

Elektromos jármű hatótáv becslése

Estimation of the range of electric vehicle

Dr. HARTH Péter¹, NAGY Anna¹

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárműtechnológia Tanszék, 1111 Budapest, Stoczek u. 6
harth.peter@kjk.bme.hu, www.gjt.bme.hu

Abstract

The spread of electric vehicles or the decline in sales are influenced by several factors, this research only examines the technical parameters of electric vehicles and the habits of the driver. Experience shows that in many cases the range given in the catalogue and the real, available range differ significantly from each other. The available range typically decreases while driving, and may stagnate in regenerative mode, which can change even more dynamically depending on the driver's behaviour. This research describes a range estimation model that takes into account driving habits and temperature conditions.

Keywords: WLTP cycle, range, electric vehicle, energy-management

Kivonat

Az elektromos jármű elterjedését vagy éppen az eladások számának csökkenését több tényező befolyásolja, jelen kutatás csupán az elektromos jármű műszaki paramétereit, illetve a járművezető szokásait vizsgálja. A tapasztalatok azt mutatják, hogy sok esetben a katalógus adatként megadott hatótáv és a valós, elérhető hatótáv jelentősen különbözik egymástól. A rendelkezésre álló hatótáv menetközben jellemzően csökkenő, regeneratív üzemben esetleg stagnáló értéket mutat, amely a járművezetői magatartástól még dinamikusabban tud változni. Jelen kutatás egy olyan hatótáv becslő modellt ír le, amely figyelembe veszi a járművezetési szokásokat és időjárási körülményeket.

Kulcsszavak: WLTP ciklus, hatótáv, elektromos jármű, energia-management,

1. BEVEZETÉS

Jelen cikk célja, hogy meghatározza a különböző vezetési körülmények között; városi, elővárosi, országúti és autópályás használat mellett egy elektromos jármű energiafelhasználási mintázatát és azonosítsa a járművekben található energiafogyasztó rendszerek hatótáv csökkentő hatását.

A cikk bevezető része bemutatja a közúti közlekedés energetikai kihívásait, és rávilágít a környezettudatos megoldások fontosságára a közlekedési szektorban. Ezt követően az irodalomkutatás egy rövid áttekintést ad az energiahatékonysági technológiák fejlődéséről, a regeneratív rendszerek szerepéről. A kutatás megemlíti a manapság elfogadott menetciklusokat: említést tesz például a WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) szerepéről, amelyek lehetővé teszik a járművek energiafogyasztásának és hatékonyságának pontos összehasonlítását. A módszertani rész a kutatás keretében végzett szimulációk leírását tartalmazza. Az eredmények fejezet bemutatja a kapott szimulációs eredményeket, ráfokuszálva az egyéb járműben található fogyasztók hatótáv csökkentő hatására. A cikk következtetéseiben hangsúlyozza, hogy az energia-management optimalizálása érdekében elengedhetetlen a járműkategóriák és a vezetési körülmények közötti eltérések alapos ismerete. A kutatás hozzájárul a hatékonyabb energiafelhasználási stratégiák kidolgozásához és értékes információkat nyújt a fenntartható közlekedési rendszerek fejlesztéséhez.

2. IRODALOMKUTATÁS

A járművek általában hagyományos (konvencionális), hibrid és tisztán elektromos típusokra oszthatók, amelyek belső égésű motoros járművek (ICEV), hibrid (HEV) és elektromos járművek (EV) néven ismertek. Az első csoportba a benzin-, illetve dízelmotorral hajtott járművek tartoznak, amik már a 19. század óta jelen

vannak a közlekedésben; ezzel szemben az elektromos járművek csak az elmúlt években értek el jelentős piaci penetrációt [1]. A hibrid járműveket több kategóriába sorolják a jármű meghajtására szolgáló energiaátalakító (belsőégésű vagy elektromos motor), az energiaforrás (akkumulátor, tüzelőanyagcella vagy benzin), illetve az alapján, hogy külső forrásból töltődik-e (töltőállomás vagy otthoni töltő) [2].

2.1. Energia-management rendszerek

Az elektromos járművek energia-managementjének egyik legfontosabb területe az akkumulátorkezelés, ugyanis az akkumulátorok energiasűrűsége alapvetően meghatározza a járművek hatótávját, teljesítményét [3]. Az energia-managementben különböző stratégiai megoldások vannak jelen, amelyek segítik az elektromos járművek hatótávolságának növelését, csökkentik az energiafelhasználást és javítják az akkumulátorok élettartamát [4]. Ezek közé sorolhatók az akkumulátor-management rendszerek, az új energiatárolási megoldások, a rekuperációs fékrendszerek, a töltésoptimalizálás és a V2G rendszerek. Az elektromos jármű hatótáv becslése tekintetében az akkumulátor-managementtel és a rekuperatív fékezéssel foglalkozunk.

2.1.1. Akkumulátor-management rendszerek (BMS)

Az elektromos járművek energiaforrásai már hosszú ideje az akkumulátorok. Bár több különböző fajtájú akkumulátortípus létezik (pl. ólomsav, nikkel-cink, nikkel-kadmium akkumulátorok) [5], mégis a lítium-ion akkumulátor terjedt el leginkább, mivel nagy energiasűrűséggel, nagy teljesítménysűrűséggel, viszonylag hosszú élettartammal (~1000 töltési-kisütési ciklus) és környezetbarát tulajdonságokkal rendelkezik. Az akkumulátor-management rendszer feladata, hogy hatékonyan kezelje az elektromos járművek akkumulátorrendszerét. Ez különösen fontos, mivel ez az akkumulátorrendszer több száz vagy akár több ezer egyedi cellából is állhat. A BMS legfontosabb feladatai közé a következők tartoznak:

A cellák és az akkumulátor védelme: A rendszer megakadályozza az akkumulátorok károsodását, például a túltöltést, a túlmelegedést vagy az ellenpólusok kialakulását.

Biztonságos üzemeltetés biztosítása: A BMS gondoskodik arról, hogy az akkumulátorok a megfelelő feszültség- és hőmérséklet tartományban működjenek, ezzel meghosszabbítva az élettartamukat.

Az akkumulátor állapotának figyelése és optimalizálása: A rendszer figyelemmel kíséri az akkumulátor töltöttségi szintjét (SOC) vagy a kisülési mélységét (DOD), az egészségügyi állapotát (SOH) és a funkciók állapotát (SOF), hogy az a jármű igényeinek megfelelően működjön.

További feladatai közé tartozik a termo-management, az egyes cellák közötti töltöttségi szint kiegyenlítése, a hibák diagnosztizálása és megfelelő jelzések küldése, például hőmérsékletérzékelők és egyéb érzékelők által gyűjtött adatok alapján. Ezen kívül kezeli az akkumulátor töltését is és biztosítja a rendszer elektromágneses kompatibilitását. Összességében egy jól működő BMS kulcsfontosságú szerepet tölt be az akkumulátor biztonságos és hatékony működésében, és nélkülözhetetlen a jármű hatótávjának növeléséhez. [6]

2.1.2. Rekuperációs fékrendszerek

Az elektromos járművek egyik legnagyobb előnye a rekuperációs fékrendszer, vagy más néven a regeneratív fékezés, ami egy olyan fékezési módszer, amely a jármű mozgási energiáját hasznosítja, és a mozgási energiát elektromos energiává alakítja, amit visszatáplálnak az akkumulátorba. Elméletileg a regeneratív fékrendszer képes a jármű mozgási energiájának egy jelentős részét visszanyerni és felhasználni azt az akkumulátor töltésére, hasonló elv alapján, mint egy generátor. Különösen városi vezetésnél hatékony, amikor gyakori a fékezés és a gyorsítás, mivel minden lassításnál visszanyerhető egy bizonyos mennyiségű energia [7].

A regeneratív fékrendszerek integrálása számos előnnyel jár, ugyanis jelentős mértékben javítja az energiahatékonyságot, azzal, hogy maximalizálja az újra felhasználható energia mennyiségét és csökkenti a hő okozta energiavesztéseket, amit a hagyományos fékek generálnak. Ezen kívül, javítja az elektromos autók teljesítményét és fenntarthatóságát, valamint pozitívan befolyásolja a vezetési élményt [8]. Ezen fékrendszerek segítségével az elvesztett energiának akár az 5-8%-a is visszanyerhető [7].

3. MÓDSZERTAN – ENERGETIKAI ELEMZÉS

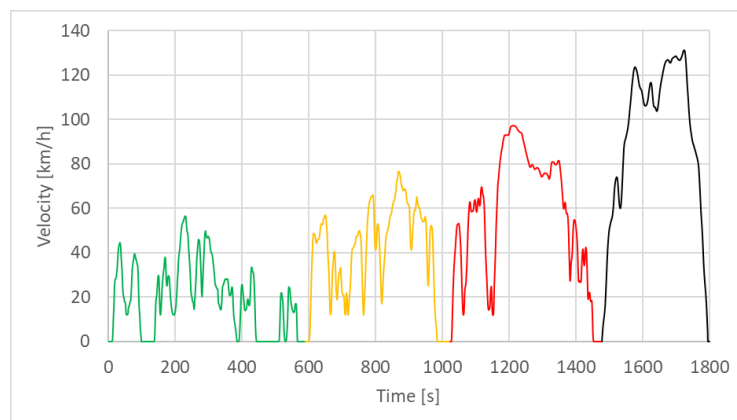
3.1. Szabványos menetciklusok

Általánosan a járművek, így speciálisan az elektromos járművek hatótáv meghatározásához jellemzően egy szabványosított menetciklust használnak. Korábban az NEDC volt elfogadott, de manapság ez már elvesztette korszerűségét és a gyártók áttértek a WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) menetciklus használatára. A WLTP a könnyű járművek világméretű harmonizált vizsgálati eljárását jelenti. Ez egy globális szabvány, ami szintén a járművek tüzelőanyag-hatékonyságának, károsanyag-kibocsátásának és elektromos hatótávolságának mérésére szolgál [9]. 2017-ben került bevezetésre az Európai Unióban, hogy felváltsa elődjét, az NEDC-t, mivel az egyszerűsített vezetési körülményeket modellezett és így túl optimista tüzelőanyag-fogyasztási és károsanyag-kibocsátási eredményeket adott. Ezzel szemben a WLTP célja az volt, hogy valós vezetési körülményeket adjon. A WLTP tesztciklus négy különböző vezetési fázisból áll, amit a 1. és 2. ábra szemléltet.

3.2. Elektromos jármű fedélzeti villamos fogyasztói

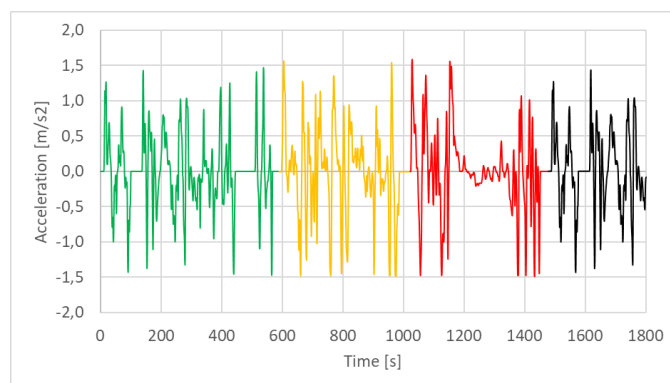
Az energiafogyasztás becsléséhez elengedhetetlen, hogy alaposan megvizsgáljuk, milyen elektromos fogyasztókkal találkozhatunk a járművekben, és ezek hozzávetőlegesen mekkora teljesítményigénnyel rendelkeznek. A járműben található különböző eszközök, mint a világítás, komfort- és klímaberendezés, egyéb fedélzeti rendszerek, mind befolyásolják az akkumulátor teljesítményét, ezért fontos ezeket részletesen vizsgálni és összehasonlítani (1-3. táblázat). Az elektromos fogyasztók elemzése nem csak az energiahatékonyság optimalizálásához elengedhetetlen, hanem hozzájárul ahhoz is, hogy meghatározzuk, mely rendszerek és funkciók fejleszthetők esetleg tovább.

A WLTP ciklus által meghatározott járműsebesség:



1. ábra. A WLTP menetciklus sebesség profilja [10]

A WLTP ciklus által meghatározott járműgyorsulás:



2. ábra. A WLTP menetciklus gyorsulás profilja [10]

Elektromos járművek világítás teljesítményigényének becslése

1. táblázat

Fogyasztó	Hagyományos (izzószálas) technológia	LED technológia
nappali menetfény	30-50 W	5-15W
tompított/távolsági fényszóró	55/60 W	20/30 W
hátsó helyzetjelző	5-10 W	1-5 W
féklámpa	21 W	5-10 W
irányjelző és tolatólámpa	21 W	1-5 W
ködlámpa (elől és hátul)	21/55 W	5/15 W

Elektromos járművek kényelmi- és fedélzeti funkcióinak teljesítményigényének becslése

2. táblázat

Fogyasztó	Teljesítmény
léghkondicionálás	1000-2000 W
fűtés (utastér, ülés, kormánykerék)	2000-4000 W
audio rendszer	100-300 W
infotainment rendszer	100-200 W

Elektromos járművek vezetéstámogató rendszerek teljesítményigényének becslése

3. táblázat

Fogyasztó	Teljesítmény
sávelhagyás-figyelmeztető rendszer	5-15 W
sávtartó asszisztens	10-30 W
holttér-figyelő rendszer	5-15 W
adaptív sebességtartó rendszer	10-20 W
elektromos szervokormány (EPS)	200-250 W

3.3. Hosszirányú járműdinamikai modell

A jármű energiafogyasztásának és hatékonyságának pontos elemzése érdekében ismernünk kell a vizsgált jármű dinamikai tulajdonságait (4. táblázat). A különböző paraméterek, mint például a jármű tömege, a gumibroncs mérete, a hajtás összhatásfoka, mind olyan alapvető jellemzők, amelyek befolyásolják a jármű viselkedését különböző vezetési körülmények között.

A szimulációhoz felhasznált elektromos jármű fontosabb paraméterei

4. táblázat

Paraméter	Adat
Tömeg	1700 kg
Gördülési ellenállás	0,015
Abronsz méret	235/40 R19
Homlokfelület	2,2 m ²
Légellenállás tényező	0,27
Hajtómű össz-módosítás	8:1
Hajtás hatásfoka	95 %

A jármű vonóerő meghatározásához használt összefüggés:

$$\lambda m a_{veh} = \frac{(M_e k_{gb} \eta_t) k_d}{R_w} - \frac{1}{2} \rho C_D v_{veh}^2 - mg(\sin \alpha + f \cos \alpha)$$

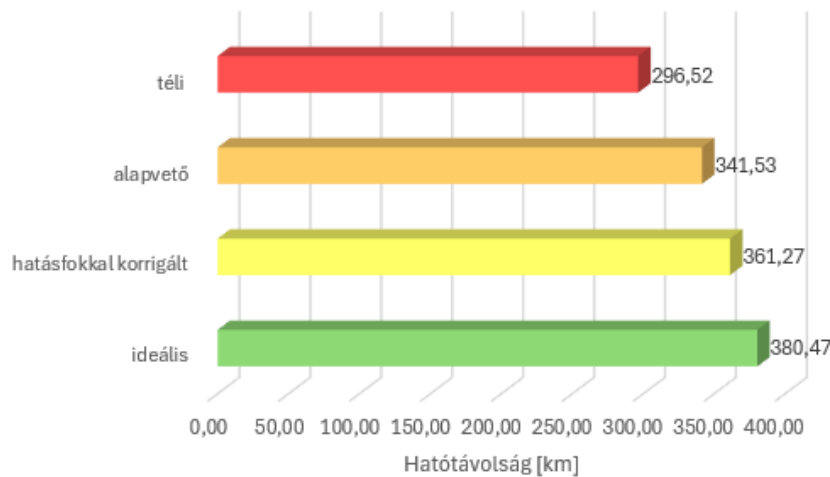
Ahol: m : jármű tömege, a_{veh} : a jármű gyorsulása, M_e : A villanymotor nyomatéka, k_{gb} : sebességfokozat módosítása, η_t : hajtáslánc hatásfok, k_d : differenciálmű áttétele, α : emelkedő hajlásszöge, R_w : abroncs gördülési sugara.

A teljes WLTP ciklus (23262 m) energiaigényének meghatározása után, a kapott eredmények 100 km-es távolságra lettek súlyozva. Ezek összesített oszlopdiagramos eredményi láthatóak a 3. és a 4. ábrán.



3. ábra. Elektromos személygépjármű fogyasztásának alakulása

Az ábrázolt fogyasztásnövekedések természetesen jelentős hatást gyakorolnak a jármű hatótávolságára is, mivel a magasabb energiafogyasztás csökkenti az akkumulátor kapacitásából elérhető hatótávot. A 3. ábrán látható, hogy téli üzem esetén a villamos energia felhasználás közel 2 kWh-val növekszik, amely 15 %-os növekedést jelent 100 km-es távolságra vetítve.



4. ábra. Elektromos személygépjármű hatótávolságának alakulása

Összevetve a normál időjárási körülményeket a téli fogyasztási eredményekkel látható, hogy a jármű elektromos fogyasztói jelentősen csökkentik a rendelkezésre álló hatótávot, ez jelen esetben 14 % (341,53 km-ről 296,52 km-re) csupán egyéb villamos fogyasztók használata esetén. A kutatás kimutatta, hogy az előzetesen várt hatótáv csökkenés bizonyos időjárási körülmények között jelentősen tudja csökkenteni az elektromos jármű hatótávját, amit útvonaltervezésnél figyelembe kell venni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium doktori ösztöndíjprogramjának és kooperatív doktori programjának szakmai támogatásával készült a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alap forrásaiból. A kutatás az Európai Unió támogatásával az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratóriuma (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében valósult meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Ibham Veza, Muhammad Zack Asy'ari, M. Idris, Vorathin Epin, I.M. Rizwanul Fattah, Martin Spraggon, *Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emission by 2050 from EV*, Alexandria Engineering Journal, vol 82, 2023, 459-467
- [2] Morsy Nour, José Pablo Chaves-Ávila, Gaber Magdy, Alvaro Sánchez-Miralles, *Review of Positive and negative Impacts of Electric Vehicles Charging on Electric Power Systems*, Energies, vol 13, is. 18, 2020, 4675
- [3] Andrew F. Burke, *Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles*, Proceedings of the IEEE, vol 95, is. 4, 2007, 806-820
- [4] Justin D.K. Bishop, Colin J. Axon, David Bonilla, Martino Tran, David Banister, Malcolm D. McCulloch, *Evaluating the impact of V2G services on the degradation of batteries in PHEV and EV*, Applied Energy, vol 111, 2013, 206-218
- [5] Fuad Un-Noor, Sanjeevikumar Padmanaban, Lucian Mihet-Popa, Mohammad Nurunnabi Mollah, Eklas Hossain, *A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development*, Energies, vol 10, is. 8, 2017, 1217
- [6] Languang Lu, Xuebing Han, Jianqiu Li, Jianfeng Hua, Minggao Ouyang, *A review on the key issues of lithium-ion battery management in electric vehicles*, Journal of Power Sources, vol 226, 2013, 272-288
- [7] Yogesh Abhale, Prateek Nigam, *Review on Regenerative Braking Methodology in Electric Vehicle*, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol 4, is. 7, 2015, 6380-6385
- [8] Bytech, *Így működnek az energiavisszanyerő fékrendszerek*, 2024, <https://bytech.hu/igy-mukodnek-az-energiavisszanyero-fekrendszerek/>
- [9] HCR Motors Group, *WLTP, NEDC, and CLTC Explained*, 2024, <https://www.hcrmotorsgroup.com/curacao/blog/faq/electric-car/wltp-nedc-and-cltc-explained/>
- [10] DieselNet, *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP)*, 2024, <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>