

Elektromos kerékpár



Szerző:

Gnandt Márk

Évfolyam:

Mechatronika III.

Témavezető:

dr. Kakucs András

Tartalom

1. BEVEZETŐ	3
2. A RENDSZER SZERKEZETI FELÉPÍTÉSE	5
2.1. A motorvezérlés	6
2.1.1. BLDC Brushless agymotor	6
2.1.2. Motorvezérlő	7
2.1.3. Gázkar	7
2.1.4. Akkumulátor	7
2.2. A kijelzés	7
2.2.1. TFT LCD kijelző	8
2.2.2. Arduino Mega fejlesztőlap	8
3. A MÉRENDŐ PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA	9
4. A RENDSZER MŰKÖDÉSI VIZSGÁLATA	11
5. A KIJELZŐ ABLAK FELÉPÍTÉSE	14
6. ALAPSZOFTVER BEMUTATÁSA	15
7. KISÉRLETI ADATOK FELDOLGOZÁSA	17
7.1. Gyorsulás	18
7.2. Városi környezet	19
7.3. Emelkedő	22
8. VÉGKÖVETKEZTETÉS	25
9. BIBLIOGRÁFIA	26

1. Bevezető

Korunkban, a fenntartható fejlődés érdekében, egyre fontosabbá válnak a megújuló energiaforrások felhasználási lehetőségei. A mai modern társadalom közlekedési eszközei nagyrészt kőolajszármazékokkal működnek, amelyek tartalékai kimerülő félben vannak, s a felhasználásuk során keletkezett gázok nagymértékben szennyezik a környezetünket. Szükségünk van olyan alternatívák kidolgozására, amelyek helyettesítik a kőolajszármazékokat, óvják környezetünket és az átlagemberek számára is elérhetőek.

Dolgozatomban, egy általam tervezett és kivitelezett mechatronikai rendszert szeretnék bemutatni, elektromos árammal és emberi erővel egyaránt hajtható kerékpár formájában. Mechatronikai rendszerről beszélhetünk, mivel a rendszerben megtalálhatóak a gépészeti vonatkozások (kerékpár-hajtás), informatikai elemek (TFT érintőképernyő kijelzés, adatok beolvasása, feldolgozása, mentése, mikrovezérlő programozása), s nem utolsósorban a villamosság is (jelátalakítók, tápegységek, egyéb elektromos elemek hajtása, áramkörök tervezése, kivitelezése). Céлом, egy olyan környezetbarát kétkerekű szállítási eszköz kifejlesztése, amelynek üzemeltetése jelentősen olcsóbb, mint a belsőégésű motorral rendelkező társainak, az átlagembernek is elérhető, nagyobb anyagi megterhelés nélkül.

A dolgozat célja:

- a rendszer szerkezeti vizsgálata
- a mérendő paraméterek meghatározása
- a rendszer működési vizsgálata
- kijelző ablak felépítése
- alapszoftver bemutatása
- kísérleti adatok feldolgozása
- végkövetkeztetések levonása

A kerékpár pillanatnyi verzióját, több prototípus előzte meg. Mindhárom verzió esetében a BLDC motoron, a motorvezérlőn és a gázkaron nem került sor változtatásra, anyagi megfontolások miatt. Az első verzió esetében, egy a vázra rögzített hosszú, henger alakú "csomag" felelt a rendszer tápellátásáért. A csomagban található volt 5 darab henger, amelyekben összesen 13 darab, sorba kötött lítium-ion (LiCoO₂) akkumulátor helyezkedett el. Az utolsó verzióhoz hasonlóan, az akkumulátorok által leadott feszültség 48V volt. A

lítium ion akkumulátorok használata következtében az elektromos kerékpár 25 kilogrammos össztömege igen kedvező volt, viszont 5 kilométeres hatótávolsága nem felelt meg az elvárásoknak. Ebben a verzióban még a manuális hajtás, illetve a helyzetjelző berendezések nem voltak megtalálhatóak.

A második prototípus esetében a hatótávolság növelése volt az elsődleges cél. A NiCd 10Ah akkumulátorok használata következtében, jelentősen megnőtt a szerkezet súlya (40kg), viszont hatótávolsága háromszorosára nőtt. A szerkezetben megtalálható volt a manuális hajtás, de a hajtás pillanatnyi állapotai nem voltak ismertek, illetve az index és a helyzetjelző berendezések sem kerültek beszerelésre.



1.1. ábra. Az első prototípus



1.2. ábra. A második prototípus

Az általam elkészített elektromos kerékpár kijelzője, egy tulajdonságban tovább fejlesztett, mint a hagyományos elektromos kerékpárok kijelzője. Ez a következő: a

mikrovezérlő segítségével a mért paramétereket SD kártyára lehet menteni, amely paraméterek kielemezésével fejleszthetem az elektromos kerékpár kapacitását.

2. A rendszer szerkezeti felépítése

Az elektromos kerékpár házilag lett összerakva, így szerkezetét tekintve egyedi alkotás.

Célkitűzéseim közé tartozott az újrahasznosítás elve, ezért egyes, már "hulladéknak" tekintett alkatrészek kerültek felhasználásra. A kerékpár vázaként egy otthon, a padláson hevert régi kerékpár vázat választottam. Az akkumulátorok és néhány egyéb, kisebb esztétikai elem, leselejtezett állapotból került újrafelhasználásra.



2.1. ábra. A mechatronikai rendszer felépítése

A rendszer szerkezetét tekintve két nagy részre bontható: a motorvezérlés és a kijelzés (az egyszerűség kedvéért a szenzorokat, az egyes kimeneteket megvezérlő elektronikát és a kisfeszültségű vezérlő áramköröket ezzel a gyűjtőfogalommal helyettesítettem). A finomelektronikai alkatrészek védelme érdekében a motorvezérlés és a kijelzés egymástól galvanikusan el lett választva. Az alkatrészek a 11-es számmal jelölt vázra lettek felszerelve.

2.1. A motorvezérlés

A hajtás szíve a 6-os számmal jelölt BLDC Brushless agymotor, amely vezérléséért a 7-es motorvezérlő felel. A motorvezérlő egyik bemenete a 4-es gázkar által szolgáltatott feszültség, általa valósul meg a motor fordulatszám szabályozása. A második bemenet a 10-es akkumulátorok által szolgáltatott, az agymotor működéséhez szükséges feszültség. A vezérlés túláram védelmét, a motorvezérlő és az akkumulátorok közé kapcsolt 5-ös 30A-es olvadó biztosíték végzi. A 12-es csatlakozási ponton keresztül létesül kapcsolat az akkumulátorok és a motorvezérlő között, valamint ebben a pontban csatlakoztathatjuk az akkumulátorok töltőjét is. Abban az esetben, ha nagyobb távolságra szeretnék eljutni, a kerékpár csomagtartójában felszerelhetünk egy újabb akkumulátor-készletet, amelyet felhasználhatunk ezen a csatlakozási ponton keresztül, amennyiben a 10-es akkumulátorok lemerülnének.

2.1.1 BLDC Brushless agymotor

Neodínium mágnesek

Rotor



Sztator

Tekercs-csatlakozó, Hall szenzor kivezetések

2.1.1.1. ábra. BLDC agymotor

Teljesítménye 300 watt. Választásom azért esett a BLDC agymotorra, mivel az könnyen beszerezhető, nem kell változtatni a váz szerkezetén és az hatékonyabban alakítja át az elektromosságot mechanikai erővé, mint a kefések egyenáramú motorok. Jellemzően kis

zajú, mivel a motor belseje teljesen el van zárva a környezettől, amely következtében védve van a szennyeződésektől, nem tartalmaz szénkefét, így hosszabb élettartamot biztosít cserealkatrész nélkül. Nem lényegtelen az sem, hogy nincs szükség áttételezésre. Működtetésére, tekercseinek a megvezérlésére egy elektronikus vezérlő áramkörre van szükség.

2.1.2 Motorvezérlő

Teljesítménye 500 watt, 12 darab nagyteljesítményű MOSFET tranzisztort tartalmaz. Felépítéséből kifolyólag az agymotor nem kell tartalmazzon Hall jeladót. A motorszabályzó indításkor véletlenszerűen forgatja a kereket. Forgás közben, a mozgó mágnesek által, a szabad tekercsben indukált feszültséget beolvassa, s e feszültség segítségével kiszámolja a szöget és a kommutációt.¹

2.1.3 Gázkar

A gázkar tartalmaz egy rugós forgó- és egy álló részt. A forgó rész tartalmaz egy mágneset, az álló rész egy hall szenzort. Minél inkább közeledik a mágnes a hall szenzor felé, a hall effektus következtében, annál nagyobb feszültséget enged át a jelátalakító a motorvezérlő felé.

2.1.4 Akkumulátorok

A rendszer energiaforrása 4 darab sorba kötött 12 V-os 7 Ah sav-zselés akkumulátor. Az akkumulátorok képezik a kerékpár legnagyobb hátrányát, ami a 15 kg. plusz súly, valamint köztudottan az ólomakkumulátor környezetvédelmi szempontból nem a legkedvezőbb, ezért az energiaellátás még további fejlesztést kíván az elkövetkezendőkben.

2.2. A kijelzés

A kijelzés legfontosabb eleme az 1-es TFT érintő képernyő és egy Atmega 2560 típusú mikrovezérlő páros. Ezen egység segítségével létesül kapcsolat az egyes áramköri elemekkel: a 3-as Hall jeladóval (fordulatszám-mérés), a 4-es képen látható kapcsolókkal (8-as helyzetjelző és irányjelző, 2-es lámpa), a 9-es dobozban beszerelt ACS712 árammérő szenzorral, a feszültség osztókkal (feszültségek mérésére), a tranzisztorokkal (nagyobb teljesítményű alkatrészek vezérlése), az optocsatolókkal (galvanikus leválasztás). A kijelző

¹ Kefenélküli egyenáramú motoro BLDC (brushless) Végh Sándor SZIE.GK. Békéscsaba

páros nem csak az egyes áramkörü elemek megvezérlésére, pillanatnyi állapotok kijelzésére, hanem az érintőképernyő segítségével bemenetként is szolgál (kóddal való indítás).

2.2.1 TFT LCD kijelző



2.2.1.1. ábra. TFT LCD kijelző

A paraméterek megjelenítésére és az egyes bemenetek beolvasására a választásom egy 3,2 collos TFT LCD kijelzőre esett. A kijelző használata révén sok nyomógomb elhanyagolhatóvá vált. Felbontása 240x320 pixel, színvilága 262 144 szín. A kijelző meghajtásáért egy SSD1289 integrált áramkör felel. Az Atmell mikrovezérlő 20 biten kommunikál az LCD meghajtó egységével, amelyből 16 bit adat bit, 4 bit az érintőképernyő értékeinek a beolvasására szolgál SPI típusú kommunikáció segítségével.²

2.2.2 Arduino Mega fejlesztőlap



2.2.2.1. ábra. Arduino Mega fejlesztőlap

² http://www.geeetech.com/wiki/index.php/3.2TFT_LCD

A mintavételezett adatok feldolgozásáért, illetve az érintőképernyő irányításáért egy Arduino Mega fejlesztőkörnyezet felel, amely szíve egy Atmega2560 típusú mikrovezérlő. A mikrovezérlő sajátosságait tekintve ideális a különböző műveletek, nagy mennyiségű I/O-, analóg csatornák meghajtására, beolvasására. A mikrovezérlő órajele 16 Mhz. Rendelkezik 54 digitális ki és bemenettel, amelyből 15 csatorna használható PWM üzemmódban. Rendelkezik 16 darab 10 bites analóg bemenettel. 256 kbyte programmemória készlete ideális az általam megírt program tárolására. A 4 kbyte EEPROM bőven elegendő, az egyes, menteni kívánt paramétereknek. A 8 kbyte SRAM gondoskodik a közbenső változók veszteségmentes tárolásáért működés közben. Üzemi feszültsége 5 V.³

3. A mérendő paraméterek meghatározása

Az elektromos kerékpár működését tekintve, a legfontosabb paraméter, amit mérnünk kell, nem más, mint az akkumulátorokban tárolt elektromos feszültség értéke. Tudnunk kell minden pillanatban azt, hogy milyen állásban vannak az akkumulátorok töltési szintjei, esetleg, hogy hány kilométert tudunk a pillanatnyi állapotban még tovább haladni, s ezen értékek lehetőleg kijelzésre kerüljenek a lehető legfrissebb változatban. Mivel egy mikro vezérlős rendszerről beszélünk, további hasznos információval láttam el a kijelzést. Mérendő paraméternek vettem fel a hajtott kerék fordulatszámát, amelyből további hasznos információkat nyerhettem ki: a pillanatnyi sebesség (bekapcsolástól számítva a megtett út), illetve az EEPROM memóriába folyamatosan mentett és kijelzett összes megtett út.

Két plusz információt is belevettem a mérendő paraméterek közé, amelyek kijelzésre kerültek: az indexek, a fényszóró, illetve a helyzetjelző lámpák pillanatnyi állapotai.

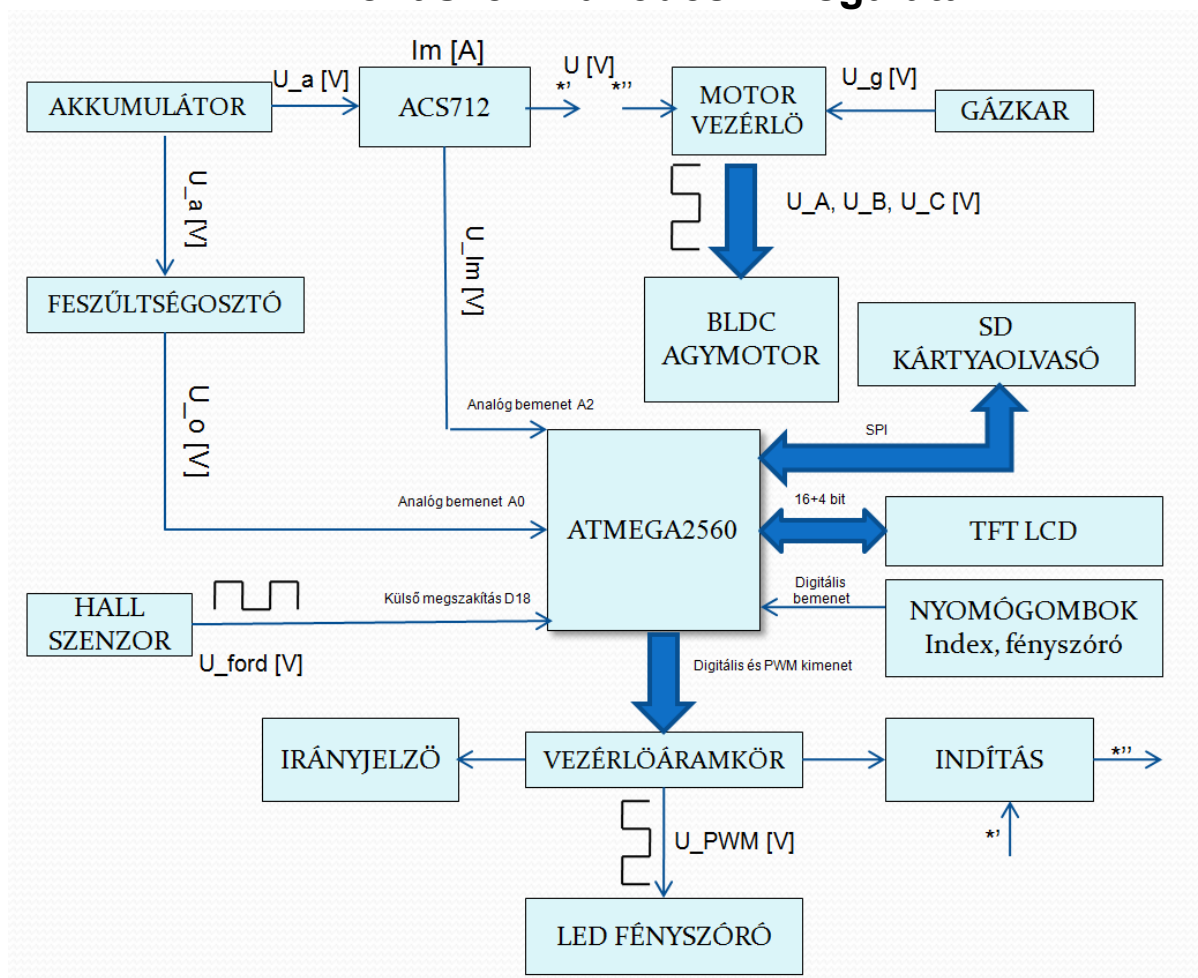
³ <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>



3.1.1. ábra. SD kártyaolvasó

Mivel a rendszer még fejlesztés alatt áll, egyes paraméterek értékeit optimalizálni kell a nagyobb hatásfok elérése érdekében. A mikrovezérlő EEPROM memóriája nem elégséges nagyobb mennyiségű paraméter állományok mentésére, amelyekből később hasznos információk vonhatóak le a rendszer állapotairól. A hasznos információk mentése érdekében, beépítésre került egy SD kártyaolvasó, amely segítségével szinte korlátlan mennyiségben menthetjük el a mért paraméterek értékeit, ha figyelembe vesszük az egyes memóriakártyák tárhelyeit. Mérés után kényelmesen tanulmányozhatjuk a mentett állományok tartalmát tetszés szerint. Mivel a mentett értékek formátumát mi határozzuk meg, ennek következtében egy egyszeri másolással az állományokból feltölthetjük a feldolgozó környezett adatbázisait. A rendszernél négy paraméter változásait tanulmányoztam működés közben, különböző helyzetekben. A paraméterek a memóriakártyára, .txt állományokba kerültek mentésre. Az elmentett paraméterek: feszültség, áramerősség, fordulatszám, teljesítmény.

4. A rendszer működési vizsgálata

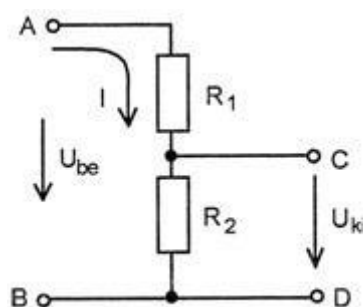


4.1. ábra. A rendszer működési vázlata

A fenti tömbvázlat igen jól szemlélteti az elektromos alkatrészek közötti kapcsolatot. Az akkumulátorok által leadott feszültség az ACS712 árammérőn keresztül eljut a motorvezérlőbe, amely a gázkar által leadott feszültség függvényében kapcsolgatja a BLDC agymotor tekercseit. Elmondhatjuk, hogy a kapcsolgatás frekvenciája, kitöltési tényezője és a gázkar által leadott feszültség között egyenes arányosság áll fenn. Minél nagyobb a gázkar által leadott feszültség, annál nagyobb kitöltési tényezővel dolgozik a motorvezérlő és arányosan nagyobb frekvenciával kapcsolnak a benne lévő MOSFET tranzisztorok, mivel a fordulatszám megnő.

Az akkumulátorok feszültségét egy feszültségosztón keresztül méri a mikrovezérlő. Tudjuk, hogy az akkumulátor által leadott maximum feszültség 50 V. A mikrovezérlő analóg bemenete maximum 5 V-os feszültséget tud átalakítani, ezért szükségem volt

egy feszültség osztóra, amely ezt a problémát megoldja. Az ellenállások értékeit úgy méreteztem, hogy haladja meg a maximális feszültséget, a mikrovezérlő védelme érdekében, ezért 80 V-ra méreteztem, következik, 0-80V-os intervallumot átalakítja 0-5 V-os intervallummá. A feszültségosztóban használt ellenállások értékeit a 4.1-es képlet segítségével határoztam meg, az alábbi módon:



4.2. ábra. Feszültségosztó

$$U_{ki} = U_{be} * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.1)$$

ahol $U_{be}=80V$, $U_{ki}=5V$; az $R_1=150K\Omega$ értékre választottam. A 4.1-es képlet segítségével az R_2 ellenállás értéke $10K\Omega$.⁴

A motor által felvett áram átmegy egy gyári ACS712 -30 és +30 A méréshatárral rendelkező árammérő szenzoron, amelynek analóg kimenete a mikrovezérlő analóg bemenetére van csatlakoztatva. A szenzoron áthaladó árammal arányosan, az analóg kimenetén lead egy, a mikrovezérlő által feldolgozható feszültséget. A 10 bites analóg bemeneten történő beolvasás után, a konverzió képlete:

$$A = \frac{0,0049 * AN_{be} - 2,5}{0.066} [A] \quad (4.2)$$

ahol a $0,0049 \frac{V}{DIG}$ érték az analóg bemenet felbontása, AN_{be} a beolvasott digitális érték 10 biten. Mivel a szenzor 0 A értéknél 2,5 V feszültséget szolgáltat, a számlálóból ki kell vonjunk 2,5 V-ot. A nevezőben a $0,066 \frac{V}{A}$ a szenzor felbontását jelöli.⁵

⁴ http://ilias.gdf.hu/_html/Elektrotech/343_feszltsgoszt.html

⁵ <http://www.lucadentella.it/en/2011/11/29/sensore-di-corrente-con-arduino/>

Az elektromos kerékpár fordulatszámát egy, a hajtott kerékre felszerelt hall szenzor (rögzített) és egy mágnes (forgó) páros szolgáltatja. Abban az esetben, mikor a mágnes elhalad a hall szenzor előtt, a szenzor kimenete generál egy impulzust, amelyet a mikrovezérlő egy külső megszakítás rutinnal rendelkező lába fogad.

Az irányjelző, pozíció, fényszóró működtetését a mikrovezérlő, a vezérlő áramkörön keresztül végzi, amelyek galvanikusan el vannak választva egymástól 4N35 típusú optocsatolók segítségével. Mivel a vezérlő elektronika a fényszórót PWM jellel hajtja, ezért a megvilágítás erőssége több lépcsőben is állítható. Ezen megvilágítási eszközök állapotait a nyomógombok segítségével változtathatjuk, amelyek a mikrovezérlő digitális bemeneteire csatlakoznak.

Az érintő kijelző 20 kommunikációs lábon keresztül kapcsolódik a mikrovezérlőhöz, amelyből 16 adat láb és 4 láb a Touch Screen SPI (érintőképernyő) kommunikációs lábai. Ezeken a lábakon keresztül programozhatjuk a kijelzőnket, illetve kérhetjük le a képernyő lenyomási pontjainak a koordinátáit, amely további bemenetként szolgál a mikrovezérlő felé.

Az SD kártyaolvasó SPI protokoll segítségével kommunikál a mikrovezérlővel. A mikrovezérlő master szerepet tölti be, a kártyaolvasó a slave funkciót. Négy lábon valósul meg a kommunikáció: egy ID (slave állapot meghatározás), MISO (master be, slave ki), MOSI (master ki slave be), CLK (szinkronizációs órajel).⁶

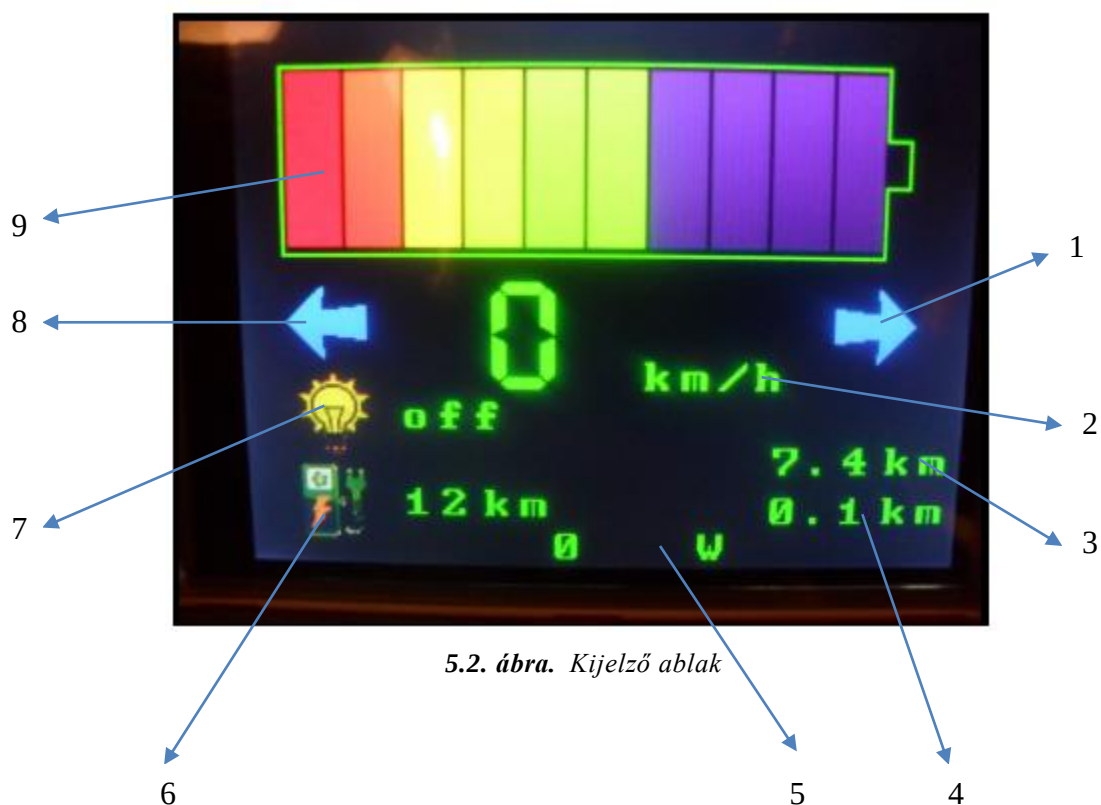
Az elektromos kerékpár felhasználásának védelme szempontjából beépítésre került egy indítás gátló. A rendszer indítása, csak abban az esetben engedélyezett, ha kezdetben megfelelő engedélyező kódot írtunk be a kijelzőbe.

⁶ <http://arduino.cc/en/Reference/SD>

5. A kijelző ablak felépítése



5.1. ábra. Beléptető ablak



5.2. ábra. Kijelző ablak

Az elektromos kerékpár bekapcsolásakor a kijelzőn az 5.1 képen látható beléptető ablak jelenik meg. Mindaddig, amíg a menü aktív, vagyis nem ütöttük be a megfelelő négy számjegyű indítási kódot, a mikrovezérlő nem engedélyezi a hajtás tápellátását. Lehetőség nyílik többszöri kódbeírásokra, amelyet az "OK" gombbal hitelesíthetünk. Amennyiben javítani szeretnénk a beírt kódon, lehetőségünk van a törlésre. Biztonsági okok miatt, a beírt számjegyeket csillagokkal helyettesítettem. A gomblenyomás megtörténtét, a lenyomott mező elszíneződése jelzi. Abban az esetben, ha helytelen kódot írtunk be, az ellenőrzés után pirossal színezett "Kód hiba" üzenet jelenik meg, ellenkező esetben egy zöld, "Kód elfogadva" üzenettel találkozunk. A helyes bejelentkező kód hitelesítése után, a tápellátás bekapcsol, automatikusan megjelenik az 5.2-es képen látható kijelző ablak.

A kijelző ablak tartalmazza mindazokat az előzőekben leírt információkat, amelyek jellemzik a rendszer pillanatnyi állapotait:

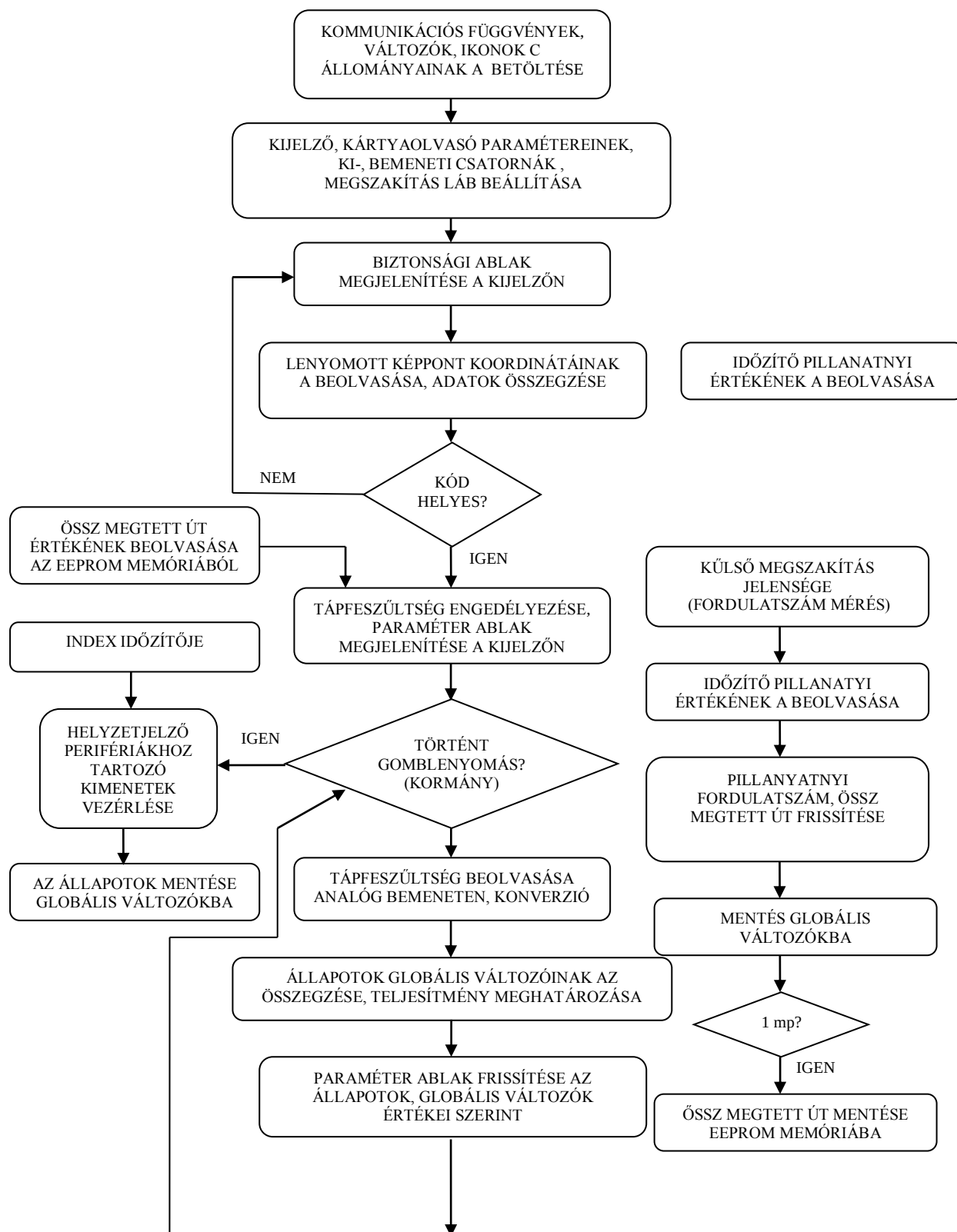
- 1 - jobb index
- 2 - pillanatnyi sebesség
- 3 - összes megtett út
- 4 - bekapcsolástól számított megtett út
- 5 - pillanatnyi teljesítmény
- 6 - további maximálisan megtehető útszakasz
- 7 - fényszóró állapot
- 8 - bal index
- 9 - akkumulátor töltési szintje

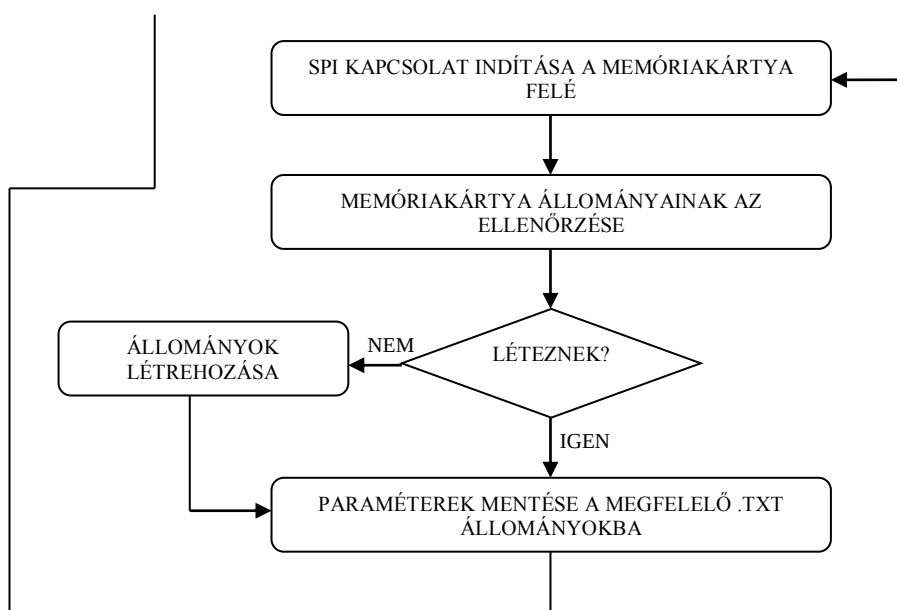
A fentebb felsorolt paraméterek a gép működése közben dinamikusan frissülnek.

6. Alapszoftver bemutatása

A mikrovezérlőben található programkód egy, az Atmell családhoz kifejlesztett, C programnyelvhez igen hasonló nyelvezetben íródott. A programozáshoz használt környezet mindenki által ingyenesen letölthető környezetben történt. A programozás felgyorsítása és megkönnyítése érdekében, egyes kommunikációs protokollokhoz (SD kártya, TFT kijelző kommunikációs protokolljai), már előre megírt függvényeket használtam, amelyek forráskódjai mindenki számára ingyenesen elérhetőek. Szükséges

elmondanom, hogy a kommunikációs eljárásoktól eltekintve, az elektromos kerékpár alapszoftvere egyedi. A program működési vázlatát az alábbi tömbvázlat szemlélteti:





6.1. ábra. Az alapszoftver tömbvázlata

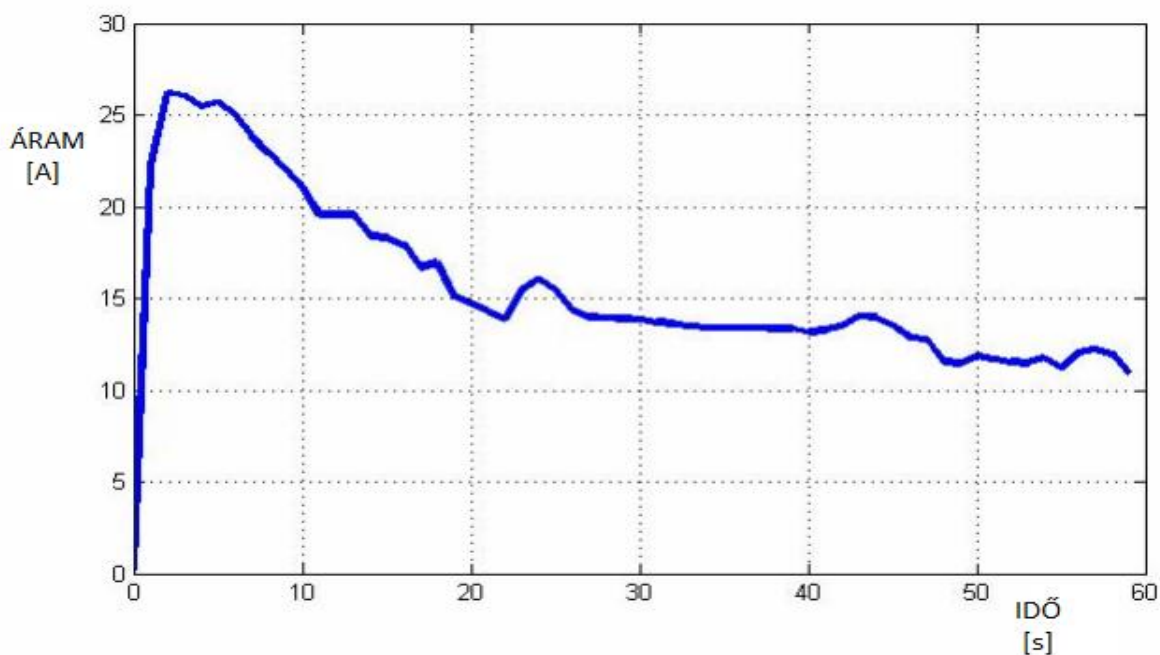
A 6.1-es tömbvázlat jól szemlélteti a program felépítését, programfutási sorrendben. A tömbvázlat utolsó részében feltüntetett, a memóriakártyával történő adatkezelést csak a vizsgálat ideje alatt csatoltam a forráskódhoz. Úgy, mint a hajtás, mint a forráskód is fejlesztés alatt áll, sok lekezelést még optimalni kell, a pontosabb paraméter-meghatározás elérése érdekében. Terveim közé tartozik egy új design tervezése, forráskódjának a megírása, valamint egy GPS- és egy digitális óra modul beépítése, amelyek használata még precízebbé teszik a rendszer működését, illetve plusz információkkal látják majd el a felhasználót.

7. Kísérleti adatok feldolgozása

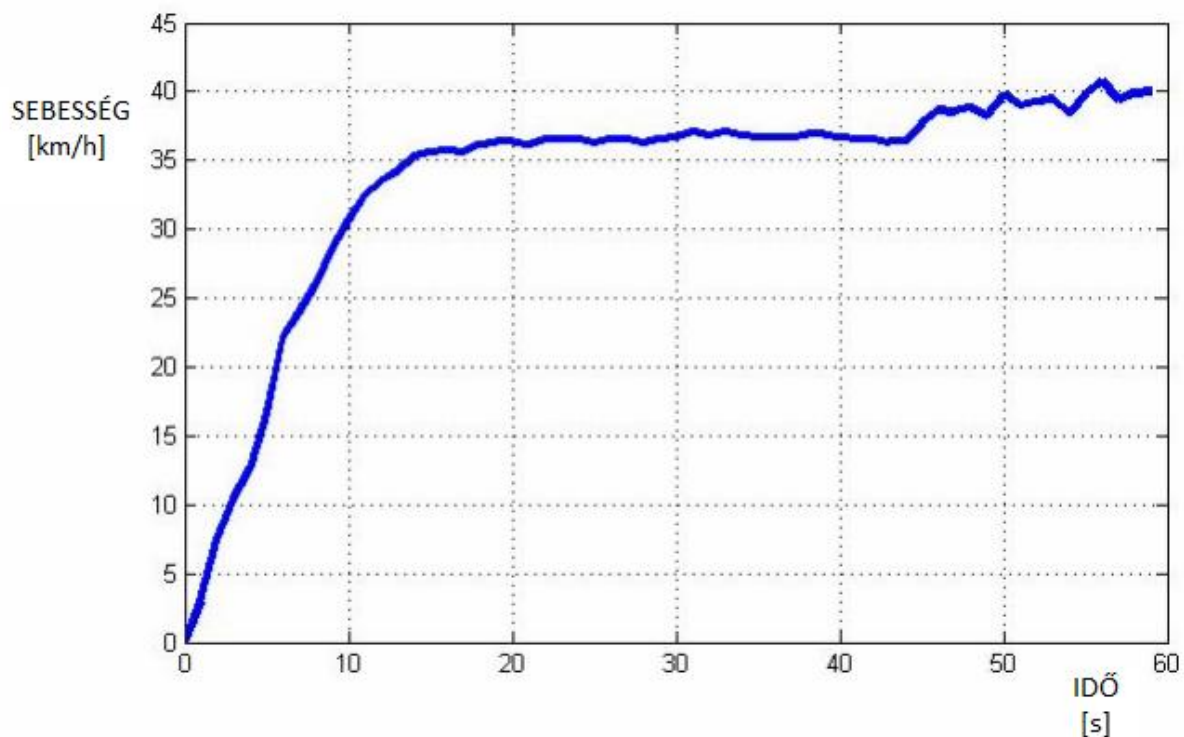
A rendszer tanulmányozását, működése közben mintavételezett és mentett paraméterek segítségével Matlab környezetben végeztem el. Végkövetkeztetéseimet több paraméter - páros diagramjainak a feldolgozása következtében tettem, amelyek különböző helyzeteket jellemeznek. A vizsgálatok során lehetőségünk van a további újítások felderítésére, ahol a cél a legnagyobb hatásfokkal működő hajtás.

Az első esetben sík területen, városi környezetben tanulmányoztam a rendszer működését.

7.1 Gyorsulás



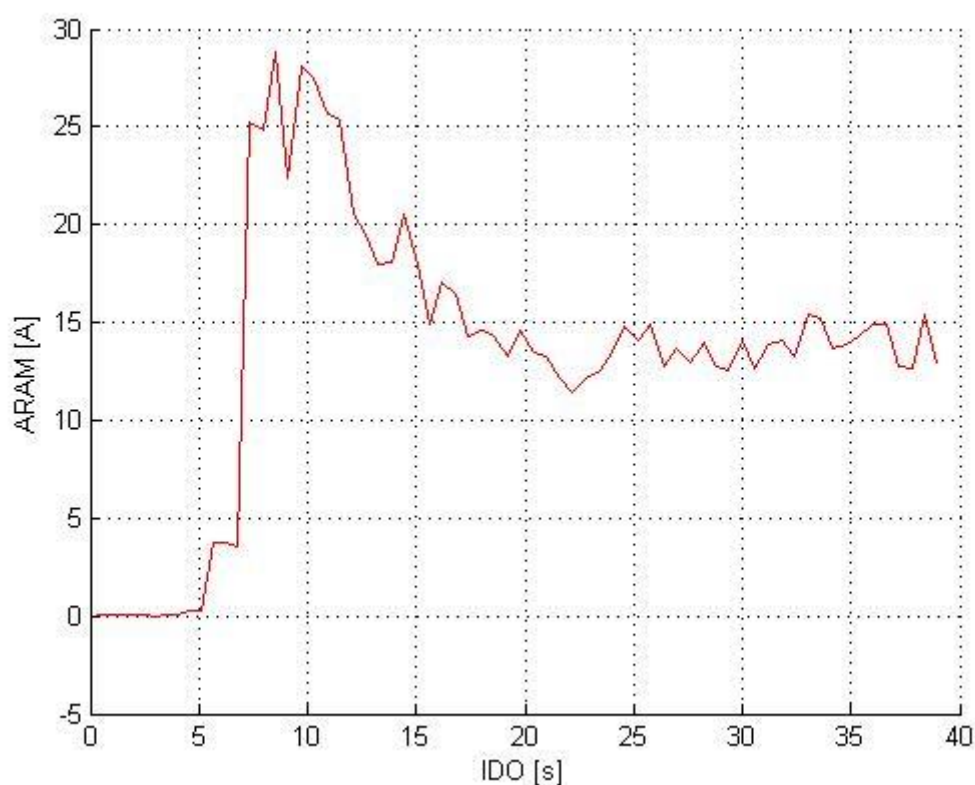
7.1.1. ábra. Gyorsulás alatti áramerősség-idő diagram



7.1.2. ábra. Gyorsulás alatti sebesség-idő diagram

A gyorsulási diagramokból láthatjuk, az elektromos kerékpárral elérhető maximális sebesség 40 km/h. Fontos megjegyeznünk, hogy ez csak sík környezetre igaz, ugyanakkor igen fontos befolyásoló tényező a szél. A mérés enyhe ellenszél jelenlétében történt. Láthatjuk, hogy ez a nagy sebesség, nagy fogyasztással is jár. A motor indulásakor felvette a 27 A-t, amely fogyasztás szempontjából nem kedvező. Ez a nagy áramfelvétel tekinthető a motor nagy 110 kg összsúlyának, amelyben beletartozott a 75 kg saját súlyom is.

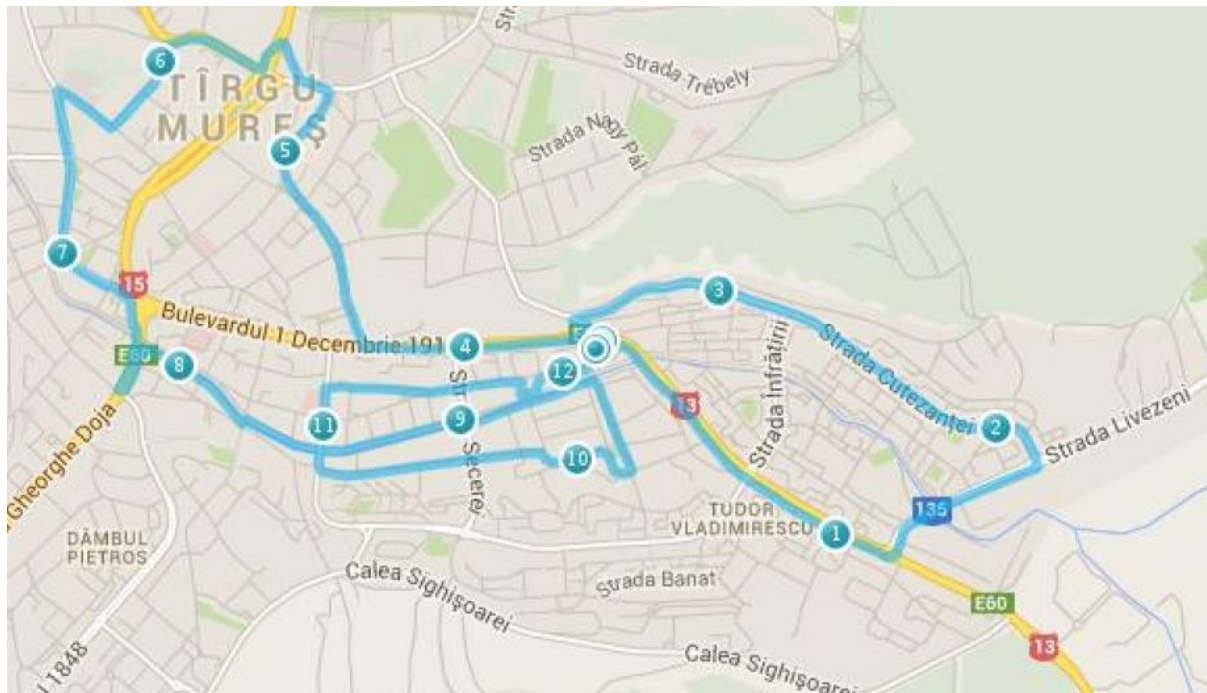
Abban az esetben, ha induláskor pedállal segítünk a hajtásnak (mérés közben 5 másodpercig), a maximális áramfelvétel a rásegítés nélküli esettel egyezik meg, az elérhető maximális sebességgel egyetemben.



7.1.3. ábra. Áramerősség - idő diagram, rásegítéssel

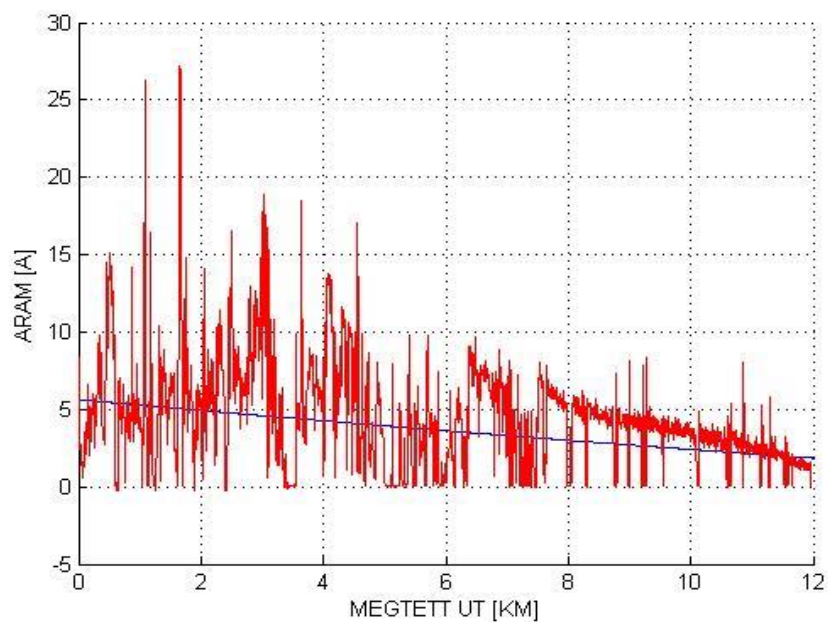
7.2 Városi környezet

A rendszer városi környezetben való viselkedését a 7.2.1 képen látható útszakaszon vizsgáltam, amelyet a telefonom GPS jeladója segítségével mentettem le.



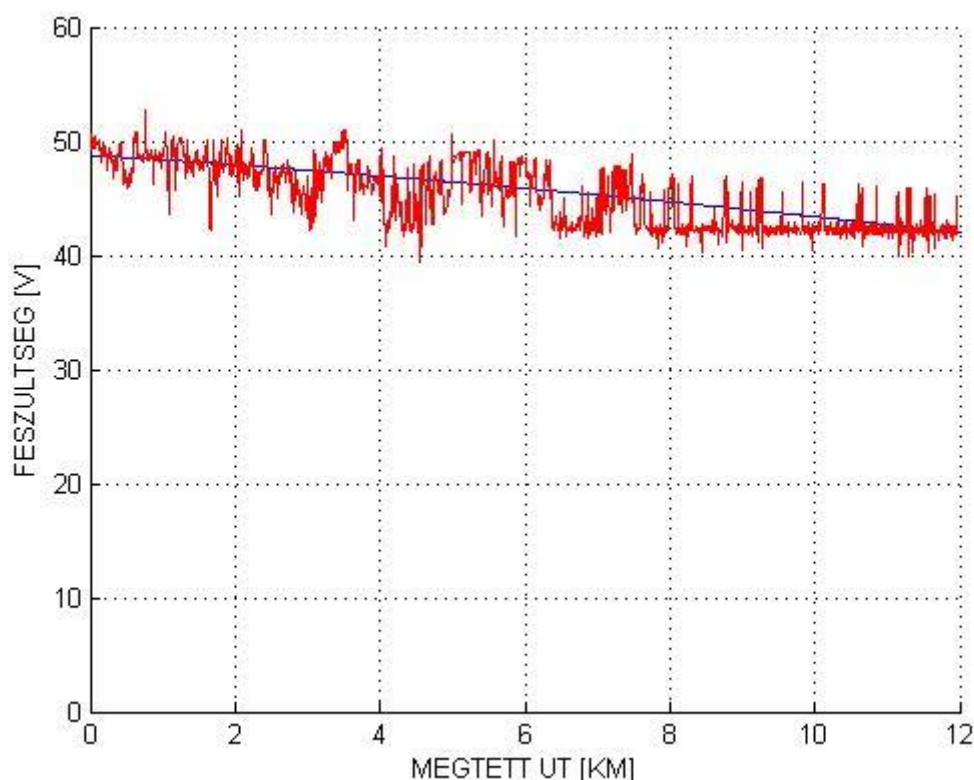
7.2.1. ábra. A próbaút, városi környezetben

A városi környezetre jellemző volt a folyamatos indulás-megállás, lassítás-gyorsítás emelkedőre fel - lejtőn le jelenségek. Ezeket az állapotokat a következő diagramok igen jól szemléltetik. Városi környezetben teljes feltöltéssel 12 kilométeres távot tudtam megtenni teljes lemerülésig.



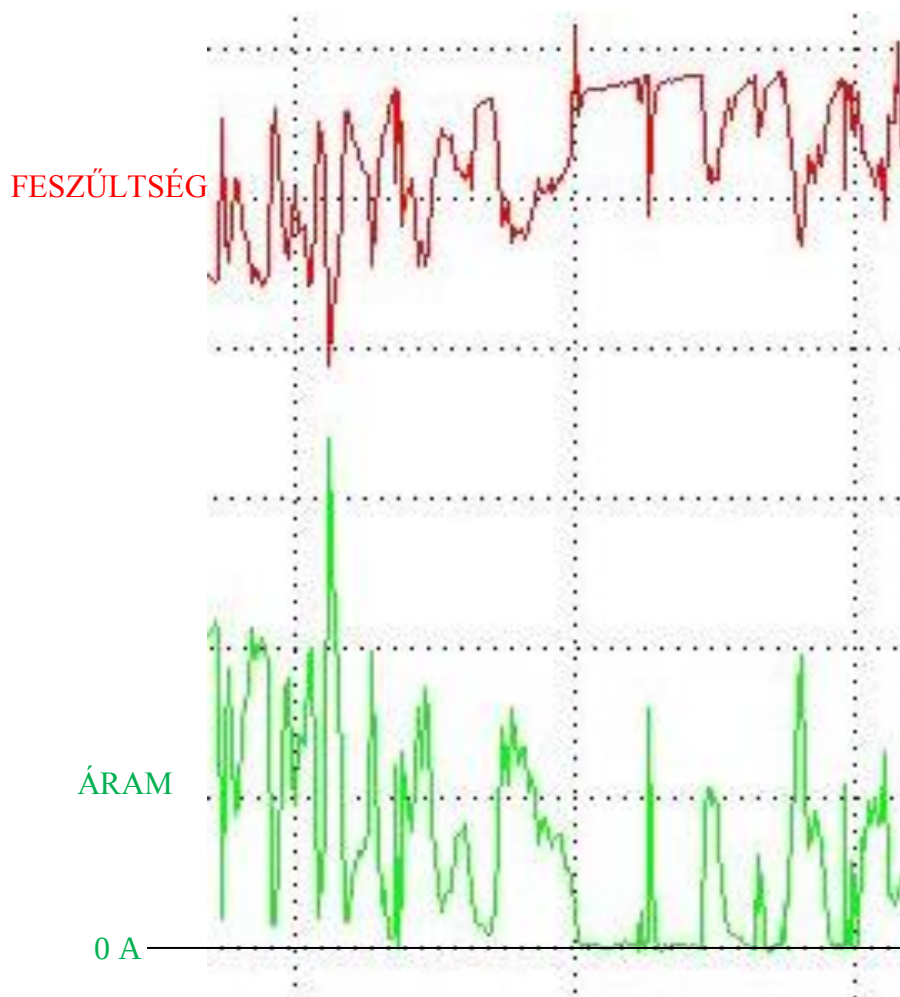
7.2.2. ábra. Áramerősség - megtett út

A motor átlag áramfelvételét működés közben a kék vonal szemlélteti, a piros a pillanatnyi áramfogyasztást jelöli. Ha a 12 kilométeres távot vesszük egy egészként, az átlagos áramfelvétel 3,455 amper. A 7.2.2 ábráról megfigyelhetjük azokat az indulási áram tüskéket, amelyek hirtelen gáz adagolásakor keletkeztek, maximális értékük az akkumulátorok merülésével arányosan csökkentek.



7.2.3. ábra. Feszültség - megtett út

A fenti ábrán láthatjuk, hogy az akkumulátorok maximális feltöltődési szintjei 51,63 V, a teljes lemerültség 41 V körül jelentkezik, ekkor már nem tudnak elégséges áramot biztosítani a motor megfelelő működéséhez. A fenti diagramon, az áram-megtett út diagramjával megegyezően, a piros színnel jelölt görbe jelöli a pillanatnyi feszültség értékét, a kék az átlagfeszültséget. Megfigyelhetünk kisebb-nagyobb feszültség ingadozásokat. Nagy terheléskor, amikor a motor nagyobb áramot szív el a tápból, a feszültség leesik, ellenkező esetben az akkumulátorok próbálják visszanyerni töltési szintjüket, s a feszültségük megnő. A könnyebb megértés érdekében a 7.2.4-es ábrát szerkesztettem meg.

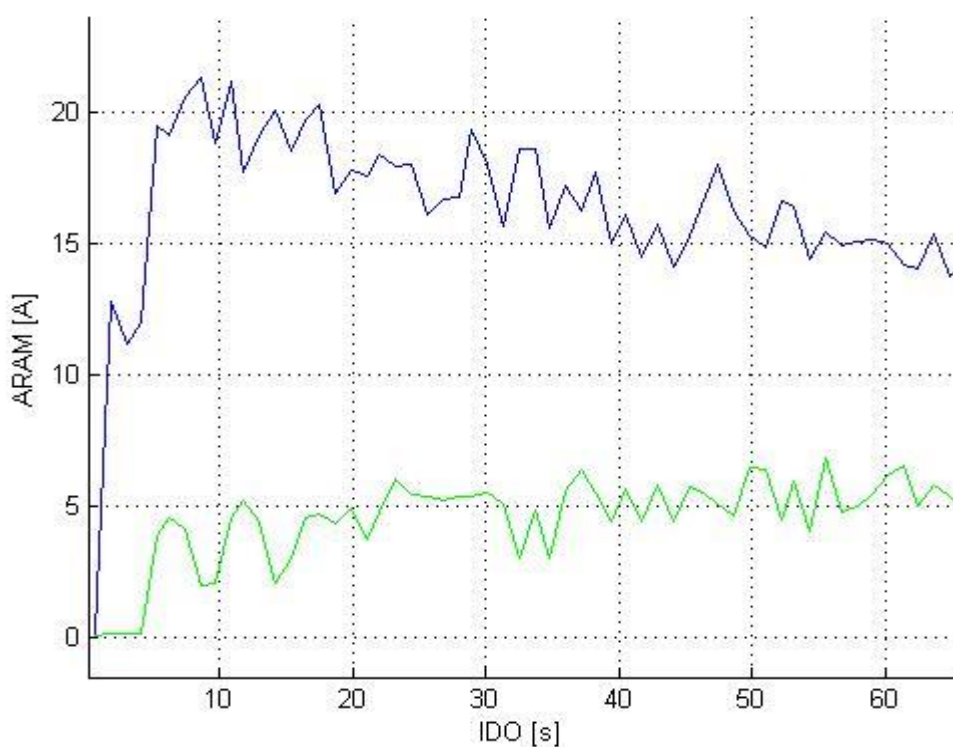


7.2.4 ábra. Feszültség - áram páros szemléltetése

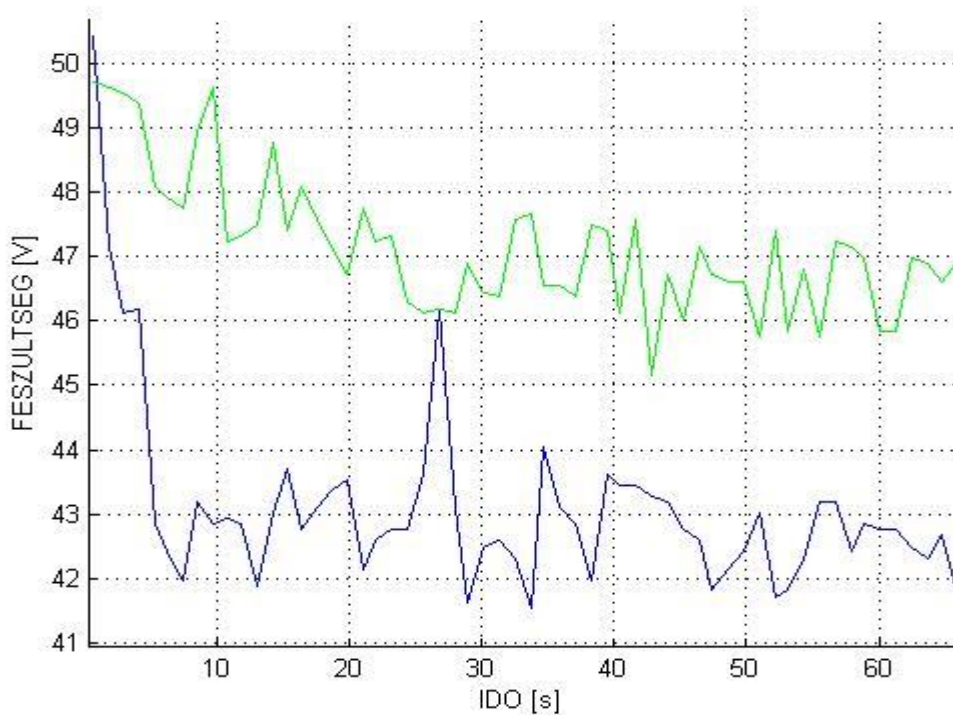
Városi környezetben az átlag felvett teljesítmény, mérések következtében 153,90 watt, ami elégséges is lenne, ha nem lennének a nagy áramingadozások. A maximálisan felvett teljesítmény 1204.27 watt, ami már nem elhanyagolható. Ebben az esetben már figyelniünk kell a motor védelmére is, az áramot korlátoznunk kell, hiába rövid időre jelentkezik a nagy terhelés.

7.3 Emelkedő

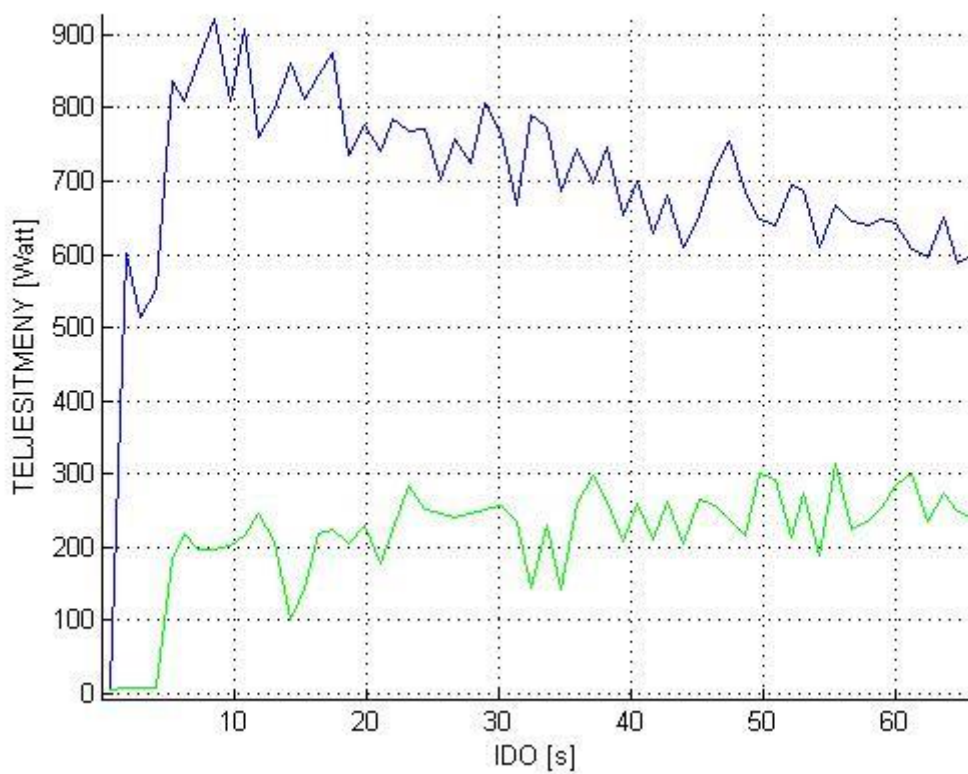
Az elektromos kerékpár emelkedő esetében mutatott viselkedései tanulmányozására a Sapientia felhajtó útját választottam. Két esetet tanulmányoztam. Az első rásegítés nélkül, terheléssel. A második, rásegítéssel.



7.3.1. ábra. Áramerősség rásegítéssel és rásegítés nélkül



7.3.2. ábra. Feszültség rásegítéssel és rásegítés nélkül



7.3.3. ábra. Bevitt teljesítmény rásegítéssel és rásegítés nélkül

Mindhárom ábra esetében a zöld görbe a rásegítést, a kék görbe rásegítés nélküli állapotváltozásokat jelöli. Rásegítés alatt értem, mikor haladás közben a kerékpáron található pedált hajtom, egyidejűleg a motor működtetésével. Rásegítés nélkül az átlagsebesség 16.7021 km/h, rásegítéssel 13.2447 km/h. Az emelkedő esete szemlélteti a legjobban a további fejlesztésekhez vezető legjobb utat. Mindhárom esetben a legjobb eredmény rásegítéssel keletkezett. A haladási sebesség ugyan kevesebb, viszont a bevitt teljesítmény jóval kisebb, ha a terhelést lecsökkentem, ami maga után vonja a kevesebb fogyasztást és egyben a nagyobb megtehető távot egy töltéssel.

8. Végkövetkeztetések levonása

Az előző fejezetben bemutatott vizsgálatokból sok hasznos következtetést vonhatunk le a jövőbeli fejlesztési törekvéseket illetően. Ahhoz, hogy a bemutatott rendszer hatásfokát megnöveljük, szükséges az összsúly csökkentése, amely nem egyszerű feladat. Az összsúlyt nagymértékben az akkumulátorok súlya befolyásolja. A legnagyobb súlycsökkentést csak a savzselés akkumulátorok, lítium ion akkumulátorokra való cseréje oldaná meg. Abban az esetben, ha ez a csere megtörténne, nagyon megnőne az elektromos kerékpár összköltsége, ezáltal a kerékpár csak a kiváltságos, jó anyagi helyzettel rendelkező rétegnek válna elérhetővé. Egy megoldás lenne, ha minden egyes esetben a felhasználó pedállal rásegítene a terhelés lecsökkentése céljából, ami idővel lehet, hogy kényelmetlenné válna. Ebben az esetben szükséges egy biztonsági áramkör a motor védelmére, abban az esetben, ha a rásegítés kimaradna.

További megoldásra váró probléma, az elektromos kerékpár indulásához szükséges nagy teljesítmény. Egy út során a megállás-elindulás párosnál, hiába kevés időre nő meg a fogyasztás, ez idővel összeadódik, amely összességében nem elhanyagolható.

Kutatásom további fejezetében egy két sebességi fokozattal rendelkező automata váltó-mechanizmus szerepel, amely kimondottan BLDC agykerék működését fogja megkönnyíteni. A nagy áttétellel rendelkező első fokozat a könnyed indulást fogja biztosítani, a második fokozat a megfelelő fordulatszám elérésekor lesz aktív. Mivel az általam kidolgozott elv elméletben megállja a helyét, de számításokkal egyelőre nem tudom igazolni, ezért a váltó felépítését, paramétereit továbbá nem taglalnám.

Végzőban tehát elmondhatjuk, hogy a környezetbarát eszközök használata igen nagy fontossággal bírnak, viszont ahhoz, hogy megfelelő hatásfokkal működjenek, s mindenki számára elérhetőek legyenek, ahhoz nagyon nagy munka, kitartás, esetleges anyagi tőke szükséges. Remélhetőleg a befektetett munka, idővel gazdára talál és egyszer az álomból valóság válik.

9 Bibliográfia

Kefenélküli egyenáramú motoro BLDC (brushless) Végh Sándor SZIE.GK. Békéscsaba

http://www.geeetech.com/wiki/index.php/3.2TFT_LCD

<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

http://ilias.gdf.hu/_html/Elektrotech/343_feszltsgoszs.html

<http://www.lucadentella.it/en/2011/11/29/sensore-di-corrente-con-arduino/>

<http://arduino.cc/en/Reference/SD>