz

A versenyen való induláskor az eredeti ötletem az volt, hogy egy már kész, működő modell autó alvázára tervezem meg a saját hajtásomat. Ez rengeteg időt és energiát spórolt volna, mivel ezeken megtalálható a teljes hajtáslánc és felfüggesztés a kormányzással együtt. Ez az ötletem abból eredt, hogy van egy távirányítós, robbanómotoros autóm [7. ábra] amelynek az alvázát átnézve úgy gondoltam, valószínűleg elérhet benne minden szükséges alkatrész.

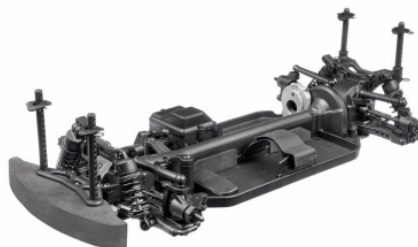


7. ábra Carson spectre two sport [17]

Ezek alapján elkezdtem keresgélni az interneten egy megfelelő alváz után. A projekthez nem volt szükség egy teljes autóra, mivel az alkatrészek nagyjából fele haszontalannak bizonyult volna a céljaink szempontjából.



8. ábra, Alváz 1 [18]



9. ábra, Alváz 2 [19]

A keresést először új alvázak [8, 9. ábra] után kutatva kezdtem több webáruházban, de hamar rájöttem, hogy a megfelelő méretű alvázak nem az elérhető árkategóriát képviselik, amit a projekthez megengedhettem volna. Emiatt áttértem a használt alvázak keresésére. Sajnos ez sem hozott eredményt, mivel szinte kizárólag csak teljes autókat kínáltak, amelyek így túl drágák voltak, vagy olyan alvázakat találtam, amelyeket már alkatrészként használtak fel, így pont azok a részek hiányoztak, amelyek miatt ebben az irányban kezdtem a keresést. A költségek minimumon tartására azért volt szükség, mert az Emerson a műszaki játszótér keretében támogatta a prototípus építést. Ennek a támogatásnak a maximális limitje kb. 300.000 Ft ami 210.000 Ft értékig a pneumatika alkatrészekre vonatkozott és a maradék összegből kellett fedezni a játékok minden egyéb részét.

## 5.2 Második megoldási lehetőség: Játékautó

A sikertelen keresés után arra a következtetésre jutottam, hogy egy ilyen méretű alváz egy komolyabb modell esetében túlságosan drága lenne. Ezért következő lépésként a gyerekjátékok piacát kezdtem feltérképezni. Hosszas keresgélés után rábukkantam egy gyerekeknek szánt elektromos autóra, amelyet nemcsak a szülők irányíthatnak távirányítóval, hanem a gyerekek is vezethetik [10. ábra]. Ezek méretben és árban is megfelelték volna a célnak, azonban az önsúlyuk meghaladta a 20 kilogrammos határt, amely a versenyből való kizárás alapja. Emiatt megoldás után kutattam, hogyan lehetne annyira lecsupaszítani az autót, hogy a ráépített pneumatikával együtt is 20 kilogramm alatt maradjon, de sajnos nem találtam kivitelezhető megoldást.



10. ábra Játékautó [20]

## 5.3 Harmadik megoldási lehetőség: 3D nyomtatás

Mivel nem találtam egyetlen, már legyártott megvásárolható megoldást sem, így maradt az egyedi gyártás. Számomra a legkézenfekvőbb megoldás a 3D nyomtatás, mivel középiskolában sokat foglalkoztam ilyen technológiával, így jól ismertem a határait és a benne rejlő lehetőségeket. Az egyedi gyártás legfőbb nehézsége a többi megoldással szemben a megnövekedett tervezési feladat mennyisége.

Az elsődleges elképzelésem személyautó forma volt, de ahhoz, hogy ne kelljen egy hosszú csövet, vagy egy kompresszort húznia maga után, módosítanom kellett teherautó formára. A teherautó forma sok előnnyel jár, például a hajtás egyszerűbb kialakítását teszi lehetővé, valamint esztétikusan elférnek rajta a légtartályok [11. ábra].



11. ábra Tartályautó [21]

|                | Modell autó alváz                                              | Játékautó                                       | 3D nyomtatás                                                                                                            |
|----------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Előny</b>   | Pontos futómű, könnyű kormányozhatóság, Hajtásláncot tartalmaz | Könnyű kormányozhatóság, Hajtásláncot tartalmaz | Megfelelő méretet lehet vele elérni, könnyű, speciálisan a pneumatikára kialakítható szerkezet-> nem kell alkalmazkodni |
| <b>Hátrány</b> | Drága, túlságosan kis méretben elérhető a céljaimhoz képest    | Túl nehéz                                       | Sok tervezési feladat, Sok ideig tart a nyomtatás                                                                       |

## 12. ábra Választást segítő táblázat

Mivel a fenti három lehetőség közül az első kettő problémái megoldhatatlanok a verseny körülményi között (maximalizált súly és keretösszeg), így ezek megvalósíthatóság szempontjából használhatatlanok. Ezen okból a 3D nyomtatott alvázra esett a választásom mivel a technológiából eredő, már felsorolt problémák önszorgalommal kiküszöbölhetők.

Hogy időben végezhesek a legyártással, vettem egy saját 3D nyomtatót. Az akkor piacon lévő hobbi kategóriás gépek közül több is szóba jött a feladat szempontjából, de a választásom az „ELEGOO” cég „Neptune 4 pro” elnevezésű nyomtatójára esett [14. ábra]. A választást nagyban segítette a nyomtató friss megjelenése, ami a modern megoldásokat ötvözi a bevált megoldásokkal. Ilyen például az automata tárgyasztal szintezés, ami mellé meghagyták a kézzel való beállítás lehetőségét. Modern megoldásai közé tartozik, hogy a már 64 Bit-en futó Klipper alapú rendszerrel rendelkezik, ami nagyobb számítási képességének köszönhetően 500mm/s-os sebességet is elérhet nyomtatás közben [13. ábra]. Sajnos ezt a sebességet nem tudja tartósan fenntartani minőség romlás nélkül, így a gyári javaslatnak megfelelően 250 mm/s sebesség körül mozogva használtam a nyomtatót a projekt elkészítése során.

| Neptune 4 Pro                       |                                                                  |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>Készülék mérete:</b>             | 475 x 445 x 515 mm<br>(tekerstartó nélkül)                       |
| <b>Nettó tömeg</b>                  | 8,9 kg                                                           |
| <b>Építési volumen</b>              | 225 x 225 x 265 mm                                               |
| <b>“Pro” tulajdonságok</b>          | Kettős fűtött ágy(100W+150W)<br>Fém vezetőgörgők<br>Fém Top-Beam |
| <b>Firmware</b>                     | Klipper                                                          |
| <b>Nyomtatási sebesség</b>          | Max 500mm/s<br>Ajánlott 250-300 mm/s                             |
| <b>Alaplap</b>                      | 64-bit 1,5G Quad-Core Silent (8Gb tárhely)                       |
| <b>Extruder</b>                     | Direct Drive Extruder Dual-Gear-hajtással                        |
| <b>Max. nyomtatási hőmérséklet:</b> | 300 °C                                                           |

|                                    |                            |
|------------------------------------|----------------------------|
| <b>Max. fűtött ágy hőmérséklet</b> | 110 °C                     |
| <b>Építőlap</b>                    | Mágneses PEI rugós acéllap |

|                               | <b>Neptune 4 Pro</b>                            |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Szintezés</b>              | 2.0 automatikus szintezés 121 pont felett       |
| <b>Hűtés</b>                  | 2 x 4015 ventilátor + 4 x 4020 ventilátor       |
| <b>Vezetőgörgő</b>            | Fém                                             |
| <b>Képernyő</b>               | 4,3 hüvelykes levehető kapacitív színes kijelző |
| <b>z-tengely</b>              | dual                                            |
| <b>Interfészek</b>            | lan, USB                                        |
| <b>Használható filamentek</b> | PLA, TPU, PETG, ABS, ASA, Nylon                 |

13. ábra Elegoo Neptune 4 Pro adatok [22]

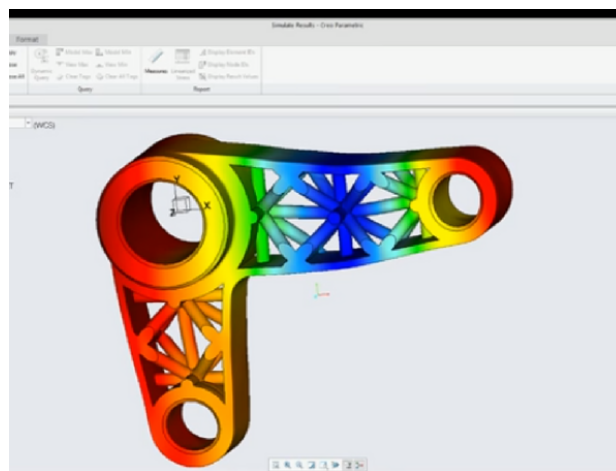


14. ábra Elegoo neptune 4 pro [23]

## 5.4 Tervezőprogram választás, Creo 8 előnyei

A tervezésre kézenfekvőnek találtam egy általam ismert tervezőprogram használatát. Mivel a 3D nyomtatáshoz térbeli modellekre van szükség, így a 2D-s tervező szoftverek kiestek a

választási lehetőségek közül. Az általam ismert 3D tervező programok közül a Creo parametric 8-at választottam, mivel ezt használom a munkám során is, így mély ismeretekkel rendelkezek a program kezelésében. Fő előnyei közé tartozik a parametrizálható tervezés, aminek köszönhetően a modell egyes részei automatikusan tudnak módosulni, ha a megfelelő méretet átméretezem. Másik előnye számomra, hogy az összeállításokat meg lehet csinálni mechanizmusokkal, ami segítségével a tényleges működés szimulálható. Ezen szimulációk során [15. ábra] láthatóvá válnak az esetleges tervezési hibák még a fizikai modell elkészítése előtt, a tervezési fázisban, aminek nagy hasznát vettem a tervezés során.



15. ábra Creoban végezhető szimuláció [24]

## 6 Tervezés és kivitelezés

A teljes jármű saját tervezésű, emiatt sok nehézségbe ütköztem a megvalósításkor. A tervezést mindennek az alapjával, az alvázal kezdtem, aminek a gyártását a teljes összeállítás elkészülése előtt, már az első pár modell megtervezése után elkezdtem. Amikor elkészült az alváz első pár alkatrésze rájöttem, hogy túl nagyra terveztem, így a teljes méretét csökkentenem kell. Mivel ekkorra már a hajtás tervezése is folyamatban volt, így a méret csökkentés ezt a részt is érintette. A túl hosszú alváz még nem okozott volna gondot a későbbiekben, de sajnos ehhez olyan szélesre is kellett volna építenem, amire ha fülkét akartam volna építeni akkor az rengeteg nyomtatási idő és mellé még több kg nyomtató filament is kellett volna, aminek már érezhető anyagi vonzata is van.

### 6.1 Hajtás

Mivel a hajtásomnak szükséges hely lecsökkent, így a már kiválasztott 80 mm-es lökettel rendelkező munkahengert csökkentenem kellett egy 50 mm-es hengerre [16,17. ábra].

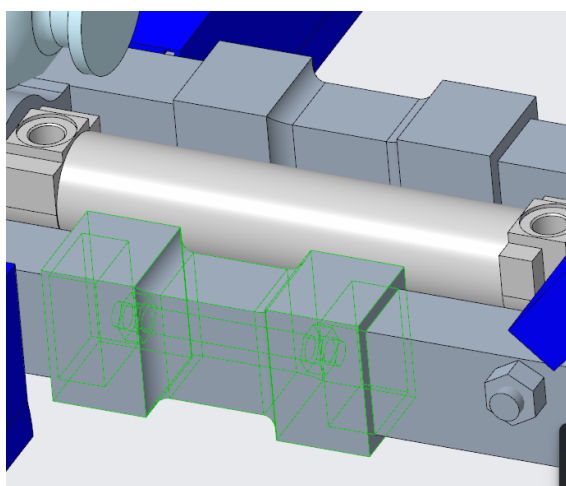
| Henger cikkszám    | 0822334203 | 0822334204 |
|--------------------|------------|------------|
| Átmérő             | 25 mm      | 25 mm      |
| Löket              | 50 mm      | 80 mm      |
| Max erő 6,3 bar-on | 309 N      | 309 N      |

16. ábra Hajtó munkahenger táblázat [25]

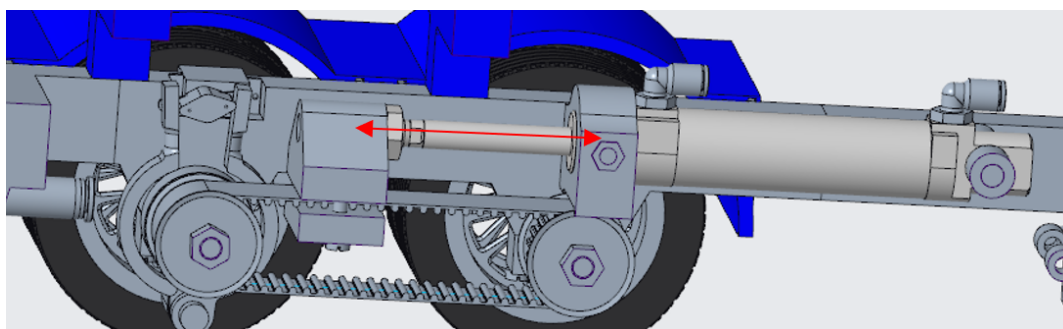


17. ábra Hajtó munkahenger [26]

Ez egy egyszerű lépés lett volna, de a végső alkatrész rendelésnél a hosszabb lökettel rendelkező munkahenger érkezett meg. Ezen probléma orvoslására egy toldatot [18. ábra] helyeztem az alváz középebe, ami könnyen módosíthatóvá teszi a prototípust a munkahenger hosszához képest. Ezen rendszer még 2 elemmel rendelkezik, melyek közül az egyik a munkahenger plusz löketével megnövelt hengertartó elem és egy TPU műanyagból nyomtatott rugalmas ütköző a munkahenger számára. Ezek méretének növelésével elméletben bármekkora hosszúságú munkahenger elhelyezhető a teherautóban. A hajtást a munkahengerről egy bordás szíj közvetíti a két hátsó tengelyre. [19. ábra]



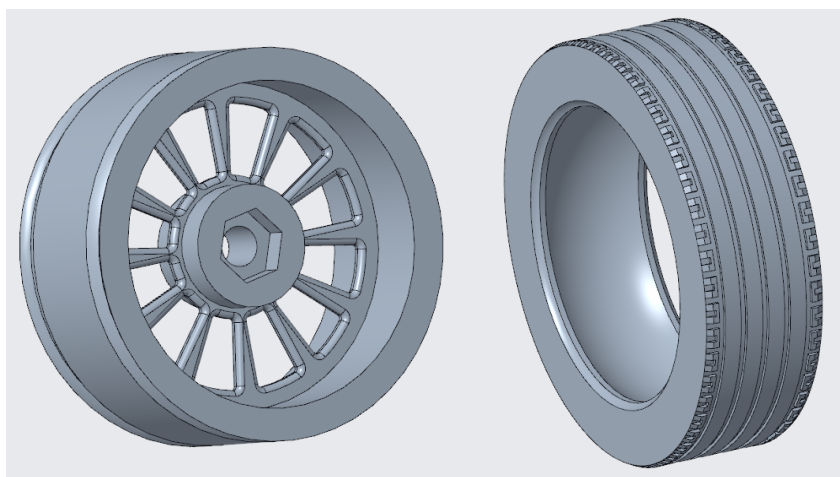
18. ábra Alváz toldó közdarab



19. ábra Hajtás mozgását bemutató ábra

Mivel a munkahenger oda-vissza mozgást végez, így meg kellett oldanom, hogy csak az egyik irányba hajtsa a járművet különben ugyanazon a távon mozgott volna oda-vissza. Ezt a problémát tengelyenként két szabadon futóval oldottam meg, melyeket ragasztással rögzítettem a kifűrt szíjtárcsákba. A két hátsó tengelyen összesen 8 db saját tervezésű kerék található, melyeket süllyesztett fészekkel láttam el, amikbe egy-egy csavaranya kapott helyet. [20. ábra] A valósághű kinézetért és érdekességnek, a felnikre rugalmas gumikat gyártottam TPU filamentből, melyek jobb tapadással rendelkeznek, mint a sima PLA alkatrészek. [21.

ábra] A könnyű haladást elősegítendő, minden tengely golyóscsapággal van ellátva. Ez azért fontos, mert így növelhető a hatótáv a gurulásnak köszönhetően, valamint jobban kiszélesíti a működéshez szükséges nyomástartományt. A tengelyek egyszerű menetes szárazból vannak a könnyű szerelhetőség érdekében, valamint a későbbi, esetleges kerék újra pozicionálás miatt.



20. ábra Felni süllyesztékkel

21. ábra Gumi abroncs

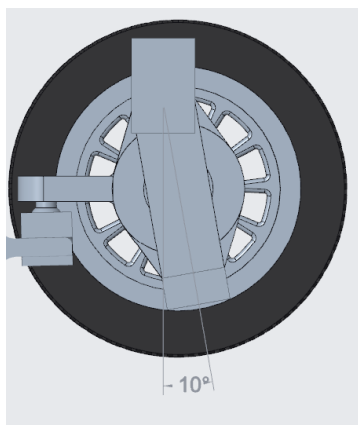
## 6.2 Kormányzás

A kormányzást a legtöbb normál méretű járműben nem pneumatikával oldják meg a pontosabb irányíthatóság érdekében. A hasonlóan kis járművekben általában szervomotorokkal működtetik a kormányzást. Ez egy mára jól kiforrott technológia, amelyet egyszerűen lehetett volna elhelyezni a járművemben, de mivel ez nem pneumatika, így elvettem ennek lehetőségét és elkezdtem egy sűrített levegővel működő kormányzáson gondolkodni. A megoldást az Emerson katalógusait böngészve találtam meg. A kormányzást egy átmenő rudas munkahengerrel oldottam meg, ami hasonlít egy fogasléc-es kormányzásra. [22. ábra]

|                                  |                             |                                                                                       |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cikkszám</b>                  | 0822080202                  |  |
| <b>Méretek</b>                   | 10 mm átmérőjű 25 mm löketű |                                                                                       |
| <b>Kifejthető erő 6,3 bár-on</b> | 42 N                        |                                                                                       |

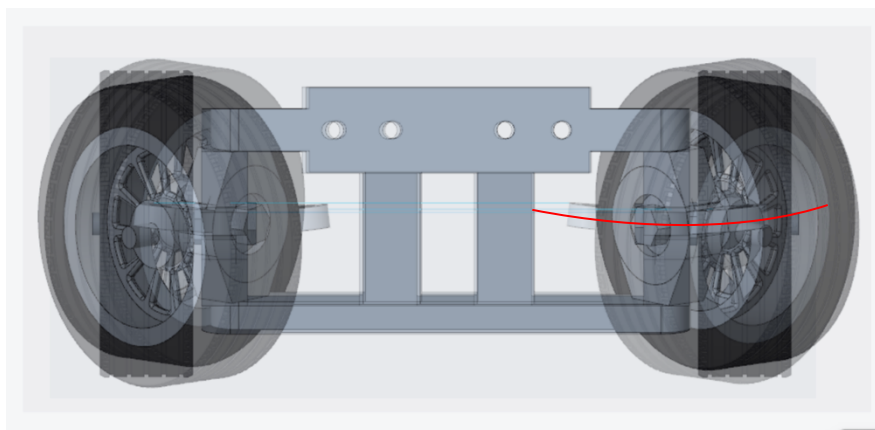
22. ábra Kormányzás munkahenger táblázata

Ezeknek a munkahengereknek általában végállások között kell mozognia, de a járműnek jobb lett volna, ha tud nagyjából egyenesen is menni. Ennek megoldására a személyautók futómű geometriájából ismert hátra döntést alkalmaztam az első tengelynél. [23. ábra]



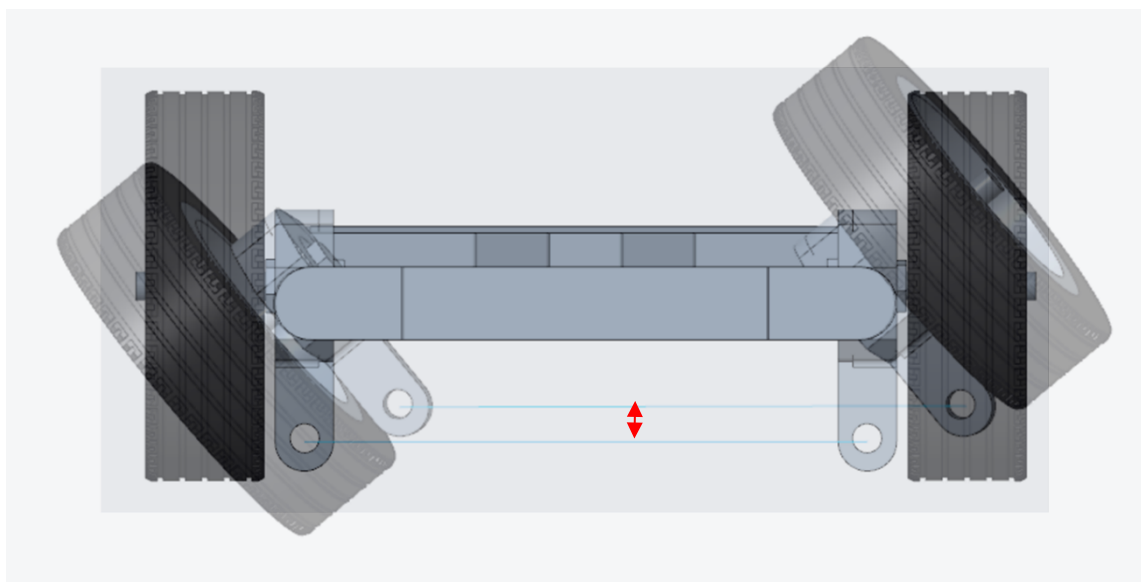
23. ábra Döntött futómű

Ez a megoldás újabb problémát okozott, mivel a kormányrúd bekötési pontja nem a kerékagy forduló pontjában van, emiatt az oldalra való kormányzáskor, míg az egyik oldal bekötési pontja távolodik az alvázról, addig a másik közeledik. [24. ábra]



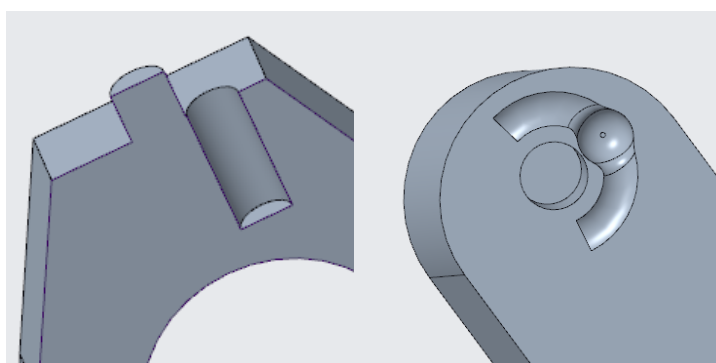
24. ábra Futóműben lévő magasság különbség

Emiatt a fixen rögzített munkahenger és a kormány összekötő közé kellett terveznem egy elfordulásra képes egységet, aminek ezek mellé még előre-hátra mozgásra is képesnek kell lennie, mivel amikor a kerekeket elfordítjuk az egyik irányba, a kormányösszekötő eltávolodik a munkahengertől. [25. ábra]



25. ábra Futómű előre-hátra elmozdulás

A közép állásban maradást elősegítendő, terveztem bele egy rugó és egy csapágy golyó segítségével működő lazán rögzítő rendszert, ami közép állás elérése esetén rögzíteni tudja a kerekek irányát. Ennek ereje nem haladja meg a pneumatika képességeit, így az egyik oldalról a másikra való átkormányzást nem akadályozza semmilyen mértékben.



26. ábra Rugó és csapágygolyó helye a futóműben, csapágygolyó pálya

### 6.3 Levegőrendszer fő eleme a szeleptömb

A szeleptömb gondoskodik a levegő megfelelő helyre való eljuttatásáról. Az én alkalmazásomban mind a kettő munkahenger kettős működésű. Ezeknek, mivel a végpozícióban kell megállniuk, majd pedig elereszteni a bennük lévő levegőt, így vagy hengerenként egy 5/3-as közép állásban monostabil szelepet alkalmazok, vagy hengerenként 2 db 3/2-es zárt állásban monostabil szelepet. Az 5/3-as szelepek az Emerson kínálatában az én alkalmazásomra túl nagyok és nehezek lettek volna, emiatt a választásom a 3/2-es típusú szelepekre esett. Ezek a szelepek az egészen kis méretűtől az 5/3-asnál nagyobb méretűig széles skálán mozognak. A következő szempont az ár volt, mivel adott volt a pneumatikára felhasználható keret, így olyan szelep kellett, amely elég kicsi ahhoz, hogy elférjen, illetve a 4 db-nak az ára beleférjen a keretbe. A választásom egy műanyagházas sorolható szelepre esett. [27. ábra]

#### 27. ábra Szeleptömb adatok [27]

Ezek a szelepek a műanyag háznak köszönhetően könnyebbek hasonló fémházas társaikhoz képest, valamint a sorolhatóság miatt a későbbiekben könnyebben szerelhető, elég neki egyetlen csatlakozási ponton levegőt adni, nem kell 4 csatlakozás, ami a különálló szelepeknek kellene.

## 6.4 Egyéb pneumatika alkatrészek

Mivel a teherautót távirányításra terveztem így nem lett volna szerencsés, ha egy csövet kellett volna maga után húznia a levegőforrástól. Ennek kiküszöbölésére elsősorban az Emerson kínálatában is megtalálható puffer tartályok közül próbáltam választani, de sajnos ezek nehéz fém tartályok, amelyek súlya meghaladja az elfogadhatót, valamint túl drágák is lettek volna a kerethez képest. [28. ábra] A megoldást a jól bevált szódászfifonok adták. [29. ábra]



28. ábra Puffer tartály



29. ábra Szódászfifon

Ezeket a gyártásuk során nyomás próbázzák, így biztonságos az alkalmazásuk ehhez a modellhez is. Sajnos a csatlakoztatásnál problémákba ütköztem, mivel a kivezető cső olyan átmérővel rendelkezett, amibe nem illett egy pneumatika csatlakozó sem. Ezen probléma megoldására azt az utat választottam, hogy felfűrtam a csövek belsejét nagyobb átmérőre, hogy a pneumatika cső nagyjából illjen bele, majd kétkomponensű epoxi alapú ragasztóval beleragasztottam. Ez a megoldás működött egészen az első tesztekig, ahol kiderült, hogy a merev ragasztó és a rugalmas cső lassan elválik egymástól és ereszt a levegőt. Erre a megoldást az egyetemen találtam meg, ahol egy rugalmas Loctite ragasztóval meg tudtam erősíteni a kötéseket. Egy szódászfifon 1,7 liter űrtartalommal rendelkezik, amivel az autóm nagyon hamar kifogy a 'szuszából'. Ennek megoldására rászereztem még 2 palackot és együtt a 3 palack már elég levegőt biztosít az értékelhető hatótávhoz. A tartályok töltésére egy olcsó megoldást kellett találnom mivel a keret fogytán volt. A megoldás a szükséges pneumatika

csatlakozók katalógusban való keresésekor jött, amikor megláttam, hogy vannak visszacsapó szeleppel ellátott csatlakozók, aminek köszönhetően megoldódott a probléma. [30. ábra] A tartály töltése így egy egyszerű pneumatika csatlakozó csatlakoztatásával megoldható néhány másodperc alatt, majd amint feltöltötte a palackot csak ki kell húzni a csövet és már mehet is útjára a jármű.



30. ábra. R412005549 Visszacsapós csatlakozó

## 6.5 Elektronika

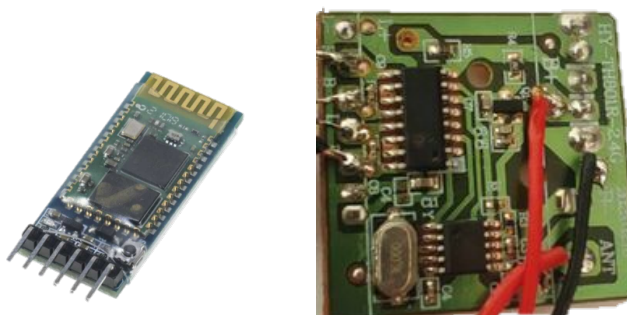
A távirányítás mivoltjából adódóan nem lehet megoldani a tisztán pneumatikus működést. Amikor a szelepeket kiválasztottam, figyeltem az elektromos működtethetőségre, hogy a későbbiekben ebből ne legyen gond. Az elektromosan elővezérelt szelepek az Emerson kínálatában 4 verzióban találhatók meg: 12; 24; 110; 230 V. Ezek közül, hogy minél kisebb áramforrást kelljen beszerezni a 12V-os szelep volt számomra az ideális választás. A megfelelő feszültséget 3 db elemtartóban lévő 3-3 1,5V AA elem biztosítja.

Mivel a korábbi tanulmányaim és hobbijaim során betekintést nyertem az Arduino modulok világába, így ez a típusú mikrokontroller tűnt a megfelelő választásnak. Mivel nem kellett sok csatlakozási pont rá, így a helytakarékoság érdekében Arduino nano-t használtam a vezérlés megvalósítására. [31. ábra] Ezek a mikrokontrollerek 5 vagy 3,3 V-al működnek, ami miatt az elempakk feszültségét csökkentenem kellett, illetve a vezérlő jel nem lett volna elég a szelepek kapcsolásához. A letranszformálás egyszerűen megoldható volt egy megvásárolható modullal, ami a megfelelő feszültséget biztosítja az érzékeny elektronikának. A szelepekkel kapcsolatos problémára a megoldást relé modulok alkalmazása jelentette, modulonként 2-2 relével. [32. ábra]



31. ábra Arduino nano 32. ábra Relé modul

A távirányítás megoldására szükség volt valamilyen vezeték nélküli kapcsolatra. Ennek az építés során két lehetőséget is megvalósítottam. Az egyik egy régi távirányítós autó távirányító modulja volt, amihez meg volt a távirányító is. [34. ábra] Ennek a kivezetéseit, melyek eredetileg motorokra csatlakoztak, most rácsatlakoztattam az Arduino bemeneteire. Így a távirányító parancsai a modulon keresztül a vezérlő egységbe továbbítódnak. A másik vezérlési lehetőséget egy bluetooth modul jelentette, aminek köszönhetően akár egy telefonnal is lehet majd irányítani a teherautót. [33. ábra]



33. ábra HC-05 Bluetooth modul 34. ábra. Távirányító egység

Az elektronika részét képezi még 2 db Emerson által gyártott hal-szenzor, melyek a hajtás munkahenger végállásait figyelik. [35. ábra] A hajtó hengernek folyamatosan lüktető mozgást kell végeznie, így nem elég egy szelep a működtetésére. Mivel a két szelep működését össze kell rendelni úgy, hogy az még függ a sebességtől is, a két szenzor segítségével detektálható a munkahenger végállásbaérése, amire az adott pillanatban nyitva lévő szelep bezár, míg a zárt szelep kinyit, ezzel megindítva a másik irányba a munkahengert. Ez megoldható lenne érzékelők nélkül is egy egyszerű időzítővel, de az nem tud alkalmazkodni a sebességhez, így alacsonyabb sebességnél megeshet, hogy a henger csak kis elmozdulásokkal mozog. Ennek a fő hátránya, hogy a henger csak az egyik irányba hajtja a járművet a másik irányban a levegő

csak pozícionálja az újabb hajtó ciklushoz, ami munkavégzés szempontjából pazarolja a levegőt. Ezek okán a szenzorok végül is energiatakarékosság szempontjából fontosak.



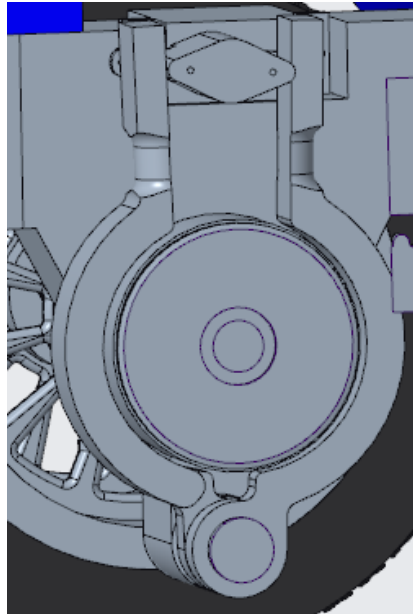
35. ábra R412019488 ST4 szenzor

## 7 Biztonság

A teherautó programozása során ügyeltem arra, hogy a távirányító mindig felülírja a bluetooth-on érkező parancsokat. Ezzel elértem, hogy ha egy gyerek vagy egy hozzá nem értő kezébe kerül a bluetooth eszköz, ami irányítja, és a vagyon, illetve személy védelem szükségessé teszi, a távirányítóval rendelkező felügyelő meg tudja állítani, el tudja téríteni a teherautót.

Az építés során, amikor már kész volt az alváz, az építésre használt asztalról majdnem legurult a teherautó attól, hogy véletlenül hozzáértem. Ekkor jöttem rá, hogy a teljes csapágyazásnak köszönhetően a teherautó túlságosan gurulékony lett és magától csak sokára áll meg. Ennek a kiküszöbölésére építettem egy egyszerű féket, ami a hátsó tengelyt fékezi.

[36. ábra] A fékerő növelése érdekében a fékpofák és a tárcsa közé nyomtattam egy réteg TPU filamentből készült kopóréteget. A fék működtetésére egy kisméretű szervomotorra szerelt fékcsapot használok, ami induláskor azonnal oldja a féket. A fék előfeszítését gumigyűrűkkel oldottam meg, amelyek elegendő fékerőt biztosítanak a megálláshoz és hogy rögzítsék amikor nem kell mozognia.



36. ábra Fékszerkezet

Másik biztonsági eszköz benne egy nyomás szabályozó szelep, ami 2 bár nyomásnál nagyobb nyomást nem enged eljutni a tartályoktól a szeleptömbig. [37. ábra] Erre több szempontból is szükség van. Ezek közül az egyik, hogy ha túl nagy nyomás kerülne a hajtó munkahengerre, akkor annak méretéből adódóan elsőre megrepesztené, majd el is törné a nyomtatott alkatrészeket. Másik szerepe az, hogy a nyomást a hajtásban azonos szinten tartsa egészen addig, amíg a tartályban lévő nyomás le nem csökken a nyomásszabályozón beállított nyomásig. Ha ez nem lenne, akkor a jármű a feltöltés után túl nagy sebességgel mozogna, majd ahogy csökken a nyomás folyamatosan lassulna, ezzel kiszámíthatatlanná téve a viselkedését. Mert ha valaki kezébe adják a fő irányítót, aki éppen nem tudja, hogy mennyi levegő van a tartályban, akkor érhetik meglepetések.



37. ábra R412010705 Nyomás csökkentő szelep

## 8 Hajtáshoz kapcsolódó számítások

### 8.1 A tartályokban lévő levegő energiatartalma

Az energiatartalom kiszámításához a legjobb egyszerűsítés, ha izoterm körülmények között vizsgáljuk. Az izoterm körülmények akkor állnak fenn, ha a sűrített levegő hőmérséklete állandó a kompresszió és a kitéágulás alatt.

Az alap képlet:

Ahol:

- E az energia
- p a levegő nyomása komprimált állapotban = 4bar = 400000Pa
- V a levegő térfogata =  $1.7l \cdot 3 = 5,1L = 5,1 \text{ dm}^3 = 0,0051\text{m}^3$
- $p_0$  pedig a környezeti nyomás (1 Mpa) = 100000Pa

A képlet megoldása:

### 8.2 Egyenes vonalú hatótáv

A hatótáv kiszámításához a kormányzáshoz használt levegő mennyiségének kiszámíthatatlansága miatt azt elhanyagoltam és csak a hajtás levegő fogyasztását számoltam.

A hajtó henger alap adatai:

- rúd átmérő:  $d = 10 \text{ mm}$
- Dugattyú átmérő:  $D = 25 \text{ mm}$
- Dugattyú légtér hossza kifelé mozgáskor:  $l_1 = 80\text{mm}$
- Dugattyú légtér hossza befelé mozgáskor:  $l_2 = 50\text{mm}$

- A dugattyú működési nyomása:  $p = 2 \text{ bar}$

A teljes elhasználható levegő mennyiség: amíg eléri a 2 bar-os nyomást

- $V = 5.1 \text{ dm}^3 * 2 \text{ bár} = 10,2 \text{ dm}^3 = 10200000 \text{ mm}^3$

A munkahenger által egy ciklusban elfogyasztott levegő mennyisége a 2 kamra eltérő térfogatából adódik össze.

Ciklusok száma:

Mivel tudjuk, hogy a henger ciklusonként 50 mm-t mozdit előre a szíjon és tudjuk a szíjtárcsa és a kerekek átmérő viszonyát ami így alakul:

- Szíjtárcsa átmérő:  $d_1 = 35$
- Kerék átmérő:  $d_2 = 110$

Számítás: a szíjtárcsán való 1 mm kerületi elmozdulás hány mm a kerék felületén:

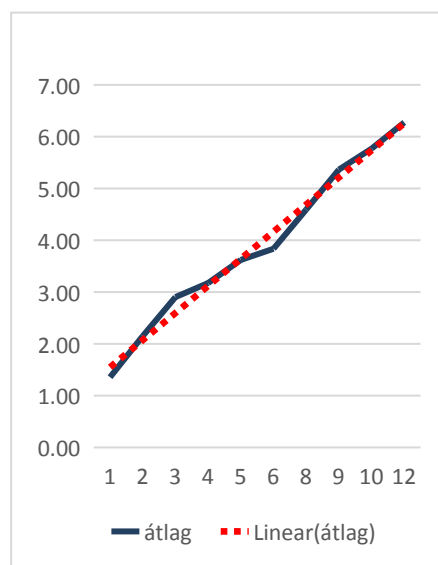
Ebből a hajtott út:

A Valóságos megtett távhoz már a kész modellel végzett méréseket használtam fel. Ezeket teljesen feltöltött tartállyal végeztem, a ciklusok előre beprogramozott számával. A

[38. ábra] táblázat első oszlopában a ciklusok száma, a következő három oszlopban a 3 mérés eredménye, valamint a 3 mérés átlaga van feltüntetve.

|    | 1. mérés (m) | 2. mérés (m) | 3. mérés (m) | átlag |
|----|--------------|--------------|--------------|-------|
| 1  | 1,37         | 1,43         | 1,31         | 1,37  |
| 2  | 2,15         | 2,12         | 2,24         | 2,17  |
| 3  | 2,91         | 3,00         | 2,85         | 2,92  |
| 4  | 3,17         | 3,08         | 3,27         | 3,17  |
| 5  | 3,62         | 3,71         | 3,57         | 3,63  |
| 6  | 3,83         | 3,85         | 3,83         | 3,84  |
| 8  | 4,6          | 4,55         | 4,62         | 4,59  |
| 9  | 5,36         | 5,37         | 5,30         | 5,34  |
| 10 | 5,75         | 5,70         | 5,84         | 5,76  |
| 12 | 6,27         | 6,33         | 6,19         | 6,26  |

38. ábra



### 39. ábra

A [39. ábra] diagrammon az átlag távok láthatók, valamint egy erre illesztett lineáris trendvonal. A trendvonal egyenlete:

ahol:  $y = a$  megtett táv (m)

$x = a$  ciklusok száma

Mivel az előzőekben kiszámoltam a ciklusok számát így az egyenlet ezzel a ciklus számmal megoldható.

Tehát a jármű által üzemi nyomáson megtehető táv kb. 46 méter ami ha alacsonyabb nyomáson is még működtetjük a járművet több is lehet.

## 9 További fejlesztések

### 9.1 Első fejlesztés: csavarok rögzítése

Az első és állandóan jelentkező probléma a szerkezet anyagából ered. A nyomtatott műanyag, mivel csak a külső 2-3 rétegben tömör és a többi része szinte csak levegőből áll, így egy fémszerkezethez képest könnyen összenyomható. Ennek eredményeként az összerakásnál használt csavarok nagy részét hiába húzom meg a megfelelő nyomatékkal – ami még nem roppantja össze a műanyagot – a szállítás és használat során mind kilazul. Ezek a legnagyobb gondot a hátsó tengelyeknél okozzák, mivel ezeken a legnagyobb a csavaró nyomatéka használat közben. Mivel a tengelyen az anyák és a műanyag elemek felváltva helyezkednek el, így folyamatosan meglazulnak és jobb esetben amint leesik az utolsó anya, az azt borító kupakkal észre lehet könnyen venni és mindent újra meghúzni. A gond abban az esetben van, amikor a kerekek befelé indulnak el. Ilyenkor a belső kerék rászorul vagy az alvázra vagy pedig a fékszerelőre, ami első ránézésre észrevehetetlen a kerekeket borító sárhányó miatt. Ilyenkor a hajtás megszorul és a nem hozzáértők hosszas keresés után is csak nehezen jönnek rá a probléma okára. Ezeket a problémákat többféleképpen is meg lehetne oldani, de a szerelhetőség megőrzése érdekében először rugós alátétekre gondoltam. Azonban mivel a műanyagra nem lehet elég nagy erőt kifejteni, hogy a rugós alátétek hatékonyak legyenek, az önzáró anyák (gumi gyűrűvel) tűnnek a legjobb megoldásnak. Ehhez viszont az összes kereket újra kellene nyomtatni, mivel az eredeti tervekben az anyák el vannak rejtve, így a más típusú anyák nem lennének megfelelően elhelyezhetők.

### 9.2 Második fejlesztés: töltőlevegő nyomás szabályozása

Következő megoldandó feladat, a beáramló nyomás szabályozás hiányának kiküszöbölése. Probléma ugyanis, hogy nincs a tartályok előtt nyomásszabályozó, így egy a pneumatikát egyébként jól ismerő ember is túl tudja tölteni a tartályokat mivel a ragasztások nem voltak olyan szinten tesztelve, mint egy gyári munkahenger. Ennek eredményeként, ha túltöltik és elenged a ragasztás, a sűrített levegő gyors kiáramlása akár komoly sérülést is okozhat. Ennek

kiküszöbölésére nem kellene sok tervezés vagy nyomtatás csupán egy nyomás szabályozó szelep.

### **9.3 Harmadik fejlesztés: leszellőztető szelep**

Egy másik probléma amire a tervezés során nem gondoltam az volt, hogy a pneumatika szelepeknek és hengereknek megvan egy minimális nyomás adva, amin tudnak működni. Ez alatt a szelepek nem nyitnak ki a munkahengerek pedig nem tudják leküzdeni a bennük lévő tapadási sűrűlődést, így nem mozdulnak meg. Ezen okokból biztonságosan a rendszer nem üríthető le (a jelenlegi leürítési lehetőség az, hogy a visszacsapós csatlakozóba egy csövet bedugva azon keresztül elengedi a levegőt). Ennek kiküszöbölésére a pneumatika rendszerbe kellene építeni egy kézi szelepet, amin keresztül biztonságosan le lehet szellőztetni a rendszert.

### **9.4 Negyedik fejlesztés: elem helyett akkumulátor**

Fejlesztési lehetőségek közül az első, amit meg lehetne valósítani az az, hogy a gyorsan lemerülő elemeket egy könnyen kezelhető és tölthető külső akkumulátorra (power bankra) cserélném. Ez sokkal környezetbarátabb lenne a jelenlegi megoldásnál, ami során körülbelül 10-15 perc után mind a 9 elemet le kell cserélni. Ez nem csak hogy jobban szennyezi a környezetet, mint egy akkumulátor folytonos újra töltése, hanem még jelentős költségekkel is jár egy-egy hosszabb használat.

### **9.5 Ötödik fejlesztés: hatótáv növelés**

Másik fejlesztési ötletem egy utánfutó lenne, amire egy nagynyomású palackot lehetne felszerelni, ami így sokszorosára növelné a hatótávot. Ennek a megvalósítására már a versenyre is gondolkodtam, de sajnos sem a költségekbe sem a súlykeretbe nem fért volna bele.

## 10 Távoli célok

Távlati cél: további kutatási lehetőség az alkatrészek szilárdságtani vizsgálataiban rejlik. Jó példa erre a szerkezet alváza, amely egy viszonylag merev, de törékeny műanyag szerkezetből áll, aminek a közepén lévő furatban egy menetes szárat helyeztem el. Ez nem csak összetartja az alvázat teljes hosszában, de még az erősségét is jelentősen növeli. Szakító és ütésvizsgálatokkal ennek erősségét lehetne igazolni, valamint az ugyanilyen alkatrészekből álló alvázat csak más anyagból kinyomtatva is meg lehetne vizsgálni, hogy egy esetleges kompozit anyag fém erősítés nélkül mennyivel lenne erősebb vagy gyengébb az eredeti PLA anyaghoz képest. Ezek alacsonyabb anyagfelhasználással járó alternatívái a véges elem programokkal végzett szimulációk lennének.

## 11 Összegzés: a megvalósult projekt értékelése

A projekt kiindulási alapja az Emerson által szervezett műszaki játszótér nevű mérnök verseny volt, amire jelentkeztem. Az eredeti ötletemet, hogy pneumobil formájúra készítem a modellem. A költségek és a méretek beszabályozottsága miatt ezen módosítanom kellett és teherautó formájúra átalakítanom, amihez már nyomtatott alkatrészeket kellett készítenem. A méretek minimumon tartása érdekében több kompromisszumot kellett kötnöm, amik nagyban befolyásolták az alkatrészek méretét és a hatótávot. Ilyen döntés volt például a légtartályok száma, valamint a szeleptömb mérete. A projekt a hátráltató tényezők és szabályozásból adódó szűk korlátok ellenére megvalósult és az elkészült prototípus a várakozásoknak és a számításoknak megfelelően működik. A projekt sikerességét jól mutatja, hogy a versenyen amire készült elnyertem a legsikeresebb pályaműért járó különdíjat.

„A pneumatikus rendszer lényege:

láthatatlan erő, kézzelfogható hatás.”

## Irodalomjegyzék

- 
- [1] [https://en.pneumobil.hu/gallery/pneumobile\\_2019/exhibited\\_pneumobiles](https://en.pneumobil.hu/gallery/pneumobile_2019/exhibited_pneumobiles)
- [2] Kereskedelmi, F. A. (n.d.). BEVEZETÉS A PNEUMATIKÁBA P111.
- [3] Kereskedelmi, F. A. (n.d.). BEVEZETÉS A PNEUMATIKÁBA P111.
- [4] Fang, Y., Lu, Y., Roskilly, A. P., & Yu, X. (2021). A review of compressed air energy systems in vehicle transport. In Energy Strategy Reviews (Vol. 33). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100583>
- [5] AutoStory. First Air Car. 2014.
- [6] S. Robertson, A Brief History of Air Cars, 2015
- [7] Fang, Y., Lu, Y., Roskilly, A. P., & Yu, X. (2021). A review of compressed air energy systems in vehicle transport. In Energy Strategy Reviews (Vol. 33). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100583>
- [8] Optimisation of the Design Parameters of a Compressed Air Engine Based on Numerical Simulation Qian Yejian; Zuo Chengji, Tan Jian & Xu Hongming  
Published online: 09 Apr 2013 <https://doi.org/10.1080/1023697X.2012.10668255>
- [9] Kato Yuki, Hayashi Koichi A, Yamada Eisuke. Study on development of an air car for a practical use. FISITA (Fédération Internationale des Sociétés d'Ingénieurs des Techniques de l'Automobile); 2010-SC-P-05.;
- [10] Q.Y. Xu, M.L. Cai, Q.H. Yu, X.H. Fu  
Multi-parameter and multi-objective optimization method for air powered engine  
J Beijing Univ Aeronaut Astronaut, 39 (2013), pp. 803-807
- Broderick JK. Combined internal combustion and compressed air engine. US patent 1013528, Jan; 1912.
- [11] Y. Shen, Y. Hwang Development of a novel pneumatic hybrid engine, 6, World Academy of Science Engineering and Technology (2012), pp. 5-25
- [12] A.D. Scuderi Split-cycle solutions Automot Eng Int, 114 (5) (2006), pp. 24-26

- 
- [13] X. Wang Modelling and experiment of compressed air hybrid engines, Ph.D thesis University of California, USA (2007)
- [14] Fang, Y., Lu, Y., Roskilly, A. P., & Yu, X. (2021). A review of compressed air energy systems in vehicle transport. In Energy Strategy Reviews (Vol. 33). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100583>
- [15] Fang, Y., Lu, Y., Roskilly, A. P., & Yu, X. (2021). A review of compressed air energy systems in vehicle transport. In Energy Strategy Reviews (Vol. 33). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100583>
- [16] Fang, Y., Lu, Y., Roskilly, A. P., & Yu, X. (2021). A review of compressed air energy systems in vehicle transport. In Energy Strategy Reviews (Vol. 33). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100583>
- [17] <https://brandora.de/Product/ProductDetails?ProductID=265748&Name=Carson%20-%20Specter%20Two%20Sport%20V21%20Bausatz>
- [18] <https://sgmodell.hu/Himoto-110-meretu-on-road-alvaz>
- [19] <https://shop.modell.hu/hpi-rs4-sport3-creator-edition>
- [20] [https://www.emag.hu/r-sport-cabrio-b3-elektromos-auto-hang-es-fenyeffekttel-taviranyito-6v-feher-cabrio-b3/pd/DW5MX3YBM/?ref=embedding\\_similar\\_model\\_1\\_3&provider=rec&recid=rec\\_88\\_f96b59d896a2e8790deca4517e94c0a2ab047ee8d6975d1790f25ba41b88ef1e\\_1730851795&scenario\\_ID=88](https://www.emag.hu/r-sport-cabrio-b3-elektromos-auto-hang-es-fenyeffekttel-taviranyito-6v-feher-cabrio-b3/pd/DW5MX3YBM/?ref=embedding_similar_model_1_3&provider=rec&recid=rec_88_f96b59d896a2e8790deca4517e94c0a2ab047ee8d6975d1790f25ba41b88ef1e_1730851795&scenario_ID=88)
- [21] [https://www.bruderland.hu/tartalykocsi-man-tgs-bruder-3775\\_z687/](https://www.bruderland.hu/tartalykocsi-man-tgs-bruder-3775_z687/)
- [22] <https://eu.elegoo.com/products/elegoo-neptune-4-pro-fdm-3d-printer;>  
<https://www.3djake.hu/elegoo/neptune-4-pro>
- [23] <https://www.3djake.hu/elegoo/neptune-4-pro>
- [24] <https://www.ptc.com/en/blogs/cad/what-is-creo-simulation-live>
- [25] ISO 6432, series MNI AVENTICSTM ISO 6432, series MNI. (n.d.).
- [26] ISO 6432, series MNI AVENTICSTM ISO 6432, series MNI. (n.d.).
- [27] <https://www.emerson.com/hu-hu/catalog/aventics-sku-5790200210>