



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki kar



**Az év legjobb Pneumobiljának
motorvezérlője**

TDK DOLGOZAT

Konzulens:

Készítette:



Dr. Szabó Tibor
mestertanár

Himes Ádám

Mechatronikai mérnök mesterszak
Intelligens beágyazott rendszerek
szakirány

Budapest, 2014

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	1
1 BEVEZETÉS	5
2 INTRODUCTION	6
3 FELADAT MŰSZAKI RÉSZLETEI	7
3.1 Általános feltételek	7
3.2 Előírások (részlet)	7
3.3 Verseny körülmények	7
4 MEGLÉVŐ RENDSZER BEMUTATÁSA	8
4.1 Pneumatikus motor	8
4.2 Váltómű	9
4.3 Hengerek töltési módja	10
4.4 Pneumatikus kapcsolás	10
5 VEZÉRLŐ ELEKTRONIKA TERVEZÉSE	12
5.1 Rendszer felépítése	12
5.2 Szükséges paraméterek	14
5.3 Naplózás	14
5.4 Vezérlési üzemmódok	15
5.5 Szenzorok	18
5.6 Aktuátorok	19
5.7 Elektronikai egységek	20
5.8 Adatgyűjtő modul	21
5.9 Vezérlő modul	28
6 SZOFTVERTERVEZÉS	36
6.1 Adatgyűjtő szoftver	36
6.2 Vezérlő szoftver	38

7	VERSENYTAPASZTALATOK, TOVÁBBFEJLESZTÉS	40
7.1	Első évi versenytapasztalatok (2012)	40
7.2	Második évi versenytapasztalatok (2013)	42
8	CSÚCSRA FEJLESZTÉS	45
8.1	Felfedezett hiányosságok pótlása	45
8.2	Ügyességi üzemmód továbbfejlesztése	52
8.3	Gyorsulási üzemmód kifejlesztése	56
9	EREDMÉNYEK.....	59
10	IRODALOMJEGYZÉK	61
11	MELLÉKLETEK.....	62

Grafikonjegyzék

1. grafikon: Ügyességi futam sebesség grafikonja	43
2. grafikon: Munkahenger nyomása az ügyességi futamon	43
3. grafikon: Leszellőző nyomás pufferről	43
4. grafikon: Puffer töltése	45
5. grafikon: Reduktor térfogatáram	45
6. grafikon: Reduktor térfogatárama a nyomáskülönbség függvényében	46
7. grafikon: Puffer nyomásszabályozása	47
8. grafikon: Adiabatus töltés	51
9. grafikon: Izoterm töltés	51
10. grafikon: Gyorsulások különböző fokozatokban.....	52
11. grafikon: Irányváltás 250 ms várakozással.....	54
12. grafikon: Irányváltás várakozás nélkül.....	55
13. grafikon: Irányváltás előgyújtással	56
14. grafikon: Sebességfokozatok 40 km/h felett	58

Ábrajegyzék

1. ábra: Pneumatikus kapcsolási rajz	11
2. ábra: Vezérlő szoftver folyamatábrája.....	17
3. ábra: Adatgyűjtő hardveres blokkvázlata	21
4. ábra: Adatgyűjtő funkcionális blokkvázlat.....	23
5. ábra: Reset áramkör	25
6. ábra: Hő és fénymérő kapcsolás	26
7. ábra: RS485 kapcsolás.....	26
8. ábra: Adatgyűjtő NYÁK (alsó réteg)	27
9. ábra: Adatgyűjtő NYÁK (felső réteg)	27
10. ábra: Vezérlő hardveres blokkvázlat	29
11. ábra: Vezérlő funkcionális blokkvázlata	30
12. ábra: Tápegység.....	32
13. ábra: Reed-relé kapcsolás	33
14. ábra: Relé meghajtó áramkör.....	33
15. ábra: Analóg szenzorbemenet.....	33
16. ábra: Akkumulátor felügyelő kapcsolás	34
17. ábra: Vezérlő NYÁK (alsó réteg).....	35
18. ábra: Adatgyűjtő szoftver folyamatábrája	37
19. ábra: Vezérlő szoftver folyamatábrája.....	39
20. ábra: Vezérlő szoftver folyamatábrája 2.....	39
21. ábra: Pneumatikus kapcsolási rajz (levegő előkészítés)	49
22. ábra: Pneumatikus kapcsolási rajz (váltó)	49
23. ábra: Pneumatikus kapcsolási rajz (hajtás).....	50

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Adatgyűjtő elektronika alkatrészjegyzéke	27
2. táblázat: Vezérlő elektronika alkatrészjegyzéke.....	35
3. táblázat: Gyorsulási üzemmód fázisai	57
4. táblázat: Versenyeredmények.....	60

Képjegyzék

1. kép: Elsődleges hajtómű.....	8
2. kép: Az átalakított autóváltó.....	9
3. kép: Váltó fogaskerekei.....	9
4. kép: Vezérlő elektronika kezelőfelülete	12
5. kép: Nyomásmérő.....	18
6. kép: Útadó	18
7. kép: Váltópozíció reed-relé	18
8. kép: Gázkar.....	18
9. kép: Főmunkahengerek.....	19
10. kép: Fő munkahenger szelep	19
11. kép: Váltó munkahenger.....	19
12. kép: Váltó munkahenger szelep.....	19
13. kép: Grafikus és adatgyűjtő modul.....	27
14. kép: Grafikus kijelző	27
15. kép: Vezérlő elektronika panelje	35
16. kép: Vezérlő elektronika doboza	35
17. kép: Megépített pneumatikus rendszer és fejlesztés alatt álló elektronikája	40
18. kép: Nyomásmérők.....	49
19. kép: A jármű (Kakukktojás) verseny közben	59
20. kép: Eredményhirdetés után	59

1 BEVEZETÉS

A Bosch Rexroth Kft. 7 éve hirdette meg először országos műszaki tervezési, és konstrukciós versenyt, a Pneumobil versenyt, ami 2008 óta minden évben megrendezésre kerül. A pályázat magába foglalta egy olyan pilóta irányította pneumatikusan hajtott jármű tervezését és kivitelezését, amely a rendelkezésre bocsátott erőforrás – sűrített levegővel töltött tartály - energiáját szélsőséges igények mellett is nagy hatékonysággal használja fel.

Csapattársaimmal 2011 óta, 4 éve képviseljük fő támogatónkat, a Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszéket. Azóta több mint 10 versenyen vettünk részt, ahol az ország egyéb (és néhány külföldi) műszaki felsőfokú intézményeiből jött csapatok autóival versenyeztünk. Ezek közül a legtöbb versenyen abszolút első helyet értünk el. 2013-ban illetve 2014-ben az év legjobb pneumobilja címet is kiérdemeltük.

A jármű megépítése közös munka volt, 3-4 fős csapatban dolgoztunk, de jól elkülöníthető részekre bontható ki mit fejlesztett a gépen. Dolgozatom lényege azon részmunkák kiemelése, amelyeket én találtam ki, illetve fejlesztettem, kiviteleztem, és a versenyeken szerzett tapasztalatok, mérési eredmények alapján tökéletesítettem. A meghajtás kialakítási módjának meghatározása, és a hozzá tartozó pneumatikus motor megtervezése, annak vezérlése az én feladatom volt.

Jelen dolgozat magába foglalja a jármű pneumatikus rendszerének és vezérlésének ismertetését, a tervezés menetének rövid leírását. Az üzemi folyamatok irányítását, a kezelőszervek beavatkozó jeleinek feldolgozását egy saját fejlesztésű mikrokontrolleres rendszer végzi. Bemutatom ezen motorvezérlő elektronika teljes megtervezését és az implementált üzemi folyamatokat. A 2012-es BSc-s szakdolgozatom keretében fejlesztett és megépített jármű hardverével méréseket végeztem a különböző versenyeken. A hangsúlyt a mérési eredmények kiértékelésére és a motorvezérlő csúcsra fejlesztési munkájára fektettem.

Végül pedig prezentálom a kész jármű versenyeken elért kimagasló teljesítményét, eredményeinket, melyekhez az általam kifejlesztett motorvezérlő jelentősen hozzájárult.

2 INTRODUCTION

The Bosch Rexroth Ltd is organizing a national engineering design and construction competition, the “Pneumobil race” every year, since 2008. The project includes the design and the construction of a pilot controlled pneumatically powered vehicle, that uses the available resources – tank filled with compressed air – really efficiently even under extreme conditions.

With my teammates we are representing our main sponsor the Mechatronics, Optics and Engineering Informatics Department since 2011. We already took part in more than 10 races, where our constructed vehicle was racing against other cars built by teams coming from the country’s (and some international) technical institutions of higher education. We won the 1st price on most of these races, and in 2013 and 2014 we earned the “Best pneumobil of the year” title.

Building the vehicle was teamwork of 3-4 members, but our individual work can be well separated. The aim of this document is to highlight the parts that I found out, designed, built, and how did I highly improve it using my race experiences, measurements. My job was to design the pneumatic drive system and its controller.

This document describes the vehicle's pneumatic system and control, including the main steps of the planning process. The control of the operational processes, and the signal processing from intervening controls are performed by an own developed microcontroller system. I introduce the design process of the motor controller electronics in details, and the implemented operating processes. I took measurements with our vehicle’s hardware that was constructed in 2012 as my Final Project work of BSc course. The highlighted parts will be analyzing these measurements and the improvements I done completing the controller.

Finally I will present the extraordinary power of our pneumobil and the prices won on races. This motor controller that I have developed was essential for the results.

3 FELADAT MŰSZAKI RÉSZLETEI

3.1 Általános feltételek

A feladat egy olyan „pneumatikus jármű” – **PNEUMOBIL** – tervezése és elkészítése, amely a sűrített levegő energiáját alkalmazva, pneumatikus vezérlő és végrehajtó elemek felhasználásával viszi át a nyomatékot a hajtott kerekre. A járműnek egy fő vezetővel a fedélzetén kell teljesíteni a versenyszámokat.

3.2 Előírások (részlet)

- a) A sűrített levegő nyomási energiáját a Rexroth pneumatikus hengereivel és vezérlő szelepeinek felhasználásával kell mechanikai munkává átalakítani.
- b) A vezérlés lehet elektropneumatikus is; ebben az esetben az előírt feszültség: 24V DC.
- c) Az elektromos vezérlő egységet, PLC-t a nedvesség (eső) ellen védeni kell, ezért az ilyen részegységeket IP54 szigetelési osztályú, legalább egy oldalán átlátszó dobozban kell elhelyezni.

3.3 Verseny körülmények

A verseny 3 futamból áll, minden versenyszámhoz 1 palack levegő áll rendelkezésre:

- Takarékos: Cél a legnagyobb táv megtétele az adott levegővel
- Ügyességi: Leggyorsabb körök futása (2 mért kör)
- Gyorsulási: Rövid szakasz megtétele álló helyzetből, minél hamarabb

4 MEGLÉVŐ RENDSZER BEMUTATÁSA

4.1 Pneumatikus motor

A pneumatikus motort alapszakos szakdolgozatom keretében fejlesztettem ki, így annak részletes tervezési folyamatról és az egyes pneumatikus elemek kiválasztásáról a 2012-es „Pneumatikus motor tervezése és vezérlése PNEUMOBIL járműbe” című szakdolgozatomban olvashatnak.

Azok számára, akik azt nem olvasták, ebben a fejezetben ismertetem nagyvonalakban a korábbi rendszer eredeti felépítését, amihez az új vezérlőelektronika készült. A teljes fejezet forrása a szakdolgozatom [1].



1. kép: Elsődleges hajtómű

A lineárisan alternáló pneumatikus motor magja két darab 100 mm átmérőjű 500 mm-es lökettel rendelkező munkahenger. A hengerek párhuzamosan működve egy közös rudazatot hajtanak alternálva. A rudazat egy lineáris csapágyazással megvezetett fogaslécet hajt. A lineáris mozgást a fogasléccel kapcsolódó fogaskerek segítségével alakítjuk forgó mozgássá, melyek közös tengelyen helyezkednek el egy-egy szabadonfutóra szerelt fogaskerékkel. Ezen fogaskerek egyike egyben a váltó behajtó fogaskereke is. A szabadonfutók váltott ütemben szolgáltatják a hajtást a váltó tengelyére. A két fázis össze- és

a váltó behajtása a szabadonfutóra szerelt fogaskerékkel került megoldásra, így a váltó tengelye egyenirányított forgást végez. Felépítése az 1. képen látható. Ezt egészíti ki egy váltómű, mely egy láncáttétellel a kerékre viszi át a hajtást.

4.2 Váltómű

Koncepciójában olyan váltóműre volt szükség, ami erős, gyors, megbízható, könnyen vezérelhető, és álló hajtáslánc mellett is képes váltani. Áttekintve az általunk elérhető forrásokat, egy autóváltó (2. kép) átalakítása mellett döntöttünk, ami felépítéséből következően teljesíti ezt a követelményt.

A nagy, erős munkahengereknek köszönhetően elegendő két sebességfokozat számunkra, azaz elegendő két véghelyzet között mozgatni a váltót (3. kép). Erre a feladatra kiváló megoldás egy pneumatikus munkahenger alkalmazása, mely kellően gyorsan képes elvégezni a fokozatváltást. Több fokozat esetén, a váltó üresbe tételét is meg kellene oldani, ami pneumatikusan nehezen kivitelezhető.



2. kép: Az átalakított autóváltó



3. kép: Váltó fogaskerekei

Ennek ellenére mi egy indítófokozattal is elláttuk váltónkat, amit csak a legelső indulásnál használunk. Elindulás előtt a váltó munkahengerét kézzel állítjuk középre, üresbe téve ezzel, és rögzítjük a starter fokozatot. A váltó első fokozatba kapcsolása mechanikusan kiveszi az indítófokozatot.

4.3 Hengerek töltési módja

Alapvető filozófiám a tartály energiájának minél hatékonyabb felhasználása. A dugattyúk töltésének legelterjedtebb módjai közül az expanziót választottam. Ebben az esetben a munkahengereket csak egy adott határig töltjük levegővel, majd hagyjuk a gázt expandálni. Így a leszellőztetett levegő alacsony nyomása miatt, kicsi a leszellőztetésből adódó veszteség, jobban kihasználja levegő energiáját. A határt az éppen rendelkezésre álló nyomás függvényében kell meghatározni, hogy expanzió végén a dugattyú nyomása, annak véghelyzetbe juttatásához szükséges minimális erő kifejtésére képes legyen.

Ehhez az üzemmódhoz szükség van egy kellően nagy puffertartályra is, amely biztosítja a szükséges térfogatáramot a henger gyors feltöltéséhez. A tartály a szükséges levegő mennyiséget, az expandálás, illetve véghelyzetben történő várakozás ideje alatt nyeri a reduktorból.

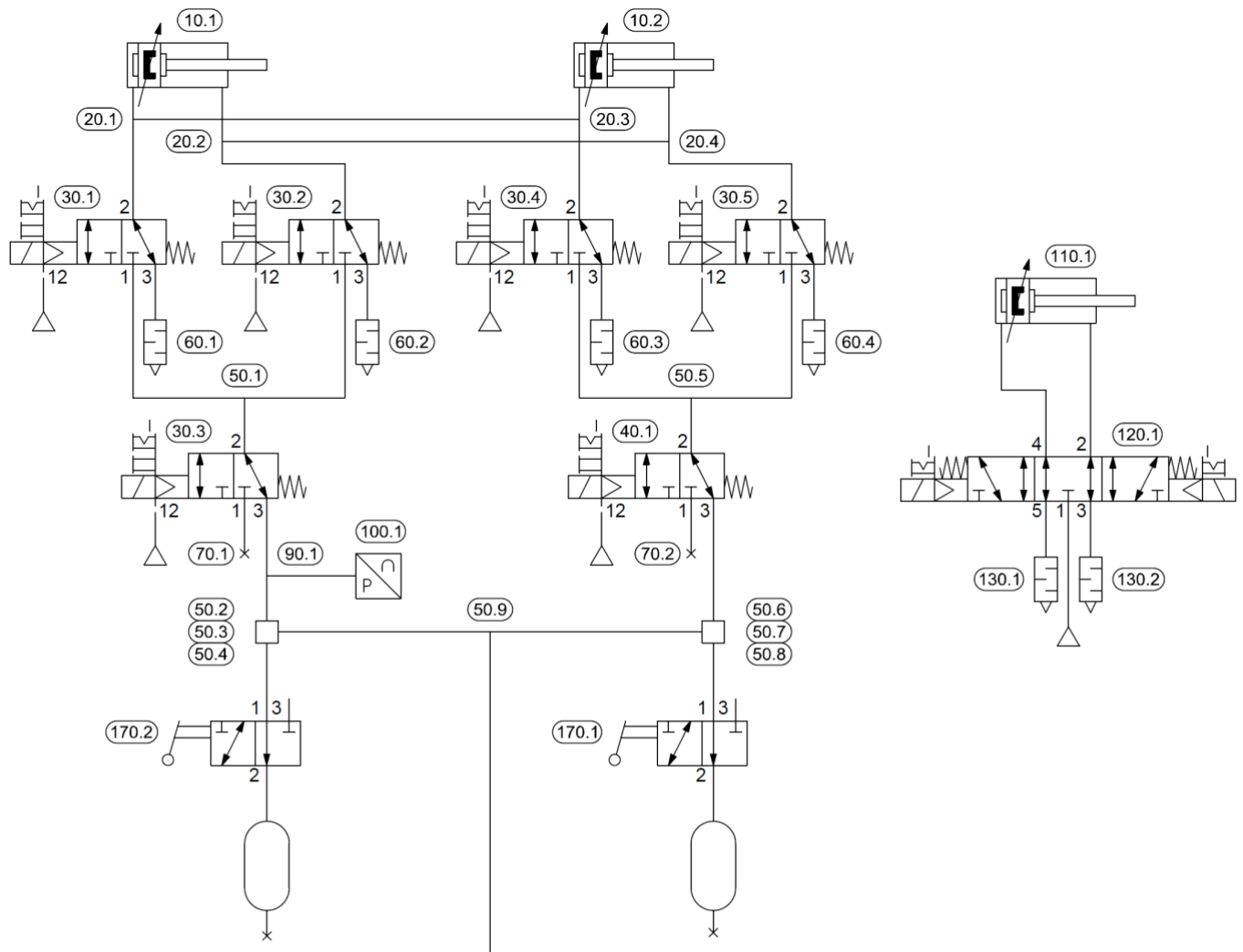
4.4 Pneumatikus kapcsolás

A korábbi elképzeléseimet megvalósító pneumatikus kapcsolási rajzot az 1. ábra mutatja.

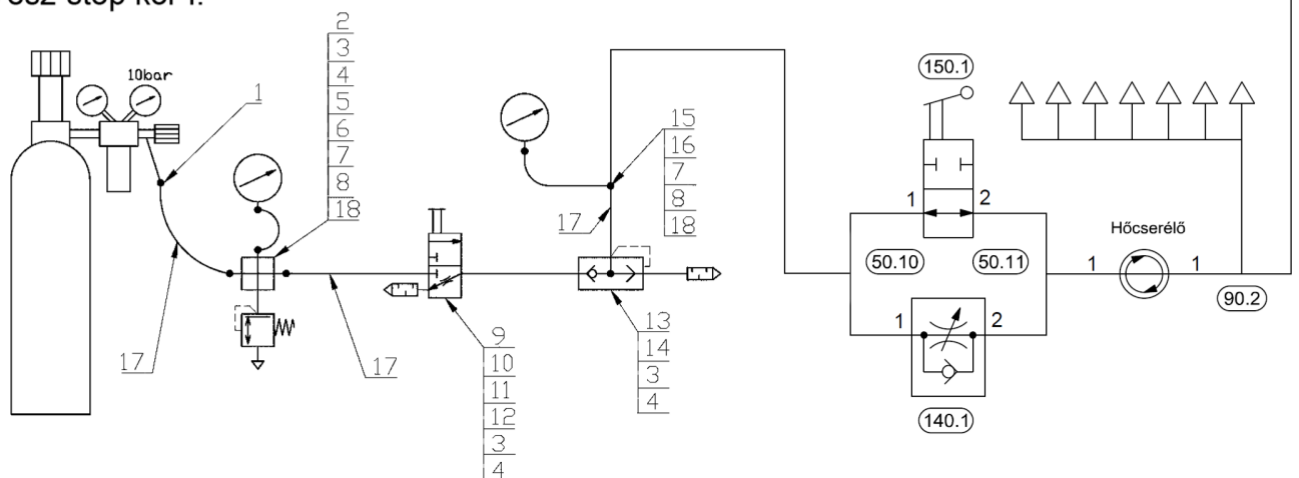
A jármű számára a levegőt a nagynyomású tartály szolgáltatja. A reduktor kimenete egy vész-stop biztonsági egységbe torkollik, ami elengedhetetlen a biztonságos járműhöz. A vész-stop kör a versenyszabályzat által megkövetelt elemekből áll. Ezt követően egy – meg nem valósult – hőcserélőn keresztülhaladva elosztásra kerül a különböző pneumatikus elemek között, illetve táplálja az elsődleges hajtóműhöz tartozó 2 db 25 literes puffertartályt.

A váltómunkahengert egy 5/3-as elektromos működtetésű szelep vezérli, a főmunkahengereket pedig 3/2-es elektropneumatikus szelepek. A munkahengerek egyes kamráit – az expandálás megvalósításához – tudni kell: tölteni, zárva tartani, leszellőztetni. Erre a célra 5/3-as szelepeket szokás alkalmazni, de azok kapcsolási sebessége lassú, ezért a nagy légáteresztési képességű 3/2-es szelepekből állítottam össze az ugyanolyan funkciókkal bíró kapcsolást.

Pneumatikus kapcsolási rajz:



Vész-stop kör I.



1. ábra: Pneumatikus kapcsolási rajz

5 VEZÉRLŐ ELEKTRONIKA TERVEZÉSE

5.1 Rendszer felépítése



4. kép: Vezérlő elektronika kezelőfelülete

A jármű hőtani folyamatainak szabályzásáról, naplózásáról, automata váltás megvalósításáról, és a vezetővel való kapcsolattartásról egy saját fejlesztésű mikrokontrolleres beágyazott rendszer gondoskodik (4. kép). Ez alól kivételt képez a grafikus kijelzéshez tartozó modul, melyet csapattársam: Komancsik Norbert készített. A naplózás kivitelezése is közösen megoldott feladat. Ezekről „HMI and data logging system of a concept vehicle” című szakdolgozatában olvashatnak.

A RISC processzor illesztett és erősített kimenetei révén az elektronikai egység képes az elektropneumatikus szelepek vezérlésére.

A rendszernek több visszacsatolása is van:

- A dugattyú elmozdulását a hengerekre szerelt mágneses elven működő analóg útdó detektálja. Ez az információ teszi lehetővé az előre definiált hőtani folyamatok futtatását, segítségével számítható a megtett löketek száma, és a fogyasztás. Az időegységre vetített elmozdulásból számítható a motor sebessége, ami alapján beállítható a sebességváltó fokozata.
- A dugattyúpozíció pontos pozíciójának korrigálása érdekében mágneses helyzetérzékelők is felszerelésre kerülnek a két véghelyzetbe.
- Egy másik szenzor a puffertartály nyomását méri, melynek köszönhetően pontosan ismert van-e elegendő levegőmennyiség a hengerek feltöltéséhez, a kívánt beállítások mellett. Ebből a mért nyomásértékből kerül kiszámításra az expandálás határa is, hogy pontosan a minimálisan szükséges maradó nyomás kerüljön leszellőztetésre.
- A hőtani számítások pontosítása érdekében két helyen mérhető a gázok hőmérséklete.
- Hátsókerékre felszerelt mágneses helyzetérzékelők a jármű sebességének meghatározásához.
- Váltó véghelyzet érzékelői, melyek segítségével elkerülhető, hogy váltás közben, idő előtt kapcsolja rá a terhelést a vezérlő.
- Kapcsolók, nyomógombok melyekkel az üzemmódok kiválasztása valósítható meg.
- Gázkarba épített analóg szenzor
- Akkumulátor felügyelet (feszültség, áram mérés)
- Külső hőmérséklet, fényerő

Az elektronikának olyan kezelőfelülettel kell rendelkeznie, melyről a vezető több úton is kaphat visszajelzést a rendszer állapotáról. Verseny közben a LED-ekből és grafikus kijelzőből álló megjelenítőn tájékozódhat a vezérlésről, annak üzemmódjáról, jármű sebességéről, becsült hátralévő üzemanyag mennyiségről, puffertartályban tárolt levegőtartalékról és egyéb üzemi paraméterekről.

5.2 Szükséges paraméterek

Az elektronikának fel kell tudnia dolgozni a felsorolt szenzorok jeleit, és azokból a vezérléshez szükséges, valamint a pilóta tájékoztatására szolgáló paramétereket meghatározni:

- bekapcsolás óta eltelt idő
- üzemmód választás
- aktuális sebességfokozat
- szelepek vezérlési állapota
- dugattyúpozíció
- dugattyúsebesség
- dugattyú megtett löketek száma
- aktuális löketre számolt expand-határ
- kerék által megtett út
- keréksebesség
- akkumulátorok feszültsége
- akkumulátor árama
- akkumulátorból kivett energia (mAh-ban)
- puffertartály/munkahenger kamra nyomása
- puffertartály levegőkészlete (%-ban)
- elhasznált levegőmennyiség

5.3 Naplózás

Az így meghatározott paramétereket, későbbi kiértékelések és a jármű továbbfejlesztése céljából, el kell tudnia tárolni valamilyen adathordozón, adott formátumban, az utólagos számítógépes feldolgozáshoz.

Kétféle naplózási esemény van:

1. Kerék forgásával kapcsolatos esemény:

Kiváltásának okai:

- kerék mágnes elhaladt az érzékelő előtt
- sebességfokozat váltás történt

Eltárolandó adatok:

- bekapcsolás óta eltelt idő
- kerék által megtett út
- kerék sebesség
- aktuális sebességfokozat

2. Dugattyú mozgásával összefüggő esemény:

Kiváltásának okai:

- a dugattyú véghelyzetbe érkezik / elindul onnan
- a dugattyú mozgásban van, és 10%-al elmozdult az előző esemény óta

Eltárolandó adatok:

- bekapcsolás óta eltelt idő
- dugattyú megtett löketek száma
- dugattyú pozíció
- aktuális löketre számolt expand-határ
- dugattyú sebesség
- puffertartály nyomása

5.4 Vezérlési üzemmódok

A kormányon található kapcsoló tömbbel legyen lehetséges a különböző üzemmódokhoz való szoftverrész kiválasztása. Ezek pusztán beállításra szolgálnak, nem menet közbeni manipulációra.

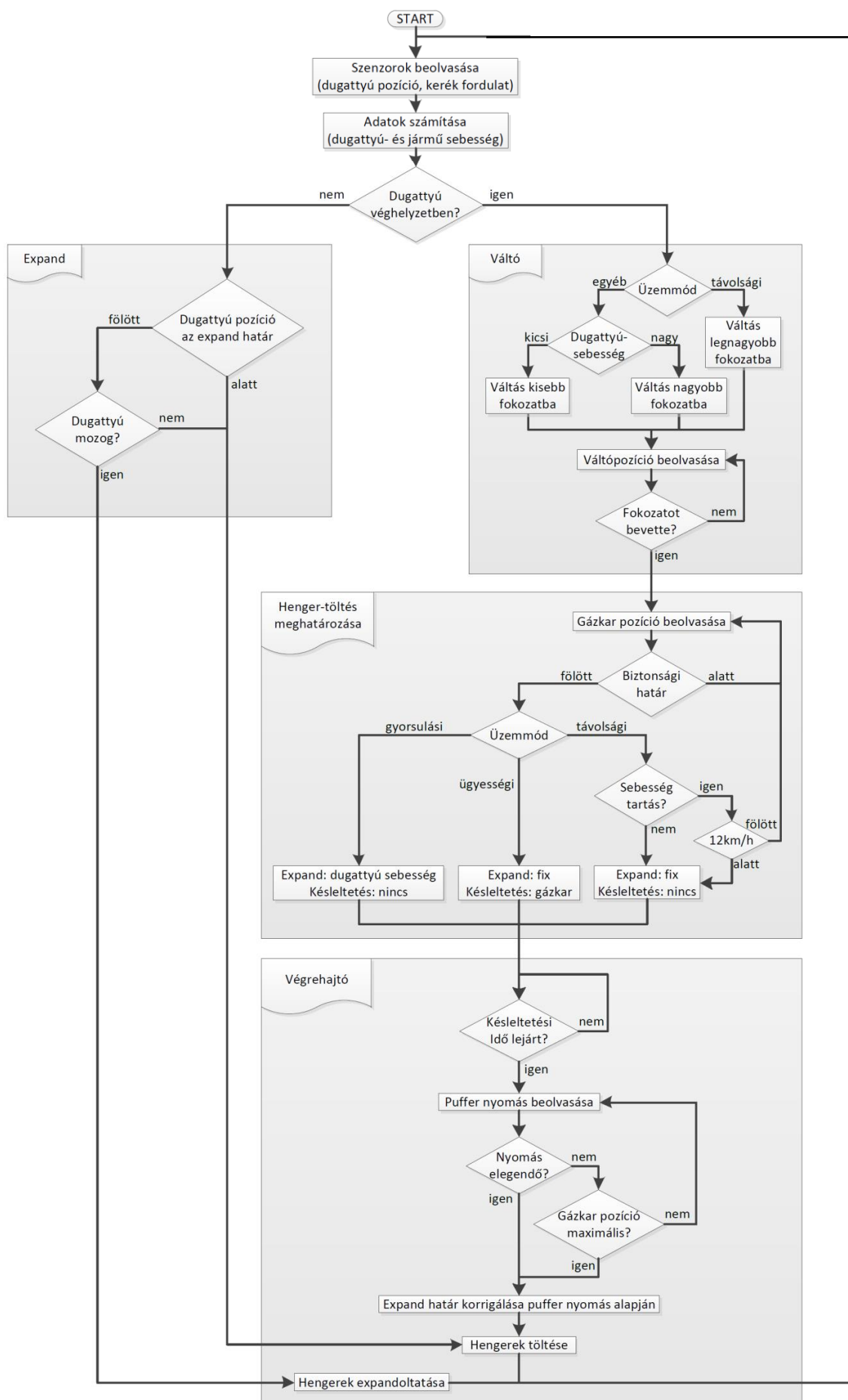
Választható üzemmódok:

Gyorsulási: A program a gázkar elmozdulásának függvényében egy adott biztonsági határérték fölött indítja el a motort az esetleges kiugrás elkerülése miatt. A határértéket átlépve elindul a gyorsulási futamra írt speciális szoftver. Induláskor 70%-ig tölti a hengereket a nagyobb teljesítmény érdekében (tovább tölteni már túl nagy veszteséget okozna és felemésztene a puffertartály energiáját), majd fokozatosan csökkenti a töltéshatárt. Nagyobb sebességen a töltések közti ismétlési időt is változtatja a dugattyúsebesség függvényében. Ezzel biztosítja a rendelkezésre álló légáram maximális felhasználását. Mindezt úgy kell ütemeznie, hogy a verseny végére a pufferben tárolt tartalékokat is felhasználja. Gyorsulás során figyelje a dugattyú sebességét, és adott értéket átlépve második sebességfokozatba kapcsoljon.

Ügyességi: A motorvezérlés hasonló a gyorsulási futaméhoz, de ez esetben a hengereket mindig a leggazdaságosabb mértékig töltjük. A program ez esetben a gázkar elmozdulásának függvényében a hengerek töltése közti szüneteket változtatja, így határozva meg a jármű átlagos teljesítményét. Maximális gázkar pozíció esetén a hengerek töltésének határa átmenetileg növelhető, aminek eredményeként rövidtávon a pufferben tárolt levegőt felhasználva további teljesítmény nyerhető ki. A sebességfokozatot itt is automatikusan kapcsolgatja az elektronika.

Takarékos: A nagy hengerből adódóan takarékos üzemmódban ritkán történik töltés, ezért a gázkar nyomógombként üzemel, egy biztonsági határértéket átlépve egyet töltson a hengerekbe. Ezen üzemmódban nincs sebességváltás, végig a legnagyobb fokozatot használjuk. A puffertartály nyomását is végig maximális értéken tartjuk, hogy a levegő energiáját minél jobb hatásfokkal használjuk fel. A kijelzőn megjelenítésre kell kerülnie a verseny indításától számított átlagsebesség függetlenül attól, hogy megy-e a jármű vagy áll, segítve ezzel a vezetőt a megfelelő sebesség megválasztásában. A pilótának lehetősége van használni a sebesség tartó funkciót is, mely esetben a gázkar folyamatos húzásával, az elektronika időzíti a hengerek töltését, és tartja az előírt 12 km/h-s minimális átlagsebességet.

A megvalósítandó vezérlési folyamat lépéseit a következő oldalon található 2. ábra mutatja.

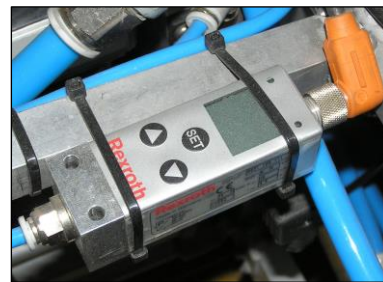


2. ábra: Vezérlő szoftver folyamatábrája

5.5 Szenzorok

Nyomásmérő

Gyártó:	Rexroth
Kódszám:	0821100111
Mérési tartomány:	0-16 bar
Kimenet:	analóg 4-20 mA
Használat:	puffer tartály nyomásának mérésére



5. kép: Nyomásmérő

Útadó

Gyártó:	Rexroth
Kódszám:	R412010416
Mérési tartomány:	0-256 mm
Kimenet:	analóg 4-20 mA vagy 0-10V
Használat:	dugattyúpozíció meghatározása



6. kép: Útadó

Reed-relé

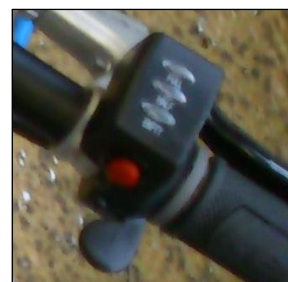
Gyártó:	Rexroth
Kódszám:	0830100629
Kimenet:	10-30V DC
Használat:	munkahenger véghelyzet érzékelés, váltó sebességfokozat érzékelés



7. kép: Váltópozíció reed-relé

Gázkar

Kivitel:	quad jellgű, hüvelykujjas
Érzékelő:	lineáris HALL szenzor
Kimenet:	analóg 0-5V
Extra:	bekapcsoló gomb



8. kép: Gázkar

5.6 Aktuátorok

Fő munkahenger

Gyártó:	Rexroth
Kódszám:	0822125011
Átmérő:	100 mm
Löket:	500 mm
Üzemi nyomás:	2-10 bar



9. kép: Főmunkahengerek

Fő munkahenger szelepek

Gyártó:	Rexroth
Kódszám:	5724560220
Típus:	3/2-es elektropneumatikus
Feszültség:	24V DC
Áramfelvétel:	90 mA



10. kép: Fő munkahenger szelep

Váltó munkahenger

Gyártó:	Rexroth
Kódszám:	0822332503
Átmérő:	16 mm
Löket:	50 mm
Üzemi nyomás:	2-10 bar



11. kép: Váltó munkahenger

Váltó munkahenger szelep

Gyártó:	Rexroth
Kódszám:	5777410220
Típus:	5/3-as elektropneumatikus
Feszültség:	24V DC
Áramfelvétel:	200 mA



12. kép: Váltó munkahenger szelep

5.7 Elektronikai egységek

A rendszer megvalósítása komplex feladatot igényel. Ennek végrehajtását három modul végzi, melyek elnevezése a továbbiakban: vezérlő -, adatgyűjtő -, és grafikus modul. Az első a motortérben, míg utóbbi kettő a műszerfalra szerelt központi egységben kerül elhelyezésre. A modulokat egy-egy AVR mikrokontroller irányítja.

Adatgyűjtő modul

Mikrokontroller: ATMega32

Az adatgyűjtő modul feladata a kormányon elhelyezett gázkar, kapcsolók, analóg hő- és fénymérők beolvasása és ebből értékek számítása, valamint ezek továbbítása a többi modul felé. További feladata a dobozban elhelyezett berregő, valamint LED-ek utasításra történő kapcsolása, adatok pufferelése és továbbítása a vezérlőtől a grafikus egységig.

Nagy számítási igények nincsenek, a szoftver sem foglal sok helyet, ezért kiválasztásakor kizárólag a megfelelő számú IO port és elegendő puffer (RAM) játszott szerepet.

Vezérlő modul

Mikrokontroller: ATMega128

A vezérlő modul méri a motortérben elhelyezett szenzorokat, lekérdezi az adatgyűjtőtől a további bemeneteket (RS485 protokollon), és ezek alapján kapcsolgatja a munkahengerek elektropneumatikus szelepeit. Az üzemi adatokat elküldi a grafikus modulnak (adatgyűjtő modulon keresztül, a dobozok közötti kommunikációs csatornák minimalizálása miatt), ami azok további kezeléséről gondoskodik.

Alapos kutatást végezve, korábbi tapasztalataim alapján, a célra legalkalmasabbnak az ATMega128-as mikrokontrollert találtam. TQFP-64 tokozásának köszönhetően kellő számú IO lábbal rendelkezik, és program memóriája is elegendő.

Grafikus modul

Mikrokontroller: ATMega1284P

A grafikus modul nem vesz részt aktívan a jármű vezérlésében, feladata a mért/számított adatok megjelenítése a felhasználó számára, valamint azok tárolása későbbi kiértékelés céljából. A modul rendelkezik egy 128x128-as monokromatikus, LED-es háttérvilágítású, grafikus LCD-vel, SD kártyával, RTC-vel (órával). Az adatokat az adatgyűjtő modultól kérdezi le I²C buszon. A PC-n futó diagnosztikai szoftverrel, soros porton valósul meg a kommunikáció, melyre RF adóvevőt kötve távolról is diagnosztizálható a rendszer. A mikrokontroller kiválasztása során a 16Kbyte RAM volt a meghatározó paraméter, a kijelző képeinek tárolásához.

A modul tervezése és kivitelezése nem az én feladatom volt, nem képezi dolgozatom részét.

5.8 Adatgyűjtő modul

5.8.1 Részletes specifikáció

A mikrokontroller elsődleges feladata a perifériák kezelése. Folyamatosan olvassa be a bemeneteit, és állítja be a kimeneteket a külső eszköz utasítására.

Bemenetek:

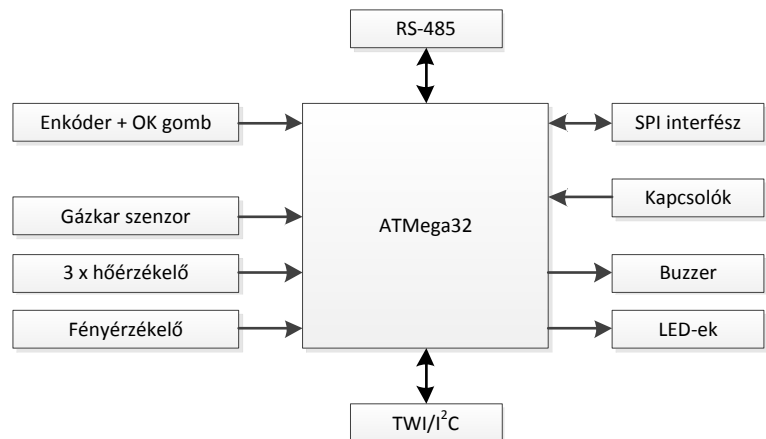
- Enkóder + OK gomb
- Kapcsoló bemenetek (digitális bemenet)
- Gázkar pozíció (lineáris hall szenzor által kiadott analóg jel)
- Fényerősség mérés (fotodióda és mérőellenállás alkalmazásával)
- 3 db NTC hőmérő szenzor (analóg csatorna)

Kimenetek:

- 8 db LED kimenet
- Berregő kimenet

Kommunikációs interfészek:

- SPI
- RS-485
- I²C



3. ábra: Adatgyűjtő hardveres blokkvázlata

A modul elkészített hardveres blokkvázlatát a 3. ábra tartalmazza.

A berregő vezérlését egy bemeneti változó alapján történik. A változóban tárolódik a ritmus, melynek minden bitje egy adott ütemet határoz meg. Miután egyszer lejátszotta az így tárolt ritmust, a változó nullázódik. Újbóli felülírásával lehet újat lejátszani.

A modul két külső egységgel kommunikál. A vezérlő modullal RS485-ös half-duplex hálózaton, a grafikus egységgel pedig TWI-on (szolgaként üzemelve). Feladata a vezérlő által küldött adatok tárolása, lekérdezés esetén a kért adat elküldése.

Kommunikáció:

Alapvetően 3 típusú adat van:

- Változó fogadás
- Változó küldés
- Naplófájl továbbítás

RS485 protokoll:

Sávszélesség: 38400 bps, 8 adat, 1 stop bit, páratlan paritás

A kommunikációt szinkronizáló karakterekkel indítjuk el. 6db 0xFF érkezése után kezdődik a tényleges adat. Ezután érkezik egy utasítás bájt, mely magában hordozza, hogy milyen típusú adat fog következni. Ha a legmagasabb bitje 1-es, akkor változó küldése/fogadása történik. Ez esetben a második legmagasabb bit határozza meg, hogy küldés vagy fogadás történik. Ha ez a bit 0, akkor az adatgyűjtő további 2 bájtra vár, mely az integer változó értékét hordozza magában. Ellenkező esetben a kívánt változó értékét küldi el. A változó azonosítóját szintén az utasítás bájt hordozza magában, az alsó 6 biten.

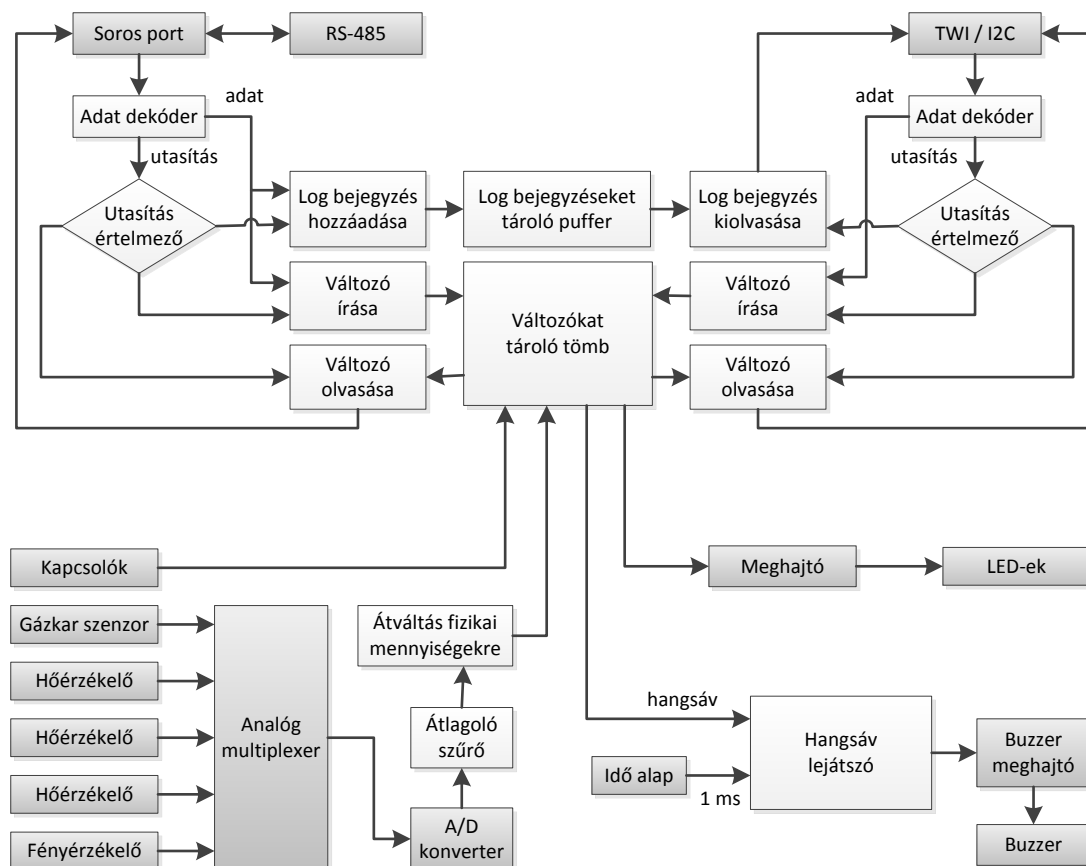
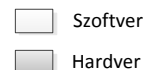
Ha az utasítás bájt legmagasabb bitje 0, akkor az adatgyűjtő naplóbejegyzést vár. A naplóbejegyzés hossza dinamikus, az utasítás bájt alsó bitjei tárolják hány bájtól fog állni (beleszámolva magát az utasítás bájtot is).

Az utasításnak megfelelő bájtok küldése/fogadása után az adatgyűjtő automatikusan utasítás bájtra vár, így a továbbiakban nem szükséges a szinkronizáló karaktersorozat küldése, de lehetőség szerint alkalmazható. Ha 6 db egymást követő bájt értéke 0xFF, akkor azt szinkronizáló bájtnak veszi, és a soron következő bájtot utasítás bájtként kezeli. Ha a 0xFF sorozat első bájtja nem utasítás bájtként érkezik (azaz valami csúszás / kommunikációs hiba történt), hibaüzenetet jelez.

TWI:

Az RS485-ös kommunikációhoz hasonlóan történik. A TWI master (címezés után) elküldi az utasítás bájtot, amire az adatgyűjtőnek vagy válaszolnia kell, vagy fogadnia egy változót. Ellentétben az RS485-el itt a változó írás és olvasás is integerként, 2 bájton történik. Naplófájl kiolvasásakor először a naplóbejegyzések számát küldi, majd az adatokat. Ha a méret 0, akkor épp nincs bejegyzés a pufferben.

5.8.2 Funkcionális blokkvázlat



4. ábra: Adatgyűjtő funkcionális blokkvázlat

A **kapcsolóbemeneteket** beolvasó rész folyamatosan figyeli a digitális lábakat. Mivel a kapcsolók állapotának lekérdezése nem folyamatos, ezért a bekapcsolási tranziens nem okoz problémát, nincs szükség pergésmentesítésre.

Az **analog bemeneteket** kezelő rész beolvassa az adott szenzorokat, majd jelszűrés után átszámolja fizikai mennyiségekre. 5 db analóg csatorna folyamatos olvasására van szükség, azonban ezek frissítésére nem túl gyakori az igény. Gazdasági megfontolásból egy darab A/D konvertert használok, analog multiplexerrel kiválasztva a bemeneteket.

A **hangsáv lejátszó** modul a berregő vezérlését végzi egy bemeneti változó alapján. A hangsáv változóban kapja a ritmust, amelynek bitmintája az ütemeket határozza meg. Ennek időzítéshez szükség van egy időalapra is.

5.8.3 Hardver-szoftver szétválasztás

A gázkar szenzor analóg jelet ad ki, melyhez mindenképpen szükség van egy A/D konverterre. Mivel az A/D konverterek többségében rendelkeznek analóg multiplexerrel is, célszerű a fény és hőmérő szenzorokat is analógra tervezni, mert azok digitális kimenetű verziói költségesebbek.

Az analóg csatornákat zajok ellen szűrni kell. Erre két szoftveres szűrés lett beiktatva:

- Az ADC „free running” módban üzemel, egymás után méri az analóg csatornákat. A feszültség stabilizálódása érdekében csak minden második mérést tárolok el.
- A mért értékek összegzésre kerülnek, 40 mérés eredményét átlagolom.

A kapcsolóbemenetek beolvasására lehetne mátrixkapcsolást alkalmazni, mivel azonban a feladatra nem elegendő a kisebb, kevesebb lábszámú mikrokontroller, nincs szükség a kapcsolás fölöslegesen történő bonyolítására.

A LED-ek meghajtásához, kellő fényerősség elérése mellett, LED-enként 20 mA-re van szükség. A mikrokontrollerek lábait nem szabad ennek többszörösével tartósan terhelni, ezért az időmultiplexált vezérlés csak külső tranzisztor alkalmazásával jöhetne szóba. Az egyszerűség kedvéért minden LED-et külön lábra köttem.

A berregő kiválasztásakor célszerű olyat választani mely beépített meghajtóval rendelkezik, így csak feszültséget kell kapcsolni rá. Fogyasztása még belefér a portbit terhelhetőségébe.

Az berregő ütemének meghatározásához mindenképpen kell egy időzítő egység, amellyel az időalapot állítom elő.

A kommunikáció megvalósítása hardver segítségével történik, a szoftver egyszerűsítése és számítási teljesítmény csökkentése érdekében.

Szükség van továbbá maximálisan 64 integer változó RAM-ban történő tárolására, és a 20 bájtos naplóbejegyzésekből 40 bejegyzést tárolni képes 800 bájtos pufferre. Gondolva a többi futás közbeni változóra, szükség van az ATmega32-es mikrokontrollerre, mely 2KB SRAM-al rendelkezik.

Mivel további külső hardver nincs, összeszámolhatóak a portbitek:

Analóg csatornák:	5
LED-ek:	8
Kapcsolók:	8
Berregő:	1
Enkóder (kiegészítő):	3
RS-485:	3
TWI:	2

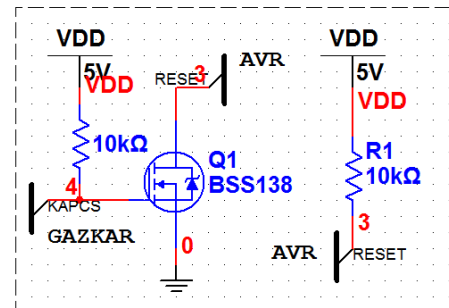
Azaz összesen 30 portbitre van szükség. Az ATMega32-es mikrokontroller 32 portbittel rendelkezik, marad tehát 2 portbit az esetleges továbbfejlesztésre.

5.8.4 Hardver rendszerterv

Globális reset hálózat:

A három mikrokontroller egy rendszert alkot, célszerű közös reset-tel ellátni azokat. A kormányra szerelt gázkaron található egy mikrokapcsoló, melyet menet közben is bármikor könnyedén működtetni tudunk. Úgy döntöttem ezt a mikrokontrollerek újraindítására fogom használni, arra az esetre, ha valami szoftverhiba vagy zavar adódna, a pilóta is leállíthassa vagy újraindíthassa a rendszert.

Globális reset hálózat



5. ábra: Reset áramkör

Minden AVR reset lába egy-egy felhúzó ellenállással tápfeszültségre van kötve, ezt tudja leföldelni a megszakító áramkör. A gázkaron található kapcsolóra egy FET-es invertáló áramkör lett tervezve az 5. ábra szerint, hogy a kapcsoló zárásával lehessen működésbe hozni a mikrokontrollereket. Ennek oka, hogy vezetékszakadás esetén ne működhessen a rendszer.

LED-ek, kapcsolók:

A LED-ek 20mA-es meghajtó áramát egy-egy 150Ω-os előtét ellenállással korlátozom. A kapcsolók bekötésénél pedig kihasználom az AVR belső felhúzó ellenállásait, így elegendő szabadon hagyni, vagy földre kötni az egyes I/O lábakat a kapcsolóval.

Hőmérséklet és fényérés:

Extra funkciók, a jármű vezérléséhez nincs rájuk szükség. A fényerő alapján a grafikus egység LCD kijelzőjének háttérvilágítását lehet szabályozni, a hőmérséklet pedig a pilóta számára jelenthet releváns információt. További két hőmérő bekötését is lehetővé teszem, hogy könnyedén kiegészíthető legyen vele a rendszer, ha a későbbiekben szükség lenne rá.

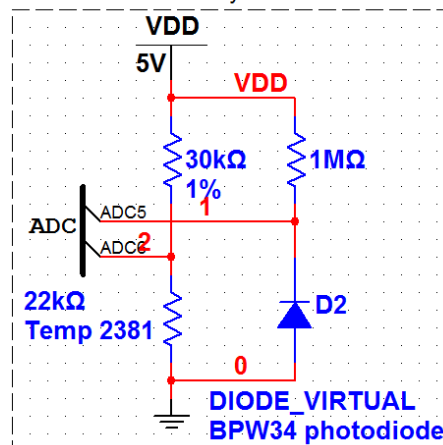
A hőmérséklet mérésére beépített NTC ellenállás felhúzó ellenállását úgy választottam meg, hogy a kívánt hőmérsékleti tartományban a lehető legnagyobb feszültségváltozást idézze elő.

A fényerősség mérésére fotódióda lett beépítve a 6. ábra szerint. Mérés szempontjából fotóellenállás praktikusabb lenne, de jelen esetben nincs szükség pontos értékekre. A fotódióda előnyeként hozható fel kisebb mérete, és alacsonyabb ára. A fényerősség a dióda felhúzó ellenállásán folyó áramerősségből határozható meg.

RS485 interfész:

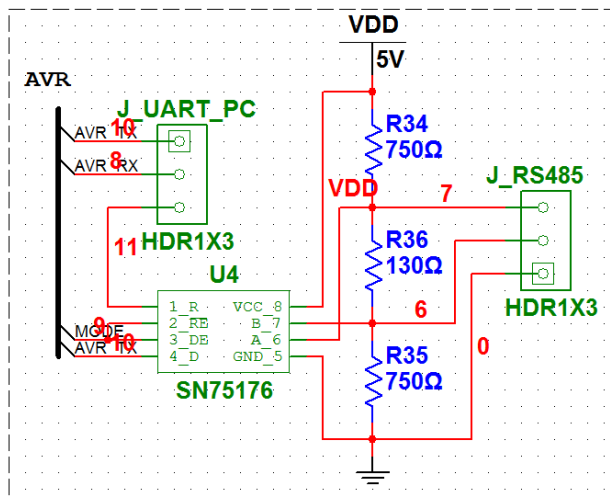
Az eszközök közti kommunikációra half-duplex RS485 hálózatot használok. Az adatok nagyobb része egy irányban halad (vezérlőtől az adatgyűjtőbe), így a full-duplex kommunikációnak nem sok előnye lenne. Az RS232-RS485 átalakítására egy erre a célra kifejlesztett differenciális adóvevő IC-t választottam, melynek típusa SN75176 (lásd 7. ábra). A mikrokontroller a MODE lábbal tudja adó vagy vevő módba kapcsolni az IC-t. Szoftveresen megoldandó feladat, hogy egyszerre csak egy eszköz hajtsa meg a buszt.

Hőmérséklet és fényérés



6. ábra: Hő és fénymérő kapcsolás

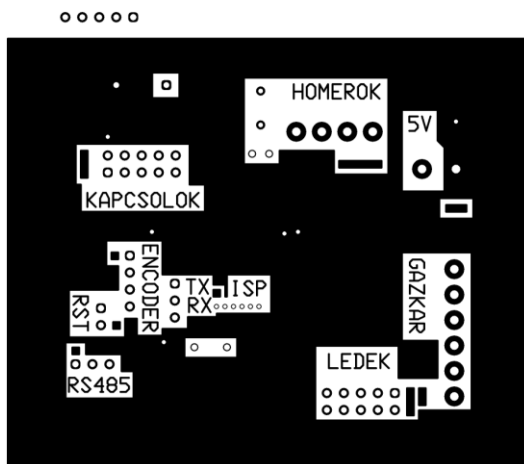
RS485 interfész



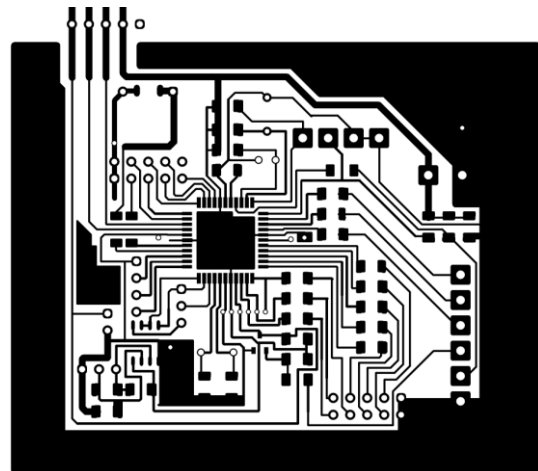
7. ábra: RS485 kapcsolás

Kapcsolási rajz: (mellékletben)

NYÁK-terv:



8. ábra: Adatgyűjtő NYÁK (alsó réteg)



9. ábra: Adatgyűjtő NYÁK (felső réteg)

Alkatrész jegyzék:

1. táblázat: Adatgyűjtő elektronika alkatrészjegyzéke

Ellenállás	150R	15 db
	130R	1 db
	750R	2 db
	10k	2 db
Kapacitás	100nF	2 db
	22pF	2 db
Kristály	16Mhz	1 db

ATMega32	1 db
Enkóder EC-11	1 db
Buzzer MBS12005	1 db
NTC 2381-623 22K	3 db
Fotodióda BPW34	1 db
3 állású ROCKER	4 db
LED-ek	8 db

Megépített hardver:



13. kép: Grafikus és adatgyűjtő modul



14. kép: Grafikus kijelző

5.9 Vezérlő modul

5.9.1 Részletes specifikáció

A vezérlő modul elsődleges feladata a hőtani folyamatok kontrollálása és az automatizált sebességváltás felügyelete. Az üzemmódok megvalósításának részletes specifikációja a 15. oldalon található 5.4-es fejezetben található.

Ezzel párhuzamosan digitális és analóg bemeneteket olvas, kommunikál az adatgyűjtő modullal, valamint menetdiagnosztikai és naplózási adatokat szolgáltat a grafikus egység számára.

Bemenetek:

- Reed-relé (digitális) bemenetek
 - 2 db megszakítás bemenet (kerék mágnes)
 - 10 db normál (dugattyú bizonyos fix pozíciói)
- Analóg ipari szenzor bemenetek
 - 5 db 4-20mA vagy 0-10V-os bemenet
 - Dugattyú pozíció (hall szenzoros úadók)
 - Nyomásmérő
- Akkumulátor felügyelet
 - 2 db feszültség (feszültségosztóval)
 - 1 db áram (árammal arányos, műveleti erősítővel előállított feszültség)

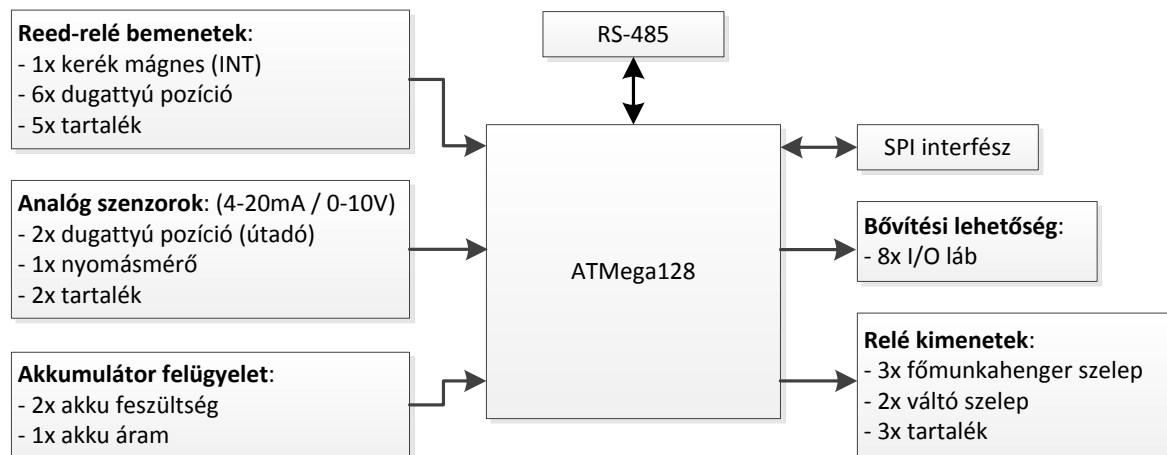
Kimenetek:

- Relé kimenetek (digitális kimenet)
 - 8 db szintillesztett, védődiódás, tranzistoros meghajtó
 - Fő munkahenger vezérlő szelepei
 - Váltó munkahenger szelepe
- Utólagos bővítési lehetőség
 - 8 db kivezetett I/O láb

Kommunikációs interfészek:

- SPI
- RS-485

A vezérlő elkészített hardveres blokkvázlatát a 10. ábra mutatja.

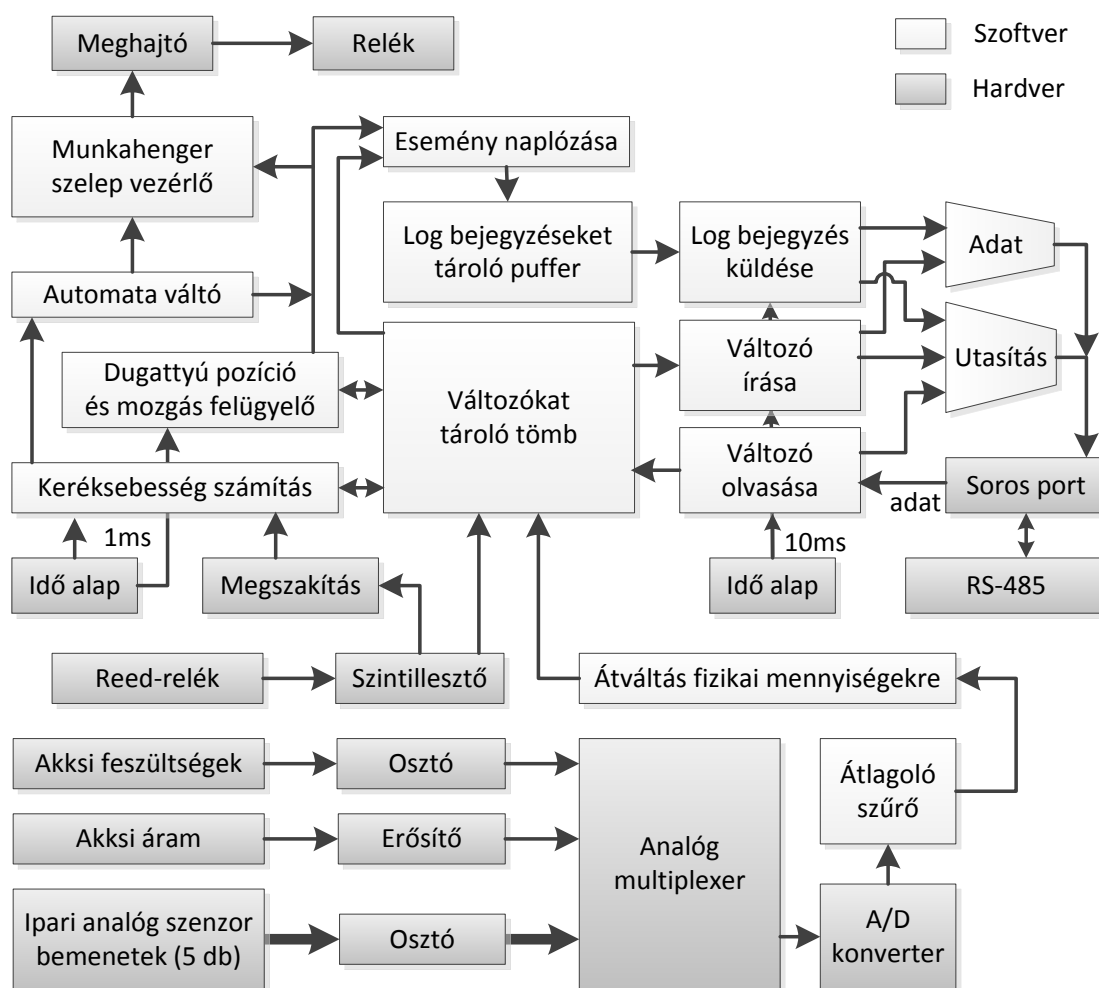


10. ábra: Vezérlő hardveres blokkvázlat

Az áramkörnek a rendelkezésre álló jelekből meg kell határoznia, és a többi modul számára elérhetővé tennie az 5.2-es fejezetben felsorolt szükséges paramétereket. Ezeket továbbítani kell az adatgyűjtő számára, valamint le kell tudnia kérdezni az adatgyűjtő által mért értékeket. Mindezt az ismertett kommunikációs protokollnak eleget téve.

Továbbá az 5.3-as fejezetben megkövetelt naplózási adatokat külön el kell tárolnia egy tömbben, és az adatgyűjtő specifikációjánál meghatározott formátumban továbbítani kell a grafikus modulnak (adatgyűjtőn keresztül).

5.9.2 Funkcionális blokkvázlat



11. ábra: Vezérlő funkcionális blokkvázlata

A **reed-relé bemeneteket** beolvasó modul folyamatosan figyeli a digitális bemeneteket. Mivel a reed-relék többségét csak időszakosan dolgozzuk fel, ezért azok pergésmentesítésére nincs szükség. Kivételt képez a kerékre szerelt mágneset érzékelő szenzor, mely él érzékeny megszakítást igényel. Itt reed-relé használata helyett hiszterézises hall szenzort építettem be, így nem keletkezik többszöri megszakítás.

Az **analóg bemeneteket** kezelő modul beolvassa az adott szenzorokat, és azok jeleit szűri, majd átszámolja fizikai mennyiségekre. 8 db analóg csatorna folyamatos olvasására van szükség, melyek kívánt frissítési sebességét még éppen képes ellátni egy darab A/D konverter. Gazdasági megfontolásból tehát itt is egy darab A/D konvertert használok, analóg multiplexerrel kiválasztva a bemeneteket.

Az **időztési feladatok** megvalósításához szükség van kettő vagy három időalapra is.

5.9.3 Hardver-szoftver szétválasztás

Az analóg csatornák méréséhez mindenképpen szükség van egy A/D konverterre. Egyes csatornákat folyamatosan mintavételeznünk kell (dugattyú pozíció), míg a többi mérése relatív kisebb gyakorisággal kielégítő számunkra. A mikrokontrollerek többsége csak egy A/D konverterrel rendelkezik, a külső átalakítók pedig drágák és helyigényesek, ezért úgy próbálunk kellő mintavételezési sebességet elérni, hogy minden 3 mérésből 2 a dugattyú útdaóinak jele, 1 pedig az épp soron következő egyéb csatorna.

Az analóg csatornákat zajok ellen szűrni kell. Erre az alábbi szoftveres szűrők lettek beiktatva:

- A feszültség stabilizálódása érdekében multiplexer csatornaváltás után várok
- A mért értékek összegzésre kerülnek, több mérés eredményét átlagoljuk
- Útdaó szenzorok jelénél nincs idő több mérésre várni, így azok speciális esetet képeznek. Az utolsó 5 mérési adat kerül átlagolásra mintánkénti gyakorisággal. Kiugró mérés esetén a korábbi átlagértékkel helyettesítem, és csak egymás utáni többszöri előfordulása esetén változtatom meg a szűrő kimenetét.

Az akkumulátor áramának méréséhez lehetőség szerint minél kisebb előtét ellenállást alkalmaztam, a fölösleges veszteségek csökkentése érdekében. Így a mérendő feszültség is kicsi lesz, melyet 2,54V-os referenciájú 10 bites A/D átalakítóval nem tudnék kellő pontossággal mérni. Lehetne alkalmazni a kiválasztott AVR-be beépített differenciális műveleti erősítőt, ennek használata viszont plusz 1 analóg bemenetet elhasználna, és a nagy erősítés miatt számottevővé válik a processzor által generált belső zaj. Ennek kiküszöbölésére a mérés idejére fel kell függeszteni a processzor használatot. Ehelyett inkább egy külső műveleti erősítőt építünk be, melynek erősítése tetszőlegesen meghatározható, és nem okoz különösebb problémákat.

A relék meghajtása külső hardveres meghajtó áramkört igényel magasabb feszültsége és nagy teljesítmény igénye miatt.

Az időzítési feladatok megvalósításához szükség van idő alapra, melyhez legalább egy időzítő egységre szükség van. A másik időalap előállítható annak leosztott értékéből. A választott mikrokontroller viszont 4 időzítővel rendelkezik, ezért célszerű kihasználni a lehetőséget és két független egységet felhasználni.

A kommunikáció megvalósítása hardver segítségével történik, a szoftver egyszerűsítése és számítási teljesítmény csökkentése érdekében.

Mivel további külső hardver nincs, összeszámolhatóak a portbitek:

Analóg csatornák:	6+2
Reed-relék:	7+5
Relék:	5+3
I/O kimenet:	0+8
RS-485:	3

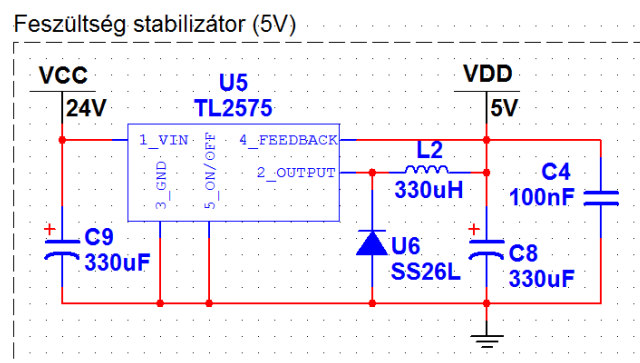
Azaz minimálisan 21 portbit elegendő lenne, melyre az ATmega32-es mikrokontroller is alkalmas. A rendszer későbbi bővíthetősége érdekében viszont nagy előnyt jelentene további portbitek rendelkezésre bocsátása.

A bonyolult vezérlés megvalósítása miatt egyébként is szükség van a nagyobb mikrokontrollerre, mert a 2KB SRAM és 32KB FLASH memória nem biztos, hogy elegendő. Egy darabos példányszámú termékről lévén szó, megengedhető a többlet kiadásokkal járó, célra teljesen megfelelő, ATmega128-as mikrokontroller választása. A nagy lábszámának köszönhetően így a kívánt bővítési lehetőségek is adóttak.

5.9.4 Hardver rendszerterv

Tápellátás:

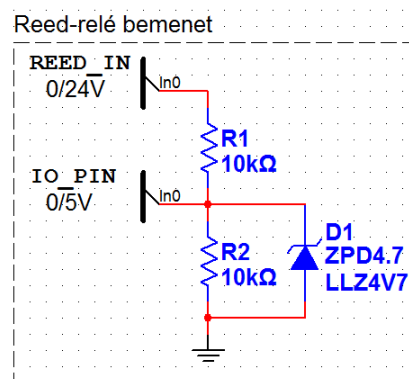
A jármű elektromos berendezéseit 2 db sorosan kapcsolt 12V-os ólom akkumulátor látja el energiával. Ebből kerül előállításra a mikrokontrollerek megbízható működéséhez szükséges stabil 5V-os tápfeszültség egy kapcsoló üzemű feszültség stabilizátor (12. ábra) beépítésével, ami áramfelvételtől függetlenül stabilan tarja a kimeneti feszültségét.



12. ábra: Tápegység

Reed-relé bemenet:

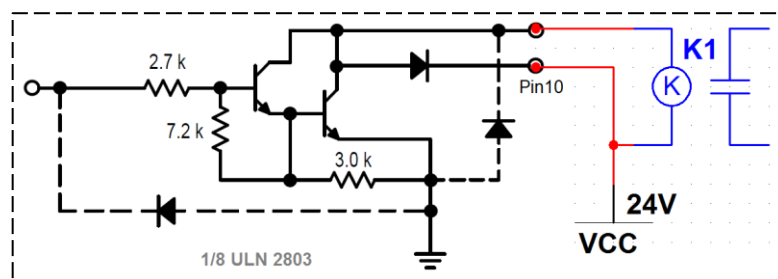
Az ipari reed-relék 24V-ot kapcsolnak, ezért szükség van az illesztésükre. Én a zener diódás megoldást választottam (13. ábra), de lehetett volna schottky diódával vezetni le a feszültséget az 5V-os tápfeszültségre. Választásom oka, hogy a zener diódák ára alacsonyabb a schottky-nál.



13. ábra: Reed-relé kapcsolás

Relé meghajtó:

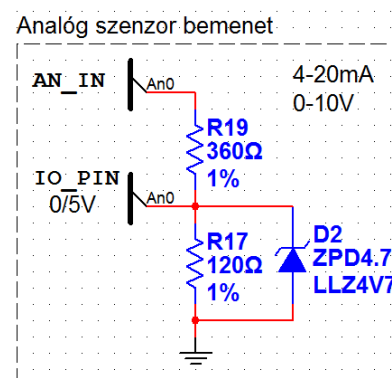
A relék 24V-ról üzemelnek, és meghajtó áramuk is nagyobb, mint amit a mikrokontroller szolgáltatni tudna. Ebből adódóan szükség van feszültség illesztésre és áramerősítésre is. Ilyen célra léteznek cél specifikus meghajtó áramkörök, melyek alkalmazása a legcélravezetőbb. Én az ULN2803-as nyitott kollektoros Darlington tranzisztorokat tartalmazó IC-t választottam (14. ábra), melynek bekötése nagyon egyszerű. A bemeneteit minden féle illesztés nélkül rá lehet kötni a mikrokontroller lábaira, kimeneteire pedig a relét. Beépített védődiódákat is tartalmaz közös kivezetéssel (Pin10), melyet a relék tápfeszültségére kötve, a tekercs kikapcsolása után leépülő mágneses tér indukálta ellentétes irányú feszültség levezetésére szolgál.



14. ábra: Relé meghajtó áramkör

Analóg szenzor bemenet:

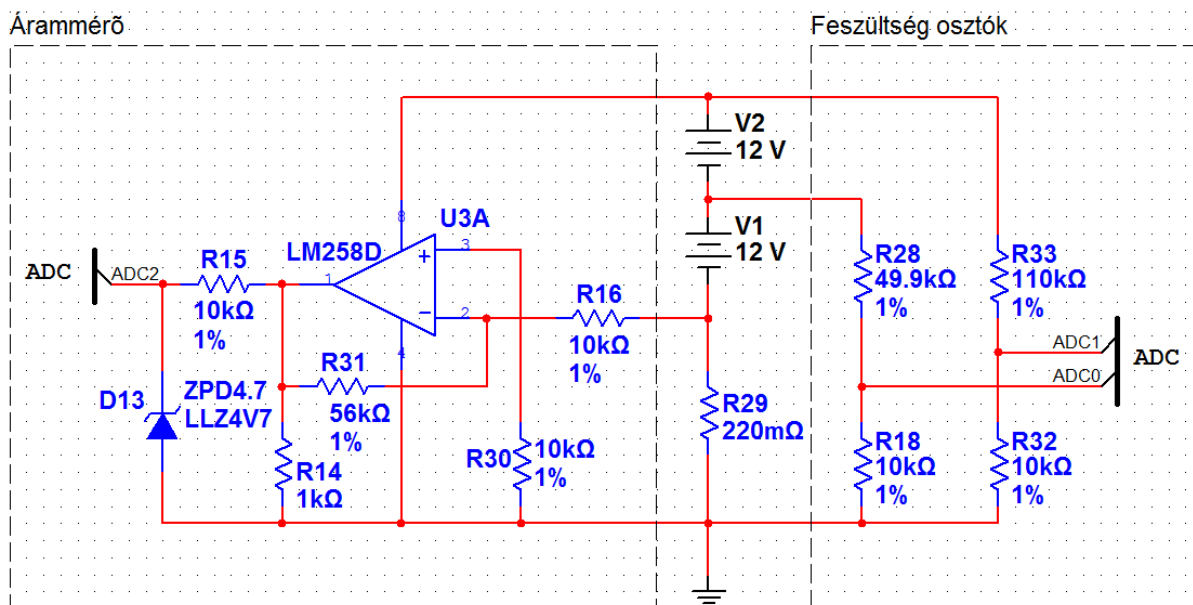
Az ipari analóg szenzorok két legelterjedtebb szabványa a 4-20mA-es áramkimenet és a 0-10V-os feszültségkimenet. Előbbinek nagy előnye, hogy mindkét véghelyzetében folyik áram, így detektálható az esetleges vezetékszakadás is. A mikrokontroller számára feszültség osztással alakítom át az analóg jelet (15. ábra), mely osztónak ellenállás értékeit úgy választottam meg, hogy 20mA esetén 10V essen az ellenállásokon, így téve alkalmassá mindkét szabvány jelének



15. ábra: Analóg szenzorbemenet

fogadására. Ettől függetlenül természetesen tudatni kell a szoftverrel, hogy az adott szenzor milyen típusú, hiszen ettől függ a 0 értékhez tartozó jelszint. A zener dióda az analóg láb védelmét biztosítja esetleges szenzorhiba esetén (24V-os bemeneti jelre se menjen tönkre).

Akkumulátor felügyelet:

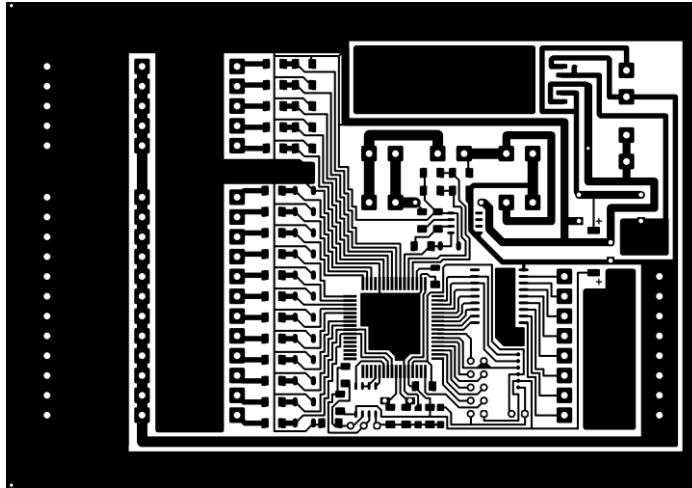


16. ábra: Akkumulátor felügyelő kapcsolás

Az akkumulátor áramát egy sönt ellenállás (R29) beiktatásával mérem, melyet negatív oldalra építettem be (16. ábra). Ennek oka, hogy a pozitív oldalon problémák adódnának a műveleti erősítő bemeneti feszültség kritériumainak teljesítésével (differenciális bemeneteinek feszültsége nem lehet nagyobb $V_{cc}-1,5V$ -nál). Jelen kapcsolásban a mérőellenálláson negatív feszültség keletkezik a földhöz képest, de ezt a műveleti erősítő invertáló bemenete megfordítja, és megfelelő mértékben felerősíti.

A feszültségmérés a feszültségek leosztásával történik. A mikrokontroller által mért értékeket a feszültségosztónak megfelelően fel kell szorozni. A kettes indexű akkumulátor feszültsége egyszerűen a két feszültség különbsége, az egyes feszültségéből viszont kivonandó (előjel helyesen) a sönt ellenálláson eső feszültség, melyet a mért áramból számolhatunk vissza.

Kapcsolási rajz: (melléklet)

NYÁK-terv:

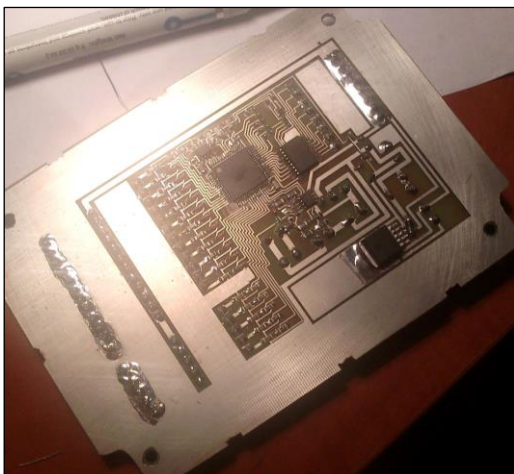
17. ábra: Vezérlő NYÁK (alsó réteg)

Alkatrész jegyzék:

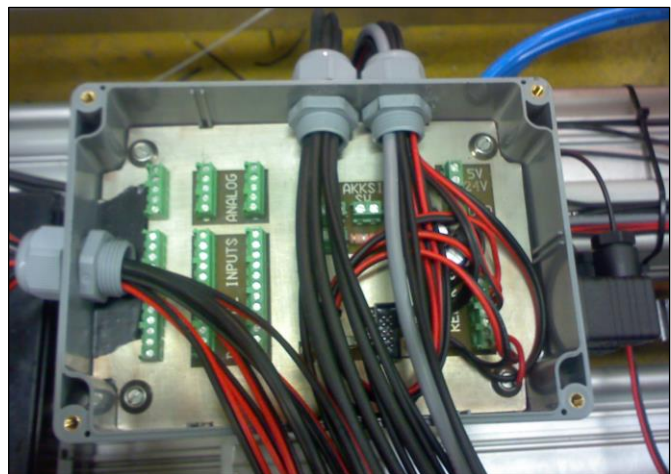
2. táblázat: Vezérlő elektronika alkatrészjegyzéke

Ellenállás	220m	1 db
	120R	5 db
	130R	1 db
	360R	5 db
	750R	2 db
	10k	17 db
	47k	1 db
	50k	1 db
	110k	1 db
Induktivitás	330uH	1 db
Kristály	16Mhz	1 db

Kapacitás	100nF	2 db
	22pF	2 db
	330uF	2 db
Dióda	ZPD4.7	13 db
	SS26L	1 db
IC	ATMega128	1 db
	TL2575	1 db
	LM258D	1 db
	SN75176	1 db
	ULN2803	1 db

Megépített hardver:

15. kép: Vezérlő elektronika panelje



16. kép: Vezérlő elektronika doboza

6 SZOFTVERTERVEZÉS

6.1 Adatgyűjtő szoftver

Öt megszakítás van:

-  **TIMER:** ez állítja elő az 1ms-es idő alapot a berregőnek
-  **ADC:** ami a folyamatos mérés feldolgozását végzi
-  **TWI:** automatikus adattovábbítás
-  **USART_TXC:** elküldött adat után automatikus visszaállás fogadás módba
-  **USART_RXC:** fogadott adat esetén, annak azonnali feldolgozása

A **main ciklus**ban történik az inicializálás, mely beállítja az 1ms-es időzítőt, inicializálja az ADC-t „free running” módban, beállítja az UART paramétereit (38400 bps, 8 adat, 1 stop bit, páratlan paritás), a TWI sebességét (400 kHz) és címét (0x80), valamint inicializálja a WatchDog-ot és beállítja a változók kezdőértékét.

Inicializálás után csipog egyet, és felvillantja a LED-eket, ezzel jelezve, hogy újraindult. Szintén ebben a ciklusban történik a kapcsolók beolvasása, LED-ek kivezérlése, valamint az analóg bemenetekből a fizikai mennyiségének kiszámítása (időigényes feladat, ezért nem tehetem a megszakításba).

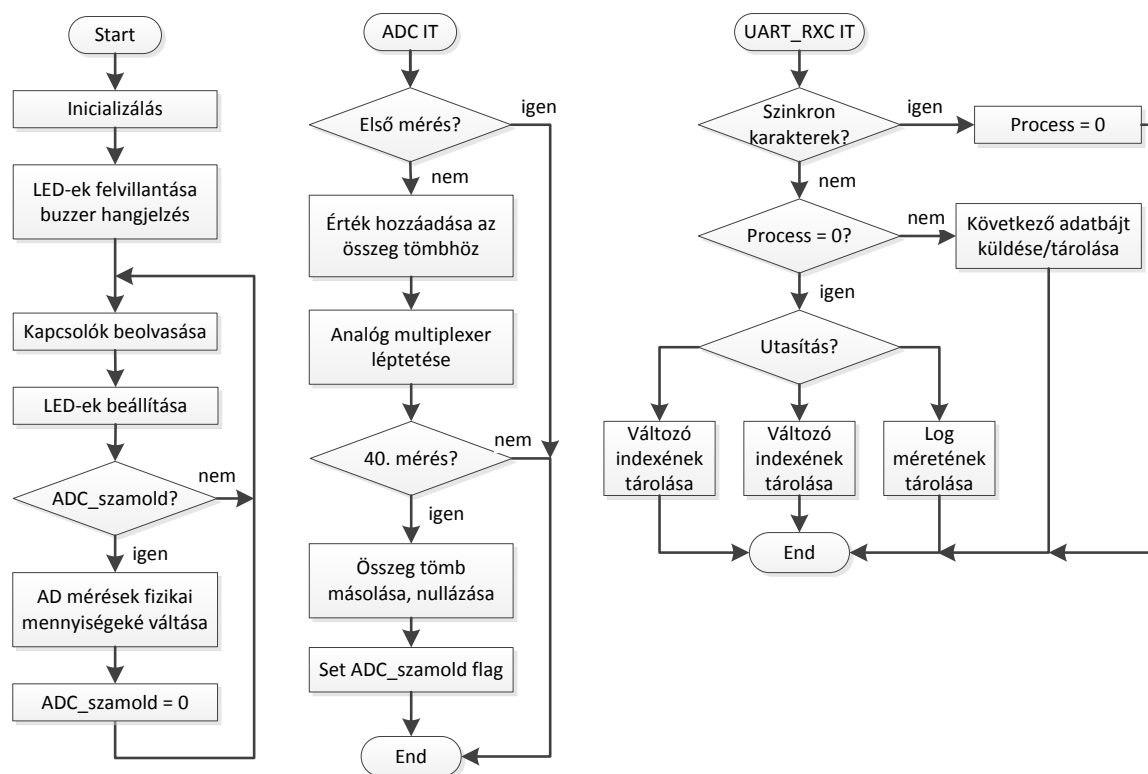
A **TIMER** megszakításban kerül a hangfájl lejátszása. Ennek elindítását a HangSav változóba történő írással, és a HangUtem nullázásával lehetséges. A megszakításban adott ciklus után tovább léptetjük a HangUtem változót, és a következő ütemhez tartozó bit-et kapcsoljuk a berregő kimenetre.

Az **ADC** megszakításból csak minden másodikkal foglalkozunk (minden első mérést figyelmen kívül hagyunk, hogy az analóg multiplexer változtatása után legyen ideje stabilizálódnia a feszültségnek). Itt történik az ADC mért értékének kiolvasása, és egy csatornánkénti tömbben történő összegzése, multiplexer léptetése. Ha a 40. mérés is megtörtént, az összeget átmásolom egy másik változóba, nullázom, és beállítom az ADC_Szamold bitet, hogy a main ciklusban kiszámolásra kerüljenek a fizikai mennyiséget.

A **TWI** kommunikáció megvalósításához szükség van egy változóra mely nyomon követi épp melyik fázisban tartunk. A saját cím megérkezése után fogadjuk az utasítás bájtot, majd annak kiértékelése után vagy további adatokat fogadunk, vagy a kívánt változót / naplóbejegyzés minden bájtyát elküldjük. A kommunikáció részletes működése az 5.8.1 fejezetben leírtak alapján zajlik. Naplóbejegyzés küldésekor ellenőrizni kell, hogy van-e adat a pufferben. Ha nincs, azt is jelezni kell.

Az **USART_RXC** feldolgozása a következő. Egyrészt számolnia kell az egymást követő 0xFF szinkronizáló karaktereket, és ha 6db követi egymást, nulláznia kell a Process változót. Ilyenkor az ezt követő bájtot utasítás bájtnak tekinti, és annak megfelelően kezeli a további adatokat. Naplóbejegyzés fogadásakor figyelnie kell, hogy van-e hely a pufferben. Ha nincs, akkor le kell tiltani az írást, nem írhatja felül a korábbi adatot, mert lehet, hogy annak kiolvasása épp folyamatban van. Továbbá arra is ügyelni kell, hogy a kiolvasandó/írandó változó indexe megfelelő-e. Ilyen esetekben hibaüzenet jelzésére is kerüljön sor, mely egy változóba kerüljön tárolásra. Ezt is, mint a többi változót, lehessen kiolvasni mindkét kommunikációs csatornán.

Folyamatábra:



18. ábra: Adatgyűjtő szoftver folyamatábrája

6.2 Vezérlő szoftver

Hat megszakítás van:

-  TIMER2: 8kHz - ADC mérések időzítése
-  TIMER1: 1kHz - szabályozási folyamat
-  TIMER3: 100Hz - egyéb időzítési feladatok
-  EXT_INT1: kerékre szerelt mágneset detektáló szenzor jelének változása
-  USART1_TXC: adatok küldése folyamatosan
-  USART1_RXC: fogadott adat feldolgozása

A **main ciklus**ban történik az inicializálás, mely beállítja az időzítőket, inicializálja az ADC-t, beállítja az UART paramétereit (38400 bps, 8 adat, 1 stop bit, páratlan paritás), külső megszakítást, valamint inicializálja a WatchDog-ot és beállítja a változók kezdőértékét.

Ezt követően lekérdezi az elengedhetetlen adatokat az adatgyűjtőtől, megvizsgálja, hogy a munkahenger véghelyzetben van-e, és elindul a szabályozási folyamat. Az ehhez tartozó időigényes hőtani számítások is itt kerülnek végrehajtásra, hogy a megszakítások feldolgozását ne akadályozza.

A **timer2** időzíti az AD méréseket. Azért nem az ADC megszakítását használom, mert annak prioritása alacsony, és egyes időigényesebb szabályozási rutinok késleltetnék a feldolgozást, mely idő alatt az analóg csatornák olvasása félbeszakadna. A gyors és időzített méréseket csak így lehet szinkronizálni a feldolgozással. Nem állandó jelleggel fut, hanem a saját megszakítása indítja újra (nullázza). Ennek oka, hogy a várakozási idők (csatorna váltás után a feszültség stabilizálódásához szükséges idő, AD átalakítás ideje) minden esetben (megszakítás feldolgozásának időkésleltetésétől függetlenül) elérjék a minimális időtartamot. Így viszont halmozott csúszás lép fel, amit úgy korrigálok, hogy 7 mérés után, egy periódusnyi időben semmilyen művelet nem hajtodik végre, kikapcsolja magát, és majd a timer1 fogja újraindítani, biztosítva ezzel a szinkronizálást.

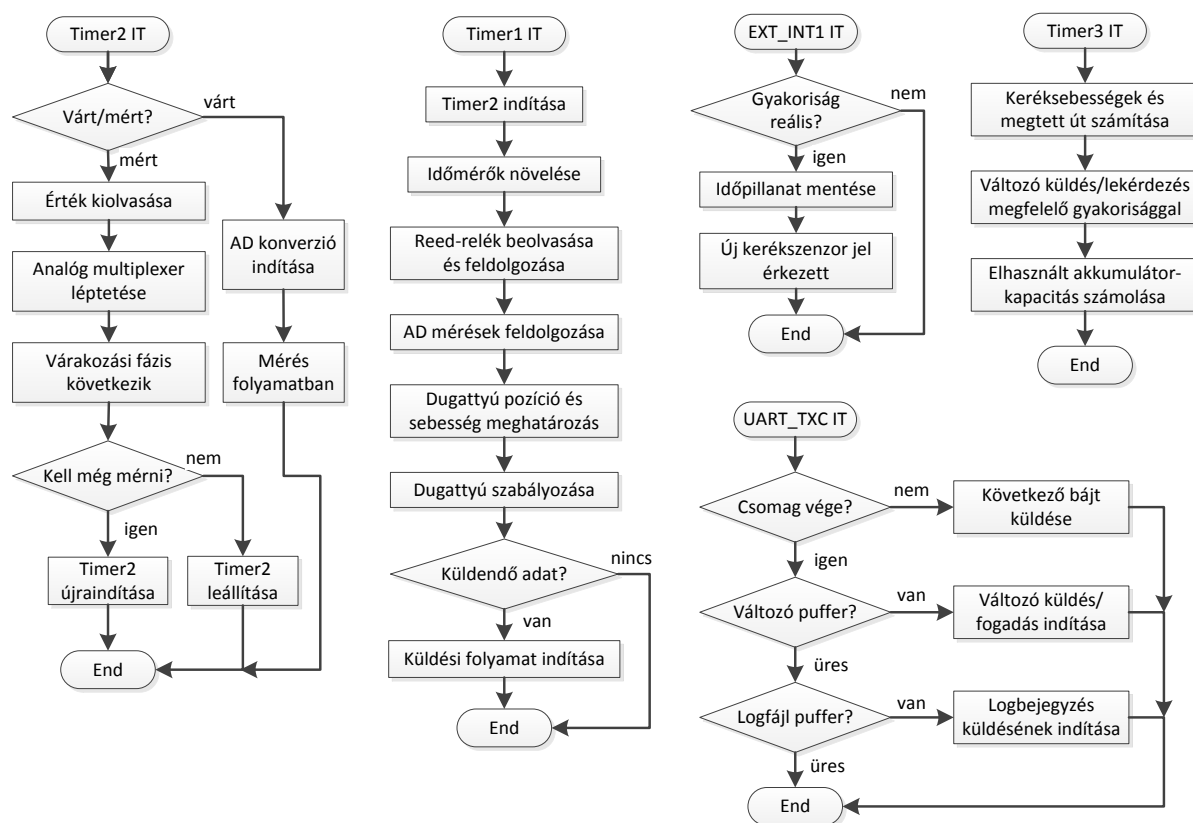
A **timer1** fontos időzítési szerepet kap. Ennek a feladata, az AD mérések ütemezésének koordinálása, és a mért értékek időben történő feldolgozása. Ez alapján azonnal be tud avatkozni a szabályozási folyamatba. Ezen kívül biztosítja a rendszeridőt, melyből a különböző sebességek is kiszámíthatók, és felügyeli a kommunikációt (figyeli van-e küldendő adat, és ha igen, elindítja annak automata küldési folyamatát)

A **timer3** az egyéb, kevésbé gyakori időzítésekért felelős. Végrehajtja a ritkábban futtatandó számításokat, előkészíti az időszakosan elküldendő adatokat, lekérdezi az adatgyűjtőtől szükséges információkat.

A **külső megszakítás** a keréksebesség mérése miatt szükséges. A kerékre szerelt mágnes csak egy rövid impulzust generál, melyet időben észre kell venni. A portbit folyamatos figyelése (polling) fölöslegesen terhelné a processzort, és nem is biztos, hogy minden jelet észrevenne. Ez a rutin az elhaladt szenzorokat számolja, illetve másolja, nullázza az előző jel óta eltelt időmérő pillanatnyi értékét. A sebesség kiszámítása timer3-ban történik.

Az **USART** megszakítások felelősek a pufferben lévő adatok folyamatos küldésért. Amikor egy bájt elküldése befejeződött, betölti a következőt, és egyből küldi is. Ha van küldendő/lekérdezendő változó, az magasabb prioritást élvez, ha nincs, akkor pedig naplóbejegyzést küld. Váltás csak egy-egy változó vagy naplóbejegyzés után lehetséges. Váratlan kommunikációs hiba esetén szinkronizáló karaktereket küld, és újraküldi az aktuális adatsomagot. Puffer kiürülése esetén a folyamatos küldés leáll, melyet a timer1 indíthat újra.

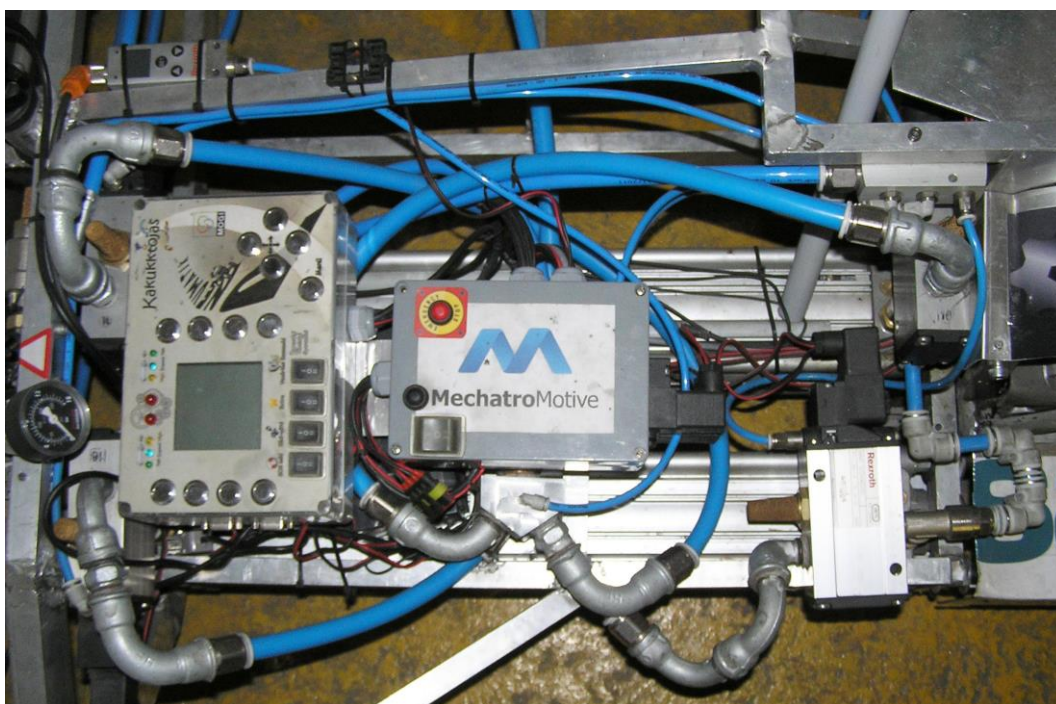
Folyamatábra: (az üzemmódokat tartalmazó folyamatábrát lásd 17. oldal 2. ábra)



19. ábra: Vezérlő szoftver folyamatábrája

7 VERSENYTAPASZTALATOK, TOVÁBBFEJLESZTÉS

Az elkészített motorvezérlő elektronika helyet kapott a járművön (17. kép), és elkezdődött annak élesben való tesztelése. Mint minden prototípus járműnél itt is adódtak a várttól eltérő működések, melyeket folyamatosan javítottam és fejlődött tovább a rendszer.



17. kép: Megépített pneumatikus rendszer és fejlesztés alatt álló elektronikája

7.1 Első évi versenytapasztalatok (2012)

A jármű 2012-ben állt először rajtvonalra. Ekkor még nem a most megtervezett elektronika vezérelte a járművet, csak annak egy primitív funkciókkal ellátott elődje. Azonban már annak alkalmazásakor is feltűnt néhány rendellenesség, illetve fölösleges funkció, melyet szeretnék újra megemlíteni, hogy a fejlesztési folyamat egészéről átfogó képet adjon dolgozatom.

7.1.1 Üzem módok

A hosszú löket által egy töltés alatt végzett nagy mennyiségű munkából fakadóan a teljesítményt finoman szabályozni nem lehet. Emiatt az ügyességi üzemmódban tervezett

időkésleltetések és a távolsági futam sebességtartó funkciója feleslegessé válik, mert ennél sokkal fontosabb tényezők (versenypályán elhelyezett akadályok, kanyarok, ellenfelek járműveinek helyzete) szabják meg mikor és hányszor érdemes tölteni a munkahengerekbe. A gázkar egyszeri meghúzásával egy töltési ciklus hajtódjon végre, folyamatos húzása esetén, a többi töltési kritérium teljesülése után, folyamatosan hajtson.

7.1.2 Indító fokozat

Olyan nagy nyomaték kifejtésére képes, melyet a legvastagabb kerékpár gumibroncs sem képes átvinni az aszfaltra. Első sebességfokozatban is már nagyon tapadáshatáron van, és hozza a kívánt gyorsulást, így nincs szükség az indító fokozatra. Mind mechanikailag, mind szoftveresen kiiktatható.

7.1.3 Útadó szenzor

Észrevettem, hogy nagy sebességgel 1-es sebességfokozatban haladva, alacsony nyomáson nagyobb levegőmennyiséget szellőztet le a rendszer, ami hibás működésre utalt.

A megfigyelések során kiderült, hogy az elektronika elveszíti a munkahenger pozícióját nagyjából 50% út megtétele után, ha az túl gyorsan halad. Azaz nem történik meg a 2 szenzor közötti váltás, vagy a szenzor nem működik. Elkezdtem vizsgálni terhelés nélkül járva a munkahengereket, és arra a megállapításra jutottam, hogy ha a szenzor érzékeli a mágneset, a vártan megfelelően, annak mozgását gyorsan képes követni. Mágnes hiányában viszont, beáll egyik véghelyzetébe, és onnan csak stabil jel esetén tér ki. Digitális oszcilloszkóp használatával kimértem, hogy ha a mágneses munkahenger túl gyorsan érkezik a mérőterébe, akkor annak jelét instabillnak veszi, és kimenetét nem változtatja meg. Sajnos ez elég nagy hátrányt jelent, mert bizonyos dugattyúsebesség felett csak félútig követhető nyomon és szabályozható a dugattyú mozgása. Ez a jelenség nagy sebességeknél teli töltést fog eredményezni, ha az expand-határ nagyobb, mint 50% (alacsony nyomáson előfordulhat), mely jelentős veszteségeket okoz.

A versenyszabályzat megköti, hogy a járművünkön minden pneumatikával kapcsolatos elemnek a versenyt támogató cég (Rexroth) termékének kell lennie, így megkerestem őket a felfedezett szenzor problémával. A megoldásra várnunk kellett, de az idei versenyre kaptunk tőlük egy másik típusú hosszabb szenzort, ami a dugattyú teljes löketét lefedi, ezzel kiküszöbölve a hibát.

7.1.4 Eredmények

Ezen hibák ellenére a levegőtakarékos üzemmód jól funkcionált, így a kategóriában 2. helyezést értünk el. Az ügyességi futamon azonban mechanikai törés történt a hajtóműben, melynek okának találgatásakor arra gondoltam milyen jó lenne, ha kész lenne az új motorvezérlő, és visszanézhetném a mérési adatokat mi történt valójában. Ekkor vált fontos szemponttá az új elektronika fejlesztésekor az üzemi folyamatok naplózása.

7.2 Második évi versenytapasztalatok (2013)

A második évi versenyre való felkészülés egyrészt a mechanika hibák javításáról szólt, részéről pedig többnyire az itt dokumentált motorvezérlő elektronika megépítéséről, programozásáról és teszteléséről, hogy annak minden funkciója az elképzeléseimet megvalósítva hibátlanul működjön.

7.2.1 Eredmények

Felújított pneumobilunkkal 2013-ban nagy sikereket értünk el. Az előző évhez hasonlóan távolsági futamon ismét megszereztük a 2. helyezést, az ügyességi és gyorsulási versenyszámokban pedig jelentős fölényre szert téve 1. helyen végeztünk. Eredményeinknek köszönhetően „Az év Pneumobilja” címet is mi érdemeltük ki.

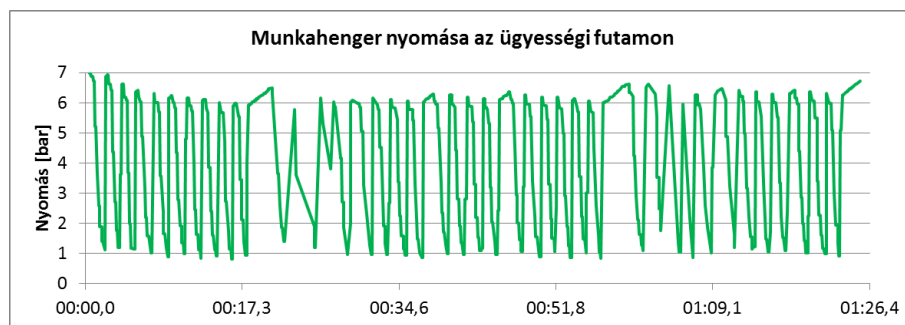
Ez többek közt annak volt köszönhető, hogy a többi csapattal ellentétben én a nagy sebességet igénylő versenyszámokban is elsőként alkalmaztam az expandáló, jó hatásfokkal rendelkező hengertöltési módot. Így a kevés leszellőző levegő miatt ez, a kimagasló teljesítmény mellett, egyben halk működést is eredményezett, mellyel az egész nézőközönséget sikerült lenyűgöznünk. Autónk a gyorsulási futam végén 47km/h-s rekord végsebességgel, szinte teljesen némán haladt a célegyenes felé. Verseny után a szervezők, azaz a Bosch Rexroth mérnökei jöttek oda hozzánk, hogy áruljuk el, hogy csináltuk ezt, hogy ilyen halkan ilyen teljesítményt produkáltunk.

Ennél nagyobb elismerést aligha kaphattam volna, de nekem ez nem volt elég, ennél is többet akartam kihozni a motorból, hogy a következő évben is lenyűgözhessek a zsűrit. Az eredményhirdetés után, máris a naplófájlokat kezdtem el böngészni, hogy hol találok még valami hangolási lehetőséget, amivel jobbá tehetem.

7.2.2 Naplófájl kiértékelése



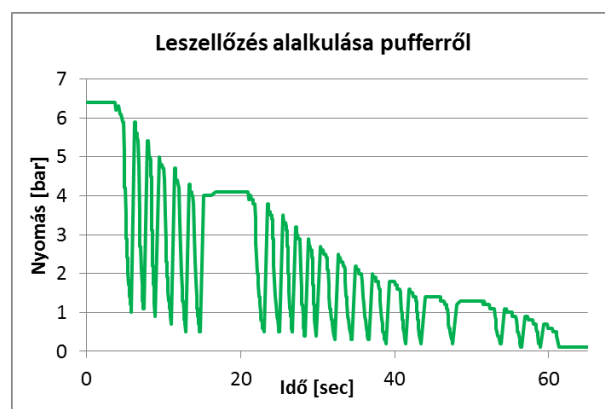
1. grafikon: Ügyességi futam sebesség grafikonja



2. grafikon: Munkahenger nyomása az ügyességi futamon

A naplófájlokból kiderült (2. grafikon), hogy hiába terveztem a rendszert 9 bar-os üzemre, verseny közben ez mindössze 6 bar környékén mozogott, és az alá nem is csökkent. Ekkora nyomáscsökkenésre nem számítottam tervezéskor, így újra át kellett nézmem a munkapont meghatározására szolgáló számításaimat.

Továbbá ez azt is jelentette, hogy ezekkel a beállításokkal a pufferben tárolt energiát nem tudjuk felhasználni a hosszú egyenesekben, sem a gyorsulási futam célegyenesében.



3. grafikon: Leszellőző nyomás pufferről

A 3. grafikonon egy olyan naplófájl látható, ahol nagypalack nélkül, csupán a puffertartályban lévő levegővel hajtottuk a járművet, amíg a puffer le nem merült. Látható, hogy az expanzió végén hengerekben maradó nyomás a puffer nyomásával csökken. Ennek nem így kellene működnie, okának felderítéséhez több nyomásmérőre van szükség, amivel közvetlenül mérni lehet a kamrák nyomását.

7.2.3 Nyomásveszteség keresése

A jelentős nyomásesések okát keresve elkezdtem kimérezgetni az egyes pneumatikus elemek veszteségét. A naplóból látszott, hogy a puffer nyomása is alacsony, így a kört leszűkítve a puffer és a palack között keresendő az elem.

A mérést úgy végeztem, hogy egy kompresszor tartályát kötöttem a reduktor helyére, és egy csapot kinyitva elkezdtem áteresztetni a levegőt az üres puffertartályba. A kérdéses elemek előtt és után 1-1 nyomásmérővel mértem a nyomást egyidejűleg, és a kettő különbségét képezve megkaptam az éppen mért elem nyomásesését. A legtöbb elem (gyorscsatlakozók, elosztótömbök) elhanyagolható veszteséggel bírtak, viszont a beépített vészstop körön közel 1 bar nyomás esett. A mérés során jelentősen nagyobb térfogatárammal dolgoztam, mint amit a reduktor szolgáltatni tud, így versenykörülmények között ezen a csapon valójában kisebb veszteség alakul ki, de csökkentése érdekében lecseréltem egy ugyan olyan funkciójú, nagyobb keresztmetszettel rendelkező csapra, javítva a szabad légáramlást.

A veszteség legnagyobb része azonban kizárásos alapon maga a reduktor, mely közvetlenül csatlakozik a nagynyomású palackra. Ez a verseny szempontjából adott, nem cserélhető le másra, így maximum a megfelelő munkapont megválasztásával lehetünk előrébb versenytársainknál.

Ha nagy a nyomásesés, alacsony lesz a rendszerünk üzemi nyomása is, ami gazdaságtalan működést eredményez. Ebben az esetben a veszteséget egy fojtás okozza, azaz minél nagyobb a térfogatáram, annál nagyobb a veszteség. Így a túlzott levegő felhasználás rontja a hatásfokot, a túl kevés pedig nem használja ki a reduktor maximális teljesítményét. A kettő között kell megtalálni a legjobb beállítást.

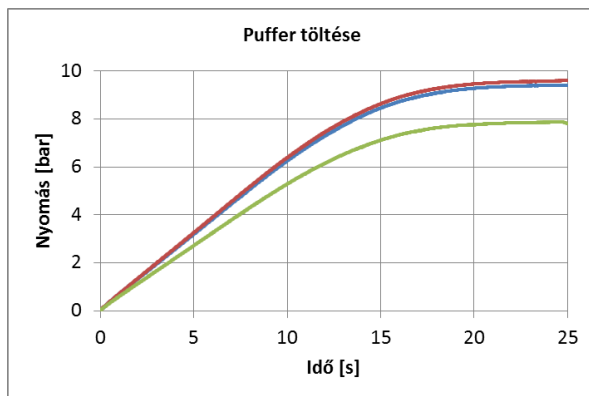
8 CSÚCSRA FEJLESZTÉS

8.1 Felfedezett hiányosságok pótlása

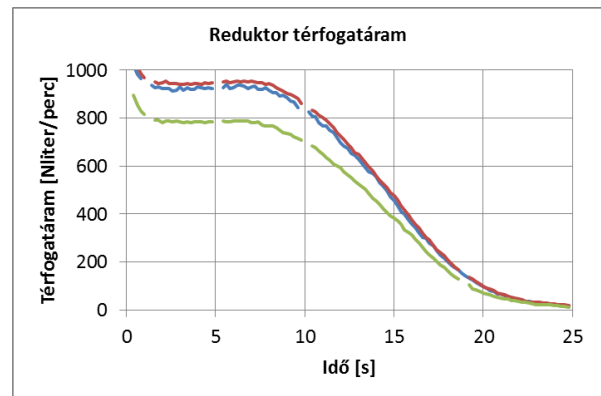
8.1.1 Reduktor mérés

A reduktor áteresztőképességének vizsgálatához, egy csapon keresztül egy 25 literes puffertartályra kötöttem azt. A reduktoron beállítottam a megfelelő nyomást (itt több értéket is kipróbáltam), majd a csapot hirtelen kinyitva feltöltöttem a tartályt levegővel. Eközben a tartály nyomását számítógéppel, 1kHz-es frekvenciával rögzítettem (4. grafikon), így a nyomásnövekedésből és a tartály térfogatának ismeretéből meghatározható a pillanatnyi térfogatáram (5. grafikon). A tartály nyomása növekszik, így egy lépésben az az eredmény is leolvasható a mérésből, hogy adott nyomáson tartva a rendszert mekkora térfogatáramra számíthatunk.

Mérési eredmények (3 különböző beállított nyomásértékkel):

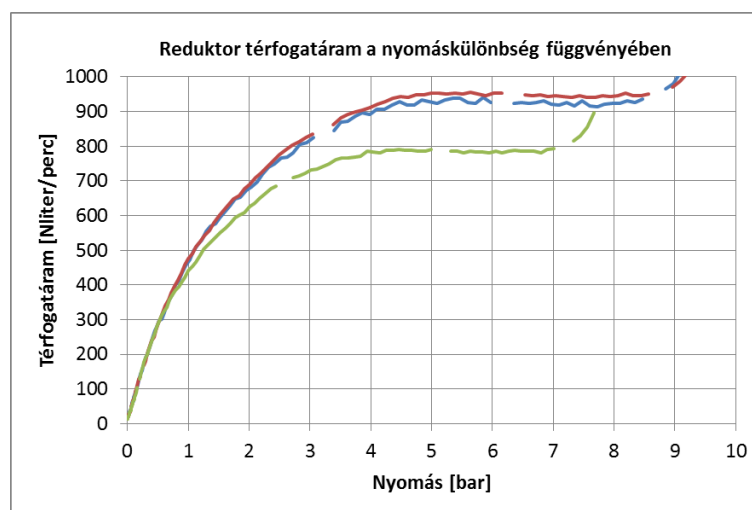


4. grafikon: Puffer töltése



5. grafikon: Reduktor térfogatáram

Maximális térfogatáramhoz szükséges nyomáskülönbség:



6. grafikon: Reduktor térfogatárama a nyomáskülönbség függvényében

A grafikonok alapján belátható, hogy a reduktor nyomását a lehető legnagyobb értékre kell beállítani, mert az növeli a térfogatáramot.

8.1.2 Üzemi nyomás meghatározása

A reduktoros méréshez tartozó 6. grafikon leolvasva megállapítható, hogy 4,5 bar nyomáskülönbség felett a térfogatáram függetlenné válik a nyomáskülönbségtől, és eléri a maximális térfogatáramot. Ez azt jelenti, hogy ennél nagyobb nyomáskülönbséget nem érdemes elérni, ugyanis térfogatáram nem nő tovább, a motor hatásfoka viszont romlik. A maximális beállítható reduktor nyomás 9,5 bar (10 bar-os biztonsági szelep), a kettő különbségéből 5 bar minimális üzemi nyomás adódik. Ez alá nem érdemes menni.

A grafikon másik felét vizsgálva az is megállapítható, hogy minimum 2,5 bar különbség kell, a 80%-os térfogatáramhoz, illetve 3,5 bar a 90%-oshoz. Max teljesítmény közelében tehát nem számíthatunk 6-7 bar-nál nagyobb nyomásra. Ez nagyjából egyezik is a versenyen mért eredményekkel, ami azt jelenti, hogy jók voltak a beállításaink, pont felhasználtuk a rendelkezésre álló közel maximális térfogatáramot, a lehető legnagyobb üzemi nyomás mellett.

Összegezve az eredményeket: a reduktort maximális (9,5 bar) nyomásra kell beállítani, a puffertartály nyomását 5-7 bar közötti értéken érdemes tartani, és azt 5 bar alá nem szabad lefogyasztani (legfeljebb a gyorsulási futam célegyenesében). Ennek ismeretében kell újraszámolni terveket.

8.1.3 Áttétel módosítás

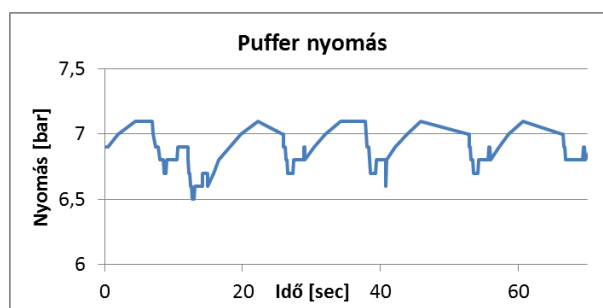
A gyorsulási versenyszámon, a maximális gyorsulás eléréséhez a hajtó kereket olyan erővel kell elforgatni, hogy még éppen tapadáshatáron belül maradjunk. Elinduláskor a rendelkezésre álló nyomás akár 9 bar is lehet, de ha ahhoz igazítom az áttételeket, ugyan nagyon jó gyorsulást érhetünk el az első 1 esetleg 2 löket alatt, de később a lecsökkenő nyomáshoz már kisebb áttételre lenne szükség. A gyorsulás a 2. löket után is fontos szempont, ezért kiszámoltam az alacsonyabb, 7 bar-os üzemi nyomáshoz tartozó megfelelő áttételt, és csapattársaimmal kicseréltük a lánckereket.

8.1.4 Pneumatika módosítása

Nyomásszabályozás:

Az áttétel módosítás következtében elinduláskor, amikor még a puffertartályok nyomása magas, sokszor előfordult, hogy a hajtott kerék elkapart. Ez csak gumit füstöl, nem visz minket előre, ezért kellett egy megoldás, hogy maximáljuk a puffer nyomását. Az állítható reduktor nyomását – mint a mérésekből kiderült – nem érdemes letekerni, újabb nyomásszabályzó beszerelése pedig újabb veszteség, így más megoldást kellett keresnem.

Az 50 literes puffertartály feltöltése a rendelkezésre álló térfogatáram mellett másodperceket vesz igénybe, egy elektropneumatikus szelep elegendő gyors lehet, így kitaláltam, hogy elhelyezek egyet a reduktor és a tartály között, amivel ki-be tudom kapcsolgatni a töltést. Ha a puffer nyomása adott határt elér, egyszerűen elzárom a további levegő utánpótlást, és mikor újra a szint alá csökken, újra kinyitom. Ezzel maximálni tudom a tartály nyomását, és közben nem okoz számottevő veszteséget a légáramlatban. A szelep vezérlését szintén a motorvezérlő elektronikára bízom.



7. grafikon: Puffer nyomásszabályozása

Az ellenőrző mérésből látható (7. grafikon), hogy kis túllövése van a szabályzónak (0,1 bar). Ezt a nyomásmérő és szelep reakcióideje okozza, azok számításba vételével javítható lenne, de szükségtelen, mert a cél az volt, hogy ne töltődhessen fel sokkal 7 bar fölé.

Kis puffer:

Az alkalmazott elektropneumatikus szelepek működéséhez minimálisan 2 bar nyomásra van szükség, a munkahengerek azonban kevesebbel (akár 0,5 bar-ral) is üzemelnek. A távolsági futam végén a szelepvezérlésből adódóan mindig maradt 2 bar a puffertartályban, ami 50 literes térfogatából adódóan jelentős fel nem használt levegőmennyiséget hagyott maga után.

Mivel a mezőny szoros volt, próbáltam ezt is felhasználni további néhány 100 méteres út megtételéhez, ezért kitaláltam, hogy a szelepek vezérlőlevegőjét egy külön pufferről kellene táplálni. Amikor a nagy tartály nyomása elkezd rohamosan lecsökkenni, így még a kis pufferben megmarad az előző, nagyobb üzemi nyomás, ezt ugyanis csak vezérlésre használtuk. Ennek köszönhetően a hengereket töltő szelepek képesek üres puffer esetén is kinyitni, az utolsó gramm levegőt is felhasználva. Megvalósításához kiegészült a kapcsolás egy 1 literes tartállyal és egy visszacsapó szeleppel.

Váltó munkahenger:

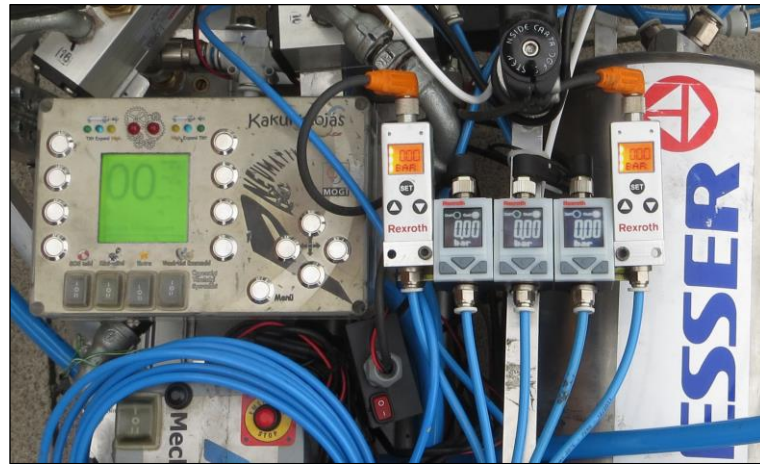
A váltómű működtetéséhez 4-5 bar is elegendő, ennél magasabb érték csak rongálja a mechanikát, ezért egy kisméretű nyomásszabályzóval egészítettem ki a pneumatikus rendszert a hosszabb élettartam reményében.

További nyomásmérők:

Kamrák nyomása: Látva a nem mindig egyforma értékű leszellőzési nyomásokat, kíváncsi lettem, vajon hogyan alakulnak a nyomások a munkahenger kamráiban. Ezért további 2 nyomásmérőt szereltem be a hengereket közösítő ágba, ahol ideális esetben nincs légáram, tehát pontosan mérhető a nyomás.

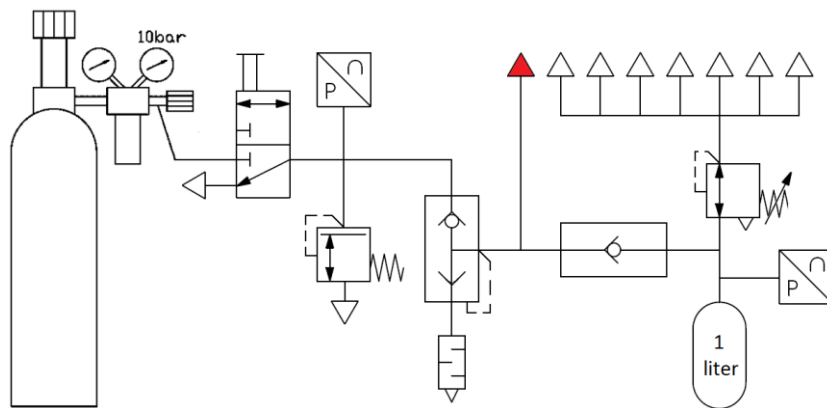
Puffer nyomása: A puffer nyomásszabályozásához szükség volt egy további nyomásmérőre, mely folyamatosan a puffer nyomását méri.

Tápnymás: Ez csak biztonsági szerepet tölt be, a puffertartály leszellőzését hivatott megakadályozni. Ha a rendszert tápláló palackot eltávolítják, észleli, hogy nincs töltőnyomás és nem engedi kinyitni a puffer töltéséért felelős szelepet.

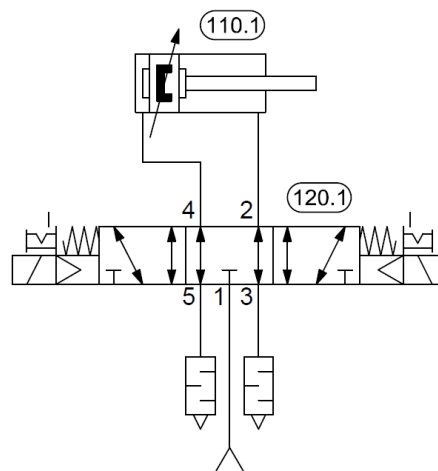


18. kép: Nyomásmérők

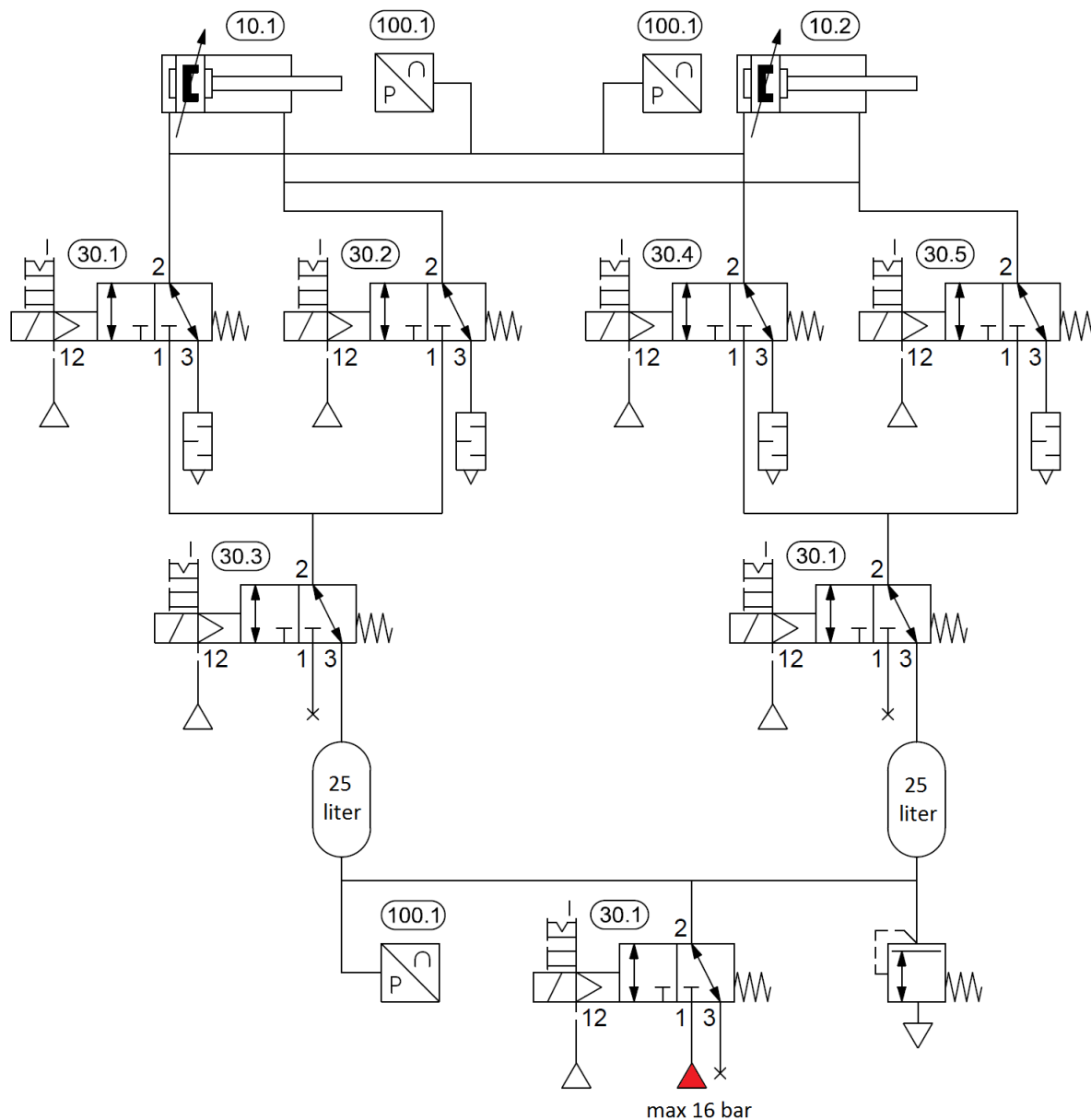
Módosított pneumatikus kapcsolási rajzok:



21. ábra: Pneumatikus kapcsolási rajz (levegő előkészítés)



22. ábra: Pneumatikus kapcsolási rajz (váltó)

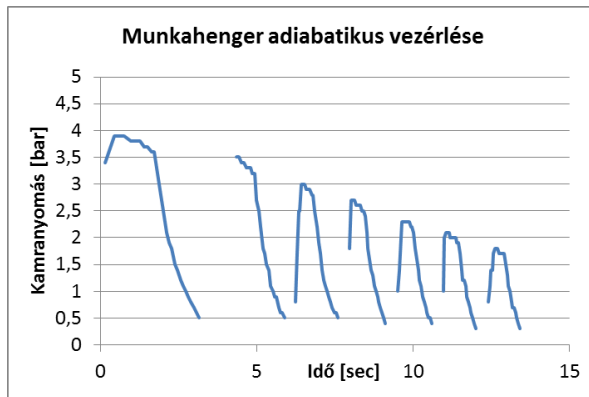


23. ábra: Pneumatikus kapcsolási rajz (hajtás)

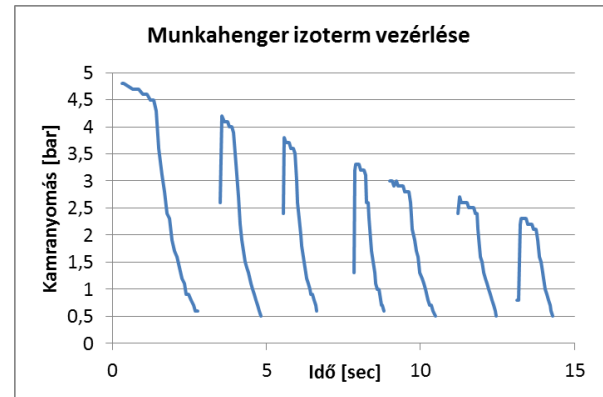
8.1.5 Leszellőző nyomás korrigálása

A naplófájlokból kiderült, hogy a leszellőző nyomás nem mindig annyi, mint amit terveztem. Ennek egyik oka, a nyomásmérő nem megfelelő helyen történő elhelyezése volt, nem közvetlenül a kamra nyomását mérte. Egyrészt ez az elosztótömbre csatlakoztatott nyomásmérő a nagy térfogatáramok miatt kialakult örvények hatására kis mértékben, de hibás értéket mutatott. Másrészt a nyomásmérő és a munkahenger között még több pneumatikus összekötő elem és egy másik szelep is volt, melyek nyomásesése az éppen aktuális térfogatáramtól függött. Ez a rész még a veszteségi tényező ismeretében, és a térfogatáram dugattyúsebességből való számításából becsülhető lett volna, de erre az új nyomásmérők felszerelése után később nem volt szükség. Az új, közvetlenül a munkahengerek

becsatlakozását összekötő vezetékre szerelt nyomásmérőkkel a 8. grafikonon látható eredményt sikerült elérni. Összehasonlítva a 43. oldalon található 2. grafikon mérési eredményével, jelentős javulást eredményezett.



8. grafikon: Adiabatikus töltés



9. grafikon: Izoterm töltés

Zavart, hogy még mindig nem tökéletes, ezért tovább kerestem a hibát. Először arra gondoltam, hogy esetleg a szelepek reakcióideje is közrejátszhat, és nem a megfelelő pillanatban kapcsolnak át expandáló módra, de a hiba nem a dugattyúsebességgel, hanem a töltőnyomással függött össze, ezért az expandálás határát számító képletben kezdtem keresni a hibát. Tervezéskor úgy gondoltam, hogy a munkahengerek gyors működése közben nincs idő számottevő hőcserére, már csak azért sem, mert nagy hengereket alkalmazva a felület/térfogat arány kicsi. Ezért adiabatikus folyamatnak vettem a gáz expandálását és 1,4-es adiabatikus kitevővel számítottam ki milyen dugattyúpozíciónál kell expandáló módba váltani. A mérési eredményeket látva elbizonytalanodtam, hogy lehet mégis jelentős a hőcsere? Ezért elkezdtem csökkenteni az adiabatikus kitevőt, egyre inkább izoterm folyamatot feltételezve, és az eredmények javulni kezdtek. Számomra meglepő módon a legjobb közelítést végül pont az izoterm görbe adta, azaz a feltételezésem teljesen megdőlt. A munkahenger felülete/térfogat aránya kellően nagy ahhoz, hogy nagy sebesség esetén is felmelegítse a levegőt.

Ezekkel a módosításokkal sikerült helyesen beállítani a leszellőző nyomást, függetlenül a tápnyomásától és dugattyúsebességtől. Az eredmény a 9. grafikonon látható.

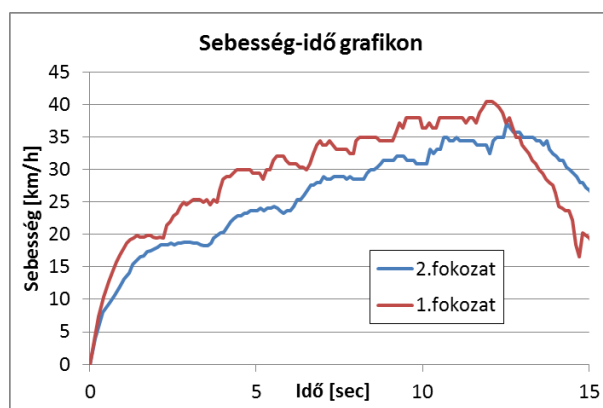
8.2 Ügyességi üzemmód továbbfejlesztése

Az ügyességi versenyszámon dinamikus járműre van szükség. A kanyarok gyors bevétele és intenzív kigyorsításra van szükség. Az egyenes szakaszok viszonylag rövidek, túl nagy végsebesség elérésére nincs lehetőség. A naplófájl 43. oldalán található 1. grafikonjáról leolvasható, hogy a versenyszám során 30-35km/h közötti sebesség a jellemző.

A pilótánk elmondta, hogy a kanyarokat leszámítva folyamatosan húzta a gázt, a naplót visszanézve viszont mégsem sikerült a pufferben tárolt energiát elhasználni, nem csökkent 6 bar alá. Azaz folyamatosan gyorsultunk az egyenesekben, ahelyett, hogy intenzív kigyorsítást követően csak sebességet tartva gurultunk volna a kanyarig. Utóbbi taktikával jobb időeredményeket tudnánk elérni, ezért ebben a fejezetben erre keresek megoldást.

8.2.1 Sebességváltás

A munkahengereknek van egy maximális sebességük, ami felett nem működnek, de megközelítésük is komoly veszteségeket eredményez. Ebben az évben kizárólag a legjobb hatásfokra törekedtünk, így korábbi tapasztalataim alapján 0,45 m/s dugattyú sebesség felett váltottam sebességfokozatot. Ez első fokozatban 25 km/h-nak felel meg, tehát sokat mentünk második fokozatban. Egy löket során a munkahenger egy adott munkát végez. A teljesítmény ebből fakadóan arányos a dugattyúsebességgel, tehát érdemes lehet tovább kihúzatni az első fokozatot. Ennek vizsgálatához kipróbáltuk mire képes a jármű fixen első illetve második fokozatban, milyen sebességnél kezd elgyengülni.



10. grafikon: Gyorsulások különböző fokozatokban

A 10. grafikonról megállapítható, hogy a sebességfokozattól függetlenül a 6. löket végére mindkét esetben a 35 km/h-s sebességet érte el a jármű. Egyben az is látható, hogy első

fokozatban mennyivel intenzívebben gyorsult a jármű, ugyan annyi idő alatt 9x tudtuk tölteni a hengereket szemben a második fokozat 6 töltésével. A mérésből tehát megállapítható, hogy 35 km/h alatt egészen biztosan nincs szükség a második sebességfokozatra, továbbá a 40 km/h elérése sem akadály.

Az ügyességi versenyszámon 30-35 maximum 40 km/h-s sebességgel haladunk, azaz semmi szükség sebességváltásra. Ha végig az első sebességfokozatot alkalmazzuk, sokkal intenzívebben tudunk kigyorsítani a kanyarok után.

8.2.2 Újratöltések gyorsítási lehetőségei

Pneumatikus, lineáris munkahengereknél, folyamatos üzem helyett oda-vissza mozgás van, így időre van szükség az irányváltásokhoz. Ez idő alatt a jármű csak lassul, mint az a 10. grafikon jól megfigyelhető. Ezt a holtidőt minimalizálni kell.

Leszellőző nyomás:

Egyik gyorsítási lehetőség, hogy több levegőt töltünk a munkahengerbe, így az több munkát végez ugyanazon ciklus alatt, tehát a teljesítményét növeljük. Látszólag ez a legegyszerűbb, legnagyobb teljesítménynövekedést adó megoldás, ezért a legtöbb csapat ezt választja versenyeken. Viszont így nagy lesz a leszellőző nyomás, sok a veszteség, és mivel a rendelkezésre álló levegő korlátozott, hamar elhasználódik a puffer tartalma. Várnunk kell majd annak visszatöltődésére, tehát összességében semmit sem nyerünk, sőt veszítünk, hiszen az energia egy részét nem mozgási energiává alakítottuk, hanem szabadon engedték. Ugyanakkor a túlzott spórolás sem megoldás, meg kell találni azt a nyomásértéket, amit leszellőztetve még nem veszítünk sokat, de jelentősen megnöveli a munkahenger ciklusonkénti hasznos munkavégzését. Ezt az értéket próbakörökkel, gyorsulási naplófájlok összehasonlításával végül 1 bar-nak választottam meg.

Takarékos futamon, ahol tényleg a maximális hatásfok a cél, ott ugyanez az érték csak 0,5 bar. Ennél kisebb értéken (0,1 bar) is eléri a dugattyú a véghelyzetét, de ehhez már olyan kevés levegőt kell betölteni, ezáltal olyan kicsi munkavégzés lesz, hogy a munkahenger mozgásából, hajtáslánc forgatásából adódó mechanikai veszteségek több energiát emésztene fel, mint amennyit a 0,5 bar maradék levegő leszellőztetésével veszítünk.

Ennek ellenére vannak olyan helyzetek, amikor előnyös lehet a 0,1 bar-os üzemmód is. A nagy munkahengerek miatt egyetlen töltés rengeteget gyorsít a járművön, így fékezés nélkül

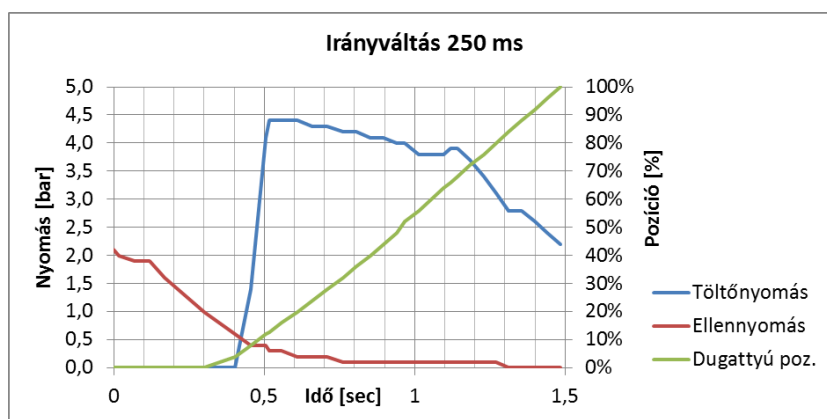
lassan haladni lehetetlen vele. Ilyenkor jól jön, ha minimalizálni tudjuk a löketenkénti munkavégzést. További szépsége ennek a módnak, hogy irányváltáskor csupán az elektropneumatikus szelepek vezérlőlevegőjének leszellőzése hallható, szinte hangtalanul lehet lopakodni a pneumobilunkkal. Mindössze egy sörnyitással megegyező szisszenést hallat időszakosan.

Előgyújtás:

Egy másik lehetőség az irányváltás gyorsítására, hogy a szelepek reakcióidejét és a nyomások felépülési idejét számításba véve korábban adjuk ki a vezérlőjeleket.

Előzetes beállítás

Mielőtt bármit állítgatni kezdtem volna, megmértem, hogy a tapasztalati úton megválasztott negyed másodperces leszellőzési idő vajon elegendő-e, vagy lehet-e esetleg csökkenteni rajta. A tesztek során 2 bar-os leszellőzést állítottam be. Az eredmény a 11. grafikonon látható. Az időtengely 0 pontja az előző véghelyzet elérésének pillanata.



11. grafikon: Irányváltás 250 ms várakozással

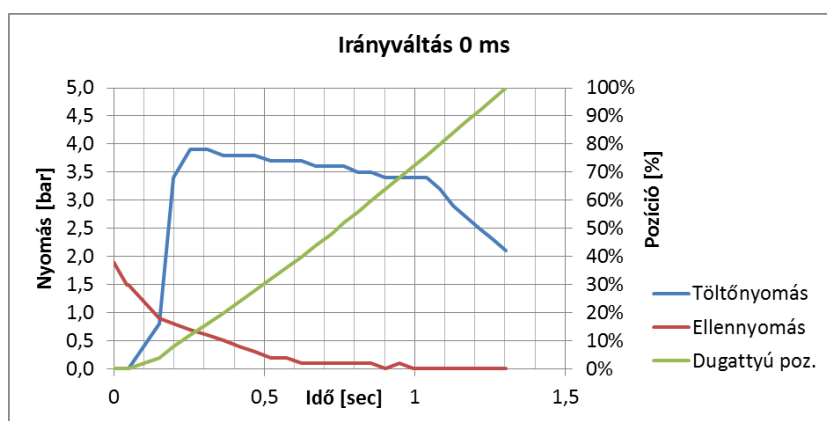
Látszik, hogy negyed másodperc után még 1,25 bar körüli nyomás van a kamrában, de mire a szelepek kapcsolnak és felépül a töltőnyomás, addigra 0,5 bar alá csökken, ami elhanyagolható veszteséget képvisel. Takarékos üzemmódban is nyugodtan alkalmazható.

Véghelyzet elérésétől számítva viszont 0,5 másodperc telik el, mire 10%-ot elmozdul a munkahenger. Ez nagyon nagy holtidőt jelent összehasonlítva azzal, hogy a maradék 90%-os utat 0,64 másodperc alatt teszi meg (40km/h-s sebesség esetén, az (1)-es képlet alapján számolva). Azaz az irányváltás a periódusidő több mint 40%-át teszi ki.

$$t_{90} = \frac{\frac{\text{löket} \cdot 90\%}{\text{keréksebesség}}}{\frac{\text{áttétel}}{15,9}} = \frac{0,5 \cdot 0,9}{\frac{40/3,6}{15,9}} = 0,64 \text{ s} \quad (1)$$

Azonnali visszaindítás

Ezért következő lépésben kimértem mennyit lehet nyerni ennek elhagyásával, és hogyan alakulnak ilyenkor a nyomások (12. grafikon).

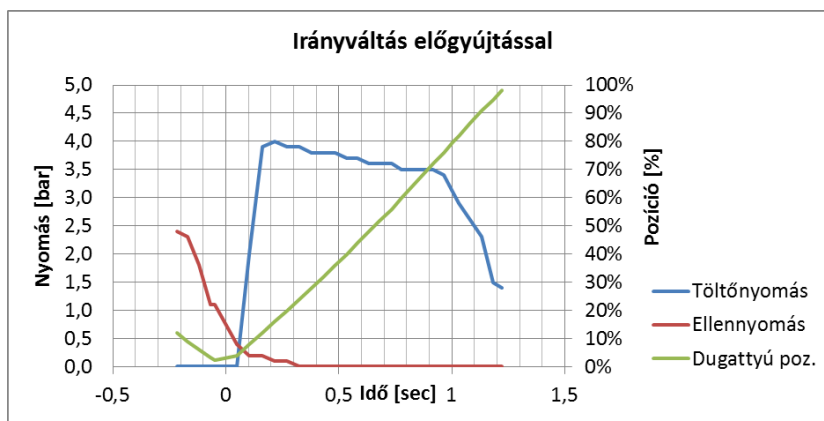


12. grafikon: Irányváltás várakozás nélkül

Nem meglepetés, hogy a 10%-ot 0,25 másodperccel előbb éri el (hiszen ennyi volt a várakozási idő), összességében azonban csak 0,2 másodperccel ért el jobb eredményt. A különbség abból ered, hogy egyrészt a még fennálló ellennyomás csökkenti a munkát végző két kamra közti nyomáskülönbséget (veszteséget okoz), másrészt sajnos a kiinduló nyomás is alacsonyabb volt 0,5 bar-ral.

Előgyújtás

Úgy gondoltam, hogy még ez a 0,25 másodperces irányváltás is túl hosszú, ezért már a véghelyzet elérése előtt kinyitottam a leszellőztető szelepeket. Az utolsó néhány centiméteren az expandálás miatt már úgysí alacsony a kamrában a nyomás, relatív kevés munkát végez, így nem okoz nagy veszteséget a leszellőztetése. A tehetetlen tömegek pedig kellően nagyok ahhoz, hogy így is elérjék véghelyzetüket a munkahengerek. Nem sokkal később pedig az ellenirányú töltést is elindítom, még mindig a véghelyzet elérése előtt, hogy mire ténylegesen eléri/elérné a véghelyzetet, addigra már felépüljön a nyomás és azonnal forduljon vissza. Az eredmény a 13. grafikonon látható.



13. grafikon: Irányváltás előgyújtással

Ezzel a módszerrel sikerült 0,13 másodpercre csökkenteni az irányváltáshoz szükséges időt, ami az első beállításhoz képest közel másfélszeres teljesítményt jelent nagy sebességű haladáskor!

$$P_{növ} = \frac{W}{t_{új}} / \frac{W}{t_{rég}} = \frac{t_{rég}}{t_{új}} = \frac{(0,5 + 0,64)}{(0,13 + 0,64)} = 148\% \quad (2)$$

8.3 Gyorsulási üzemmód kifejlesztése

A gyorsulási üzemmód sokban egyezik az ügyességgel, így az ottani fejlesztések természetesen itt is nagy előrelépést jelentenek. A gyorsulási versenyszám különbözősége miatt itt további szempontokat is figyelembe kell venni.

8.3.1 Puffertartály

A gyorsulási versenyszám a legrövidebb, hamarabb vége van, mint a nagypalack maximális térfogatáramot szolgáltatva kiürülhetne. Célszerű tehát minél több levegőt eltárolni a puffertartályokban, még a verseny elindítása előtt, hogy azt felhasználva extra teljesítményt nyerhessünk. Sajnos ez egyben azt is jelenti, hogy az a csapat, aki indokolatlanul sok puffert helyez el a járművén, többszörös levegőmennyiséggel, sokkal jobb eséllyel indul. Ezt a versenyeredmények is alátámasztják, a legjobban gyorsuló járművek mindegyike nagy pufferral rendelkezik. A mi járművünkön egy közepesnek mondható 50 literes puffer található, amit okosan kell felhasználni, hogy versenybe szállhassunk a 80-100 literes vetélytársakkal.

Mint korábban megindokoltam, a puffereket nem tölthetjük fel 9,5 bar-ra (pedig célszerű lenne) az áttételek miatt. Ha elkapar a jármű kereke induláskor, az nagyobb veszteség, mint az ezzel nyert többlet levegő. Az áttételek 7 bar-os üzemre lettek méretezve, hogy azon a nyomáson biztosan ne kaparjanak el. Kis szerencsével, jó tapadási viszonyok mellett még a 8 bar is beleférhet, főleg ha a munkahenger kihúzott állapotából indulunk, hiszen húzáskor 7%-al kisebb erő kifejtésére képes. A puffert tehát 8 bar-ra töltöm fel indulás előtt.

8.3.2 Vezérlési fázisok

Elinduláskor kicsi a sebesség, a munkahenger lassan éri el a véghelyzetét. Áttételt módosítani nem tudunk (például starter fokozattal), mert már tapadáshatáron van a kerék. Hogyan lehetne mégis nagyobb gyorsulást elérni kezdetben? Az expandáló üzemmód hátránya, hogy csak a löket első szakaszában van maximális erő kifejtés, utána a csökkenő nyomással csökken gyorsító erő is. Ha tehát több levegőt töltök az első löketbe, attól jobban fog gyorsulni, de az energia egy részét csak leszellőzteti.

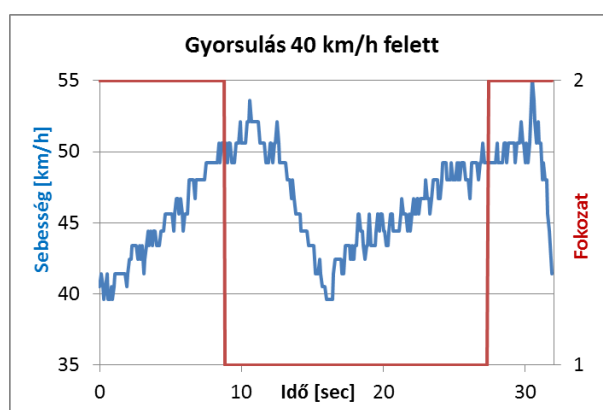
A nagy és hosszú munkahengereknek köszönhetően 3 löket után már biztosan eléri azt a sebességet a jármű, ami fölött az ügyességi versenyszámra kifejlesztett üzemmódot lesz érdemes használni. Az ügyességi mód 5-7 bar között üzemel megfelelően, így 8 bar-ról indulva maximum 3 bar-t használhatunk fel a pufferből kigyorsításra. Úgy döntöttem ebből csak 2,5-et használok fel az elején. Mivel a legelső löket a legkritikusabb sebesség szempontjából, ezért igyekeztem minél többet abba befektetni. A határt a drasztikusan romló hatásfok szabta meg, melyet nem engedtem 60% alá esni. Ezzel az egy túltöltéssel, tartalékunk közel felét felhasználjuk. A fennmaradó tartalékokkal a 2-3 löket munkavégzését erősítem, mely így a levegő energiájának már 75%-át hasznosítja. A továbbiakban normál ügyességi üzemmódban járatom a motort, és csak a célegyenes előtt váltom át ismét gazdaságtalan, nagyobb teljesítményű üzemre, hogy elhasználjam a pufferben lévő maradék energiát is. Az így megtervezett gyorsulási üzemmód különböző fázisainak paramétereit a 3. táblázat tartalmazza. A hatásfokok, nyomásesés számítása a szakdolgozatomban [1] ismertetett képletekkel történt.

3. táblázat: Gyorsulási üzemmód fázisai

Fázisok	Leszellőző nyomás	Hatásfok	Puffer nyomásesés
1. löket	4,0 bar	60%	1 x 1,1 bar
2-3. löket	2,5 bar	75%	2 x 0,7 bar
gyorsulás	1,0 bar	90%	szinten tart
célegyenes	2,5 bar	75%	nem számít

8.3.3 Sebességváltás

Ügyességi versenyszámon végül nem volt szükség sebességváltásra, de lássuk mi a helyzet 40 km/h felett. A gyorsulási verseny 220 méteres egyenesének végére az 50 km/h környékét is megközelíti járművünk. Az ilyen nagysebességű méréseket már nem lehet a puffertartály kompresszorral való feltöltésével elvégezni, mindenképpen nagypalackokra van szükség. Ráadásul ekkora sebességen a munkahengerek jóval nagyobb teljesítményre képesek, mint amennyit egy reduktor szolgáltatni tud, így egyszerre több ilyen palackra van szükség a mérés elvégzéséhez. Ezek újratöltése házilag nem megoldható, töltésük költséges. A rendelkezésre álló költségkeretből csak egy mérést tudtam elvégezni, melyet a 14. grafikon tartalmaz.



14. grafikon: Sebességfokozatok 40 km/h felett

Sajnos az út nem volt teljesen vízszintes, a visszalassítás után enyhe emelkedése volt, így a két gyorsulás meredekségének összehasonlítása nem releváns. Sajnos elég rövid is volt a pálya ahhoz, hogy egyértelmű megállapításokat lehessen tenni a grafikonról, de legalább az megállapítható róla, hogy a gyorsulás meredeksége nem változik számottevően a váltás pillanatát követően. Talán egy picit még jobb is lett a gyorsulás első fokozatba történő visszakapcsoláskor, fordított esetben pedig enyhe gyengülést látszat.

A gyorsulási verseny végén, mire ezeket a sebességeket elérjük, már olyan rövid távolság van hátra, hogy nem is érdemes különösebben foglalkozni a kérdéssel mikor váltsunk második fokozatba, mert a mérésből kiderült, hogy az első fokozatban is elérhető legalább 53 km/h. Ebből arra a megállapításra jutottam, hogy valójában nincs is szükség a váltóművünkre.

9 EREDMÉNYEK

Ezekkel a fejlesztésekkel sikerült annyit javítanom a motorvezérlőn, hogy nagy fölényünket megtartva a soron következő versenyeket is megnyertük. Részletes eredményeinket a 4. táblázat tartalmazza.



19. kép: A jármű (Kakukktójás) verseny közben



20. kép: Eredményhirdetés után

4. táblázat: Versenyeredmények

2012	V. Nemzetközi Rexroth Pneumobil Verseny (május 11-12.) • Távolsági futam: 2. helyezés • Közönségdíj
2013	ALTRace Győr (május 1.) • TanulmányAutó kategória - sűrített levegős jármű: 2. helyezés VI. Nemzetközi Rexroth Pneumobil Verseny (május 10-11.) • „2013. év legjobb Pneumobilja” összetett fődíj • Távolsági futam: 2. helyezés • Ügyességi futam: 1. helyezés • Gyorsulási futam: 1. helyezés • Legnagyobb végsebesség különdíj (47 km/h) II. Rexroth Pneumobil Gálafutam (szeptember 7.) • 1. helyezett
2014	VII. Nemzetközi Aventics Pneumobil Verseny (május 16-17.) • „Az Aventics legjobb Pneumobilja” összetett fődíj • Ügyességi futam: 1. helyezés • Gyorsulási futam: 1. helyezés • Legnagyobb végsebesség különdíj • AUTOPRO különdíj Aventics Pneumobil Gálafutam (szeptember 6.) • Körverseny: 1. helyezés • Gyorsulás: 1. helyezés IV. MVM Energia Futam (szeptember 20.) • Pneumobil kategória: 3. helyezés

10 IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Himes Ádám: „Pneumatikus motor tervezése és vezérlése PNEUMOBIL járműbe”
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Mechatronika alapszak szakdolgozat, 2012
- [2] Benesóczky Zoltán: Mikrokontrollerek alkalmazástechnikája
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2009
- [3] Pattantyús Á. Géza: Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve
Kiadó: Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1961
- [4] H. Meixner - R. Kobler: Bevezetés a pneumatikába
Kiadó: Budapest, Kohó- és Gépipari Tudományos Informatikai és Ipargazdasági
Központ, 1979
- [5] Pattantyús Á. Géza: A gépek üzemtana
Kiadó: Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1983
- [6] Dr. Környey Tamás: Termodinamika
Kiadó: Budapest, Műegyetemi Kiadó, 2005
- [7] Chris Stacey: Practical Pneumatics
Kiadó: London, Arnold, 1998

11 MELLÉKLETEK

- Kapcsolási rajzok (adatgyűjtő, vezérlő)
- Mikrokontroller forráskódja (adatgyűjtő)
- Változók táblázata és hibakód jegyzék