

Elektromos és belsőégésű motoros autók használatának összehasonlítása

Comparison of the usage of electric and internal combustion engine cars

TOLLNER Dávid^{1,2}, Prof. Dr. ZÖLDY Máté²

¹ Robert Bosch Kft., 1103 Budapest, Gyömrői út 104; tollner.david@kjk.bme.hu

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárműtechnológia Tanszék, 1111 Budapest, Stoczek József u. 6; zoldy.mate@kjk.bme.hu

Abstract

Electric vehicles can offer a real alternative for mobility in the 21st century, and this research investigated how usage habits differ from conventional powertrain vehicles. 20,000 kilometres and nearly 600 hours of driving data were gathered with electric and internal combustion engine vehicle variants with a diverse range of users. The results show that the electric version is used more for short distances in the city, but with higher acceleration in all speed ranges.

Keywords: electric cars, driving behaviour, data gathering, diagnostics, CAN

Kivonat

Az elektromos járművek valódi alternatívát kínálhatnak a 21. századi mobilitás számára, a kutatás során azt vizsgáltuk, hogy a felhasználási szokások mennyiben térnek el a hagyományos hajtásláncú járművektől. Egy jármű modell elektromos és belsőégésű motoros változatával gyűjtöttünk 20 000 kilométernyi és közel 600 órányi vezetési adatot változatos felhasználókkal. Az eredmények azt mutatják, hogy az elektromos változatot inkább városban, rövid távokra használják, azonban minden sebességtartományban nagyobb gyorsulásokkal.

Kulcsszavak: elektromos autók, vezetési szokások, adatgyűjtés, diagnosztika, CAN

1. BEVEZETÉS

Az elektromos járművek (EV-k) a motorizáció kezdete óta valós alternatívát jelentenek a belsőégésű motoros járművekre (ICE-k). A korai változatok azonban nem újratölthető primer akkumulátor cellákkal működtek. Az elmúlt 100 év során az EV-k fejlődését beárnyékolta a belsőégésű motorok fejlődése [1]. A dízelbotrány, az akkumulátor-technológia innovációi és az egyre szigorodó emissziós normák segítették az új e-mobilitás korszak kezdetét. Az elektromos hajtáslánc három fő komponensből áll: az akkumulátor, az elektromos motor (EM) és a teljesítményelektronika (PE). Mivel az e-mobilitás viszonylag új kutatási terület, sok nyitott pont és kutatási irányvonal van.

Az iparban minden termék tervezésekor előre meghatároznak egy élettartamot, amit a terméknek teljesítenie kell. A járművek esetén a változó felhasználás miatt ez általában megtett távolságban, időben és üzemóraban van megadva. Például autók esetén az élettartam lehet 200 000 km vagy 8 év vagy 10 000 üzemóra, attól függően melyik következik be előbb. Az élettartam teljesítését szimulációval, illetve számításokkal végzik, azaz megvizsgálják, hogy az adott komponens mennyit károsodik, és ha nem lép át egy előre megadott határértéket, akkor megfelelő. A károsodás mértéke nagyban függ a felhasználtól és a felhasználástól. Egy ICE esetén jóval magasabb károsodás érhető el, ha a felhasználó télen hidegindítás esetén agresszív gyorsításokat végez. További fontos kérdés, hogy a járművet hol fogják vezetni, hiszen például a fogaskerekeknek a nagy nyomatékot igénylő helyzetek okoznak nagyobb károsodást (sok elindulás), míg a csapágyaknak a magas forgási sebesség (magas fordulatszám). Azonban az egyes komponenseket nem lehet önmagukban vizsgálni, hiszen rendszer szinten előfordulhat, hogy minden alkatrészt túlméretezünk, mely a gyártónak felesleges költség, vagy a kereszthatások miatt előfordulhatnak olyan helyzetek, ahol nem a maximális nyomaték és fordulatszám okozza a legnagyobb károsodást. A

modern, első generációs elektromos autók most érik el a magyarországi járművek átlagéletkorát, ami körülbelül 15 év, tehát nincsen olyan hosszútávú tapasztalat, mint az ICE-k esetén. Emiatt sok a fejlesztésben ICE-kkel mért adatokat használnak a módszerek során.

A modern járművek a közlekedésbiztonság és az emissziós normák miatt rengeteg érzékelőt tartalmaznak az optimális működés érdekében. A szenzorok mért értékeit a jármű a kommunikációs hálózatok segítségével juttatja el a vezérlőegységekhez (ECU), melyekből akár 100-at is tartalmazhat egy modern jármű [2]. Az ECU-k szintén a kommunikációs hálózat részei, melyek közül a legfontosabb a Controller Area Network (CAN) [3].

A modern kommunikációs hálózatok és rendszerek modern fedélzeti diagnosztikát is igényelnek. Ezek közül az első kötelezően bevezetett az On-Board Diagnostics (OBD-II) volt [4]. Ez a szabályozás definiálta a járműben az azóta is használatban lévő diagnosztikai csatlakozót, mely a jármű és a diagnosztikai egység között teremt kapcsolatot [5]. Az OBD kötelező minden Európában újonnan eladott benzines autó esetén 2001 óta és minden dízel autó esetén 2004 óta. A szabvány lehetőséget teremt a élő járműadatok olvasására küldő tesztelőegységgel és meghatározza az adatkérés módját [6]. A szabványt minden belsőégésű motoros autónak teljesítenie kell, azonban a paraméterek csak az emisszióreleváns rendszerekre korlátozódnak. Ezért alkották meg az OBD alapján a KeyWord Protocol (KWP) 2000-t, mely használata nem kötelező, és a gyártók bármilyen egyéb paraméter vizsgálatával kiegészíthetik [7]. A probléma ezzel az, hogy az OBD-vel szemben mivel a gyártók szabadságot kaptak a kialakításban, ezért a paraméterek elérése is különbözik minden autó esetén. Az új kommunikációs hálózatok érkezésével a diagnosztikát ismét fejleszteni kellett, így jött létre az Unified Diagnostic Services (UDS), melyet az AUTOSAR is támogat [8]. Az UDS diagnosztika a KWP 2000 továbbfejlesztése, mely független a kommunikációs hálózattól és új funkciókat is tartalmaz, mint a periodikus adatátvitel, fájltoábbítás kérése vagy az esemény esetén történő adattovábbítás.

A kutatásunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk az elektromos és belsőégésű motorral szerelt járművek vezetési szokásainak a különbségét. A vezetési szokások ismerete elengedhetetlen ahhoz, hogy a hajtásláncot méretezni lehessen, amely hatással van az élettartamára, azonban nagy mennyiségű adat egyelőre a hagyományos hajtáslánccal szerelt járművek esetén áll rendelkezésre. Ahogy a fentiekben látható a modern járművek tartalmazzák ezen adatok méréséhez szükséges szenzorokat és a kommunikációs hálózatuk is elég fejlett, hogy ezeket a megfelelő hardver és szoftver használatával rögzítsük.

2. ADATGYŰJTÉS

Az adatgyűjtés megtervezésénél a célunk az volt, hogy minél több vezetővel, minél több adatot gyűjtsünk. A több vezető segít az átlagos vezető jobb közelítésében, hiszen ellenkező esetben egy agresszívabb vezető torzíthatná az eredményeket. A minél több vezetés pedig azért volt fontos, hogy a vezetőtől független esetleges forgalmi és környezeti viszonyok hatását csökkentsük.

2.1. Járművek

A járművek kiválasztásánál fontos volt, hogy hasonló járműdinamikai tulajdonságokkal rendelkező járműveket válasszunk ki, ezért esett a választásunk a Peugeot 208 és 208e-re. Ahogy az 1. táblázatból látszódik a két jármű teljesítménye közel azonos, azonban az elektromos változat a közel 500 kilogrammal nehezebb. Habár dinamikai szempontból jóval előnyösebb a belsőégésű motoros változat súly-teljesítmény aránya, elektromos hajtáslánc esetén nincs szükség váltóra, illetve a villanymotor közel 0 sebességtől képes leadni a táblázatban szereplő maximális nyomatékát. Ezeket figyelembe véve a két jármű közötti dinamikai különbségek elhanyagolhatóak.

1. táblázat – A tesztjárművek adatai

	Peugeot 208	Peugeot 208e
Teljesítmény	74 kW	80 kW
Nyomaték	205 Nm	220 Nm
Súly	1065 kg	1560 kg
Súly-teljesítmény arány	10.6 kg / LE	14.3 kg / LE

2.2. Adatok

Az adatokat tekintve a szükségesnél több adat lett kiválasztva annak érdekében, hogy a felépített adatbázis később egyéb kiértékelésekhez is használható legyen. Ezeket az adatokat tartalmazza a 2. táblázat. Látható, hogy az elektromos változat esetében további kiértékelés szempontjából több releváns adatot találtunk. Fontos kiemelni, hogy a belsőégésű modell esetén a hőtan és az energiamenedzsment nem releváns, azonban a töltetcsereivel és az emisszióval kapcsolatban még rengeteg adatot ki lehetett volna nyerni.

A 2. táblázaton felül minden mérési adathoz rögzítve lett az időbélyeg, így az eltelt időből és az aktuális sebességből még a hosszirányú gyorsulást és a megtett távolságot ki lehetett számolni.

2. táblázat – A rögzített vezetési paraméterek

	Peugeot 208	Peugeot 208e
Dinamika	Sebesség, Motor fordulatszám Nyomaték, Gázpedál állása Fékrendszer nyomása, Oldalirányú gyorsulás, Kormányszög	Sebesség, Motor fordulatszám Nyomaték, Gázpedál állása Fékrendszer nyomása, Oldalirányú gyorsulás
Hőmérsékletek	Hűtőfolyadék	PE, PE hűtőfolyadék EM állórész, EM forgórész EM hűtőfolyadék, Környezet
Egyéb	Jobb és bal első keréksebesség	Jobb és bal első keréksebesség Odométer
Energiamenedzsment	-	Akkumulátor feszültség és áramerősség Töltöttség

2.3. Adatgyűjtők

A piacon rengeteg adatgyűjtő található az olcsó Arduinio-alapú eszközöktől kezdve az ipari tanúsítványokkal rendelkező profi eszközökig. Ezek az eszközök hardveres jelfeldolgozás szempontjából nem különböznek, hiszen a CAN egy egyszerű soros adattovábbítást használ, valamint az üzenetsomagok dekódolásához szükséges minden információ megtalálható a szabvány leírásában. Azonban szoftveres oldalról rengeteg különbség van, hiszen egy profi eszköz saját programozási felülettel rendelkezik beépített védelmi funkciókkal, hogy ne tudjunk kárt tenni a járműben.

A hosszútávú mérés miatt a tanúsítványokkal rendelkező eszközök lettek választva, hiszen nyáron egy napon hagyott autóban akár 60 °C is lehet. Az adatgyűjtő eszközöket tekintve 2 fontos kitétel volt: tudjon kommunikálni CAN-en és képes legyen offline mérésre, azaz rendelkezzen memóriakártya foglalattal. A számunkra optimális eszköz a CSS CANedge 1 volt.

Az elektromos autók lokális károsanyag-kibocsátása nulla, továbbá az összehasonlításnál fontos volt például az oldalgyorsulások értéke, mely nem tartozik az emisszióreleváns adatok közé. Ezen okok miatt az OBD-II diagnosztika helyett az UDS-t kellett használni mindkét jármű esetén. Emiatt mindkét hajtáslánc típus esetén a szoftvert nekünk kellett megírni.

2.4. Mérés

A sok és változatos adat előállításához a járműveket közösségi használatba helyeztük. Mindkét hajtáslánc típusú járműből 5-5 darabot használtunk fel, melyet az adatgyűjtő eszközök száma limitált. Az adatgyűjtő eszközök kompakt méretének köszönhetően rejtve lettek elhelyezve a járműben. Az adatok rögzítése 2024 júliusától 2024 októberig tartott.

3. ADAT-ELŐKÉSZÍTÉS

Az adatgyűjtő rendszer úgy lett kialakítva, hogy amint a járműre gyűjtést adnak és felébrednek a vezérlőegységek az adatgyűjtés megkezdődik és egészen a gyújtás levételéig tart. Ennek előnye, hogy az eszköz inicializálása megtörténik még az elindulás előtt, és a megállásig folyamatosan rögzíti az adatokat.

3.1. Adattisztítás

Az adattisztítás legalább olyan fontos része a módszertannak, mint maga a kiértékelő módszer, hiszen a hibás adatok téves eredményekhez és következtetésekhez vezethetnek.

Az adatok vizsgálatakor több olyan ciklus is látható volt, amelyben akár 30 percig gyújtáson volt az autó, de nem haladtak vele. A kialakított módszertanból ekkor is történt adatrögzítés. Ez, illetve az esetleges forgalmi torlódások eliminálása miatt a 2 percnél hosszabb várakozási idő le lett csökkentve 2 percre. Illetve az olyan ciklusok, ahol a megtett távolság nem haladta meg az egy kilométert törölve lettek.

Egy másik speciális eset volt az elektromos autók töltése. Ebben az esetben ugyan a gyújtás le lett véve a járműről, azonban a töltés vezérlése miatt a Battery Management System (BMS) ébren maradt, így az adatlekérés és rögzítés is aktív volt. A töltés során a megtett távolság nulla méter, azonban a ciklus idő tipikusan 5-6 óra volt, melyek jelentősen torzítják az átlagokat.

Az adattisztítás utáni eredmények a 3. táblázatban láthatóak szeparálva a belsőégésű és elektromos hajtáslánc szerint. Látható, hogy az előbbi esetben a vezetések száma, teljes megtett távolság és a teljes időtartam is magasabb volt.

3. táblázat – Az adattisztítás utáni eredmények

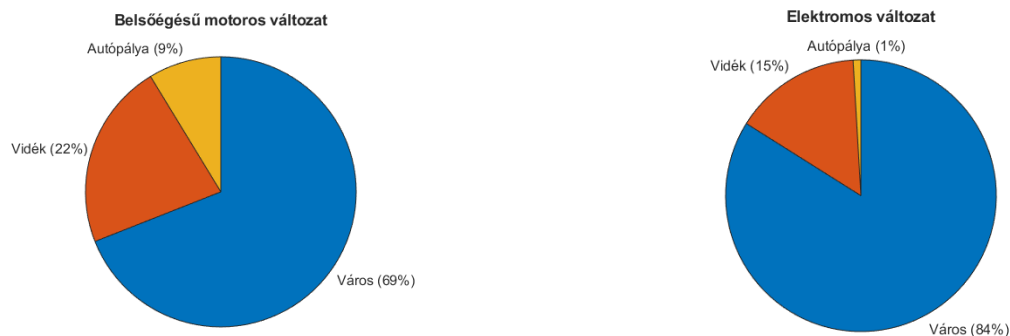
	Peugeot 208	Peugeot 208e
Járművek száma	5	5
Vezetések száma	1028	784
Teljes megtett távolság	13 731 km	6 540 km
Teljes időtartam	349 óra	229 óra
Átlagos ciklus idő	20.4 perc	17.5 perc
Átlagos megtett távolság	13.4 km	8.3 km
Átlag sebesség	39.3 km/h	28.5 km/h

3.2. Adatok osztályozása

A 3. táblázatban látható átlagos értékek közötti jelentős különbségekből arra lehet következtetni, hogy a felhasználási területek aránya különbözött a belsőégésű motoros és az elektromos változat között. A felhasználási területek, azaz az út típusok esetén a leggyakoribb csoportosítás a város, vidék és autópálya. A következő sebesség-intervallumok jellemzőek az egyes területekre: város: 50-70 km/h, vidék 70-110 km/h, autópálya 130 km/h. Azonban előfordulhatnak speciális járműhelyzetek, például városban egy intenzívebb gyorsítás, vidéken előzés vagy autópályán forgalmi torlódás. Tovább nehezíti az adatok kategorizálását, hogy egy teljes vezetés több út típust is tartalmazhat.

A vezetések osztályozás automatikusan történt mesterséges intelligencia használatával. A felügyelt tanuláshoz létrehozott címkézett adatokhalmazhoz valós vezetések során az aktuális út típus rögzítve lett a jármű sebességprofilja mellé. Ezen az adathalmazon lett betanítva egy neurális háló, mely 96.21%-os pontosságot ért el független tesztalmazon [9]. Az út típusok meghatározása ezzel a validált modellel történt.

A belsőégésű motoros és elektromos változat út típus arányait az 1. ábra mutatja. A hagyományos hajtáslánccal a vezetési időtartam 69%-a történt városban, míg az elektromos esetén ez 84%, ahogy a 3. táblázat alacsony átlagos megtett távolságán és átlag sebességén is látszódik. Autópályán a belsőégésű változatot 9%-ban vezették, mely viszonylag magas értéknek számít közösségi használat esetén.

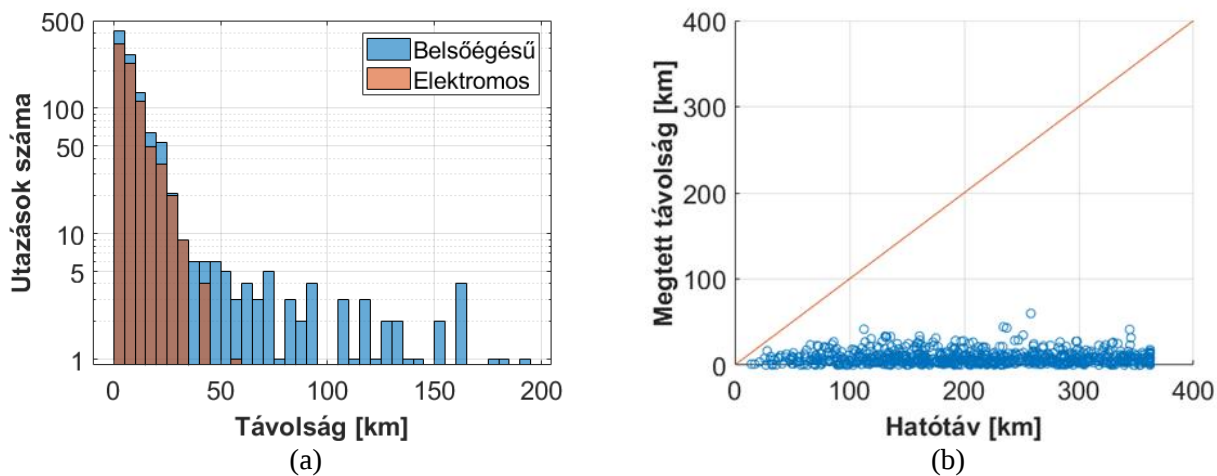


1. ábra. A belsőégésű motoros és az elektromos változat út típusainak az aránya.

4. EREDMÉNYEK

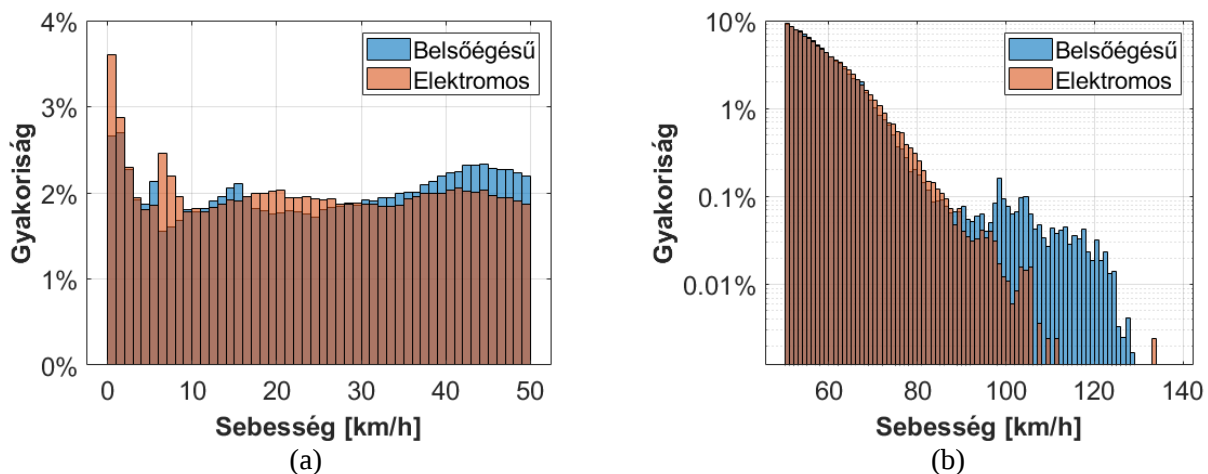
A 3. táblázatban látható jelentős használati idő különbségek miatt a kiértékelésekhez az adatokat normálni kell. Az 1. ábrán látható továbbá, hogy a felhasználási területek között is jelentős különbségek vannak, ami a teljes adathalmaz értékeit torzítaná, hiszen a belsőégésű modellt jóval többet használták a nagyobb sebességű vidéken és autópályán. Ezen okok miatt a következő kiértékeléshez mindkét adathalmazból csak a városi vezetések lettek felhasználva.

A 2(a) ábrán szerepel a belsőégésű motoros és az elektromos változattal egyszerre megtett távolságok eloszlása. Látható, hogy az elektromos változatot csak egyszer használták 50 km-nél hosszabb távolságra, míg a belsőégésű motoros változatot 53-szor, ami a vezetések 5%-a, azaz igény van hosszú távolságok megtételére. Az elektromos változat hatótávolsága 362 km a WLTP ciklus szerint mérve. Ebből az értékből és a kezdeti töltöttségi értékből közelíteni lehet a megtehető távolságot. A 2(b) ábra mutatja a megtehető és megtett távolság közti összefüggést. Az identitás függvény jelentené, hogy az akkumulátor kapacitása teljes mértékben ki van használva. Az látható, hogy az egyenestől messze vannak az értékek, tehát elsődlegesen nem az akkumulátor kapacitással van probléma.



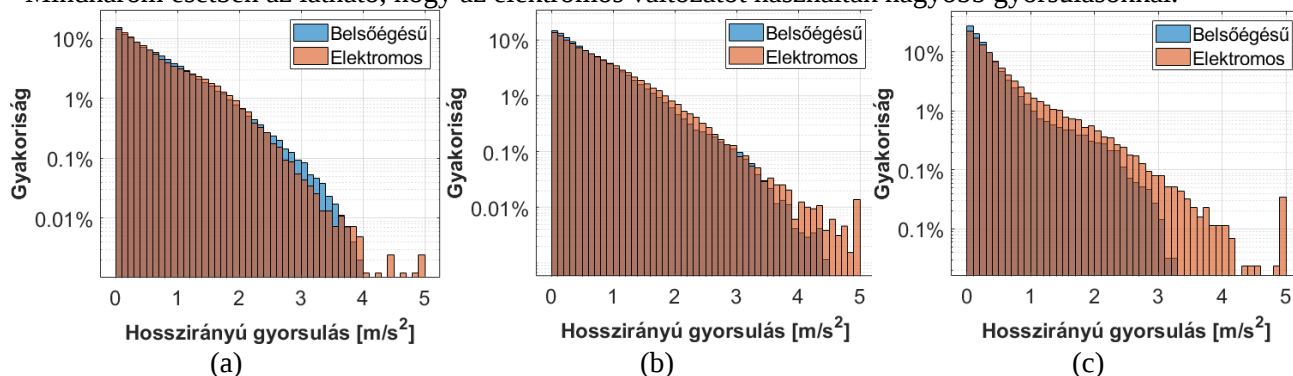
2. ábra. A különböző változatokkal megtett távolságok eloszlása (a), és az elektromos változat megtett és megtehető távolság közötti összefüggése (b).

A 3(a) ábrán látható az 50 km/h alatti tipikus városi vezetés sebesség adatainak az eloszlása. Az eloszlásokat tekintve az elektromos változatot többet használták az alacsonyabb 0-27 km/h-s intervallumban, emiatt a belsőégésű modell gyakorisága nagyobb a magasabb 30-50 km/h-s intervallumon. A 3(b) szemlélteti a városi magasabb sebességtartományokat logaritmikus skálával. Itt előfordulnak városban nem megszokott sebességadatok is, melyek vagy városon belül történtek gyorsforgalmi utakon vagy egy-egy agresszívabb gyorsításhoz tartoznak. Hasonlóan a 3(a) ábrához itt is az a tartomány elsőfelében használták többet az elektromos változatot, azonban kiemelendő a 130 km/h fölötti adat.



3. ábra. Az 50 km/h alatti (a) és 50 km/h feletti (b) sebességek eloszlása a különböző változatokkal.

A sebesség értékén felül az egyes vezetési stílusokat jól jellemzi a hosszirányú gyorsulás. A 4. ábrán látható a különböző sebesség tartományokhoz tartozó pozitív gyorsulások eloszlása logaritmikus skálán. Mindhárom esetben az látható, hogy az elektromos változatot használták nagyobb gyorsulásokkal.



4. ábra. A 20 km/h alatti (a), a 20 és 50 km/h közötti (b) és az 50 km/h feletti sebességekhez tartozó hosszirányú gyorsulások eloszlása a különböző hajtáslánc változatokkal.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elektromos autók hajtáslánc fejlesztésénél figyelembe kell venni a felhasználási szokásokat, várható munkapontok eloszlását annak érdekében, hogy a hajtáslánc kibírtja a tervezett élettartamát. Kérdés azonban, hogy az eddigi hagyományos hajtáslánccal szerelt járművek adatai felhasználhatóak-e az elektromos változat fejlesztéséhez. A kutatásban elektromos és belsőégésű motoros autókval rögzített adatbázis kiértékelése után az látható, hogy a járművek felhasználásai szokásai jelentősen különböznek. Az elektromos változatot rövid városi szakaszokon használják inkább, de a belsőégésű motoros változatnál látszódnak, hogy igény lenne hosszabb használatra is. A járművek kezdeti töltöttségéből számolt megtehető távolság jóval magasabb volt minden esetben, mint a megtett távolság, tehát a hatótáv nem volt probléma.

A felhasználási területek osztályozása után a városi körülmények közötti kiértékelés azt mutatta, hogy a belsőégésű motoros változatot magasabb sebességeken használták többet. Ez azonban nem csak a felhasználótól, hanem a forgalomtól és az útvonaltól is függ. Jelentős különbség mutatkozik a gyorsulásokat tekintve. Szignifikánsan magasabb gyorsulás értékeket voltak az elektromos változattal. A felhasználók nem ismertek, így lehetnek olyanok, akik először vagy hobbi célra használtak elektromos autót és a gyorsulását tesztelték.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A 2020-2.1.1-ED-2020-00062 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással valósult meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Belousov E.V., Grigor'Ev M.A., Gryzlov A.A. *An electric traction drive for electric vehicles*. Russ. Electr. Engin. Springer, 2017, 88(4), 185-188.
- [2] Petri R., Springer M., Zelle D., McDonald I., Fuchs A., Krauß C. *Evaluation of lightweight TPMs or automotive softwareupdates over the air*. World's Leading Automotive Cyber Security Conference, Detroit, MI, USA, 2016.
- [3] Bosch, *CAN Specification*, Version 2.0, Robert Bosch GmbH, 1991.
- [4] Society of Automotive Engineers International, *Class B Data Communications Network Interface*. SAE Standard J1850, Stabilized 2022.
- [5] International Organization for Standardization. *Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 1: General information*. ISO Standard 15031, 2001.
- [6] Society of Automotive Engineers International, *E/E Diagnostic Test Modes*. SAE Standard J1979, Revised 2017.
- [7] International Organization for Standardization. *Road vehicles — Diagnostic systems — Keyword Protocol 2000 — Part 2: Data link layer*. ISO Standard 14230-2, 1999.
- [8] International Organization for Standardization. *Road vehicles — Diagnostics on Controller Area Networks (CAN) — Part 3: Implementation of unified diagnostic services (UDS on CAN)*. ISO Standard 15765-3, 2004.
- [9] Tollner D., Zöldy M. *Road Type Classification of Driving Data Using Neural Networks*. Computers, 2025, 14(2), 70.