

Elektromos hajtású járművek energiahatékonyság növelési lehetőségei

Possibilities for increasing the energy efficiency of electric vehicles

SZAKÁLLAS Gábor, KŐRÖS Péter, SZAUTER Ferenc, SZELI Zoltán

Széchenyi István Egyetem, H-9026 Győr, Egyetem tér 1., +36-96-503-400, szgabor@ga.sze.hu

Összefoglaló

A cikk az elektromos meghajtású járművek energiahatékonyságának javítási lehetőségeivel foglalkozik a járműirányítás optimalizálásának oldaláról, ami a korlátozott hatótávolságuk miatt különösen fontos kérdés. A cél az energiahatékony üzemeltetése volt egy kb. 100 kg tömegű, kísérleti elektromos járműnek. A jármű irányítórendszere képes megbízhatóan becsülni a járművet érő külső terheléseket és a szabályozó alkalmazkodik e változásokhoz, garantálva a minimális energiafogyasztást bizonyos üzemi körülmények mellett.

Kulcsszavak: elektromos jármű, energiahatékonyság, légellenállás, optimalizáció

Abstract

This article is about improving the energy efficiency of electric vehicles from the aspect of vehicle control optimization, which is a particularly important issue due to their limited range. The goal was to operate energy-efficiently an experimental electric vehicle, weighing approximately 100 kg. The vehicle control system is able to reliably estimate the external loads of the vehicle and the controller adapts to these changes, guaranteeing minimal power consumption under certain operating conditions.

1. BEVEZETÉS

A bemutatásra kerülő fejlesztési folyamat 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. A fejlesztés a Széchenyi István Egyetemen működő SZEnergy Team és az Autonóm Járműszakkör eszközrendszerén alapulva valósult meg, amelynek előnye, hogy a saját fejlesztésű hajtásrendszer és járműirányítási rendszer minden eleme ismert, így alkalmas a különböző vizsgálatokra, illetve az optimalizációs eljárások tesztelésére. A korábbi évek Shell Eco-marathon versenyein szerzett tapasztalatokból tudtuk, hogy a járművezérlésbe implementált energiahatékony üzemeltetést elősegítő algoritmusok jobban teljesítettek, mint a hagyományos – ember által felügyelt – vezetés.

2. MODELLIDENTIFIKÁCIÓS MÉRÉSEK

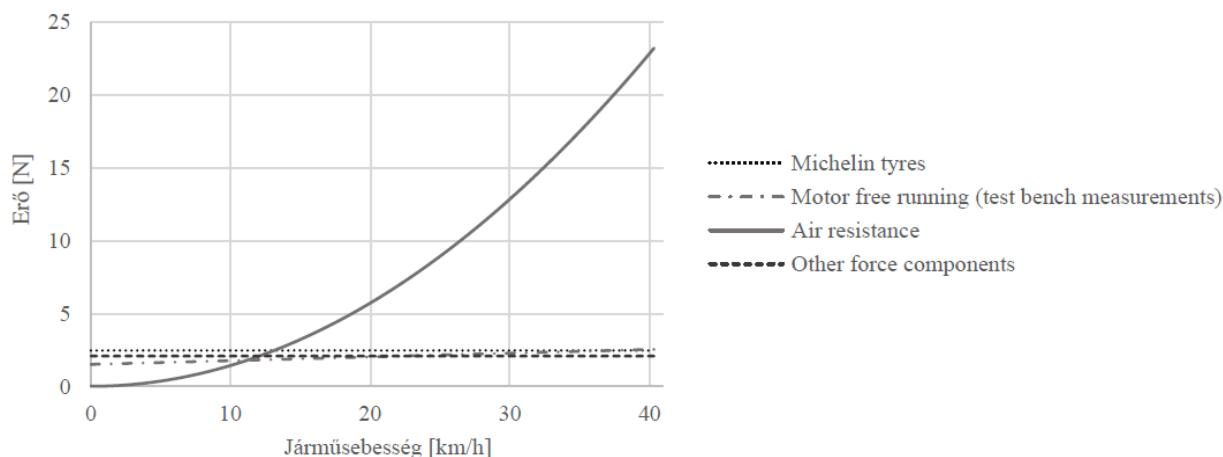
Első lépés a jármű menetellenállásának mérése volt, amely során maximális sebességről (35 km/h) kigurulásos méréseket hajtottunk végre több alkalommal, és az átlagolt sebességszámításból számoltuk a jármű lassulását. Az eredmények kiértékelése után adódott egy olyan erőkomponens is, amelyet a valós fizikai rendszer tartalmaz és addig nem számoltunk vele (futómű beállítás, váz csavarodása stb.). A légellenállási együtthatót eddig csak az áramlástan szimulációk (CFD) alapján becsültük, melynek értéke ezen azonos módszerrel validálásra is került.

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

ahol ρ a közeg sűrűsége [kg/m³], C_d légellenállási együttható, A frontfelület mérete [m²], v járműsebesség [m/s]. A teljes vonóerő igény az alábbi komponensekből áll:

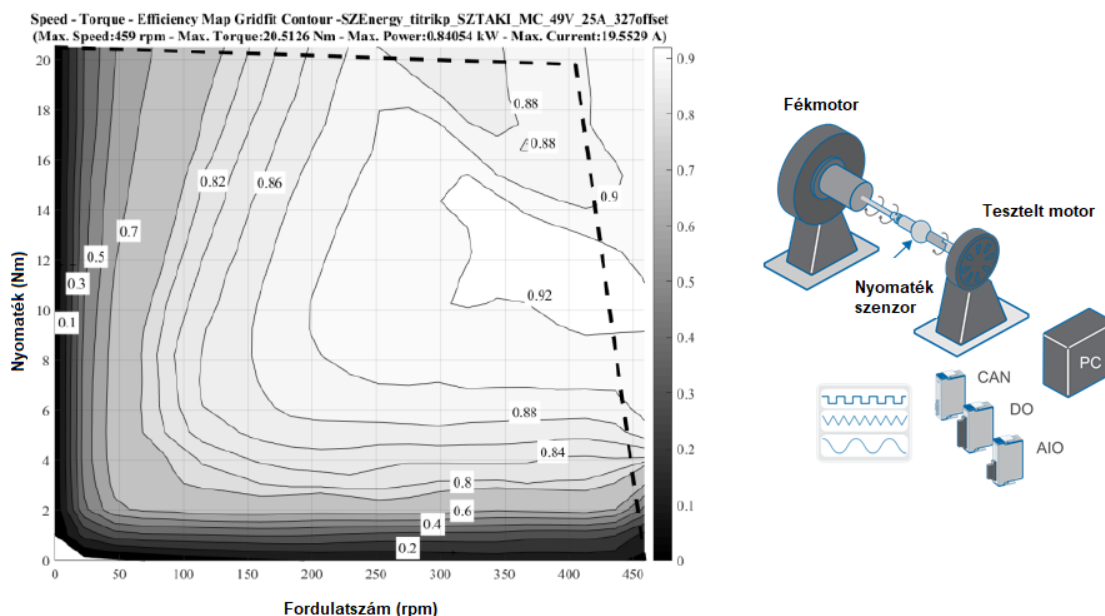
$$F_{\text{légellenállás}} + F_{\text{gördülési ellenállás}} + F_{\text{motor szabadonfutás}} + F_{\text{identifikált erőkomponens}} = m a$$

A mérések eredményeiből – a MATLAB Curve Fitting Toolbox-át felhasználva – határoztuk meg a menetellenállás erőkomponenseit. Az alábbi diagramon láthatók sebesség függvényében a különböző erőkomponensek.



1. ábra Menetellenállás erőkomponensek

Az eredmények alapján látható, hogy a hajtásra fordított energia legnagyobb mértékben a légellenállás leküzdésére fordítódik (a légellenállási erő 20 km/h felett már domináns), más erőkomponensek konstansnak vagy kismértékű sebességfüggőséget mutatnak.



2. ábra A PMS motor és motorvezérlő együttes hatásfokmezője 49 V-on

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 motor munkaterét - teljesen automatikusan - egy saját fejlesztésű rendszer állította elő, értékelte ki.

3. JÁRMŰSZIMULÁCIÓ ÉS HAJTÁSLÁNC MODELL

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. Minden modell képes önálló működésre, de virtuális tesztvezetéshez a teljes lánc volt használva. Az elkészült járműmodell nagy előnye, hogy egyéb pályákon is tesztelhetővé vált a jármű.

A járműmodell validálásához a programkörnyezetben „visszajátszottuk” az előző évben mentett nyomatékreferencia értékeket az idő függvényében. A szimulációs eredmények és a mért adatok hasonló jelleget mutatnak, eltérés csak regeneratív fékezésnél és sebességtartásnál tapasztalható (változó terhelés a valós fizikai rendszerben, pl. útburkolat változása, szél stb.). A felhasznált energiamennyiségben mindösszesen 1.4% eltérés mutatkozott.

Létrehoztunk egy egyszerűsített hajtásláncmodellt is, hogy az energiahatékony járművezérlést megvalósító algoritmusokat fejlesszük. Ezt különböző terhelések mellett vizsgáltuk (pl. hegymenet vagy megnövelt szélesebbesség). A rendszerben a PMS motor nyomatéka és a tengelyét lassító fékezőnyomaték van reprezentálva. A modell tartalmazza a motor hatásfokmezőjét és a jármű menetellenállását, illetve lehetőség van plusz terhelést megadni (emelkedő, szélesebbesség). A modell számolja a felhasznált energiát és az átlagsebességet.

4. OPTIMALIZÁCIÓ

Az optimalizációs folyamatot az automatikus indításvezérlés és a ciklusvezérléses üzemre is elvégeztük, amelyek jól jellemzik a Shell Eco-marathon városi menetciklusát. Az optimalizálási módszerek közül a genetikai algoritmusokat (GA) választottuk, mivel 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 eredményeit csak felhasználni kívántuk a beágyazott rendszerben, nem kívántunk valós idejű optimalizációt megvalósítani a jármű vezérlőegységében.

5. OPTIMALIZÁCIÓS EREDMÉNYEK IMPLEMENTÁLÁSA A JÁRMŰ BEÁGYAZOTT-RENDSZERÉBE

Ahhoz, hogy az optimalizációs folyamat eredményét fel tudjuk használni, a járműmodellt a National Instruments platform rendszeren is elkészítettük. A járművet érő terhelés kiszámításával lehetőség nyílik a helyes paramétervektor alkalmazására. Emellett számos más funkciót is meg kellett valósítani a rendszerben. A következő évek fejlesztését elősegítendő adatmentési funkcióval is elláttuk, amely adatok a fékpadi mérések alapjait képezik (84 különböző mentett adat).

Az automatikus indításvezérlés paramétervektora pontosan leírja, hogy adott fordulatszám mellett milyen nyomatékreferenciával kell gyorsítani a járművet, hogy a felhasznált energiamennyiséget minimalizáljuk.

A jármű irányítórendszerében terhelésbecslést kellett megvalósítanunk a ciklusvezérléshez. A paramétervektor a terhelésbecslő által számított változó, amelyet PowerFactornak neveztünk el, szerint kerül kiválasztásra, amely meghatározza az optimális ciklusvezérlést. A különböző üzemállapotokban a PowerFactor meghatározza, hogy a hajtáshoz szükséges teljesítmény hogyan viszonyul a plusz terheléstől 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.).

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

- P_{motor} - Motor mechanikai teljesítmény (polinomiális leírás, fékpadi mérések alapján)
- P_{system} - Rendszer teljesítménye (szenzoros jelekből számítva)
- $P_{resistance}$ - Jármű menetellenállása (kigurulásokból számítva, polinomiális leírás)

2,1-es PowerFactor érték alatt automatikusan működik a rendszerünk, a járművezetőnek nem kell nyomtérképreferenciát megadni, afelett már csak állandó hajtással érhető el az energiaminimum.

Az automatikus indításvezérlés és a ciklusvezérlés validálásához gyorsítós méréseket végeztünk és adott útvonalon többször végigmentünk a járművel. A 3. ábrán látható, hogy a pontos járműszimulációs modell és az optimalizáció olyan eredményt hoztak, amely jól ismételtető módon garantálja a minimum energiafelhasználást a különböző üzemmódokban.

	Manuális	Teljes terhelés	Automatikus indításvezérlés
I. mérés	9517	7920	7366
II. mérés	8253	7292	6807
III. mérés	9337	7680	7416
Átlag:	9036	7631	7196
Energiafelhasználás [J]			

	Manuális	Ciklusvezérlés
Mérés I.	7305	5084
Mérés II.	4975	5184
Mérés III.	7172	5654
Mérés IV.	6178	5731
Mérés V.	4473	6275
Mérés VI.	6370	4390
Átlag:	6078	5386
Energiafelhasználás [J]		

3. ábra Validációs teszteredmények – automatikus indításvezérlés és ciklusvezérlés

6. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS JÖVŐBELI TERVEK

A két bemutatott algoritmus alkalmazása esetén az energiahatékonysági mutató jobb eredményeket mutat. A következő célunk, hogy a pillanatnyi terhelésbecslés mellett a hosszabb megteendő útvonalakon is előzetesen optimalizált sebességprofillal tudjunk számolni. Ha a légellenállás legyőzésére fordítandó teljesítményt egy adott útvonalon előzetesen figyelembe szeretnénk venni, akkor a teljes bejárando útvonalra vonatkozó megfelelő környezeti információkra szükség van. Ezeket az útvonalon telepített szenzorrendszer és az új elképzelés szerint maguk a járművek szolgáltatnák.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járműrendszerek kutatása a zalaegerszegi autonóm teszt pályához kapcsolódóan (EFOP-3.6.2-16-2017-00002)” projekt biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] 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.
- [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] 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.
- [4] István Lakatos, Péter Óri: Diagnostic Measurement for the Effective Performance of Motor Vehicles with free acceleration, 15th IMEKO TC10 Workshop on Technical Diagnostics in Cyber-Physical Era. 206 p., 2017.06.06-2017.06.07. Budapest: International Measurement Confederation (IMEKO), 2017. pp. 1-6., (ISBN:978-92-990075-5-6)