

## Távrolról irányítható pneumobil fejlesztése

Pintér Péter\*, Laufer Edit\*\*

\*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
(Tel: +36 (1) 666 5443 e-mail : pinter.peterm@bgk.uni-obuda.hu)

\*\*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet  
(e-mail: laufer.edit@bgk.uni-obuda.hu)

---

A mai modernizált ipari és logisztikai folyamatokban a siker legfontosabb elemei az automatizáció és a hatékonyság. A tanulmány ebben a kontextusban egy olyan speciális, környezetvédelmi szempontból jelentős jármű (pneumobil) átalakítását mutatja be, amely egyszerűsége és olcsósága révén a kereskedelmi, ipari szektorban széleskörűen felhasználható megoldásokat tartalmaz, és szinte házilag elkészíthető. A tanulmány célja a jármű átalakításának folyamatát és annak lehetőségeit bemutatni a távirányítás szintjéig, egy olyan keretrendszer kialakításával, amely elősegíti az egyszerű, programozható és többfunkciós robot tervezését. A jármű tanulmányi célú felhasználása is a tervek között szerepel. Az átalakítás révén a továbbfejlesztett jármű a távirányításon túl egy önvezető eszköz létrehozásának kezdeti lépése is lehet.

---

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a környezetvédelem, ezáltal a zöld energia felhasználása az élet minden területén megjelenik, így az ehhez a témakörhöz kapcsolódó kutatásoknak is kitüntetett szerepük van. A járművek tervezésekor is elengedhetetlen szempont a környezetszennyezés csökkentése. A pneumatikus hajtású járművek egy nagyon fontos irányzatot képviselnek ebben a törekvésben, hiszen tiszta, csendes, üzembiztos működésük által maximálisan támogatják ezt a célkitűzést.

Ezek a járművek már többféle formában megjelentek, leírások szerint már a 19. század hatvanas éveiben Louis Mekarski „pneumatikus villamost” szabadalmaztatott (Szakács, Pintér, 2017). A 2010-es évek óta létezik a TATA gyárnak egy levegővel hajtott sorozatban gyártott személyautó méretű járműve, a OneCAT, ami kb. 100-120 km-t tud megtenni egy töltéssel. A Toyota Ku:Rin nevű tanulmányjárműve, a Peugeot 2008-as sorozata 2016-ban készült el Hybrid Air hajtáslánccal szerelve. Megemlíthető még a Yamaha WR250R motorkerékpárja, valamint az Aeromovel, aminek nincs is motorja, légsugarakon siklik, amik a sínből törnek elő. A pneumobiloknak, azaz sűrített levegővel hajtott járműveknek a működési elve nagyon eltérhet egymástól. Optimális egy turbinát meghajtani a kiáramló levegővel, így közvetlen forgó mozgás jön létre, amit a kerekek meghajtására már viszonylag egyszerűen fel lehet használni, mint pl. az ECO Moto 2013-ból az ausztrál Darby Bicheno által gyártva. A Peugeot járműve egy rásegítést alkalmaz, ami csökkenti a folyékony üzemanyag fogyasztást. Ehhez hasonlóan működik a Yamaha motorja is, ami az első sűrített levegővel hajtott motorkerékpár (Oborudow).

A pneumatikus hajtású járművek közé tartozik a cikk témáját adó pneumobil is, amely egy kifejezetten verseny célra létrehozott autó, hiszen a pneumobilok számára rendszeresen rendeznek versenyeket, amelyeken 40-50 csapat vesz részt. A csapatok három versenyszámban mérik össze tudásukat, fejlesztéseiket. A három versenyszám: 1) hosszútáv futam; 2) ügyességi futam; 3) gyorsasági futam. Minden számban külön hirdetnek győztest. A cikkben szereplő pneumobil azonban ezeknél egy sokkal nehezekebb hajtást alkalmaz, sokkal, több veszteséggel, de csak így felel meg a versenykiírásoknak. Itt egy vagy több lineáris munkahengert felhasználva egy hajtóművel összeszerelve történik a hengerekbe jutó nagy nyomású levegő energiájának átalakítása forgó mozgássá. A szerzők a korábbi versenyekre tervezett járművek továbbfejlesztését tűzték ki célul, külső vezérlést megvalósítva. Az új fejlesztésnek köszönhetően a jármű távrolról, egy controller segítségével irányítható.

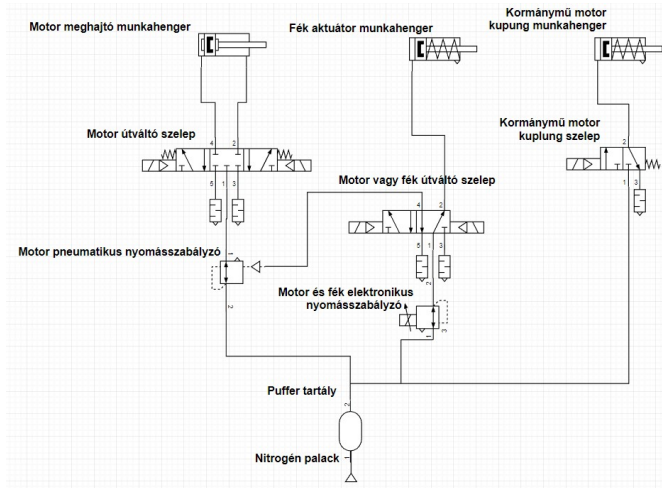
A cikkben először az eredeti felépítést mutatjuk be, majd ezt követi a szükséges átalakítások bemutatása, végezetül a távirányítható pneumobil tesztelésének eredményeit mutatjuk be.

### 2. AZ EREDETI PNEUMOBIL

A pneumobil egy sűrített levegővel hajtott jármű, melynek mozgásához egy 200 bar töltetű palack adja az energiát (Sturcz Antal, 2016). A levegő energiáját kettős működésű munkahengerek és egy hajtómű segítségével alakítja át forgó mozgássá, és ezzel a jármű kerekeit hozza mozgásba. A rendszer felépítése, egyszerűsített részegységei az 1. ábrán láthatók.

Az energiaszolgáltató rész maga a Nitrogén tartalmú tartály, ami lehet 200 vagy 300 bar töltetű, itt a méretek eltérhetnek. A palackból természetesen nem 200 bar jut a munkahengerbe, mivel így a működés nagyon veszélyes lenne, hanem egy nyomáscsökkentőn keresztül, ami maximum 10 bar-t enged a csővezetékekbe. A vezetéken keresztül eljut a levegő a vezérlőszelepeken keresztül a munkahengerbe, a vezérlő szelepek irányítják, hogy meddig töltődhet a munkahenger, és hogy melyik irányba mozduljon el. A fékrendszernek van külön egy munkahengere, ami szintén a központi levegőrendszerből kapja a működéshez szükséges energiát, azonban ez elhanyagolhatóan keveset fogyaszt. A fékrendszer munkahengeréhez is tartozik egy vezérlő szeleprendszer ezek is elektronikus vezérlésűek. Ezeket a szelepeket is egy központi egység irányítja, egy mikroszámítógép.

Az egész rendszernek még egy elengedhetetlen részét meg kell említeni a biztonsági leszállított és elektronikai vészleállító gomb. (Szakács Tamás, 2018)

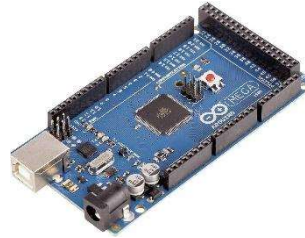


1. ábra A pneumatikus rendszer egyszerűsített részegységei és azok kapcsolatai

A vezérlési feladatokat az alap járműben egy Arduino egység látja el (AR-MEGA2560-R3, 2023). Maga az Arduino egység egy megfelelően programozható mikrovezérlő egység. Programozása egy úgynevezett Arduino Sketch segítségével történik, ami alkalmas szenzorok kiolvasására, és aktuátorok vezérlésére (motorok). Egy program több részből tevődik össze, van egy inicializálási rész (setup), a setup befejezése után egy ciklus (loop) fut folyamatosan, különböző változókat és adattípusokat lehet megadni. Emellett saját függvények kezelésére is alkalmas, de vannak előre megírt függvények is, amelyek már alkalmasak szenzorok és kijelzők kezelésére is.

A járműben egy teljes vezérlési folyamatot lát el, kiváltva egy lassabb és nehezebben programozható PLC- egységet. Régebben a verseny előírásai szerint PLC-eket kellett használni, azonban ezek nem voltak alkalmasak olyan finomhangolásra, mint egy Arduino. A technológia fejlődéséhez alkalmazkodva az újabb szabályok már megengedik a mikro vezérlők alkalmazását, ami újabb távlatokat nyithat a pneumobilok fejlesztésében. Többek

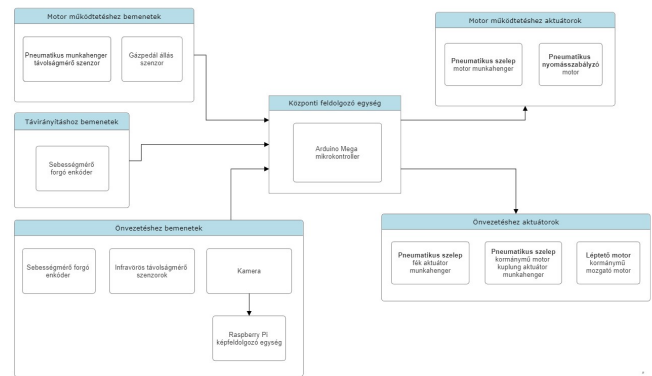
között a távirányítási feladatok megoldása is sokkal egyszerűbb mikrokontroller segítségével, hiszen nem kell még egy egység, ami értelmezi és átalakítja a PLC-számára a bejövő utasításokat. Maga a mikroszámítógép értelmezi és dolgozza fel a bejövő értékeket és adja ki a szelepek felé az utasításokat a megfelelő működésre.



2. ábra Arduino modul

### 3. A TÁVIRÁNYÍTHATÓ PNEUMOBIL

A cél a 2. fejezetben bemutatott pneumobil átalakítása távirányítású járművé. A tervezés során a kormányzásra, a fék és a gáz kezelésére kellett fókuszálnunk, hiszen ezek a távirányítható változatban más elven vezérelhetők. A pilóta ezek segítségével irányítja az autót, de meg kellett oldani, hogy ezeket a funkciókat külső kontrollerrel küldött jelek hatására ugyanúgy ellássák. A fejlesztés első lépése a vezérlés és a szenzorok, illetve végrehajtó egységek közötti kapcsolat megtervezése volt.



3. ábra A vezérlés kapcsolata a szenzorokkal és végrehajtó egységekkel

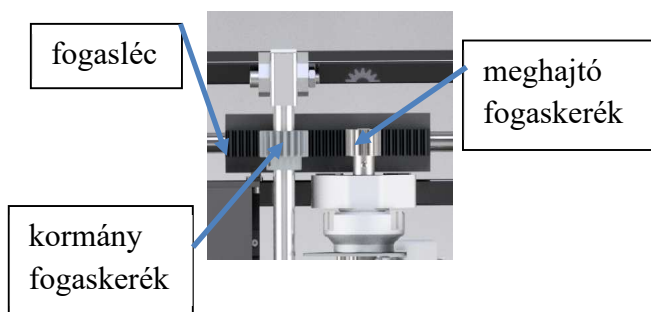
A 2. fejezetben leírtak alapján látható, hogy a kormányzást, a gáz és fék kezelését távirányítású vezérlésnél, legegyszerűbb egy Arduino segítségével megvalósítani a vezérlő jelekké alakítást.

Az alábbiakban a kormányzás, a fék- és a gázvezérlés megoldásait mutatjuk be részletesebben. Elmondható, hogy a kormányzás bizonyult az egyik legnehezebb feladatnak távirányítás esetén, ezért ennek megvalósítását mutatjuk be a legrészletesebben.

### 3.1. Kormányzás

A kormányzás esetén alapvető célkitűzés volt, hogy a vezérlő jelek hatására megfelelő erő jöjjön létre, ami képes elmozdítani a kormányművet a megfelelő irányba, de a manuális, azaz a pilóta általi kormányzás is megmaradjon lehetőségként.

A megfelelő kormányzás megoldására szükség volt egy léptetőmotorra és egy fogasléc-fogaskerékre, ami a léptető motor forgó mozgását egy jobb és bal irányú lineáris mozgássá alakította át.



4. ábra Kormányzás fogaskerék-fogasléc kapcsolata

A megfelelő eszközök kiválasztása érdekében előzetes számításokat kellett elvégezni:

A fogasléc végállástól végállásig 100 mm utat tesz meg, ezt az autó megfelelő irányíthatósága érdekében kb. 2.5 másodperc alatt kell megtennie. A fogasléc mozgatásához szükséges erő függ az aktuális pozíciótól, a szükséges erő maximuma kb. 420 N. Ezekből kiszámítható a meghajtó motor szükséges teljesítménye.

$$P = W / t = F * s / t \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{kiindulási adatok} : s &= 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ [m]} \\ F &= 420 \text{ [N]} t = 2,5 \text{ [s]} \end{aligned}$$

Az adatokból (1) segítségével kiszámolva  $P = 15,2 \text{ W}$

A motor szükséges teljesítménye tehát legalább 15,2 W.

A megfelelő pozicionálási pontosság érdekében egy NEMA 86 méretű léptetőmotorra esett a választás, típusa 86HS118-6004A (Bipoláris hibrid léptetőmotor, 2023). Ennek teljesítménye kb. 22W, tartó nyomatéka 8,5 Nm.

A motor által kifejtendő nyomaték csökkentése érdekében a fogaslécra való ráhajtásra minél kisebb fogszámú fogaskerék került beépítésre, geometria kötöttségek miatt egy 2-es modulú, 15 fogszámú kerék.

Az adatok alapján kiszámítható a motor szükséges nyomatéka:

$$T = F * r \quad (2)$$

$$r = M * z / 2 \quad (3)$$

adatok :

$$F = 420 \text{ N}$$

$$z = 15$$

$$M = 2$$

A 2 es és 3 as képlet segítségével kiszámítható T nyomaték értéke  $T = 6,3 \text{ Nm}$

A nyomaték további csökkentésének, illetve a léptetőmotor - fogasléc kapcsolatának elválaszthatóságának érdekében a kettő közé elhelyezésre került egy 1:4 áttételű bolygómű, így a szükséges nyomaték a negyedére csökkent. A bolygómű gyűrűkerékét egy rárögzített féktárcsa és féknyereg segítségével lehet rögzíteni vagy elengedni, így vész esetén a léptetőmotor lekapcsolható a kormányműről.



5. ábra léptetőmotor beépítése a kormányműbe

### 3.2 Fék és gáz vezérlése

A fék és gáz vezérlése normál esetben a pilóta által történik, mint egy gépjárműben, fékpedál és a gázpedál lenyomásával szabályozza a jármű haladásának sebességét, megállítását.

Ebben a pneumobilban a gázpedálnak nincs mechanikai kapcsolata a nyomásvezérlő szeleppel, hanem egy potméterrel van egybeépítve. A potméter a gázpedál szögelfordulásával arányos jelet küld a vezérlésnek, és a vezérlés elektronikusan szabályozza a töltőnyomás nagyságát, ami 0-10 bar lehet. A nyomással arányos a munkahenger sebessége is, ezért a hajtáson keresztül a kerekek forgási sebessége is, így vezérelve a jármű sebességét. (Kiss György, 2017)

A fékpedál azonban közvetlen kapcsolatban van a féknyergelével, bovdeneken keresztül a pilóta által kifejtett erő a fékmunkahengerre hat és így, a munkahenger a féknyerget mozgatja, ami a fékpofák működését szabályozza.

A nehézség nem igazán a jármű mozgatásához szükséges levegőnyomás szabályozásánál merült fel. Mivel elektronikus szabályozású a nyomás szabályozó szelep, ezért a bejövő vezérlő jel könnyen lefordítható volt az Arduinóval a munkahenger elmozdulását befolyásoló levegő nyomás beállítására, ezzel a jármű mozgásának a sebessége is.

A fékezés az, amit nem lehetett ilyen „egyszerűen” megoldani, mivel pilótával és távirányítással is kell működni a járműnek. A fékpedál alá be lett építve egy kis munkahenger, az ehhez



tartozó elektronikus szelepvezérléssel együtt. A távirányítás során kiadott fékező jel a központi mikroszámítógép segítségével, elektromosan szabályozza a fékpedálba épített munkahenger mozgását ezzel a bovdenekre ható erő is és így a fékezés mértékét is. Egyelőre bonyolult és drágább lett volna a teljes elektronikus fékszabályozás, biztonságtechnikai szempontból a mechanikus kapcsolat előnyösebb egy elektronikusnál, mivel ha az energiaforrással a kapcsolat megszakad, akkor a vezérlés is leáll.



6. ábra fékpedál és a gázpedál a munkahengerrel

#### 4. TESZTELÉS

A tesztkörnyezet egy udvar volt, aszfaltozott, tehát az autó irányítását nem befolyásolta az egyenetlen burkolat. Egy körülkerített pálya volt elkülönítve, ahova idegenek nem tudtak belépni. Mérések még nem történtek a próbák során.

A távirányítós pneumobil tesztelésével kapcsolatban vegyes tapasztalataink voltak. A fék és a gáz vezérlése megfelelően működött, vagyis a jármű tudott gyorsítani, lassítani és kanyarodni is, így több kört is meg tudtunk vele tenni az egyetem udvarában. Azonban a kormányzással kapcsolatban több problémába is ütköztünk. Amíg a fékezés és a gyorsítás megfelelően kontrollható volt, a kormányzás nem volt kellően rezponzív, illetve a kormánymű mozgása túlságosan darabos volt, így nehéz volt finoman kanyarodni. Ez valószínűleg a motort vezérlő program hibájának tudható be, a szoftver módosításával tudunk ezen javítani, finomítani.

További probléma volt az autó és a távvezérlő közötti kapcsolat stabilitása. A próbakörök során a kapcsolat többször is megszakadt, aminek következtében az autó irányíthatatlanná vált.

Az első tesztek során a megelőző biztonsági funkciók még nem voltak implementálva, így ha az az autó elvesztette a jelet, a jármű nem állt meg magától, hanem haladt tovább. Ezen oknál fogva pilóta nélküli tesztek nem tudtunk végezni, a biztonsági problémák miatt. A tesztek így egy emberrel a volán mögött kellett elvégezni, aki vészhelyzet esetén felül tudta bírálni a jármű irányítását.

A fenti hibák javítása érdekében folyamatos fejlesztést végzünk, hogy a valódi teljes távirányítás elérhető legyen, akár vezető nélkül is teljes mértékben irányíthatóvá váljon a jármű. Természetesen továbbra is meghagyva a hagyományos vezetés lehetőségét is.

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A projekt célja, hogy egy zárt (esetlegesen nyitott) pályán a vizsgált pneumobil végig tudjon menni minden gond nélkül, önállóan, külső beavatkozás nélkül.

A fejlesztés során több nehézség merült fel, mint pl. a gáz, fékszabályozás, kormányzási megoldás, amelyeket sikerült leküzdeni. A legfontosabb, amit szem előtt kellett tartani, hogy a járművel szembeni elvárás volt, hogy működjön manuálisan pilóta által irányítva és önállóan is. Az első nagy lépés a távirányítás kialakítása volt, amit eddig nagymértékben sikerült megvalósítani. Itt rengeteg információt kaptunk a járművel és működésével kapcsolatban, amik segítenek a teljesen önálló mozgáshoz szükséges fejlesztések elkészítésében. További fejlesztések állnak még előttünk, de jelen tanulmány jó alapja lehet egy önvezető jármű létrehozásának is.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- AR-MEGA2560-R3,  
[https://www.hestore.hu/prod\\_10036436.html](https://www.hestore.hu/prod_10036436.html)  
[2023.07.20.]
- Bipoláris hibrid léptetőmotor,  
<https://variometrum.hu/hu/meghajtás/leptetomotor/nema-34-86mm/87nm-leptetomotor-bipolaris-hibrid>  
[2023.07.20.]
- Kiss Gy. Pintér P. Szakács T. : Vehicle Frame Optimization using Finite Element Method, In: Pokorádi, László (szerk.) *Proceedings of the 1st Agria Conference on Innovative Pneumatic Vehicles – ACIPV 2017*, Óbudai Egyetem (2017) pp. 59-63.
- Oborudow, Pneumatikus hajtású járművek,  
<https://oborudow.ru/hu/repair-and-maintenance/pnevmoprivod-avtomobili-rabotayushchiy-na-szhatom-vozduhe-vozdushnyy-dvigatel/> [2023.08.29.]
- Sturcz Antal, Levegő jön a kipufogóból?, *Totalcar*, (2016),  
[https://totalcar.hu/belsőseg/2016/05/05/levegő\\_jön\\_a\\_kipufogoból/](https://totalcar.hu/belsőseg/2016/05/05/levegő_jön_a_kipufogoból/) [2023.08.31.]
- Szakács T. : Pneumatic modelling of a pneumobil (2018) *Proceedings of the 2nd Agria Conference on Innovative Pneumatic Vehicles ACIPV 2018*, Óbudai Egyetem (2018) pp. 25-30.
- Szakács T, Pintér P, Pneumatikus hajtású járművek, *Mezőgazdasági Technika*, (2017), pp. 34-37.