

## Két üzemen alapuló - energiahatékony járművezérlés megvalósítása kísérleti járművön

**Kőrös Péter**

Széchenyi István Egyetem  
Győr, Magyarország

**Horváth Ernő**

Széchenyi István Egyetem  
Győr, Magyarország

**Lakatos István**

Széchenyi István Egyetem  
Győr, Magyarország

**Abstract:** A jelen cikk egy komplex járműirányítás megvalósítását írja le. A fő cél az energiahatékony üzemeltetés volt egy kb. 100 kg öntömeggű, kerékagyhajtásos kísérleti járművön. A megvalósított járművezérlés két jól megkülönböztethető üzemi állapotra épülnek, amelyek jól jellemzik a jármű üzemeit. A javasolt módszer legfontosabb jellemzője, hogy megbízhatóan becsülje meg a külső terheléseket, amelyek kölcsönhatásba lépnek a járművel és a szabályozó alkalmazkodik e változásokhoz, így garantálja a minimális energiafogyasztást. A tanulmányban szereplő jármű résztvevője a Shell Eco-marathon Europe versenynek a Battery Electric kategóriában.

### 1. BEVEZETÉS

A fejlesztési folyamat fő része az energiahatékony működésre irányul, a jármű tényleges külső terhelését figyelembe véve. Ez két megkülönböztethető működésben valósul meg. Az első üzemmód 28 km/h átlagsebességet tart, amit *terhelésfüggő ciklusvezérlésnek* hívunk. A második mód az *automatikus indításvezérlés*, amely felgyorsítja a járművet álló helyzetből a jellemző átlagsebességre, minimális energiafelhasználással. Mivel a kísérleti jármű kissé módosult a fejlesztési folyamat során, a mérési eredményeknél és a szimulációs eredményeknél mindig megjelöltük, hogy melyik járműhöz tartoznak (SZElectricity 2015, SZElectricity 2016). Előző éves tapasztalatokból tudtuk, hogy a járművezérlésbe implementált energiahatékony üzemeltetést elősegítő algoritmusok jobban teljesítettek, mint a hagyományos – ember által felügyelt – vezetés. A javasolt fejlesztési lépések így a következők voltak [1] [2] [3]:

1. A jármű menetleállásának mérése, PMSM motor és motorvezérlő együttes hatásközzéjének mérése
2. Szimulációs modell létrehozása (IPG CarMaker, AVL CRUISE)
3. Egyszerűsített hajtáslánc modell MATLAB Simulink-ban
4. Interfész létrehozása az egyszerűsített hajtásláncmodell és a MATLAB optimalizációs toolkit között
5. Optimalizációs folyamatot végrehajtása és az eredmények validálása
6. Az eredmények implementálása a jármű beágyazott-rendszerébe
7. Mérések elvégzése a valós környezetben
8. Eredmények kiértékelése

### 2. MODELLIDENTIFIKÁCIÓS MÉRÉSEK

#### 2.1 Kigurulásos mérések

A járművel kigurulásos méréseket hajtottunk végre, ahol a járművet maximális sebességre gyorsítottuk (kb. 35 km/h), majd szabadon kigurítottuk. Az eredmények kiértékelése után adódott egy olyan erőkomponens is, amelyet a valós fizikai rendszer tartalmaz és addig nem számoltunk vele (futómű beállítás, váz csavarodása stb.). A mérés legfontosabb eredménye a jármű légellenállásának meghatározása volt (CFD vizsgálatok visszaigazolása).

$$F_{\text{Air resistance}} = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2$$

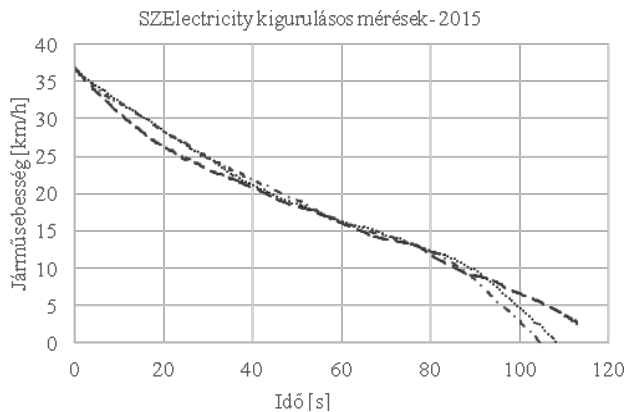
$F_{\text{Air resistance}}$  - légellenállási erő [N]

$\rho$  - a közeg sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$C_d$  - légellenállási együttható

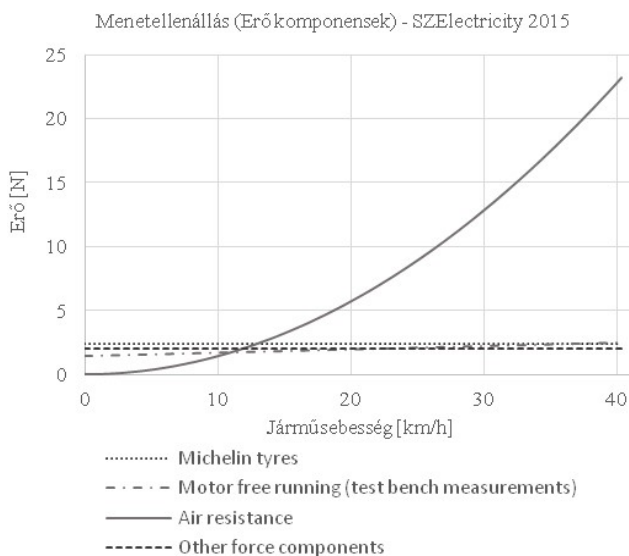
$A$  - frontfelület mérete [ $\text{m}^2$ ]

$v$  - járműsebesség [m/s]



Ábra 1. - Kigurulásos mérések - SZElectricity 2015

A kigurulásos tesztekét négyszer hajtottuk végre – lásd Ábra 1. – és az átlagolt sebességdiagramból számoltuk a jármű lassulását (a kísérleteket szélcsendes időben és jó minőségű aszfalton hajtottuk végre). A mérések eredményeiből – a MATLAB Curve Fitting Toolbox-át felhasználva – határoztuk meg a menetellenállás erőkomponenseit – lásd Ábra 2.



Ábra 2. - Menetellenállás erőkomponensei (SZElectricity 2015)

A menetellenállás felírható az alábbi erőkomponensek összegéként:

$$F_{Air\ resistance} + F_{Rolling\ resistance} + F_{Motor\ free\ running} + F_{Other\ components} = m a$$

$F_{Air\ resistance}$  - Aerodinamikai ellenállás

$F_{Rolling\ resistance}$  - Gumiabroncsok gördülési ellenállása (Michelin adatlap)

$F_{Motor\ free\ running}$  - A PMSM fékereje (0% nyomatékreferencia mellett, fékpedál mérések)

$F_{Other\ components}$  - Ismeretlen erőkomponens (a kigurulásos mérésekből megállapított konstans erőkomponens)

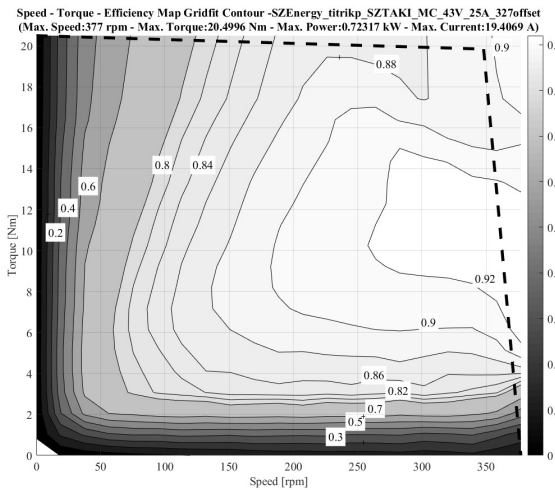
A mérések igazolták, hogy a hajtás teljesítménye legnagyobb mértékben a légellenállás leküzdésére fordítódik, más erőkomponensek konstansnak vagy kismértékű sebességfüggőséget mutatnak.



Ábra 3. - Kigurulásos mérések

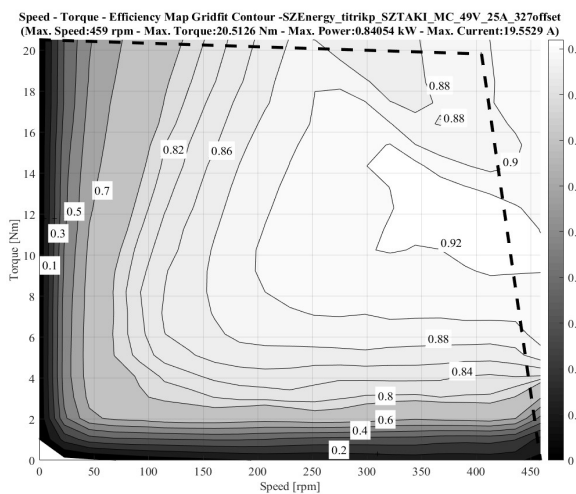
## 2.2 A PMSM és a motorvezérlő együttes hatásfokmezőjének mérése

Annak érdekében, hogy bizonyos körülmények között minimumra tudjuk csökkenteni az energiafogyasztást, minden egyes munkapontban meg kell ismerni a hajtóelemek veszteségét. Ezeket a méréseket három különböző DC feszültség szinten végeztük el a motoros munkanegyedekben. A 4. ábrán a PMSM és a motorvezérlő együttes hatásfokmezőjét mutatjuk be 43V-os DC tápforrás esetén, illetve az 5. ábrán 49V-nál.



Ábra 4. - A PMSM és motorvezérlő együttes hatásfokmezője 43V-on; az elérhető munkapontok a szaggatott vonalon belül vannak

A motor munkaterét egy NI cRIO mérőrendszer segítségével mértük meg, teljesen automatikusan (sajátfejlesztésű fékpad és programfejlesztés). A mérési eredményeket egy MATLAB script segítségével dolgoztuk fel, amely legenerálja a szimulációs programok táblázatait is (jellemzően LUT-k írják le a PMSM-eket a járműszimulációs programokban, fordulatszám-nyomaték-hatásfok táblázatban). A 4. és 5. ábrán jól megfigyelhető, hogy a csökkent DC tápfeszültség mellett az elérhető maximum sebesség több mint 80 rpm-mel csökken, ezt érdemes az akkumulátorrendszer méretezésnél figyelembe venni.



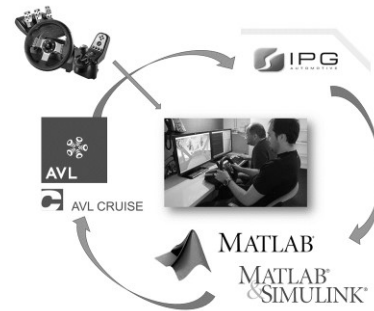
Ábra 5. - A PMSM és motorvezérlő együttes hatásfokmezője 49V-on

A hajtáslánc hatásfokmezőjét tartalmazó AVL CRUISE szimulációs modell segítségével több programban

lehetőségünk nyílt az energiamérlegek vizsgálatára (MATLAB Simulink, IPG CarMaker).

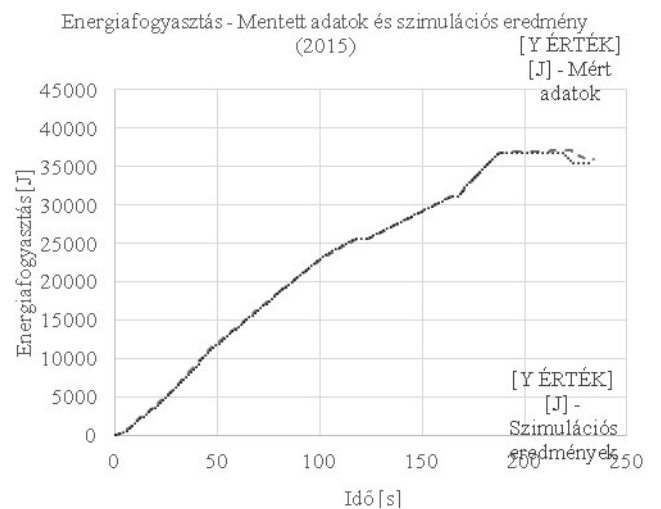
### 3. JÁRMŰSZIMULÁCIÓS MODELL SZOFTVER KÖRNYEZET

A mérések eredményei alapján egy teljes járműmodellt és környezetmodellt valósítottunk meg az IPG CarMaker és az AVL CRUISE szimulációs programokban. E két program használatával valós időben, virtuális környezetben is tesztelhető a jármű - a 6. ábrán a szimulációs környezet látható. Az energiatakarékos járművezérlő algoritmusok tesztelésére és fejlesztésére MATLAB Simulink-et használtunk.



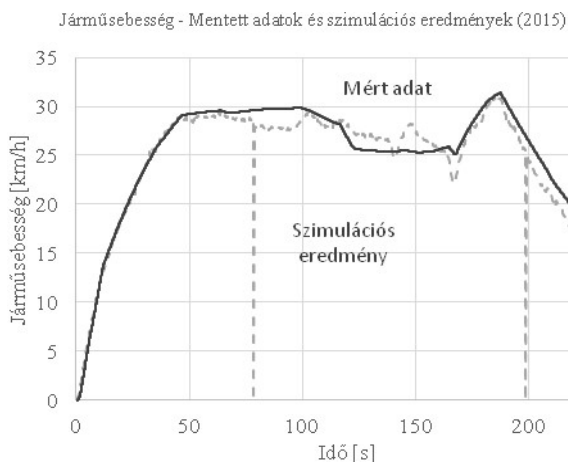
Ábra 6. - Szimulációs programkörnyezet (IPG CarMaker, AVL CRUISE, MATLAB Simulink -SZElectricity 2015/2016)

Annak érdekében, hogy a létrehozott járműmodellt validáljuk a programkörnyezetben „visszajátszottuk” az előző évben mentett nyomatékreferencia értékeket az idő függvényében. A szimulációs eredmények és a mért adatok szépen futnak együtt, eltérés csak regeneratív fékezésnél (nem vizsgált üzemmód) és a sebességtartásnál tapasztalható (változó terhelés a valós fizikai rendszerben, pl. útburkolat változása, szél stb.). A felhasznált energiamennyiségben mindösszesen 1.4% eltérés mutatkozott – Ábra 7.



Ábra 7. – Mért eredmények és szimulációs adatok a 2015-ös rotterdami versenyen (Hajtáslánc energiafogyasztása)

A járműsebességek a 8. ábrán láthatóak – mért adatok és szimulációs eredmények.



Ábra 8. - Mért eredmények és szimulációs adatok a 2015-ös rotterdami versenyen (Járműsebesség)

Az elkészült járműmodell további előnye, hogy új, más pályákon is tesztelhető a jármű. E modell segítségével módosítottuk a maximális nyomatékreferenciát a 2016-os Shell Eco-marathon versenyre.

#### 4. EGYSZERŰSÍTETT HAJTÁSLÁNC MODELL

Ahhoz, hogy az energiahatékony járművezérlést megvalósító algoritmusokat fejlesszük, létrehoztunk egy egyszerűsített hajtásláncmodellt. Ezt az egyszerűsített hajtásláncmodellt különböző terhelések mellett vizsgáltuk (pl. hegyemenet vagy megnövelt szélesség).

A szimulációs modell Newton második törvényét valósítja meg forgó mozgásra:

$$\sum \mathbf{M} = \theta \varepsilon$$

A rendszerben két nyomaték van reprezentálva (a PMSM nyomatéka és a PMSM tengelyét lassító fékezőnyomaték):

$$M_{Motor} + M_{Braking} = \theta \varepsilon$$

$M_{Motor}$  - A motor által kifejtett nyomaték [Nm]

$M_{Braking}$  - A motor tengelyét lassító nyomaték (menetellenállás, külső terhelések stb.) [Nm]

- $\theta$  - A motor tengelyére redukált tehetetlenségi nyomaték [ $kgm^2$ ]
- $\varepsilon$  - A motor tengelyének szöggyorsulása [ $rad/s^2$ ]

A modell úgy lett kialakítva, hogy könnyen csatolni tudjuk a MATLAB Optimalizációs Toolbox-ához. Ezt a modellt felhasználva vált lehetőség a két járművezérlő funkció megvalósítására.

#### 5. OPTIMALIZÁCIÓ

Az optimalizációs folyamatot két járműüzemre végeztük el. Ez a két üzemállapot jól jellemzi a Shell Eco-marathon városi menetciklusát:

- 0 km/h-ról 29 km/h-ra való gyorsítás (automatikus indításvezérlés)
- 28 km/h átlagsebesség-tartás (ciklusvezérlés)

Az optimalizáció paramétervektorai a következők voltak:

Paramétervektor a rajtautomatika megvalósítására:

$$[\text{param\_vector}]_1 \text{start} ([\text{LoadSignal}]_1 0rpm, [\text{LoadSignal}]_1 20rpm,$$

$$\text{LoadSignal}_{40rpm}, \text{LoadSignal}_{60rpm}, \text{LoadSignal}_{80rpm}, \text{LoadSignal}_{100rpm}, \text{LoadSignal}_{150rpm},$$

$$\text{LoadSignal}_{200rpm} [\text{LoadSignal}]_1 250rpm, [\text{LoadSignal}]_1 300rpm)$$

Paramétervektor a sebességtartás megvalósítására:

$$[\text{param\_vector}]_1 \text{cruising} ([\text{Speed}]_1 \text{minimum},$$

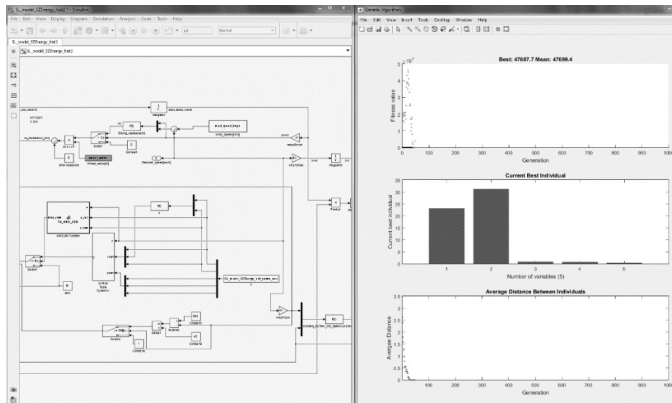
$$\text{Speed}_{\text{maximum}}, \text{LoadSignal}_{\text{minimum}_{\text{speed}}}, [\text{LoadSignal}]_1 (\text{average}_{\text{speed}}, [\text{LoadSignal}]_1 (\text{maximum}_{\text{speed}}))$$

A rendelkezésre álló optimalizálási módszerek közül a genetikai algoritmusokat (GA) használtuk, mert széleskörűen alkalmazható a műszaki problémák megoldására. A GA általában jó a globális megoldások megtalálásában és általában nem ragad be a helyi optimumba (kellő iteráció mellett).



Az optimalizációs folyamat átlagosan 1000 generációig kereste meg az optimális paramétervektort, 50-es kezdőpopulációval - lásd a 10. ábrát.

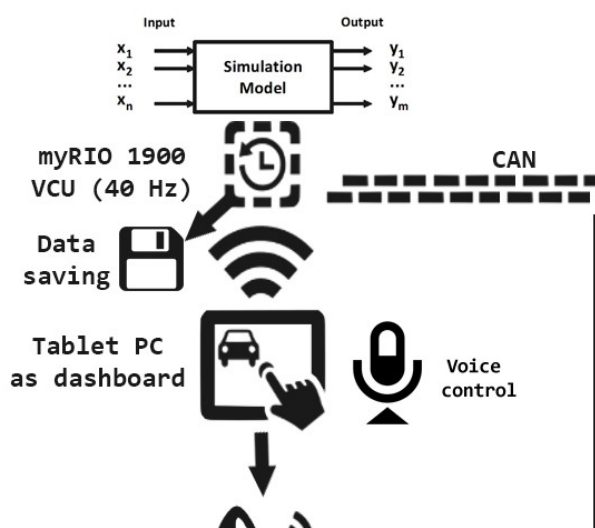
Azokat a paramétervektorokat, amelyek nem teljesítették a feltételeket, azokat büntető pontokkal láttuk el (pl. időlimit túllépése). Az optimalizációs folyamat eredményeit csak felhasználni kívántuk a beágyazott rendszerben, nem kívántunk valósidejű optimalizációt megvalósítani a jármű vezérlőegységében. A paramétervektorokat LUT-ökben és polinomokban tároltuk.



Ábra 10. – Optimalizációs folyamat Simulink környezetben

#### Beágyazott-rendszer fejlesztés

A járműirányítás rendszerábrája a 11. ábrán látható (2016-os SZElectricity rendszere). Az energiahatékony járműüzemeltetést megvalósító algoritmusok futtatása mellett számos más funkciót is meg kellett valósítani a rendszerben. Hosszas fejlesztési munka után a 40Hz-es futtatási frekvencia mellett döntöttünk (a járművezérlő egységként használt myRIO rendszer garantálni tudta a valósidejű működést a megválasztott végrehajtási frekvencia mellett).



Ábra 11. – Járművezérlés rendszerábrája (SZElectricity 2016)

Ahhoz, hogy az optimalizációs folyamat eredményét fel tudjuk használni, létre kellett hozni a járműmodellt az NI platform rendszeren is. A járművet érő terhelés kiszámításával lehetőség nyílik a helyes paramétervektor alkalmazására.

A következő évek fejlesztését elősegítő adatmentést is megvalósítottunk, amelynek kimenete a fékpadi mérések alapjait képezi (84 különböző mentett adat).

#### Automatikus indításvezérlés

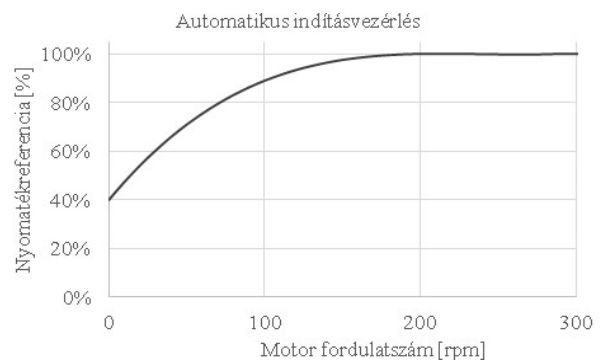
Az automatikus indításvezérlés paraméter vektora pontosan leírja, hogy adott fordulatszám mellett milyen nyomatékreferenciával kell gyorsítani a járművet, hogy a felhasznált energiamennyiséget minimalizáljuk. Annak érdekében, hogy a gyorsítás során ne tapasztaljunk nyomatékugrást (lineáris interpoláció esetén előfordulhat), harmadfokú polinomot alkalmaztunk – lásd Ábra 12.

Az optimális gyorsítást leíró nyomatékreferencia polinom a sebesség függvényében:

$$LoadSignalReference = 4.579e - 08 \text{ rpm}^3 - 3.283e - 05 \text{ rpm}^2 + 0.007753 \text{ rpm} + 0.396$$

**LoadSignalReference** – Nyomatékreferencia parancs [%]

**rpm** – Motorfordulatszám [rpm]



Ábra 12. - Automatikus indításvezérlés (Nyomatékreferencia – Motor fordulatszám)

28km/h átlagsebesség tartás (ciklusvezérlés)

Annak érdekében, hogy az optimalizálási eredményeket felhasználhassuk rendszerünkben, az NI valósidejű környezetében terhelésbecslést kellett megvalósítanunk. A paramétervektor a számított változó szerint kerül kiválasztásra, amely meghatározza az optimális ciklusvezérlést. A terhelésbecslő kiszámít egy változót, amit **PowerFactor**nak neveztünk el. Az adott üzemállapotban a **PowerFactor** meghatározza, hogy a hajtáshoz szükséges

teljesítmény hogyan viszonyul a pluszterheléstől mentes sebességtartáshoz (1-nél kisebb érték a járművet gyorsító környezeti hatást mutat, az 1-nél nagyobb érték a járművet lassító plusz környezeti hatást mutat – pl. szél, emelkedő stb.).  $P_{motor} = M_{motor} \omega$

$$P_{system} = \theta \varepsilon \omega$$

$$P_{resistance} = F v$$

$$PowerFactor = \frac{P_{motor} - P_{system}}{P_{resistance}}$$

$P_{Motor}$  - Motor mechanikai teljesítménye (polinom által számítva, fékpadi mérések eredményeiből)

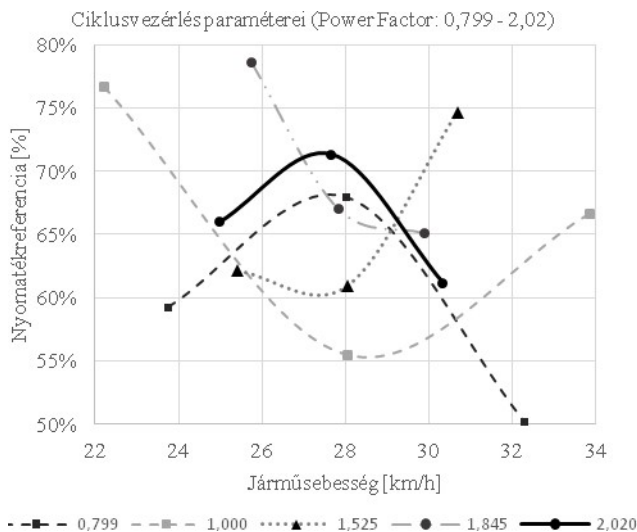
$P_{System}$  - Rendszer teljesítménye

$P_{Resistance}$  - Menetellenállás teljesítménye (kigurulások mérésekből számítva)

Táblázat 1. összegezi a különböző *PowerFactor*-hoz tartozó paramétervektorokat.

Érdeemes megfigyelni, hogy 2,1 *PowerFactor* érték felett már állandó hajtással érhető el az energiaminimum, nem éri meg a felgyorsítás kigurulás technika alkalmazása. A rendszer 2,1 *PowerFactor* értékek alatt automatikusan végzi a gyorsítás kigurulás technikát, a járművezetőnek nem kell nyomatékreferenciát megadni. Ha nem lehetséges a ciklusvezérlés, úgy a rendszer visszaadja a nyomatékreferencia képzés lehetőségét a járművezető számára.

Nyomatékreferencia minimumsebesség [%]	Nyomatékreferencia minimum és maximumsebesség számtani átlagánál [%]	Nyomatékreferencia maximumsebesség mellett [%]	Minimum sebesség [km/h]	Interpolált sebesség [km/h]	Maximum sebesség [km/h]	<i>PowerFactor</i> értékek (erthesi állapotot reprezentáló)	Energiafelhasználás (19000m távolságon 28 km/h átlagsebességet tartva) [J]	Vezetési mód (ciklikus hajtás vagy állandó hajtás)
0,592 3	0,6792	0,501 2	23,7 6	28,0 3	32,2 9	0,799	28858	ciklikus
0,809 2	0,7856	0,600 8	24,7 1	28,0 0	31,2 9	0,894	32540	ciklikus
0,766 5	0,5544	0,666 4	22,2 1	28,0 4	33,8 6	1,000	36275	ciklikus
0,807 6	0,5819	0,691 8	24,5 1	27,9 7	31,4 3	1,117	40676	ciklikus
0,756 2	0,5742	0,667 1	24,4 6	27,9 3	31,4 0	1,240	45317	ciklikus
0,811 2	0,6048	0,692 3	23,1 3	27,8 5	32,5 6	1,375	50229	ciklikus
0,621 2	0,6095	0,746 8	25,4 2	28,0 5	30,6 8	1,525	55873	ciklikus
0,622 1	0,5260	0,761 5	24,7 0	28,0 3	31,3 6	1,680	61524	ciklikus
0,785 8	0,6701	0,650 6	25,7 4	27,8 2	29,9 1	1,845	67742	ciklikus
0,659 8	0,7132	0,611 6	24,9 8	27,6 6	30,3 3	2,020	74074	ciklikus
-	-	-	-	-	-	2,210	81989	állandó



Ábra 13.- Ciklusvezérlés paramétere

Táblázat 1. - A ciklusvezérlés paraméter táblázta

A megvalósított algoritmussal a járművezérlő képes az energiafelhasználás minimalizálására különböző üzemi körülmények között is. A környezetből adódó terhelésváltozások gyakran drasztikusak lehetnek (hátszél, szembeszél, emelkedő, lejtő stb.). A rendszer előnye, hogy az aktuális terhelést becsüli és nem a pályára optimalizált sebesség trajektóriát próbálja lekövetni (több csapat alkalmazza a *Shell Eco-marathon* versenyen).

Szimulációs környezetben a ciklusvezérlés és a rajtautomatika kb. 5,96%-os energiahatékonysági mutató javulást mutatott. Ezt valós mérésekkel kívántuk igazolni.

## 6. MÉRÉSEK LEÍRÁSA

A megvalósított algoritmusokat a verseny előtt teszteltük, hogy megbizonyosodjunk azoknak a helyes működéséről és eredményeiről.

A méréseket az egyetemünkhöz közeli árvízvédelmi gáton hajtottuk végre, mivel kellően sík és jó minőségű útburkolattal rendelkeznek.

A szélesebbég változó volt (10 és 20 km/h közötti), így lehetőség nyílt a terhelésbecslő algoritmus tesztelésére is.

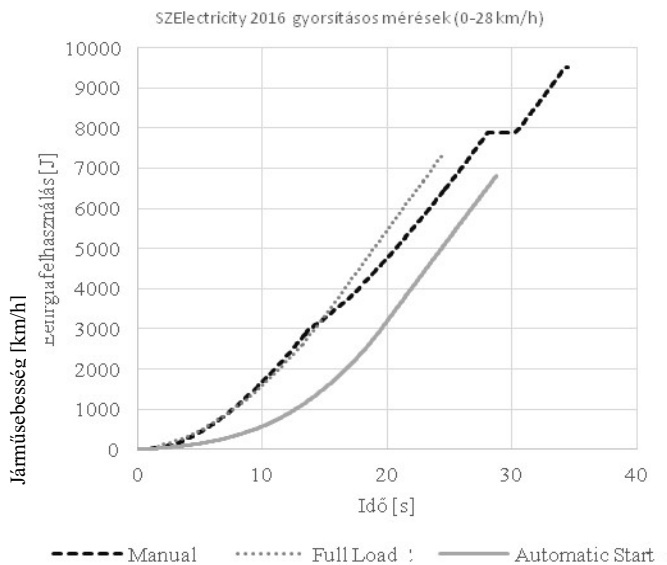


Ábra 14. – Mérések: SZElectricity 2016.06.19-20.

A teszt idején a guminyomás 5 bar, a környezeti hőmérséklet 25°C volt. A méréseket tesztfutások előzték meg, hogy a helyes működést igazoljuk.

#### Automatikus indításvezérlés

A mérések a következő eredményeket adták – lásd 15. ábra.



Ábra 15. – Gyorsítási tesztek (SZElectricity 2016)

- Manual** - Járművezető által felügyelt gyorsítás
- Full Load** - 100%-os nyomatékreferenciával gyorsítás
- Automatic start** - Automatikus indításvezérlés

A mérések eredményét a táblázat 2. mutatja be részletesen:

Táblázat 2. – Gyorsítási mérések - SZElectricity 2016

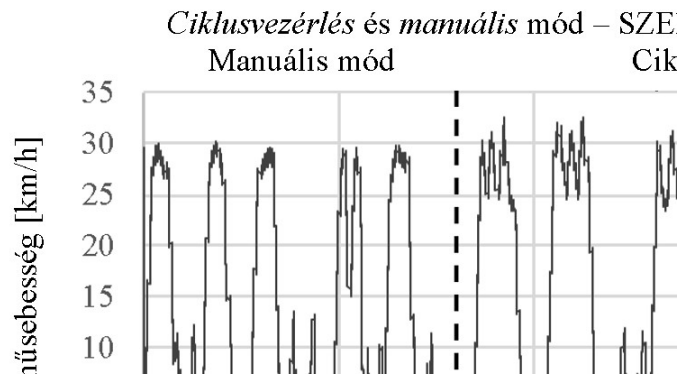
	Manuális	100%	Automatikus indításvezérlés
I. mérés	9517	7920	7366
II. mérés	8253	7292	6807
III. mérés	9337	7680	7416
átlag	átlag	átlag	átlag
	9036	7631	7196

A táblázat eredményei jól mutatják, hogy a pontos járműszimulációs modell és az optimalizáció olyan eredményt hoztak, amely jól ismételtető módon garantálja a minimum energiafelhasználást a gyorsítási szakaszokban.

#### Ciklusvezérléses mérések és kiértékelésük

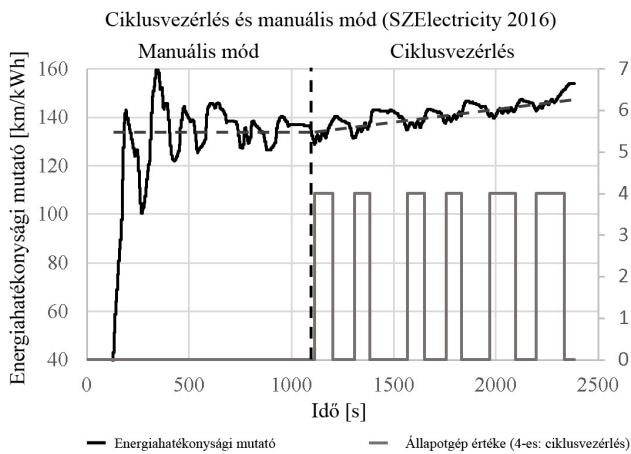
A mérések kiértékelésénél mindig 290 m megtételéhez szükséges energiamennyiséget hasonlítottunk össze a ciklusvezérlés és állandóhajtás méréseinél – természetesen az átlag 28 km/h mellett. Állandó hajtás esetén a jármű vezetője határozta meg azt a nyomatékreferenciát, amellyel tartani tudta a 28 km/h sebességet.

Ciklusvezérlés esetén a nyomatékreferenciát a VCU programja határozta meg.



Ábra 16. – Ciklusvezérlés és állandó hajtás 28 km/h-nál (2016)

A 17. ábrán látható a verseny során alkalmazott energiahatékonysági mutató 28 km/h átlagsebesség mellett, manuális és ciklusvezérléses üzemmódban.



Ábra 17. – Ciklusvezérlés és állandó hajtás energiahatékonysági mutatója 28 km/h-nál (2016)

Az összefoglaló 3. táblázat mutatja a mérések során regisztrált energiafelhasználást a két üzemmódban.

Táblázat 3. – Manuális mód és ciklusvezérlés energiafelhasználása 28 km/h sebesség mellett (2016)

	Manuális	Ciklusvezérlés
Mérés I.	7305 [J]	5084 [J]
Mérés II.	4975 [J]	5184 [J]
Mérés III.	7172 [J]	5654 [J]
Mérés IV.	6178 [J]	5731 [J]
Mérés V.	4473 [J]	6275 [J]
Mérés VI.	6370 [J]	4390 [J]
	átlag	átlag
	6078,83 [J]	5386,33 [J]

## 7. ÖSSZEFOGLALÓ

Összességében megerősítést nyert a mérések által, hogy a két algoritmus (*automatikus indításvezérlés* és a modell alapú *ciklusvezérlés*) használatával az energiahatékonysági mutató

jobb eredményeket mutat és nem volt működésbeli anomália. A vezető kényelmesen és biztonságosan alkalmazhatja az automatikus vezetési algoritmusokat (engedélyező és nyomógombos kapcsolók együttes használata).

Az előző éves gyorsításokkal összehasonlítva az automatikus indításvezérlés akár 17 százalékpontos energiafogyasztás-javulást, a ciklusvezérlés akár 11 százalékpontos javulást eredményezhet. Az eredmények alapját képezik a következő időszak fejlesztési munkáinak (fékpedi mérések, megnövelt PMSM munkatartomány, fékezés automatika stb.).

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk az EFOP-3.6.1-16-2016-00017 "Nemzetköziesítés, oktatói, kutatói és hallgatói utánpótlás megteremtése, a tudás és technológiai transzfer fejlesztése, mint az intelligens szakosodás eszközei a Széchenyi István Egyetemen" – projekt támogatásáért.

Köszönetet mondunk az EFOP-3.6.2-16-2017-00016 "Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában" – projekt támogatásáért.

## Hivatkozások

- [1] H. Trømborg, *Control system for the DNV GL Fuel Fighter Prototype and the DNV GL Fuel Fighter UrbanConcept*, Norwegian University of Science and Technology, 2014.
- [2] K. Sternal, A. Cholewa, W. Skarka and M. Targosz, "Electric Vehicle for the Students' Shell Eco-Marathon Competition. Design of the Car and Telemetry System," *Telematics in the Transport Environment*, vol. 329, pp. 26-33, 2012.
- [3] E. Horváth and P. Kőrös, "Systematic approach to software related tasks in electric fuel-efficiency vehicle development," in *IEEE 19th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, Bratislava, 2015.