

MOBILITÁS ÉS KÖRNYEZET – JÖVŐFORMÁLÓ JÁRMŰIPARI KUTATÁSOK

Konferenciakiadvány
2023. ősz



Mobilitás és környezet
JÖVŐFORMÁLÓ JÁRMŰIPARI KUTATÁSOK
Konferenciakiadvány
2023. ősz

Lektorok:

Dr. Budai Tamás, Dr. Busznyák Tibor,
Dr. Dineva Adrienn, Dr. Eisingerné dr. Balassa Boglárka,
Dr. Enisz Krisztián, Dr. Kocsis Szürke Szabolcs,
Dr. Szalay István

Szerkesztette:

Dr. Szauter Ferenc
Pup Dániel
Csikor Dániel
Földesi Rita
Nagy Bianka Marianna

Széchenyi István Egyetem
2023

ISBN 978-615-6443-34-2



Tartalomjegyzék

RRF-2.3.1-21-2022-00002 – AUTONÓM RENDSZEREK NEMZETI LABORATÓRIUM

A JÁRMŰIPARI KOMMUNIKÁCIÓS HÁLÓZATOK FEJLŐDÉSE ÉS INNOVATÍV CAN ALAPÚ HIBRID JÁRMŰ DIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁS BEMUTATÁSA.....	8
<i>PESZLEG RICHÁRD^A, BARÁTH BALÁZS^B, PEKK LETÍCIA^C, DR. HÁRY ANDRÁS^D</i>	
AZ IPAR, INNOVÁCIÓ ÉS INFRASTRUKTÚRA FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉSI CÉLKITŰZÉSEK TELJESÍTÉSÉNEK TÁRSADALMI HÁTTERE	28
<i>GYURIÁN NAGY NIKOLETT</i>	
ASZINKRON GÉP KONCENTRÁLT PARAMÉTERŰ ÉS VÉGESELEM-MODELLJÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA NYÍLT LÁNCÚ IRÁNYÍTÁSI STRUKTÚRÁBAN.....	38
<i>ISTENES GYÖRGY^A, HORVÁTH KRISZTIÁN^B</i>	
ELEKTROMOS ÉS HIBRID JÁRMŰVEK AKKUMULÁTORAINAK A VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEI	47
<i>KOCSIS SZÜRKE SZABOLCS^A, SÜTHEŐ GERGŐ^B, LŐRINCZ ILLÉS^A</i>	
SLAM MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA ALKALMAZHATÓSÁG SZEMPONTJÁBÓL	57
<i>KRECHT RUDOLF^A, BALLAGI ÁRON^B</i>	
AZ ÁLLANDÓ MÁGNESES SZINKRONGÉPEK SZÖGHELYZETFÜGGŐ NEMLINEARITÁSAINAK MODELLEZÉSE	67
<i>SZALAY ISTVÁN</i>	
AUTOWARE UNIVERSE LIDAROS ÉRZÉKELÉSI ALGORITMUSOK BEMUTATÁSA	81
<i>UNGER MIKLÓS</i>	
TÖBBDIMENZIÓS BUSZVEZETŐ VISELKEDÉS VIZSGÁLAT - PILOT.....	88
<i>NAGY VIKTOR^A, KOVÁCS GÁBOR^B</i>	

RRF-2.3.1-21-2022-00002 – AUTONÓM RENDSZEREK NEMZETI LABORATÓRIUM

RRF-2.3.1-21-2022-00002

Konzorciumvezető: Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (SZTAKI)

Konzorciumi partnerek:

- Széchenyi István Egyetem (SZE)
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)

A projekt teljes összege: 6 227 207 003 Ft

Támogatási összeg (SZE): 1 496 077 177 Ft

Támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2022.04.01. – 2025.12.31.

Projektismertető:

Az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium tevékenysége alapvetően közúti járművek, légi járművek és drónok, valamint robotok és kiber-fizikai gyártórendszerek különböző szintű autonóm funkcionalitásának és irányításának alap- és alkalmazott kutatásával foglalkozik.

Fő tématerületek a modellezés, modellredukció és modell identifikáció, az adaptív, robusztus, valamint az elosztott és hálózatba kapcsolt rendszerek irányítása. A projekt kiemelt feladata továbbá a kooperatív rendszerek kutatása, amely a földi és a légi járművek biztonságos együttműködését, valamint az emberközpontú gyártásautomatizálást, különösen az ember-robot együttműködést megvalósító alkalmazásaiban testesül meg.

Weboldal: <https://autonom.nemzetilabor.hu/hu>

A projekt megvalósítását Magyarország Kormánya az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének finanszírozásával támogatja az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium program (RRF-2.3.1-21-2022-00002) keretében.

A járműipari kommunikációs hálózatok fejlődése és innovatív CAN alapú hibrid jármű diagnosztikai eljárás bemutatása

Evolution of automotive communication networks and presentation of an innovative CAN-based hybrid vehicle diagnostic procedure

Peszleg Richárd^a, Baráth Balázs^b, Pekk Letícia^c, Dr. Háy András^d

^a8900 Zalaegerszeg, Dr. Michelberger Pál út 3. - Széchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont

peszleg.richard@ga.sze.hu

^b8900 Zalaegerszeg, Dr. Michelberger Pál út 3. - Széchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont

barath.balazs@ga.sze.hu

^c8900 Zalaegerszeg, Dr. Michelberger Pál út 3. - Széchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont

leticia.pekk@tc.org.hu

^d8900 Zalaegerszeg, Dr. Michelberger Pál út 3. - Széchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont

andras.hary@apnb.hu

Absztrakt

A mai járművekben az egyre több vezetéstámogató rendszer integrálása következtében elengedhetetlen, hogy a járműgyártók valamiféle kommunikációs protokollt kövessenek. Cikkünkben egy átfogó kutatást mutatunk be a járművekben alkalmazott kommunikációs hálózatokról, kiemelve a Controller Area Network (CAN) technológia jelenlegi állását és legújabb fejlesztéseit. A tanulmány részletezi a CAN protokoll alapjait, és rámutat azokra a kihívásokra, amelyekkel az autóipar szembesül napjainkban, beleértve az adatátviteli sebességet, a megbízhatóságot és az időzítést. Ezenkívül bemutatásra kerülnek a CAN továbbfejlesztett változatai, mint például a CAN FD (Flexible Data-rate), a TTCAN (Time-Triggered Controller Area Network), valamint a CAN XL (Controller Area Network Extra Long) technológiák, amelyek célja a nagyobb adatmennyiség hatékony kezelése és az időzített kommunikáció lehetőségeinek kibővítése. Végezetül, a tanulmányban bemutatásra kerül egy általunk készített CAN alapú hibrid diagnosztikai eljárás. A bemutatott technológiák, valamint a járműipar jelenlegi állása szerint arra következtethetünk, hogy a CAN nem fog eltűnni a járművekből, csupán a továbbfejlesztett változatait fogják a járművekbe integrálni.

Kulcsszavak: Járműipari kommunikációs hálózatok, Controller Area Network, adatfeldolgozás, hibrid jármű diagnosztika, ADAS

Abstract

Due to the integration of more and more driver support systems in today's vehicles, it is essential that vehicle manufacturers follow some kind of communication protocol. In our article, we present a comprehensive research on the communication networks used in vehicles, highlighting the current state of the Controller Area Network (CAN) technology and the latest developments. The paper details the fundamentals of the CAN protocol and highlights the challenges facing the automotive industry today, including data transfer rates, reliability and timing. In addition, improved versions of CAN, such as CAN FD (Flexible Data-rate), TTCAN (Time-Triggered Controller Area Network), and CAN XL (Controller Area Network Extra Long) technologies are presented, which aim to efficiently transfer larger amounts of data management and expanding the possibilities of timed communication. Finally, a CAN-based hybrid diagnostic procedure created by us is presented in the study. According to the presented technologies and the current state of the vehicle industry, we can conclude that CAN will not disappear from vehicles, only its improved versions will be integrated into vehicles.

Keywords: *Automotive communication networks, Controller Area Network, data processing, hybrid vehicle diagnostics, ADAS*

1. Bevezetés

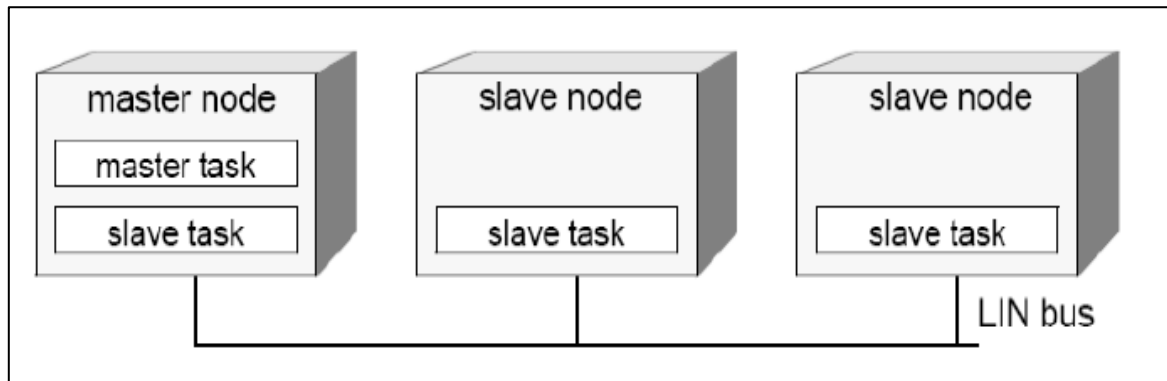
Napjaink járműveiben a megnövekedett elektromos rendszerek integrálása következtében egyre többet találkozhatunk valamiféle kommunikációs hálózattal. Ezek a kommunikációs protokollok segítenek a járműben szükséges vezetékmenység csökkentésében, ezáltal kisebb súlyt, alacsonyabb költségeket és egyszerűséget tudnak elérni a gyártók. Mindemellett kevesebb csatlakozást kell alkalmazni, ebből kifolyólag kevesebb a csatlakozásból eredő meghibásodás. Fontos tulajdonságuk mindezek mellett, hogy nagy adatátviteli sebességet tesznek lehetővé, valamint, mivel a hálózatokon egy időben csak egy adat küldése lehetséges, az adatütközés veszélye nem áll fenn. Mivel a járművekben szinte minden fontos információ elérhető ezeken a hálózatokon, így a megfelelő adatokat kinyerve felhasználhatóak diagnosztikai célokra is, így nincs szükség költséges műszerek és eszközök beépítésére. A tanulmányban bemutatásra kerülnek a jelenleg legszélesebb körben elterjedt jármű kommunikációs hálózatok, valamint ezek legújabb továbbfejlesztései.

Manapság a környezetszennyezés csökkentése érdekében egyre elterjedtebbek az alternatív hajtásrendszerrel működő gépjárművek. Ezek közé tartozik a hibrid rendszerű megoldás, melynek pontos kalibrációja a környezetszennyezés és teljesítmény szempontjából rendkívül fontos. Ebből kifolyólag cikkünkben bemutatunk egy kommunikációs hálózat felhasználásával megvalósított hibrid járműrendszer mérést, melynek eredményei alapjául szolgálhatnak a hibrid rendszer diagnosztizálásában.

2. Kommunikációs hálózatok

2.1. LIN (Local Interconnect Network)

A LIN létrehozásánál egyértelműen arra törekedtek, hogy olcsóbb legyen, mint a CAN és más eddig használt kommunikációs technológiák. A LIN alapkonceptiója, hogy a buszon egy master és több slave egység helyezkedik el (1. ábra), és mivel csak a master kezdeményezhet adatátvitelt, nem lépnek fel arbitrációs problémák. A LIN specifikáció által leírt soros kommunikáción alapuló protokoll az OSI modell két alsó rétegét tölti ki, tehát a fizikai és az adatkapcsolati réteget. [1,2]



1. ábra: LIN hálózat felépítése (saját szerkesztés)

2.1.1. Működési elve

A LIN aszinkron soros kommunikációra épül. Ennek fizikai implementációja egy egyvezetékes kommunikáció, amely half-duplex átvitelt tesz lehetővé. A LIN broadcast alapú, tehát a buszra egy egység által kiküldött információt az összes többi egység képes fogadni és feldolgozni. A LIN üzenetekbe speciális szinkronizáló mezőt illesztettek, amik lehetővé teszik a node-ok külső kvarcának elhagyását, ezzel is költségcsökkentést érve el az egyes node-oknál. Szintén a LIN egyszerűségére jellemző, hogy a kommunikáció megvalósítható a legtöbb mikrovezérlőben megtalálható normál UART perifériával. [3,4]

2.1.2. Főbb jellemzői [1]

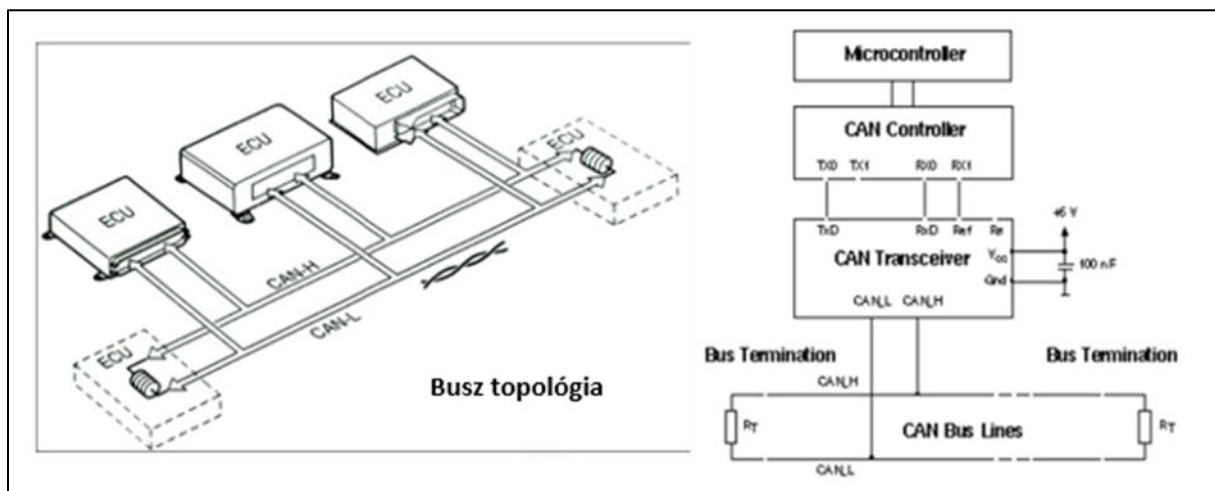
- **Kommunikációs sebesség:** A maximális adatsebesség 20 kbit/s, de általában a standard UART bitsebességeket választják (300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200). Szintén elterjedt sebesség a K-Line által használt 10,4 kbit/sec.
- **Maximálisan továbbítható adat:** 2,4,8 byte
- **Vezetékhoosszúság:** 10 m
- **Lezáró ellenállás:** 1 kOhm master, 20-47 kOhm slave
- **Jelszint:** 12 V

Szintén fontos tulajdonság ezeken kívül, hogy a busz meghajtása opencollectoros (félvezető kapcsoló és ellenállás) jellegű, és az akkumulátor szintjéhez igazodik.

Főként a komfort (kényelmi) elektronikában alkalmazzák, mint például elektromos tükör digitális klíma vezérlés stb.

2.2. CAN (Controller Area Network)

Fizikailag a CAN rendszer egy kétvezetékes aszimmetrikus buszt jelent, erre csatlakoznak az állomások soros vonalon (2. ábra). A vezeték sodrott érpár, mely lehet árnyékolt vagy árnyékolatlan is. A CAN kontrollert egy adóvevő (transceiver) áramkör illeszti a buszra, mely a controller TTL szintű jeleit alakítja át a busz differenciális jeleire. A transceiver másik fontos feladata, hogy a buszon lévő állomások között huzalozott ÉS kapcsolatot hozzon létre. Ennek az ütközések elkerülésében van döntő szerepe.



2. ábra: CAN busz fizikai felépítése (saját szerkesztés)

A busz impedancia-illesztéséről lezárásokkal kell gondoskodni (reflexió megszüntetése érdekében), ennek szabványos értéke 120 Ohm. Az üzenetet, mint ahogy ez a soros adatátvitelnél egyébként is szokásos, keretformátumba foglalták. A teljes üzenetet alkotó bitsorozat, az adott kereten belül mezőkre osztott. Az egyes mezőkben elhelyezkedő bitcsoportok protokolláris, hibafelismerő, ill. adatátviteli feladatokat teljesítenek. Ennél a protokollnál két féle üzenetkeret létezik, Standard (11 bit) és Extended (29 bit). [1-3,5,6]

2.2.1. Főbb jellemzői [1]

- **Kommunikációs sebesség:** A maximális adatsebesség 1 Mbit/s, de általában a járművekben az 500 kbit/s sebességet alkalmazzák. Ezen felül elterjedt sebesség még a 250 kbit/s.
- **Maximálisan továbbítható adat:** 8 byte
- **Vezetékhoosszúság:** max 40 m
- **Lezáró ellenállás:** 120 Ohm (Reflexió megszüntetésére)
- **Jelszint:** 2,5-3,5 Can High; 1,5-2,5 Can Low

Felhasználását tekintve megtalálható a komfort elektronikában, ezen felül pedig bárhol a járműben, valamint előszeretettel alkalmazzák a vezetést támogató (ADAS) rendszerekben.

2.3. CAN FD (Controller Area Network Flexible Data-Rate)

Az egyre több elektromos rendszer beintegrálásával akkorára nőtt a járművekben az adatok mennyisége, melyet már az egyszerű CAN nem tudott volna biztonsággal továbbítani. Ebből kifolyólag a Bosch más autógyártókkal együttműködve továbbfejlesztették a sima CAN-t, és megalkották a CAN FD-t. Ez a hálózat már sokkal nagyobb adatátviteli sebességet és sokkal több adatot képes továbbítani elődjénél. Mivel alapjaiban megegyezik egymással a két hálózat így együtt is alkalmazhatóak a járművekben. [3,7]

2.3.1. Főbb jellemzői

- **Kommunikációs sebesség:** A maximális adatsebesség 8 Mbit/s
- **Maximálisan továbbítható adat:** 64 byte
- **Vezetékhoosszúság:** max 40 m
- **Lezáró ellenállás:** 120 Ohm (Reflexió megszüntetésére)
- **Jelszint:** 2,5-3,5 Can High; 1,5-2,5 Can Low

Felhasználását tekintve teljes mértékben megegyezik elődjével.

2.4. CAN XL (Controller Area Network Extra Long)

Nem sok idő telt el az előző fejlesztés óta (CAN FD), de a járművekben folyó nagy adatmennyiségek következtében az autógyártóknak egy még nagyobb teljesítményű kommunikációs hálózattal kellett előrukkolniuk. A CAN protokoll harmadik generációja a CAN XL mindkét korábbi protokolltípust támogatja, így alkalmazhatóak vegyesen a járművekben. A korábbiakhoz képest a megnövekedett teljesítmény mellett újításnak számít, az azonosító mező kettéválasztása 11 bites prioritási mezőre, valamint 32 bites elfogadási mezőre. Ezenkívül vannak olyan opcionális konfigurációs lehetőségek, mint például a hibajelzések kikapcsolása vagy a PWM (impulzus-szélesség moduláció) engedélyezése a csatolóegység interfészén. Mivel ez a protokoll nagy adatmezők átvitelére képes, így lehetővé teszik a magasabb szintű protokollok (Pl.: IP- Internet protokoll) használatát. [8-13]

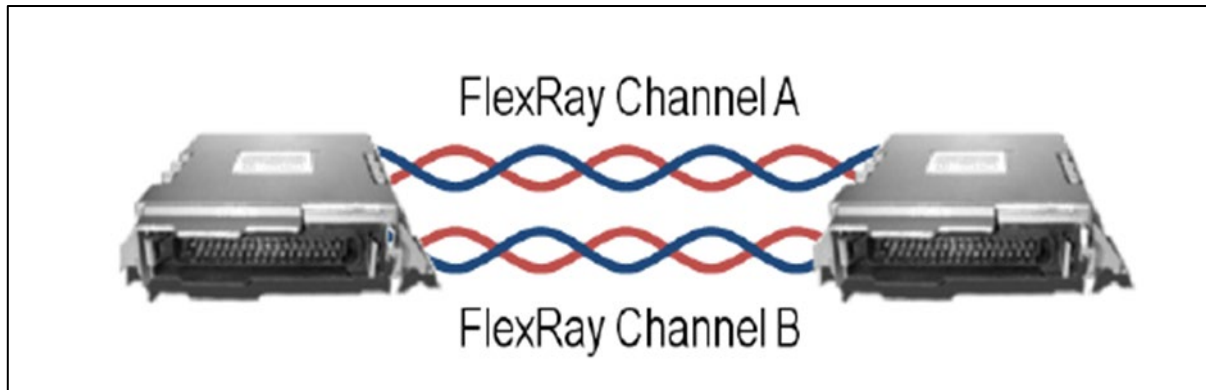
2.4.1. Főbb jellemzői

- **Kommunikációs sebesség:** A maximális adatsebesség 20 Mbit/s
- **Maximálisan továbbítható adat:** 2048 byte
- **Lezáró ellenállás:** 120 Ohm
- **Jelszint:** Üzem mód függő

2.5. Flexray

A Flexray egy konzorciumi fejlesztés, melynek végleges verzióját 2009-ben mutatták be. Tervezésénél alapvető szempont volt, hogy alacsony költséggel nyújtson nagy teljesítményű és megbízható adatátvitelt járműipari környezetben. A FlexRay hálózatban árnyékolatlan csavart érpárok kötik össze az egyes csomópontokat. A hálózat lehet egy- vagy kétcsatornás, ami egy vagy két független érpárt jelent (3. ábra). A differenciális adatátvitel biztosítja, hogy az elektromos zaj árnyékolás nélkül se okozzon zavarokat az átvitelben. A FlexRay busz végeit ellenállásokkal le kell zárni, és ezt elég csak a busz végein lévő eszközöknél megtenni. A túl sok lezárás (hasonlóan a lezárás hiányához) hibát okozhat a hálózat működésében. Míg a hálózatok kialakítása változhat, addig a vezeték impedanciája tipikusan 80 és 110 ohm között lehet., és a lezárás is megegyezik ezekkel az impedancia értékekkel. Fontos megemlíteni még

azt a tulajdonságát, hogy a CAN-tól eltérően itt nem az üzenetek prioritása foglya eldönteni a küldési sorrendet, hanem idővezérelt elven működik [1-3,14-17]



3. ábra: Flexray hálózat felépítése (saját szerkesztés)

2.5.1. Főbb jellemzői

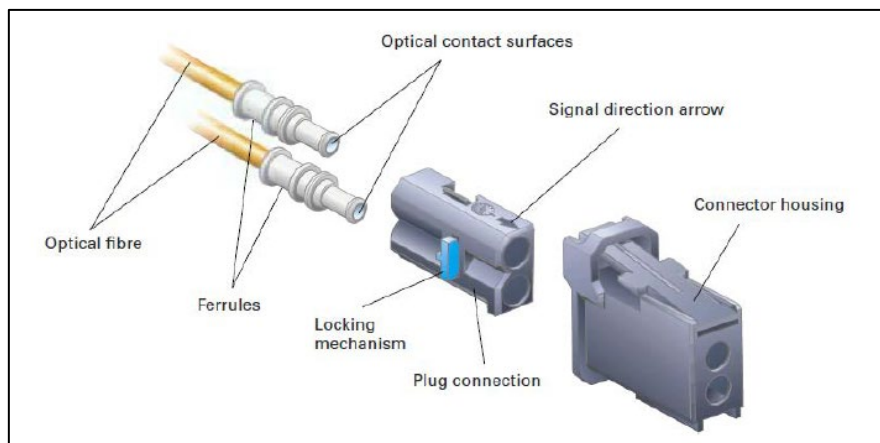
- **Kommunikációs sebesség:** A maximális adatsebesség 2x10 Mbit/s
- **Maximálisan továbbítható adat:** 254 byte
- **Vezetékhoosszúság:** 24 m
- **Lezáró ellenállás:** 80-110 Ohm között
- **Jelszint:** Recesszív állapot 2,5 V; Domináns állapot 1,5-2,5 V; Üresjárat állapot 1,8-3,2 V

Felhasználását tekintve a prémium járművekben alkalmazzák, azokon belül is a vezetés támogató rendszerekben.

2.6. MOST (Media Oriented System Transport)

A nevesebb német autógyártók és jármű elektronikát fejlesztő cégek közösen fejlesztették ki a MOST kommunikációs hálózatot, főként az audio és multimédia eszközök közötti nagysebességű kommunikáció biztosítása érdekében. Több fejlesztése létezik, az adatátviteli sebességtől függően (MOST25, MOST50, MOST150). A nagysebességű és sávszélességű MOST-hálózatokban általában műanyag optikai szálakat alkalmaznak, melynek előnye a gyors adatátvitel, valamint működését nem befolyásolja az elektromágneses interferencia (EMI). Az

optikai szálban 650 nanométeres hullámhossz-tartományú fényt továbbítanak, vagyis a vörös tartományt alkalmazzák. A különböző vezérlők az optikai szálon kívül szabványos csatlakozók segítségével vannak összekapcsolva (4. ábra) Egyik legfőbb hátránya, hogy az optikai szál nem törhet meg ($R_{min} = 25\text{mm}$), mivel a törés következtében a fény nem tud teljes mértékben tovább haladni. Másik nagy hátránya, hogy a hőmérséklet emelkedésével romlik az adatátvitel. [1,3,14,18-20]



4. ábra: Szabványos csatlakozó felépítése (saját szerkesztés)

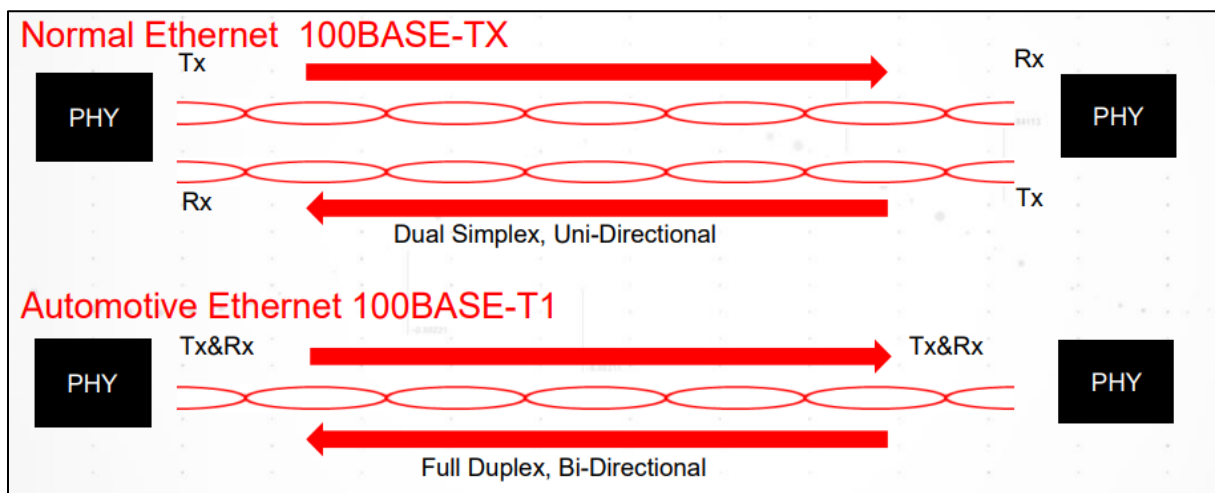
2.6.1. Főbb jellemzői

- **Kommunikációs sebesség:** MOST25 25 Mbit/s, MOST50 50 Mbit/s, MOST150 150 Mbit/s (IEEE szerint további fejlesztésekkel elérhető az 1 Gbit/s)
- **Maximálisan továbbítható adat:** MOST25 64 byte, MOST50 128 byte, MOST150 384 byte
- **Vezetékhoosszúság:** 40 m, nem törhet meg ($r > 25\text{ mm}$)
- **Lezáró ellenállás:** Nincs szükség lezáró ellenállásra
- **Jelszint:** Nincs jelszint

2.7. Ethernet

Az Ethernet talán az egyik legrégebb óta létező és működő kommunikációs hálózat, mely számos fejlesztési fázison ment már keresztül. Kezdetben drága és körülményes megoldásnak számított, ám a technika fejlődésével egyre olcsóbb és könnyebb lett a kivitelezés, miközben a sebességük nagyságrendekkel nőtt. A hagyományos 4 érpáron működő Ethernet mellett autóiipari alkalmazásra készült az 1 érpáron működő 100 Mbit/s sebességű OPEN Ethernet (One Pair Open Ethernet), mely a hagyományos Ethernethez képest egyszerre kétirányú (full-duplex) adatátvitelt tesz lehetővé (5. ábra).

Mindezek továbbfejlesztése a napjainkban már alkalmazott Gigabit Ethernet, mely nevéből adódóan 1 Gbit/s sebességet tesz lehetővé, valamint szintén kizárólag a full-duplex működést támogatja. [1-3,21-23]



5. ábra: Dual simplex és full duplex Ethernet közti különbség [24]

2.7.1. Főbb jellemzői [1]

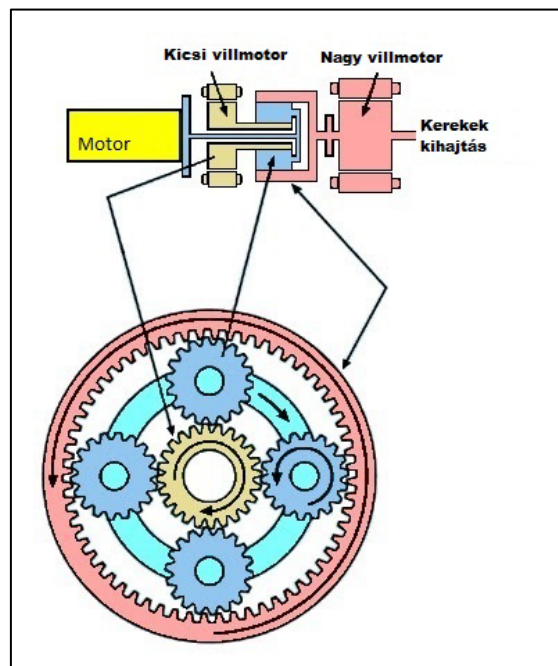
- Kommunikációs sebesség: 100 Mbit/s, 1 Gbit/s
- Maximálisan továbbítható adat: 1518 byte
- Vezetékhoosszúság: 15,40,100 m
- Lezáró ellenállás: Vezeték hosszából adódó ellenállás (0,188 Ohm/m)
- Jelszint: 0, ± 1 V ?

3. Hibrid jármű diagnosztika

A járművek villamosításának megkezdése olyan lehetőségeket hozott magával az autópárhban, melynek segítségével javítható a járművek energiahatékonysága, csökkenthető a fogyasztás, valamint a károsanyag kibocsátás. Az elektromos járművek közé soroljuk a hibrid járműveket (HEV), melyek kalibrációja nagy kihívást jelent a belső égésű és villamos rendszer összehangolását tekintve. A nem megfelelő beállítások, nem eredményeznek számottevő javulást a fent felsorolt előnyök tekintetében. Jelenleg kevés olyan módszer létezik, amely segítené a megfelelő beállításokat. [25,26] A következő bekezdésekben bemutatunk egy általunk kidolgozott eljárást, amely segítségünkre lehet a hibrid hajtáslánc üzemmódjainak és paramétereinek feltérképezésében.

3.1. Vizsgálat célja

A teszt alanya egy 3. generációs Toyota Prius jármű volt. A hajtásrendszer egy Atkinson ciklusú belsőégésű motorból, és két elektromos motor-generátor egységből áll. Az erőforrásokat e-CVT váltó köti össze, ami lényegében egy bolygómu, melynek napkerekéhez csatlakozik az MG1-es villamos gép, a bolygókerék tengelyére a belsőégésű motor, a koszorúkeréken lévő kihajtásra pedig az MG2-es villamos gép.



6. ábra: E-CVT működése [27]

Ez a felépítés lehetővé teszi, hogy a jármű megvalósítson minden szükséges üzemállapotot; tisztán elektromos hajtás, hibrid hajtás, regeneratív fékezés, belsőégésű hajtás elektromos visszatöltéssel és a hátramenet. A rendszer tulajdonságai miatt nem lehetséges a beépített erőforrásokat külön, egymástól függetlenül mérni. Ezért, egy esetleges teljesítménycsökkenés esetében, nem egyszerű megállapítani, hogy az elektromos, vagy a belsőégésű hajtás rendszerében keresendő a hiba. A következő fejezetekben leírt mérési metódussal egy lehetséges opció kerül bemutatásra, ahogy a hibrid rendszer elemeinek teljesítményét közelítőleg meg lehet határozni. A vizsgálat egy teljesítménymérő görgős padon zajlik, és a jármű kommunikációs hálózatából kinyert adatokra van szükség.

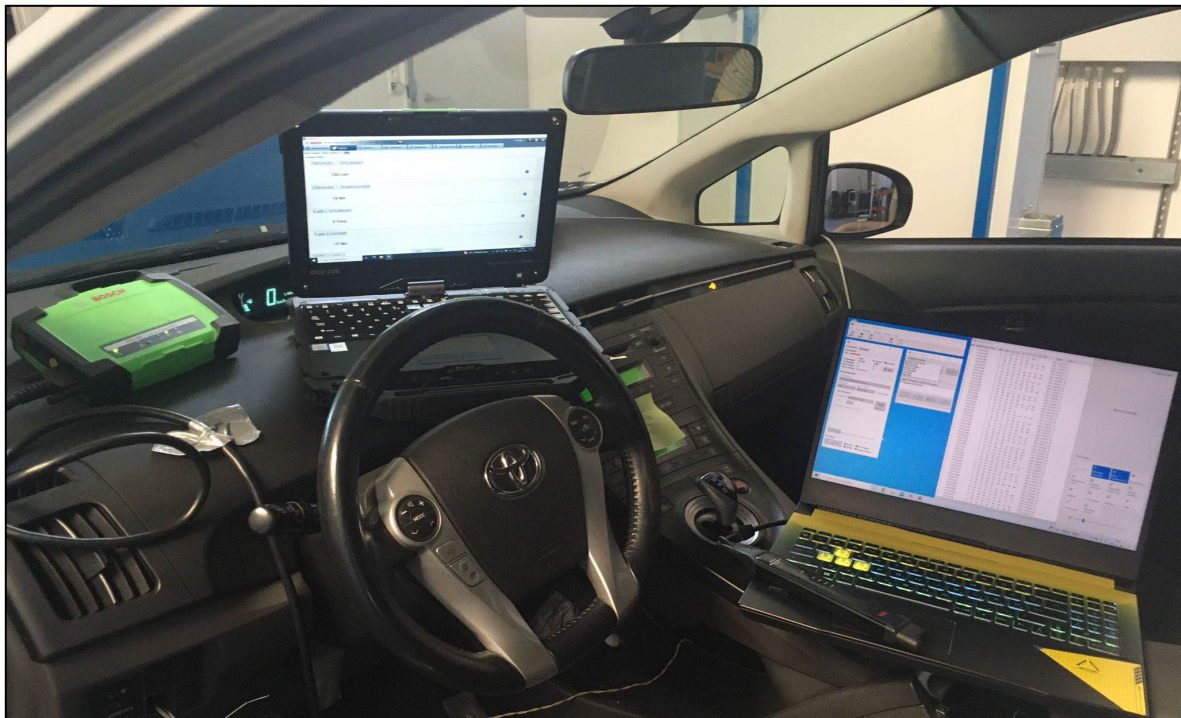
3.2. Adatkinyerés a járműből

A legkézenfekvőbb adatkinyerés egy járműből, az OBDII-es csatlakozón keresztül történik. Ehhez szükség van megfelelő diagnosztikai interfészre. Mi egy Bosch KTS 590 eszközt tudunk használni, amivel feltérképezhattuk, hogy milyen adatokat tudunk kiolvasni. Az eszköz hátránya, hogy nem lehet számunkra megfelelő módon adatot menteni. Élőben tudja mutatni diagramban és számokkal is a pillanatnyi értékeket, viszont utólagos adatfeldolgozásra nincs lehetőség. Mivel a vezérlővel való kommunikáció CAN-en folyik, ezért lehetőség van a hálózat egy másik pontján rácsatlakozni a kábelekre, és megfigyelni az adatfolyamot. A vezérlőtől való adatlekérés egy folyamatos kérdés-válasz struktúrában működik, amit a diagnosztikai interfész vezérel. A CAN-ra való külső csatlakozáskor, csak a nyers CAN adatok láthatóak, ennek a dekódolása a diagnosztikai eszköz feladata. Mivel ismertek a dekódolt értékek, ezért a nyers adatok átalakítása számunkra is lehetséges. A nyers CAN adat visszafejtéséhez szükség van egy dekódoló fájlra, aminek megírásához meg kell határozni az adat elhelyezkedését az adott ID-n belül, hogy melyik irányból kell olvasni, majd a felbontást és az eltolás értékeket. Ezek alapján a nyers adatot átalakítva, ugyanazt az értéket kell kapni, mint amit a diagnosztikai eszköz is kiír.

Ennek ismeretében egy CAN olvasó interfésszel, lehetséges a lekérdezett adatok mentése utólagos feldolgozásra. Ehhez egy Kvaser Memorator R SemiPro eszköz használatára volt lehetőség, ami a CAN adatokat USB-n továbbítható adatokra tudja alakítani. Ezt számítógép és megfelelő program segítségével lehet olvasni, amit ugyancsak a Kvaser gyártmányú, CanKing

nevű szoftverrel lehetett megvalósítani. A szoftvernek megadva a dekódoló fájlt, a nyers adatokból értelmezhető, mértékegységgel ellátott értékek kaphatóak, melyeket lehet menteni.

A járműből való adatkinyerés OBDII-es csatlakozón, diagnosztikai eszköz segítségével történt, az adatok mentése pedig egy másik, CAN hálózatra csatlakoztatott interfésszel volt lehetséges.



7. ábra: Mérőrendszer összeállítás (saját szerkesztés)

3.3. Teljesítménymérés

A teljesítmény, képlet szerint, a nyomaték és a szögsebesség szorzata. Fordulatszámot kapunk mindkét villanymotortól és a belsőégésű motortól is. Ez egy könnyen és pontosan mérhető mennyiség, így megbízhatónak tekinthető a kommunikációs hálózaton futó adat. A nyomatékot viszont nem szokás mérni a hajtásláncban, erre a hajtásrendszernek nincs feltétlenül szükség, mint a fordulatszámra. Belsőégésű motornál legegyszerűbb esetben gázpedál állást ismer a rendszer, ennél pontosabb a terhelési állapot, amit ugyancsak százalékos értékben lehet kinyerni. Ez utóbbi már jobb közelítést tud adni, ha ismerjük a jármű nyomatékgörbét. Elektromos hajtás esetében a motorra jutó áramból lehet következtetni a nyomatékra, ami pontosabb meghatározásnak tekinthető, mint belsőégésű motor esetében. Feltételezhetően emiatt lehetséges a tesztjárműből nyomaték értékeket kiolvasni mindkét villanymotorra vonatkozóan. Az elektromos erőforrásoknak így meghatározható a teljesítménye, a belsőégésű

motor fordulatszáma ismert, a görgős teljesítménymérő padon pedig mérhető a jármű motorteljesítménye. Ez utóbbi esetünkben a hibrid rendszer összteljesítménye, amiből kivonva a villanymotorok teljesítményét, számolható a belsőégésű motor teljesítménye.

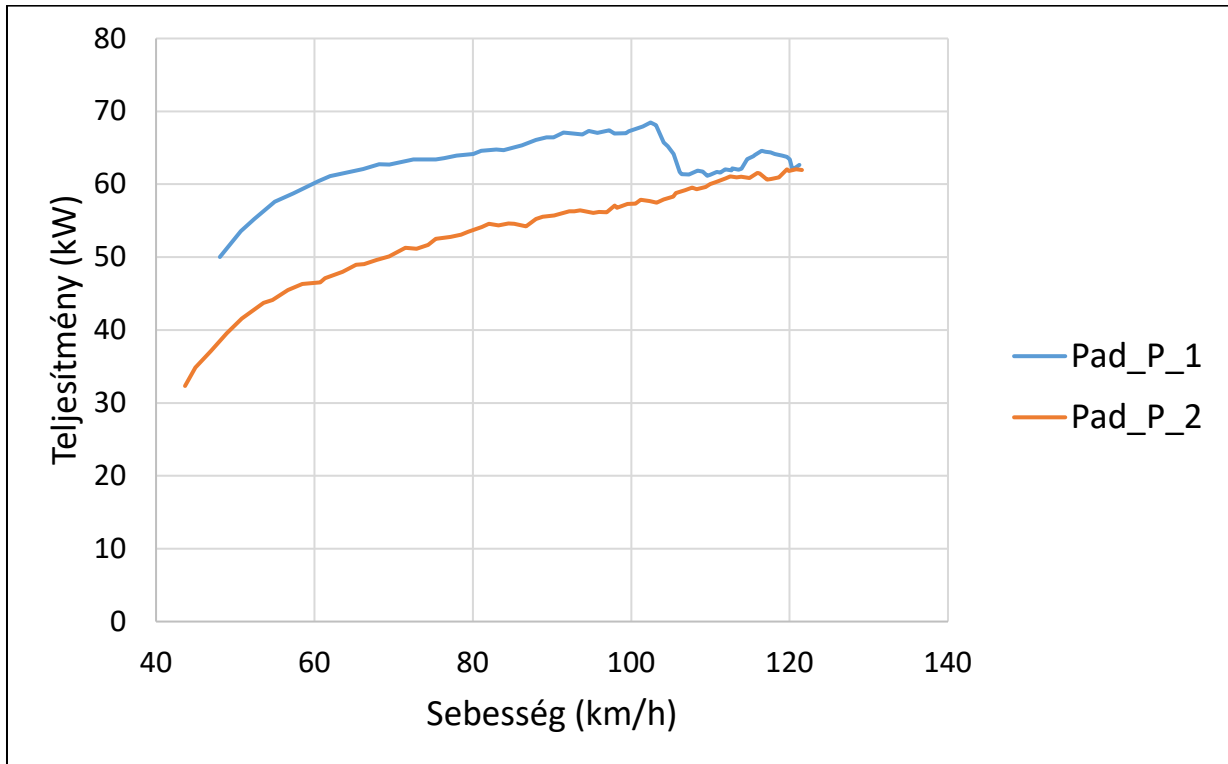
A teljesítménymérés első lépése a hajtáslánc veszteség és az inercia meghatározása, amit a mérőpad végez a beépített villanymotorja segítségével. Stabil sebességeken tartja az üres sebességfokozatban lévő járművet, közben méri, hogy ehhez mekkora teljesítményre van szükség, majd 135 km/h-ás sebességről hagyja kigurulni, így a rendszer inerciája is ismerté válik. A motorteljesítmény mérése gyorsítós méréssel volt vizsgálva. Két mérés történt, első esetben viszonylag feltöltött, majd lemerült trakciós akkumulátorral. A két különböző mérésre azért volt szükség, hogy a számolás után, összehasonlítható legyen a belsőégésű motor által leadott teljesítmény, ami közelítőleg minden esetben ugyanannyi kell, hogy legyen.



8. ábra: Mérendő jármű rögzítése a teljesítménymérő padon (saját szerkesztés)

3.4. Eredmények

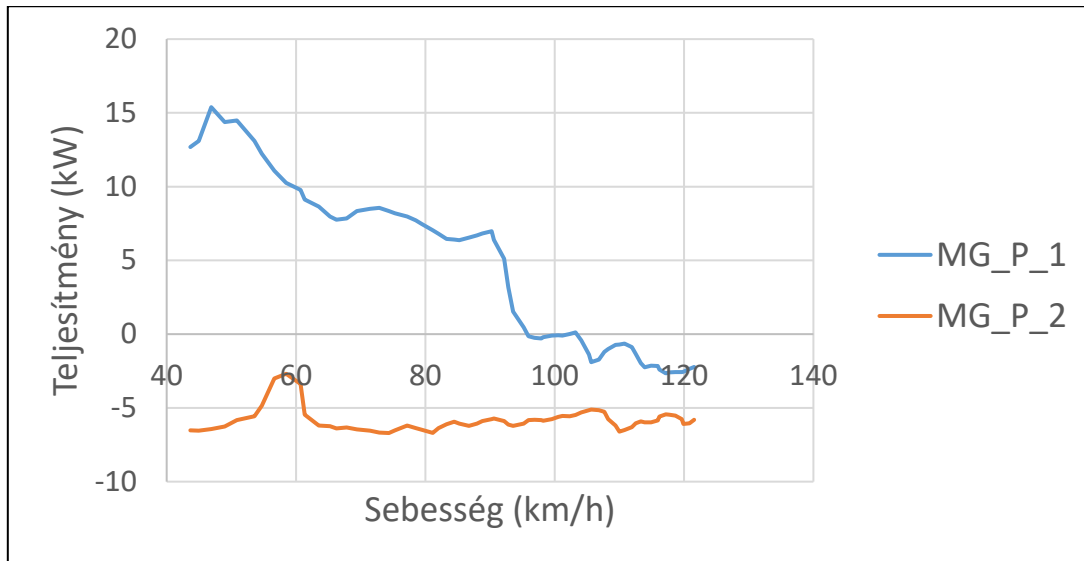
Az méréseket 40-50 km/h-ról indultak, majd teljes gázpedál állás mellett 120 km/h-ig történt a gyorsítás. Az első mérés alkalmával az elektromos rendszer tudott segíteni a gyorsításban egy ideig, a második mérést viszont lemerült traktációs akkumulátorral történt. Az 1. diagramon látható a két teljesítménygörbe közötti különbség.



1. diagram: A görgős pad által mért motorteljesítmények (saját szerkesztés)

Az első mérés során, 105 km/h felett már nem tudott segíteni az elektromos hajtás a gyorsításban, ezen a részen közel azonos a két teljesítménygörbe. 115km/h-nál látható egy kis emelkedés az első mérési görbén, itt feltehetően újra rásegítettek a villanymotorok a hajtásra, annak ellenére, hogy előtte lekapcsolt az alacsony akkumulátor töltöttség miatt.

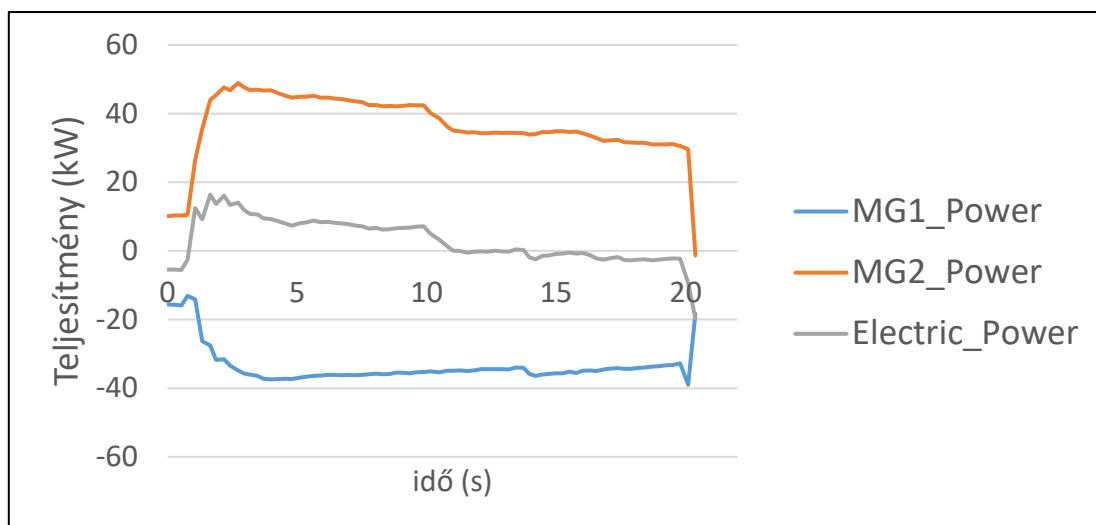
A két villanymotor fordulatszám és nyomaték értékéből kiszámolt elektromos teljesítmények (2. diagram) jól tükrözik a görgős pad által mért értékeket.



2. diagram: Elektromos hajtás összteljesítménye a két mérés alatt (saját szerkesztés)

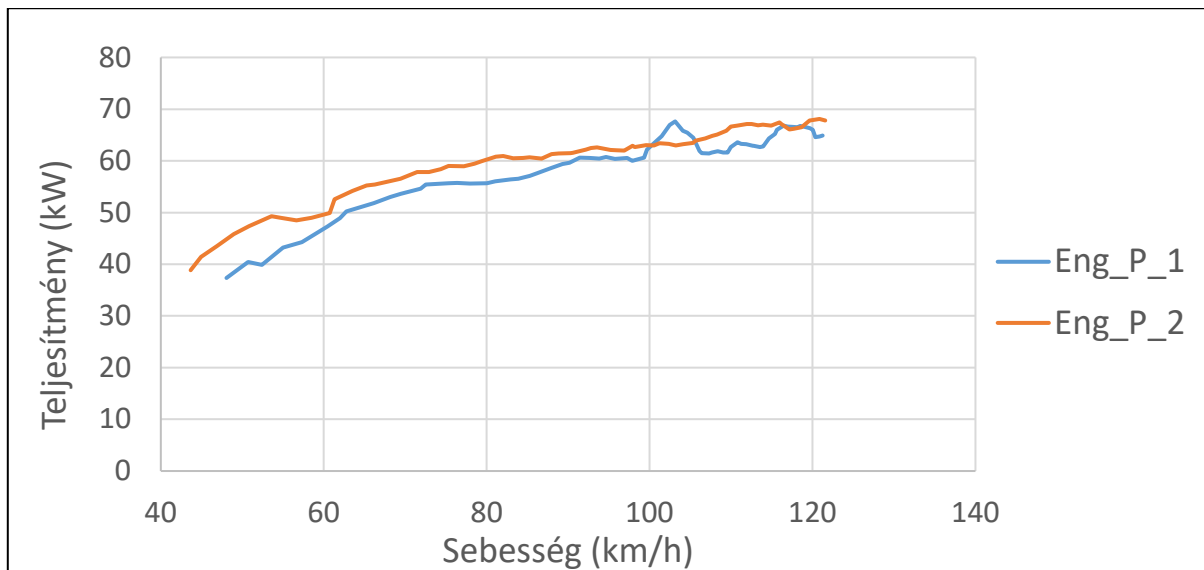
Az első mérés eredménye, az elektromos hajtás rásegítése után nulla, vagy negatív teljesítményt mutat, ami nem magyarázza a görgős pad által mért teljesítménynél a magas sebességnél lévő újbóli teljesítményemelkedést. A második mérés végig visszatöltő üzemmódot szemléltet, miszerint teljes gázpedál állásos gyorsítás során is, ha a hibrid rendszer szükségét látja, visszatöltésre is használja a belsőégésű motort.

A két villanymotor teljesítménye jól szemlélteti az e-CVT működését (3. diagram). Az 1-es villamos gép generátor üzemmóddal tudja megvalósítani, hogy a belsőégésű motor nyomatékot tudjon átadni a kihajtó tengelyre. Ezt a generált áramot a 2-es villamos gép tudja felhasználni, ha a trakciós akkumulátor merült, akkor pedig annak töltésére fordítódik.



3. diagram: A két villamos gép és az összteljesítményük az első mérés alatt (saját szerkesztés)

Az elektromos teljesítményeket kivonva a görgős pad által mért teljesítményből, számolható a belsőégésű motor teljesítménye, ami a két mérés során, közel azonos teljesítménnyel kellett volna, hogy hajtson. Az eredmények a 4. diagramon láthatóak.



4. diagram: Belsőégésű motor számolt teljesítménye (saját szerkesztés)

Az első mérésnél a 100 km/h feletti résznél a kiugrás ugyanúgy jelentkezik, mint az összteljesítménynél és az elektromos teljesítménynél. A két görbe nagyon hasonló formát mutat, viszont egy folyamatos különbség van a kettő között. A belsőégésű motor fordulatszáma teljes gázpedál állásos gyorsításkor, a sebességgel arányosan emelkedett, ezért látható a 4. diagramon, hogy a sebességgel arányosan növekedik a teljesítmény is. A belsőégésű motor fordulatszámaival azonban jelenleg nem számoltunk, ez adhat okot a két mérés különbségére, és az első mérés alatt lévő kiugró értékre is. Az elméletileg 73 kW-os teljesítményű Atkinson ciklusú belsőégésű motor, a számolás alapján kiváló állapotban van, hiszen a 120 km/h-ás sebességnél már közelítette ezt az értéket, és a teljesítménygörbe láthatóan nem érte még el a maximumát.

4. Összegzés

A fentiekben bemutatásra kerültek különböző, járművekben leginkább alkalmazott kommunikációs hálózatok. Kitértünk a továbbfejlesztési lehetőségeikre, valamint új, járműiparban még nem igazán elterjedt kommunikációs protokollokra is. Összességében kijelenthető, hogy a bemutatott hálózatok megfelelnek járműipari célokra, attól függően, hogy

mekkora adathalmazt, milyen sebességgel szeretnék a járművön belül továbbítani. Előre láthatólag a fejlesztő cégek nem fognak bevezetni új kommunikációs protokollt, inkább az eddigiek kombinálása jelentheti majd a jövőt. Diagnosztikai szempontot tekintve, a legegyszerűbb adatkinyerést szintén a kommunikációs hálózatok biztosítják. Az általunk bemutatott módszer segítségével mérni lehet egy hibrid személygépjármű erőforrásainak teljesítményét. A mérések a kinyert adatok alapján nem tekinthetők teljesen pontosnak, mivel az elektromos motorok nyomatéka nem egy közvetlenül mért érték, hanem a jármű vezérlője számolja át az áramerősségből. Az eredmények alapján arra lehet következtetni, hogy 10%-os eltérésnél kisebb a bizonytalanság, mivel a számítások alapján közelít a rendszer összteljesítményének mért értéke az elméleti teljesítményhez. Ezek alapján az elektromos és a belsőégésű rendszer állapotáról elég pontos kép kapható, bármilyen rendszerhiba esetén láthatóvá válna a teljesítménycsökkenés. A belsőégésű motor fordulatszámának monitorozása pontosabb eredményekre adna lehetőséget. További lehetőségként érdemes lenne a villanymotorokra jutó teljesítményt, feszültség- és árammérő eszközökkel vizsgálni.

5. Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

Irodalomjegyzék

- [1.] Dr. Fodor Dénes, Dr. Szalay Zsolt: Autóipari kommunikációs rendszerek, 2014
- [2.] Bokor József, Gáspár Péter: Járműfedélzeti kommunikáció, 2012
- [3.] Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion: In-vehicle communication networks – a historical perspective and review, 2013 augusztus
- [4.] Eric Hackett, Texas Instruments: Lin Protocol and Physical Layer Requirements, 2018 február, átdolgozva 2022 augusztus
- [5.] H.F. Othman, Y.R. Aji, F.T. Fakhreddin, A.R. Al-Ali: Controller Area Networks: Evolution and Applications, 2020 szeptember

- [6.] Hanxing Chen, Jun Tian: Research on the Controller Area Network, 2009
- [7.] Florian Hartwich, Robert Bosch GmbH: CAN with flexible data-rate, 2012
- [8.] Robert Bosch GmbH: CAN XL - The next step in CAN evolution, 2023 július
- [9.] Controller Area Network extended data-field length (CAN XL)
<https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-xl/>
Megtekintés dátuma: 2023.10.27.
- [10.] Controller Area Network Extra Long (CAN XL) Protocol
<https://piembsystech.com/controller-area-network-extra-long-can-xl-protocol/>
Megtekintés dátuma: 2023.10.27.
- [11.] Fuyu Yang: Conflict in Data Field of CAN XL, 2022 november
- [12.] Florian Hartwich, Robert Bosch: Introducing CAN XL into CAN Networks, 2020
- [13.] Magnus-Maria Hell, Infineon Technologies: The physical layer in the CAN XL world, 2020
- [14.] Rudrappa B. Gujanatti, Bipin B. Kagganagi, Bhahyashree Havaladar: FlexRay and MOST Automotive Protocols, 2016 május
- [15.] Anjan Kumar B.S., Arpitha Rani R., Keya Priyambada, Arti Kumari: Flexray Protocol in Automotive Network Communications, 2014 február
- [16.] Flexray Consortium: Flexray Communications System, 2004
- [17.] Ji Li, Wang Lifang, Liao Chenglin, Gou Jinfang: Research on the Flexray communication protocol based on AUTOSAR and its multi-node test, 2014 augusztus
- [18.] Andrzej Sumorek, Marcin Buczaj: The Evolution of „Media Oriented System Transport” Protocol, 2014 július
- [19.] Prof. Dr. Ing. Andreas Grzemba: MOST the automotive multimedia network
- [20.] Wenwei Wang, Shiyao Yu, Wanke Cao, Kaidi Guo: Review of In-Vehicle Optical Fiber Communication Technology, 2022 április

- [21.] Peter Hank, Ovidiu Vermesan, Steffen Müller, Jeroen Van Den Keybus: Automotive Ethernet: In-vehicle Networking and Smart Mobility, 2013 március
- [22.] Charles M. Kozierok, Colt Correa, Robert B. Boatright, Heffrey Quesnelle: Automotive Ethernet: The Definitive Guide, 2014
- [23.] Lucia Lo Bello, Gaetano Patti, Luca Leonardi: A perspective on Ethernet in Automotive Communications-Current Status and Future Trends, 2023
- [24.] Gary Hsiao: Putting the future in motion with automotive Ethernet and mainstream serial buses, 2019 január
- [25.] Markus Schori, Thomas J. Boehme, Benjamin Frank, Matthias Schultalbers: Calibration of Parallel Hybrid Vehicles Based on Hybrid Optimal Control Theory, 2013 szeptember
- [26.] Nikolce Murgovski, Markus Grahn, Lars Johannesson, Tomas McKelvey: Automated engine calibration of hybrid electric vehicles, 2014, október
- [27.] Toyota Prius hajtásrendszere <https://hibridszalon.hu/toyota-hybrid-jarmuvek-valtoja/>
Megtekintés dátuma: 2023.11.02.

Az ipar, innováció és infrastruktúra fenntartható fejlődési célkitűzések teljesítésének társadalmi háttere

The Social Background of Achieving Sustainable Development Goals in Industry, Innovation, and Infrastructure

Gyurián Nagy Nikolett

Széchenyi István Egyetem, Kautz Gyula Gazdaságtudományi Kar, Vezetéstudományi és Marketing Tanszék;

Járműipari Kutatóközpont

nagyova.nikoleta@ga.sze.hu

Absztrakt

A modern társadalmakban a környezeti problémák, mint a klímaváltozás, biodiverzitás-vesztés, vízhiány és erőforrás-kimerülés, egyre sürgetőbbé válnak a folyamatosan növekvő népesség és az ezzel járó természeti erőforrások gyorsuló kimerülése következtében. Az ENSZ fenntartható fejlődési céljai (SDG-k) keretében kiemelt figyelmet kap az ipar, az innováció és az infrastruktúra (SDG 9), amelyek alapvetően hozzájárulnak a környezetünk fenntartható fejlesztéséhez. Jelen tanulmány egy átfogó kérdőíves felmérés eredményeit elemzi, amely Magyarországon a fogyasztók bevonásával zajlott. A felmérés során a résztvevők környezetvédelmi nézeteiket oszthatták meg, melyek alapján jól definiálható csoportok rajzolódtak ki. Ezek a csoportok a korai környezeti nevelés fontosságát, a motiváló kommunikáció szükségességét, az információszolgáltatás hatékonyságát, és a környezetvédelmi adók alkalmazását hangsúlyozzák. Ezen felül a kutatás a települési infrastruktúra fejlesztésének jelentőségét, a fenntartható termékek árának optimalizálását és a megújuló energiaforrások preferálását is kiemeli. Az eredmények rámutatnak, hogy az ipar és infrastruktúra fejlesztése szoros összefüggésben áll a társadalmi tudatosság növelésével és az oktatási, valamint kommunikációs stratégiák fejlesztésével, amelyek közvetlen hatással vannak az ipari szektor fenntarthatóságára. A tanulmány jövőbeli kutatási irányokat is javasol, többek között a környezeti nevelési stratégiák hatékonyságának, a reklámok fogyasztói magatartásra gyakorolt hatásainak, valamint a környezetvédelmi adók végrehajtásának és hatásainak vizsgálatát.

Kulcsszavak: attitűd, fenntarthatóság, infrastruktúra, ipar

Abstract

In modern societies, environmental issues such as climate change, biodiversity loss, water scarcity, resource depletion, and the effects of environmental pollution are becoming increasingly urgent due to the continuously growing population and the accelerated depletion of natural resources. Within the framework of the UN Sustainable Development Goals (SDGs), special attention is given to industry, innovation, and infrastructure (SDG 9), which are fundamental to the sustainable development of our environment. This study analyzes the results of a comprehensive survey involving consumers across Hungary. During the survey, participants were able to share their views on environmental protection, which led to the

formation of well-defined groups. These groups emphasized the importance of early environmental education, the need for motivational communication, the effectiveness of information provision, and the application of environmental taxes. Additionally, the research highlights the significance of developing municipal infrastructure, optimizing the pricing of sustainable products, and preferring renewable energy sources. The findings indicate that the development of industry and infrastructure is closely linked to increasing social awareness and the development of educational and communication strategies, which directly impact the sustainability of the industrial sector. The study also suggests future research directions, including examining the effectiveness of environmental education strategies, the impact of advertisements on consumer behavior, and the implementation and effects of environmental taxes.

Keywords: *attitude, sustainability, infrastructure, industry*

1. Bevezetés

A modern társadalmakat napjainkban foglalkoztató legfontosabb környezetvédelmi problémák - a klímaváltozás, a biodiverzitás elvesztése, a vízhiány, a környezetszennyezés egészségre gyakorolt negatív hatásai, a levegőminőség, az erőforrások kimerülése és a hulladék-, valamint a vegyi anyagok kezelése - nem újkeletűek. Kisebb-nagyobb mértékben az ipari forradalom óta érzékeli a hatásukat az emberiség (Nagy, 2011). Azonban napjainkban még sürgetőbbé váltak ezeknek a problémáknak a kezelése, mivel a világ népessége folyamatosan növekszik, ezzel együtt a természeti erőforrások kimerülése is gyorsul. Az üvegházhatású gázok kibocsátása, a globális hőmérséklet emelkedése, valamint az ebből adódó szélsőséges időjárási események mind sürgető intézkedéseket követelnek a környezetvédelem területén. A fenntartható fejlődés és a környezetbarát technológiák fejlesztése kiemelten fontos a hosszú távú globális jólét megőrzése érdekében. A társadalmi és gazdasági szereplőknek összefogásra van szükségük a fenntartható jövő érdekében, hogy a Föld erőforrásai megfelelő módon kezelhetők legyenek a jövő generációi számára (Gyurián Nagy, 2023; Rahimifard & Trollman, 2018). Az ENSZ által meghatározott fenntartható fejlődési célok és a hozzájuk kapcsolódó célkitűzések összefoglalják a világ legégetőbb környezeti és társadalmi problémáit, és emellett konkrét iránymutatást adnak a fenntartható jövő felé haladásra. A klímaváltozás és a környezeti katasztrófák megelőzése, a tiszta energiaforrásokra való áttérés, az egyenlőtlenségek csökkentése, valamint az élelmiszerbiztonság biztosítása csak néhány példa a fenntartható fejlődési célok közül (Suriyanarayanan, 2015; Binda & Lapinska, 2019; Sompolska-Rzechula & Kurdys-Kujawska, 2021).

2. A fenntartható fejlődés ipar, innováció és infrastruktúra célkitűzése

Az ipar, innováció és infrastruktúra célkitűzés kiemelten fontos a környezetünk fenntartható fejlesztése szempontjából. Az infrastruktúra fejlesztése elengedhetetlen a gazdasági és a társadalmi fejlődéshez, azonban fontos, hogy ez ne járjon további környezeti terheléssel. Az innováció révén olyan technológiák fejlesztése történhet, amelyek csökkentik az erőforrás-felhasználást, minimalizálják a környezeti károkat, és hozzájárulnak a fenntartható fejlődéshez (Silvestre & Țirca, 2019; Horváth et al., 2022). Az ipar, innováció és infrastruktúra SDG célkitűzéseinek teljesítése hozzájárulhat a károsanyag-kibocsátás csökkentéséhez, az energiatakarékossághoz, valamint az újrahasznosításhoz és a hulladékkezelés hatékonyságának

javításához. A fenntartható fejlődési célok teljesítése mindannyiunk felelőssége, és ahhoz, hogy a világ hosszú távú fenntarthatósága biztosított legyen, fontos, hogy mind a társadalmi, gazdasági és politikai szereplők egyaránt felelősen cselekedjenek (Glavič, 2020). Kim et al. (2023) szerint 2016. január 1-jén a világ 15 éves küldetésbe kezdett az ENSZ 2030-ig szóló fenntartható fejlődési menetrendjének megvalósítása érdekében. A 17 fenntartható fejlődési cél (SDG) és a hozzájuk tartozó 169 célkitűzés jelentős figyelmet kapott a nyilvánosság és a tudomány részéről (Biermann et al., 2022). Számos kutató és nemzetközi szervezet dolgozott ki fenntarthatósági mutatókat a fenntarthatóság terén elért előrehaladás és annak változásai nyomán követésére és elemzésére az érdeklődésre számot tartó régiókban, lehetővé téve, hogy a kormányok számára tudományos alapokat biztosítsanak a fenntartható fejlődéssel kapcsolatos politikák kialakításához. A fenntarthatóság értékelésének globális (Sarkodie, 2022), nemzeti (Zhang et al., 2021), regionális (Pandey, Asif, 2022) és városi (Mauree et al., 2019) léptékű eseteit széles körben tanulmányozták (Huang, 2023). A kognitív meghatározó tényezők, beleértve a meggyőződések, értékek és a környezeti ismereteket, amelyek a környezeti aggodalomra utalnak, alapvető tényezők, amelyek arra készítetik az embereket, hogy hajlandóak legyenek megváltoztatni viselkedésüket vagy választásukat (Situmorang et al., 2020).

3. Módszertan

Jelen tanulmány egy komplex kérdőíves felmérés részeredményeit szemlélteti és az eredmények alapján kijelöli a jövőbeli kutatási irányokat. Az adatgyűjtési időszak alatt hólabda módszer segítségével 2224 fogyasztó adott választ a feltett kérdésekre. A kutatás helyszíne Magyarország egész területére kiterjedt. A kérdőív összesen 74 kérdést tartalmaz, melyből 65 kérdés alkotta a felmérés tartalmi részét 5 fokozatú Likert skála típusú kérdésként, 6 feleletválasztós kérdés mérte fel a válaszadók demográfiai sajátosságait és 2 kérdés nyitott kérdés volt. Jelen tanulmányban egy nyílt kérdés vizsgálatára került sor.

4. Fogyasztói válaszok elemzése

A kérdőíves felmérésben résztvevő válaszadók csoportosítása elsősorban a nem, az életkor és az egy háztartásban élők száma alapján történt meg.

A felmérés adatai alapján megállapítható, hogy a válaszadók között a nők vannak többségben, és a fiatalabb generációk (különösen a Z és Y generáció) képviselik magukat a legnagyobb arányban. Emellett a legtöbb válaszadó kisebb, 2-4 fős háztartásban él. Ezek az összefüggések jelentősek a fogyasztói magatartás és a fenntarthatóság iránti attitűdök vizsgálatánál, mivel a demográfiai jellemzők gyakran befolyásolják az emberek nézeteit és viselkedését a fenntarthatósági kérdések kapcsán. A demográfiai adatokat az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A minta demográfiai jellemzői

	Csoport	Gyakoriság	Százalék (%)
Nem	Nő	1346	60.5
	Férfi	859	38.6
	Nem válaszolt	17	0.8
	Egyéb	2	0.1
Generáció	Alfa generáció	13	0.6
	Z generáció	972	43.7
	Y generáció	527	23.7
	X generáció	581	26.1
	Baby Boomer generáció	120	5.4
	Veterán generáció	11	0.5
Egy háztartásban élők száma	Egyedül él	245	11.0
	2-4 fő	1679	75.5
	5-7 fő	290	13.0
	11 vagy több fő	10	0.4

forrás: saját kutatás

A demográfiai mutatók mellett a kutatás kezdetén a válaszadók környezeti orientációja is a vizsgálat tárgyát képezte. A mintára jellemző eredmények azt mutatják, hogy a környezeti orientáció értéke magas, ami a környezeti tudatosság erős jelenlétére utal a válaszadók körében. Tehát a válaszadók összességében pozitív környezeti orientációval rendelkeznek. Azonban szükséges megemlíteni, hogy mindez nem jelez előre cselekvést, csupán a válaszadók környezettel szembeni attitűdjét méri fel.

A válaszadók környezeti kérdésekkel kapcsolatos attitűdjének mélyebb megértése érdekében strukturális korlátok nélkül kerültek felmérésre a környezeti kérdésekkel kapcsolatos meglátásaik.

Erre alapozva a kutatás jelen szakaszában egy szabadon megválaszolható nyitott kérdést kellett a fogyasztóknak megválaszolni (a környezetvédelemmel kapcsolatos bármilyen meglátását megoszthatta). A kérdésre 147 értékelhető válasz érkezett és a válaszok alapján jól látható csoportok rajzolódtak ki. Minden csoportnál szerepel egy kiemelt fogyasztói válasz, amely lefedi a csoport attitűdjét (Gyurián Nagy & Gyurián, 2023). A kirajzolódott csoportok a következők:

- környezetvédelemre irányuló edukáció támogatása gyermekkortól, iskolában: *„Már gyermekkortól kezdve úgy kéne nevelni minden embert, hogy figyeljen a környezetére.”*
- gyermekek környezeti nevelése családon belül: *„A környezettudatos nevelés nem csak intézményi (óvoda, iskola) feladat. A szülői, családi példamutatás sokkal fontosabb (lenne) a felnövekvő generáció számára.”*
- motiváló reklámok: *„Szerintem motiválná a társadalmunkat, ha több klímaváltozást megelőző, pozitív hangvételű, reklámot látnánk, nem a sok negatív, mert azt gondolom, hogy hiába rossz a jelenlegi állapot, az emberek többsége, a negatív hangvételű hírek, reklámok, felhívások...stb hatására, azt csak figyelmen kívül hagyja.”*
- információszolgáltatás a fogyasztók felé hatékony módon (környezetvédelmi megoldásokról, vállalati problémákról): *„A feltett kérdésekben szerepelnek olyan kérdések, mint pl. a diszkrimináció, gyermekmunka a cégeknél, amelyre szívesen oda figyelne az ember, de ha külön nem keresi az ember az információt, vagy nem kap nagy média nyilvánosságot, akkor sokszor csak utólag derül ki, hogy nem onnan kellett volna*

vásárolni. Ezekkel is teljes mértékben egyet értenék, hogy nem támogatom, de sokszor nem tudom, hogy ilyen helyről vásároltam.”

- fenntartható termékek árainak optimalizálása: *„Valószínűleg én is öko-táskát vennék a boltokban, ha nem a hagyományos lenne az olcsóbb.”*
- települések infrastruktúrájának fejlesztése (pl. hulladékgyűjtők frekvenciáltabb kihelyezése, tömegközlekedési rend fejlesztése): *„Úgy gondolom, hogy a világ berendezkedésén kellene ahhoz változtatni, hogy érdemben tehessünk a környezet megóvásáért. Az egyén szintjén persze rengeteg lehetőség van így is, azonban a tömegközlekedési rendszer nem elég fejlett ahhoz, hogy aki nem nagyvárosban él, az is le tudjon mondani például az autó használatáról.”*
- megújuló energiaforrások preferálása, támogatása: *„Véleményem szerint első sorban a megújuló erőforrásokat kellene kihasználni (napenergia, szélenergia).”*
- nagy környezeti hatást gyakorló vállalatok büntetése: *„Vállalati szinten kellene elsősorban tenni a környezetért. A fogyasztói szint másodlagos.”*
- környezeti adók effektív alkalmazása: *„A környezetre és egészségre káros termékekre további adókat kell kivetni, így akár olcsóbbak is lehetnek a környezetbarát termékek. Fontos viszont, hogy ezt a bevételt teljes egészében a károk enyhítésére kell fordítani.”*
- komplex változás: *„Szerintem az alapvető legnagyobb probléma, hogy egy véges erőforrásokkal rendelkező bolygón nem lehetséges a végtelen gazdasági növekedés, ez a fajta gazdasági modell nem életképes hosszútávon, a fogyasztói társadalmak helyett új társadalmi rendszerre, rendszerekre van szükség.”*

A kvalitatív válaszok elemzéséből láthatóvá vált, hogy a kérdőíves felmérés során kirajzolódtak a fogyasztói attitűdök főbb csoportjai, amelyek a fenntartható fejlődéshez kapcsolódó témákat ölelik fel. A válaszokban kiemelt szerepet kapott a környezetvédelmi edukáció támogatása mind az iskolában, mind családon belül, valamint a pozitív, motiváló reklámok fontossága. A fogyasztók hatékony információszolgáltatást igényelnek, különösen a vállalati problémákról és környezetvédelmi megoldásokról. Emellett felmerült a fenntartható termékek árainak optimalizálása és a települések infrastruktúrájának fejlesztése is. A válaszok között megjelenik a megújuló energiaforrások preferálása, a nagy környezeti hatást gyakorló vállalatok büntetése,

valamint a környezeti adók hatékony alkalmazása, továbbá a komplex változás szükségessége, amely rámutat a jelenlegi gazdasági modell hosszú távú fenntarthatóságának kérdésére.

5. Következtetések és jövőbeli kutatási irányok

A fogyasztói válaszok elemzése alapján látható, hogy a környezetvédelemmel kapcsolatban különböző nézőpontok és attitűdök kerülnek felszínre. A válaszadók javaslatai rávilágítanak a korai környezeti nevelés fontosságára, mind a családon belül, mind az oktatási intézményekben. Emellett jelentős hangsúlyt kap a pozitív és motiváló kommunikáció szükségessége a fogyasztók fenntartható magatartásának ösztönzése érdekében, valamint a környezetbarát termékekről és vállalati gyakorlatokról való hatékony információterjesztés. A válaszadók kifejtették a települési infrastruktúra fejlesztés jelentőségét, a fenntartható termékek árának optimalizálását, a megújuló energiaforrások előnyben részesítését, valamint a környezetvédelmi adók hatékony kivetését. A válaszok alapján kirajzolódik, hogy átfogó és rendszerszintű változtatásokra van szükség jelenlegi gazdasági és társadalmi modelljeinkben, az előttünk álló környezeti kihívások hatékony kezelésében.

A kutatás eredményei jelentős összefüggéseket mutatnak az ipar, innováció és infrastruktúra fenntartható fejlődési céljaival (SDG 9), különösen az infrastruktúra modernizációjának és a fenntartható ipari fejlődésnek a kontextusában. A tanulmány rávilágít arra, hogy a társadalmi tudatosság növelése, valamint az oktatási és kommunikációs stratégiák fejlesztése közvetlen hatással van az ipari szektor fenntarthatóságára.

Az erre épülő jövőbeli **kutatási irányok** között szerepelhet a különböző környezeti nevelési stratégiák hatékonyságának vizsgálata, a konkrét reklámok fogyasztói magatartásra gyakorolt hatásának értékelése, a környezetvédelmi adók végrehajtásáról és hatásáról szóló elemzések készítése, valamint az új gazdasági és társadalmi modellekre való átállás megvalósíthatóságának feltárása, amelyek a fenntarthatóságot helyezik előtérbe. Ezenkívül a további kutatások a megújuló energiaforrások elterjedését gátló akadályok azonosítására és a vállalati fenntarthatósági kezdeményezések legjobb gyakorlatainak tanulmányozására összpontosíthatnak.

6. Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

Irodalomjegyzék

- [1.] Biermann, F. et al., 2022. Scientific evidence on the political impact of the Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability* 5(9).
- [2.] Binda, J., Lapinska, H., 2018. The 2030 Agenda for Sustainable Development and improvements in quality of life in Poland. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Finansów i Prawa w Bielsku-Białej* 4, 5-10.
- [3.] Glavič P., 2020. Identifying Key Issues of Education for Sustainable Development. *Sustainability* 12(16).
- [4.] Gyurián Nagy N., 2023. Green Generation(s): the Generational Peculiarities of the Environmental Attitude, *Chemical Engineering Transactions*, 107, 199-204.
- [5.] Gyurián Nagy N., Gyurián N., 2023. Consumers' Perceptions of Environmental Protection and Exploring Pathways to Sustainable Solutions, *Chemical Engineering Transactions*, 107, 205-210.
- [6.] Horváth Zs. Cs., Buics, L., Földesi, P., and Eisinger, B. B. (2022). The Role of Hungarian Traffic Rules Education and Examination System – a Quality Function Deployment Approach. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19(7), 7–26.
- [7.] Huang R., 2023. SDG-oriented sustainability assessment for Central and Eastern European countries, *Environmental and Sustainability Indicators*, 19(1), 1-16.
- [8.] Kim R. E., 2023. Augment the SDG indicator framework, *Environmental Science & Policy*, 142(1), 62-67.
- [9.] Nagy Sz., 2011. A study of the modified New Environmental Paradigm (NEP), (in Hungarian), VIII. Nemzetközi Konferencia Miskolci Egyetem GTK, Miskolc, Hungary, 19-20.05.2011.

- [10.] Rahimifard, S., Trollman, H. 2018. UN Sustainable Development Goals: an engineering perspective. *International Journal of Sustainable Engineering* 11(1), 1-3.
- [11.] Sarkodie S.A., 2022. Winners and losers of energy sustainability-global assessment of the sustainable development goals. *Science of The Total Environment*, 831, 1-11.
- [12.] Silvestre, B., Tirca, D. M., 2019. Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *Journal of Cleaner Production* 208, 325-332.
- [13.] Situmorang R.O.P., Liang T.C., Chang S.C., 2020. The difference of knowledge and behaviour of college students on plastic waste problems. *Sustainability*, 12(19), 7851.
- [14.] Sompolska-Rzechuła, A., Kurdyś-Kujawska. A., 2021. Towards understanding interactions between sustainable development goals: the role of climate-well-being linkages. Experiences of EU countries. *Energies* 14 (7).
- [15.] Suryanarayana, M., 2015. Inclusive growth for the marginalized: inclusion vs. pseudo-inclusion. *Journal of Social and Economic Development* 17(1), 1-13.
- [16.] Zhang J., Wang S., Zhao W., Meadows M.E., Fu B., 2022. Finding pathways to synergistic development of sustainable development goals in China. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9, 1-10.

Aszinkron gép koncentrált paraméterű és végeelem- modelljének összehasonlítása nyílt láncú irányítási struktúrában

Comparison of lumped parameter and finite element models of induction machine in an open-loop control structure

Istenes György^a, Horváth Krisztián^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

istenes.gyorgy@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Teljesítményelektronika és Villamos Hajtások Tanszék

krisztian.horvath@sze.hu

Absztrakt

Ebben a cikkben egy kalickás forgórészű aszinkron gép két különböző matematikai modelljének összehasonlító szimulációs vizsgálata látható. A gép villamos viselkedését végeelem-módszer (Finite Element Method - FEM) elvű modell vagy koncentrált paraméterű (Lumped Parameter Method - LPM) modell írja le, amelyekhez ugyanaz a mozgásegyenlet kapcsolódik a forgórész szögelfordulásának időlépésenkénti meghatározásához. A szimulációs összehasonlítások során mindkét modell nyílt láncú irányítási struktúrában működik.

Kulcsszavak: aszinkron gép, végeelem módszer, koncentrált paraméterű módszer

Abstract

In this paper, a comparative simulation study of two different mathematical models of a squirrel cage induction machine is presented. The electrical behaviour of the machine is described by either a Finite Element Method (FEM) model or a Lumped Parameter Method (LPM) model, which are coupled with the same equation of motion to determine the angular rotation of the rotor in time steps. In the simulation comparisons, both models operate in an open-loop control structure.

Keywords: induction machine, finite element method, lumped parameter method

1. Bevezetés

A villamos hajtások irányítási algoritmusainak fejlesztése általában az alkalmazott gép LPM modelljén alapul. Ezeket a modelleket nemcsak az irányítás tervezéséhez, hanem szimulációs elemzésekhez is használják. A hajtásirányítás ilyen szimulációs modelljei a modellalapú tervezési módszertan (Model-Based Design - MBD) központi elemei, amely a irányításalgoritmus-fejlesztés legkorszerűbb megközelítése, amint azt az [1] is tárgyalja. Az MBD alkalmazásával a fejlesztési folyamat felgyorsítható, mivel megkönnyíti az újszerű irányítási algoritmusok megvalósítását, lehetőséget biztosít a szimulációs vizsgálatokra és a gyorsprototípus-vizsgálatokra. Emellett a beágyazott kódok automatikusan generálhatók.

A villamos gépek LPM típusú modelljei jól ismert korlátokkal rendelkeznek. Ezek a modellek elhanyagolnak számos másodlagos hatást, például a vasvesztést, a különböző horonyhatásokat, valamint a mágnesezési görbék nemlinearitását. Az említett másodlagos hatások azonban kihasználhatók például fordulatszám-érzékelő nélküli becsléshez és irányításhoz, ahogyan azt a [2] is tárgyalja. A geometriai és anyagi tulajdonságok figyelembevételére a villamos gépek esetében széles körben alkalmaznak végeselemes (Finite Element Method - FEM) modelleket. Jó példa erre a [3] és [4], ahol FEM-alapú hibaérzékelési módszerek kerülnek bemutatásra, a [5] és [6] pedig állandó mágneses szinkronmotorok és kapcsolt reluktanciamotorok optimalizálását mutatják be. Mindazonáltal a FEM modellek alkalmazása a villamos hajtások irányítási algoritmusainak fejlesztéséhez jelenleg kevésbé elterjedt a megnövekedett számítási idő miatt. A szakirodalomban csak kevés olyan munka található, amely a FEM-et erre a célra használja. Ilyen tanulmányok például a [7] és a [8].

Ebben a cikkben egy aszinkron gép FEM elvű és LPM villamos modelljének összehasonlító vizsgálata látható. Ehhez egy olyan keretrendszer kerül bevezetésre, amely összekapcsolja a MATLAB/Simulink és JMAG szoftvereket. A javasolt keretrendszer amellett, hogy lehetővé teszi a modellek összehasonlítását, jól alkalmazható olyan irányítási módszerek fejlesztéséhez, amelyek az LPM modellben elhanyagolt, de a FEM modell esetén rendelkezésre álló tulajdonságokat használják ki. Ilyen alkalmazások például a gép anizotróp tulajdonságait kihasználó forgójeladó nélküli becslési és irányítási módszerek. Emellett ez a keretrendszer lehetővé teszi a gép és az irányítási algoritmus együttes fejlesztését is.

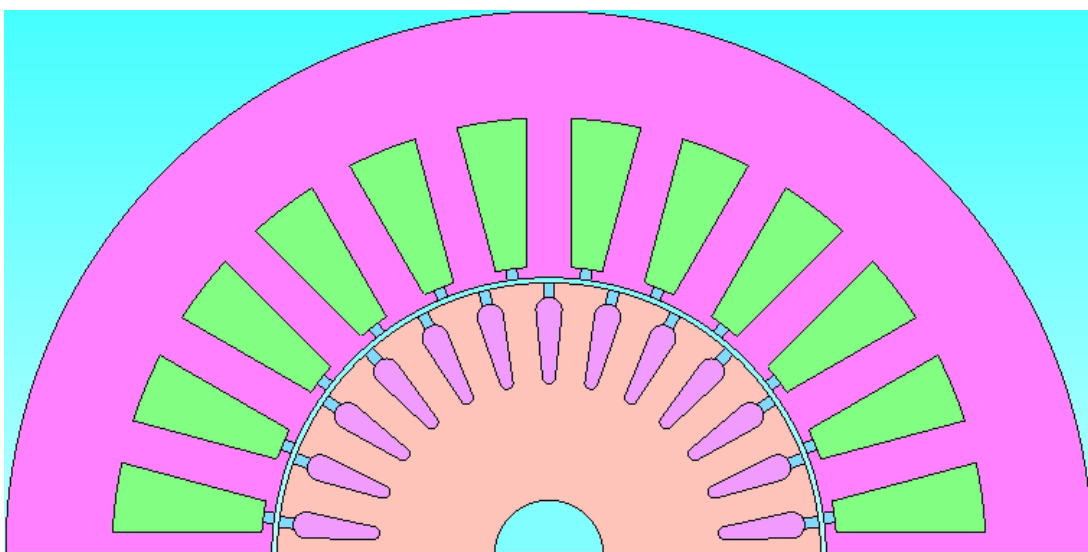
2. A keretrendszer felépítése

Az alkalmazott keretrendszerben a hajtás szimulációs modellje két fő részből, az irányítási algoritmusból és a motormodellből áll. Utóbbi tovább bontható villamos és mechanikai részmodellre. A mechanikai rendszerleírás mindkét esetben koncentrált paraméterű, azonban a villamos részmodell lehet LPM vagy FEM modell. A FEM modell JMAG szoftverben épül fel, így az alkalmazott keretrendszer összekapcsolja a Simulink és JMAG szoftvereket.

A szoftverek összekapcsolásáról részletes leírás a [9] tanulmányban olvasható. Az irányítás kimenete a villamos gép gerjesztőfeszültsége. A villamos részmodell további bemenete a forgórész szögelfordulása, amelyet a mozgásegyenlet határoz meg a villamos nyomaték, a terhelőnyomaték és a mechanikai paraméterek alapján. Ily módon a villamos és a mechanikai modell együtt írja le a gép viselkedését.

2.1. A FEM modell

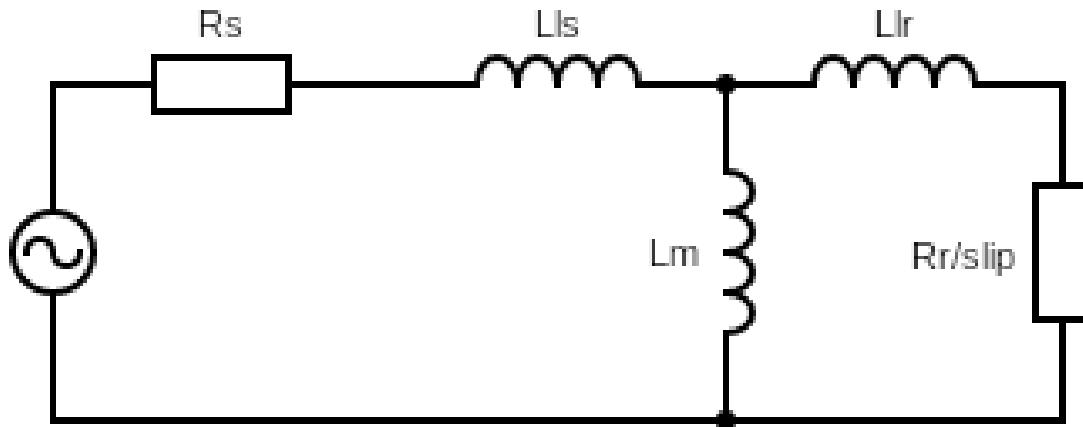
A szimulációs vizsgálatokhoz implementált aszinkronmotor-modell egy belső forgórészű, elosztott tekercselésű, kalickás forgórészű, 2 póluspárral rendelkező, 1 kW névleges teljesítményű villamos gép. A motor JMAG környezetben implementált FEM-modellje az 1. ábrán látható, amelynek rövidzárási és üresjárási szimulációs vizsgálatai alapján kerültek meghatározásra az LPM paramétere.



1. ábra: A FEM motormodell (saját szerkesztés)

2.2. Az LPM modell

A koncentrált paraméterű villamos modell helyettesítő áramkörü leírást használ a villamos gép villamos viselkedésének leírásához. Ez a helyettesítő áramkör a 2. ábrán látható.



2. ábra: A helyettesítő áramkör (saját szerkesztés)

A 2. ábra jelölései a következők. R_s az állórészellenállás (azaz az állórész tekercselés fázisellenállása), L_{ls} az állórész szórási induktivitása, R_r a forgórészellenállás, L_{lr} a forgórész szórási induktivitása és L_m a kölcsönös induktivitás. Ezeknek a paramétereknek az azonosításához egy terhelés nélküli, és egy rögzített forgórészes tesztet kell elvégezni, ahogy az a [10] tanulmányban is látható. A két vizsgálat alapján azonosított paraméterek értéke $7,21 \Omega$ állórészellenállás mellett a 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat: Az LPM modell paraméterei (saját szerkesztés)

<i>Paraméter</i>	<i>Érték</i>
R_r	$12,17 \Omega$
L_{ls}	$52,7 \text{ mH}$
L_{lr}	89 mH
L_m	$991,1 \text{ mH}$

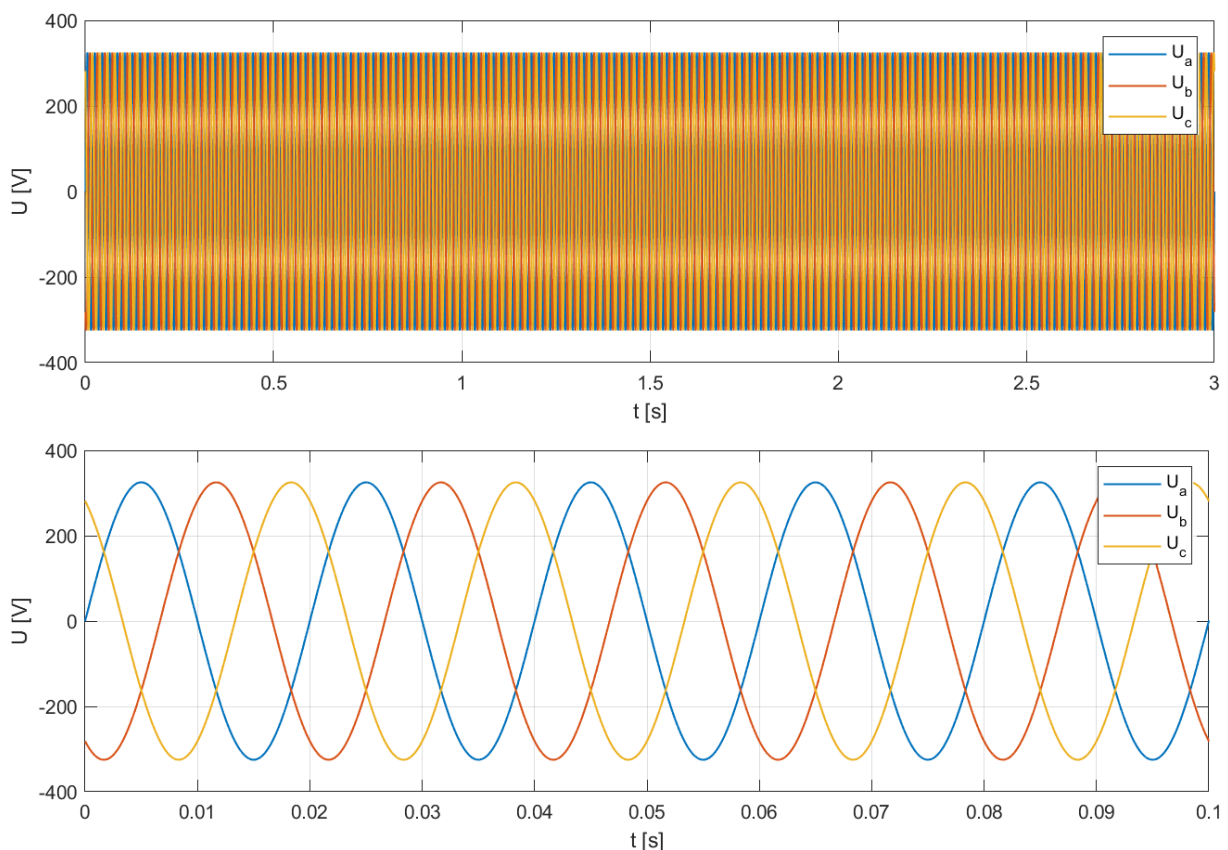
3. A két modell szimulációs összehasonlító vizsgálatának eredményei

A két modell két különböző esetben kerül összehasonlításra. Első esetben állandó amplitúdójú és frekvenciájú a gerjesztőfeszültség, míg a második esetben ez a két érték folyamatosan nő, mialatt az arányuk állandó maradt. Utóbbi a nyílt láncú V/f skaláris irányítás.

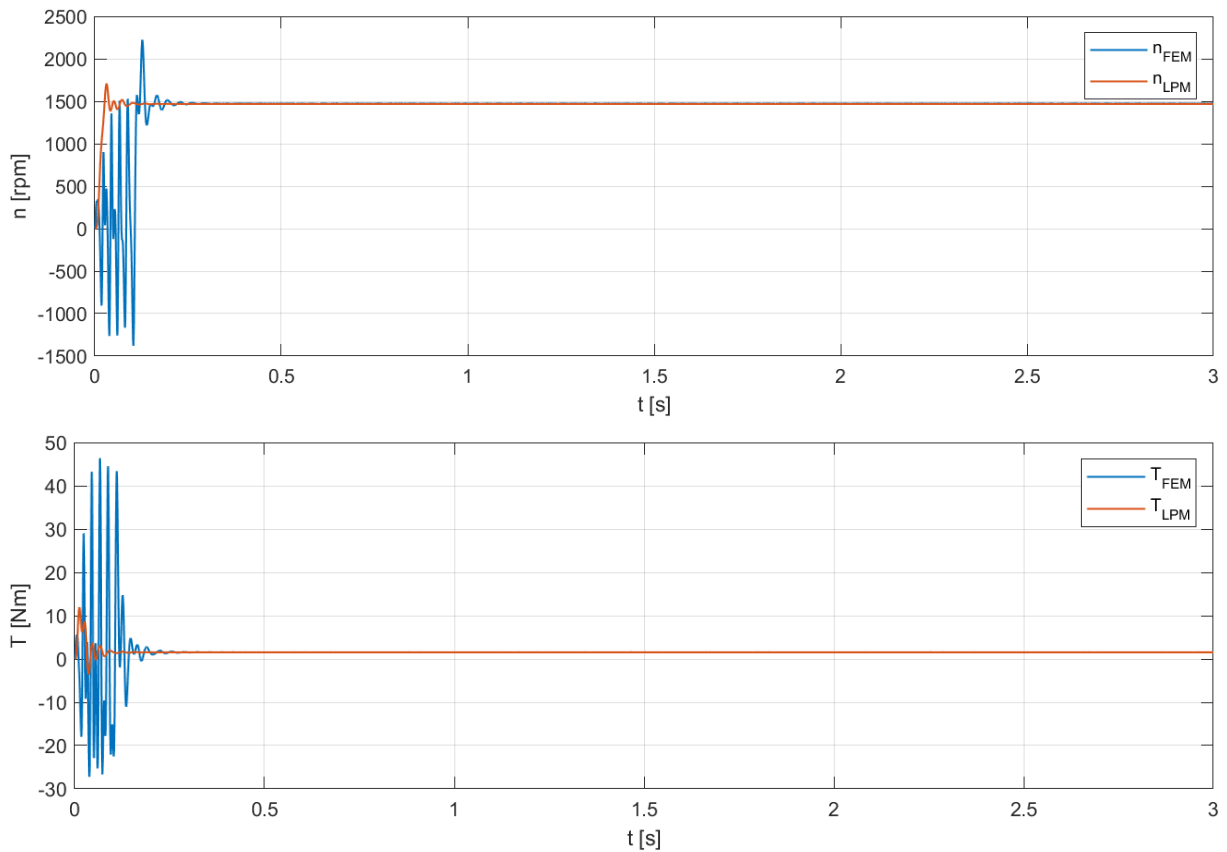
3.1. Az állandó amplitúdójú és frekvenciájú gerjesztéshez tartozó eredmények

A fázisonkénti gerjesztőfeszültség effektívértéke 230 V, míg a frekvenciája 50 Hz, ahogy az 5. ábrán is látható. A szimulációs idő 3 s.

A szimuláció során kialakult fordulatszám a 6. ábra felső, a kialakult nyomaték pedig az alsó részén látható. Az eredmények azt mutatják, hogy a FEM modell jóval nagyobb kezdeti tranzienssel rendelkezik, de az állandósult állapotban az értékek közel azonosak. A FEM modell esetén ezek az értékek 1474 rpm és 1,544 Nm, az LPM modellnél pedig 1468 rpm és 1,538 Nm, azaz a különbségek fél százalék alattiak.



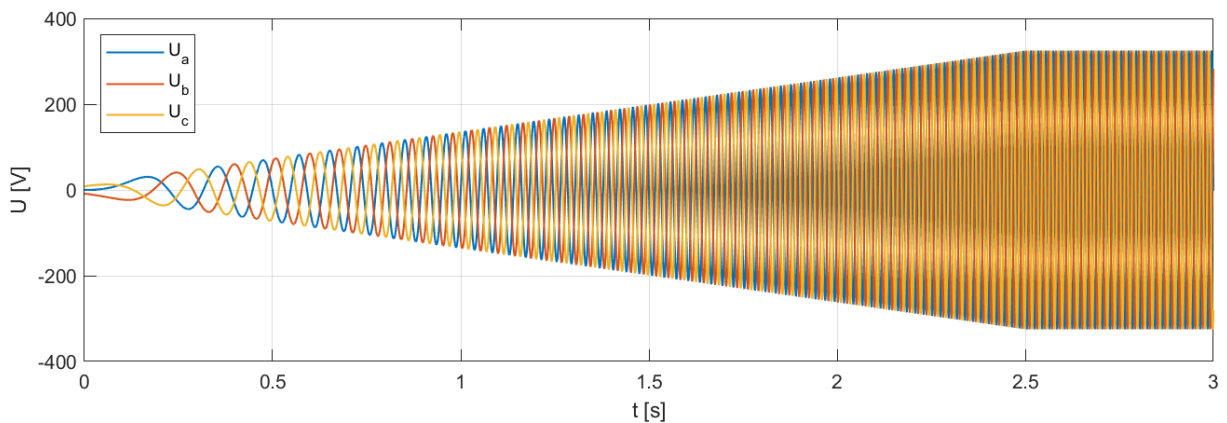
3. ábra: Az állandó amplitúdójú és frekvenciájú gerjesztés (saját szerkesztés)



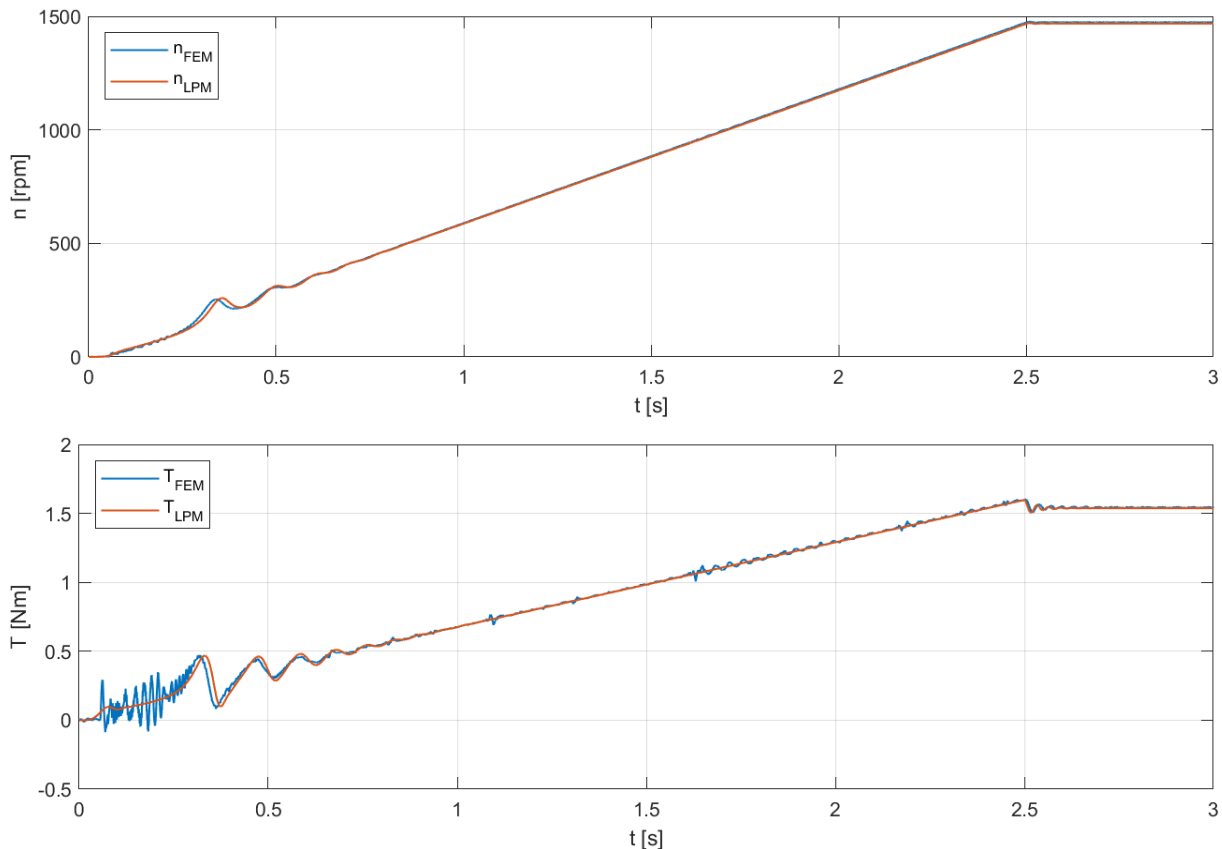
4. ábra: A fordulatszám és a nyomaték állandó amplitúdójú és frekvenciájú gerjesztés esetén (saját szerkesztés)

3.2. A változó amplitúdójú és frekvenciájú gerjesztéshez tartozó eredmények

A második vizsgálat során a gerjesztőfeszültség effektívértéke 10 V-ról 230 V-ra nő, míg frekvenciája ezzel arányosan 0 Hz-ről 50 Hz-re nő, ahogy a 5. ábrán látható. A szimulációs idő 3 s, amiből az utolsó 0,5 s már állandósult állapot.



5. ábra: A változó amplitúdójú és frekvenciájú gerjesztés (saját szerkesztés)



6. ábra: A fordulatszám és a nyomaték változó amplitúdójú és frekvenciájú gerjesztés esetén (saját szerkesztés)

A szimuláció során kialakult fordulatszám a 6. ábra felső, a kialakult nyomaték pedig az alsó részén látható. Ebben az esetben már nem volt akkora kezdeti transziens eltérés a két modell között. Az állandósult állapotban az értékek azonban itt is közel azonosak, pontosan megegyeznek az előző teszt értékeivel.

4. Összegzés

Az eredmények alapján látható, hogy mindkét modell alkalmas az aszinkron gép viselkedésének leírására, azonban az LPM modell alkalmazása nem elégséges azokban az esetben, amikor a nyomatéklüktetésnek jelentős szerepe van. Ilyen esetekben mindenképpen a FEM modell alkalmazása célszerű. Bár a FEM modell számítási igénye jelentősen nagyobb, mint a koncentrált paraméterű modellé, de olyan további hatások is figyelembe vehetők, mint például a vasvesztés vagy a horonyhatások.

5. Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

Irodalomjegyzék

- [1.] K. Horváth, M. Kuslits, S. Lovas: Model-based control algorithm development of induction machines by using a well-defined model architecture and rapid control prototyping, *Electrical Engineering* (2020), vol. 102, pp. 1103–1116.
- [2.] J. Holtz: Sensorless control of induction motor drives, *Proceedings of the IEEE* (2002), vol. 90, pp. 1359-1394.
- [3.] J. Faiz, B. M. Ebrahimi, B. Akin, H. A. Toliyat: Finite-element transient analysis of induction motors under mixed eccentricity fault, *IEEE Transactions on Magnetics* (2008), vol. 44, pp. 66-74.
- [4.] G. Istenes, K. Horváth: FEM-based analysis of induction machine broken rotor bar detection using extended Kalman filter, *Proceedings of 23rd International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA) Bourgas, Bulgaria* (2024), pp. 1-4.
- [5.] F. Parasiliti, M. Villani, S. Lucidi, F. Rinaldi: Finite-element-based multiobjective design optimization procedure of interior permanent magnet synchronous motors for wide constant-power region operation, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (2012), vol. 59, pp. 2503-2514.
- [6.] C. Ma, L. Qu: Multiobjective optimization of switched reluctance motors based on design of experiments and particle swarm optimization, *IEEE Transactions on Energy Conversion* (2015), vol. 30, pp. 1144-1153.
- [7.] M. Pucci, C. Serporta: Finite-element analysis of rotor slotting saliency in induction motors for sensorless control, *IEEE Transactions on Magnetics* (2010), vol. 46, pp. 650-653.

- [8.] D. Marcsa, M. Kuczmann: Design and control for torque ripple reduction of a 3-phase switched reluctance motor, Computers & Mathematics with Applications (2017), vol. 74, pp. 89-95.
- [9.] G. Istenes, K. Horváth: Control algorithm development of electrical drives by using finite element model in connected MATLAB/Simulink and JMAG framework, Proceedings of 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA) Varna, Bulgaria (2023), pp. 187-190.
- [10.] S. Jurkovic: Induction motor parameters extraction, Educyclopedia-Electronics (2014), p. 2.

Elektromos és hibrid járművek akkumulátorainak a vizsgálati lehetőségei

Battery testing opportunities for electric and hybrid vehicle

Kocsis Szürke Szabolcs^a, Sütheő Gergő^b, Lőrincz Illés^a

^a9026 Győr, Egyetem tér 1/Széchenyi István Egyetem/ Közúti és Vasúti Járművek Tanszék

kocsis.szabolcs@ga.sze.hu; lorinczi@ga.sze.hu

^b8900 Zalaegerszeg, Dr. Michelberger Pál utca. 3/Széchenyi István Egyetem/ Zalaegerszeg Innovation Park

sutheo.gergo@ga.sze.hu

Absztrakt

Az elektromos és hibrid autók értékesítésének növekedésével párhuzamosan az akkumulátoros rendszerek száma is jelentősen növekszik. A különböző járművek eltérő típusú, számú és kialakítású akkumulátor rendszert használnak. Továbbá a vezérlő- és védelmi elektronikai egységek elrendezése és működése is eltérő lehet. A kutatás célja egy olyan megközelítés kidolgozása, amely képes azonosítani és lokalizálni az akkumulátor rendszer celláinak gyengébb elemeit. Az algoritmust három különböző VW e-Golf elektromos jármű akkumulátorrendszerén lett vizsgálva, ahol minden egyes jármű esetében komplex kisütési teszt került végrehajtásra. Az elemzés az egyes cellák átlagfeszültségtől való eltéréseit elemezte. A tesztek 0 mV, 12 mV, 60 mV, 120 mV és 240 mV eltérésekre terjedtek ki. Az eredmények súlyozott átlagolás segítségével kerültek kiértékelésre, amely segítségével a rendszerben lévő gyengébb cellák kijelölhetővé váltak. A megközelítés előnye, hogy a módszer viszonylag egyszerűen adaptálható más típusú járműrendszerekre is. Továbbá autonóm járművek számára is hasznos kiegészítő lehet, mivel alacsony energiafogyasztás mellett képes a rendszerben lévő cellák önellenőrzésére.

Kulcsszavak: akkumulátor rendszer, dinamikus tesztelés, hibás cella keresés, állapotfelmérés.

Abstract

As electric and hybrid car markets grow, battery systems also increase significantly. Different vehicles use different types, numbers, and designs of battery systems. Furthermore, the control and protection electronics' layout and operation may also differ. This research aims to develop an approach to identify and localize the weakest elements of battery systems. The algorithm was tested on the battery systems of three different VW e-Golf electric vehicles, where a complex discharge test was performed for each vehicle. The analysis analyzed the deviation of each cell from the average voltage. The tests covered deviations of 0 mV, 12 mV, 60 mV, 120 mV, and 240 mV. The results were evaluated using weighted averaging, which allowed the weaker cells in the system to be selected. The advantage of this approach is that it is relatively easy to adapt to other types of vehicle systems. Furthermore, it can be a useful addition for autonomous vehicles, as it can self-monitor the cells in the system at low power consumption.

Keywords: battery system, dynamic testing, faulty cell detection, State of Health.

1. Bevezetés

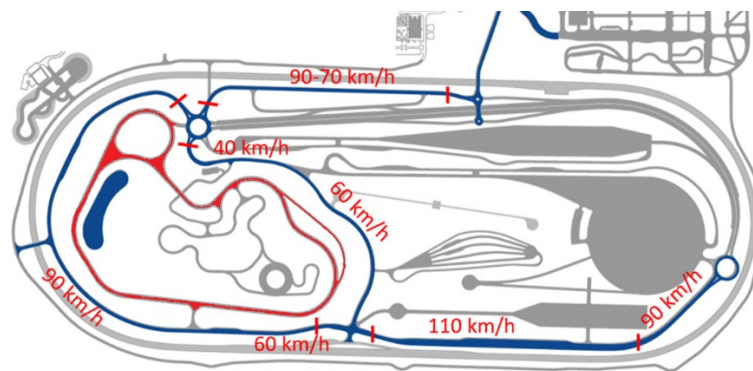
A különböző elektromos járművek terjedése jelenleg aktuális trend [1]. A lítium bázisú akkumulátorok egyre nagyobb teret hódítanak [2]. A li-ion akkumulátorok tesztelése, állapotának diagnosztizálása és modellezése közkezdvelt téma [3]. Ideális körülmények között használva is idővel elhasználódnak. Számatalan típusú, kialakítású és állapotú akkumulátor van jelenleg forgalomban. Magyarországon a használt autó piac miatt egyre több elhasználódott akkumulátor várható. Tesztelési szempontból ezek lehetnek rendszerszintű tesztelések és cella szintű vizsgálatok. A rendszerszintű esetben a cél a megbontás nélküli vizsgálatok végzése, amely még kellő pontossággal és gyorsasággal képes az állapotfelmérésre és a gyengébb cellák kijelölésére [4-6]. A cella szintű vizsgálatok során már több lehetőség adódik az állapotfelmérésre, kezdve a kapacitás teszttől, a dinamikus vizsgálatokon át, az elektromos impedancia spektroszkópiáig [7]. Továbbá manapság CT [8] és DIC [9] technológiák segítségével is vizsgálnak akkumulátorokat, a pontos állapotfelmérés elérésének az érdekében. A cikkben bemutatott módszer a rendszerszintű vizsgálatok csoportjába tartozik, amely során magas töltöttségi szintről (90 % ról) 10 %-ra meríteni a jármű energiatároló egységét és megvizsgálni, hogy mely cellák gyengébbek a rendszerben. A tesztek mérési módszere a második fejezetben, a harmadikban pedig a számítási módszerek kerülnek ismertetésre. A mérési eredmények a negyedik, a hibás cellát kereső algoritmus pedig az ötödikben került bemutatásra. A hatodik fejezet pedig összegzi az elért eredményeket.

2. Mérési módszerek

A vizsgálatokhoz felhasznált Volkswagen e-Golf második generációs akkumulátor rendszere összesen 35,8 kWh kapacitással rendelkezik. A Samsung SDI-vel szerelt Lítium-Nikkel-Mangán-Kobalt cellák névleges feszültsége 3,665 V. A cellák hármasával párhuzamos kapcsolással, a hármas egységek pedig egymással soros kapcsolásban vannak összekötve. A teljes akkumulátorcsomagban tehát a 88 db hármas blokk sorba kapcsolásával 325 V (88s3p mintázatban) névleges feszültséggel rendelkezik. A diagnosztikai mérések során 120 db különböző jelet lehet rögzíteni az e-Golf nagyfeszültségű akkumulátorával kapcsolatosan a jármű CAN kommunikációs hálózatáról, amelyek a következők: rendszer feszültség [V]; rendszer pillanatnyi áramerősség [A]; 88 db cellafeszültség [V]; 27 db modul hőmérséklet [°C]; töltöttségi szint [%]; jármű sebesség [km/h]; GPS sebesség [km/h]. Az adatok rögzítése során

a CAN kommunikációs hálózatról kerül összegyűjtésre az előre definiált adatok, az erre a célra alkalmas CAN protokoll alapú mérőrendszer segítségével. Amely a következők alapján áll össze: Kvaser Memorator R SemiPro CAN USB interfész (Möln dal, Sweden); AEM 30-2206 VDM GPS & gyorsulásmérő szenzor (Hawtrone, CA, USA); 120 Ω ellenállás (Palmdale, CA, USA); ELM-327 OBDII csatlakozó (London, ON, Canada).

Az elvégzett tesztek során 5 különböző akkumulátor diagnosztikai vizsgálat készült el, összesen 3 Volkswagen e-Golf tekintetében. Az 1-2. (T1) teszt és a 3-4. (T2) teszt párban lett elvégezve a jobb összehasonlíthatóság érdekében, míg az 5. teszt (T3) egy platooning mérés keretében készült, más típusok összehasonlítása mellett. A tesztben szereplő személyautók azonosítói a következők: e-Golf_1 - Test_01, Test_02, Test_03; e-Golf_2: Test_01; e-Golf_3: Test_02. A ZalaZONE Automotive tesztpálya látható a következő 1. ábrán:



1. ábra: ZalaZONE Automotive tesztpálya - Vidéki út (kék) - Kezelési pálya (piros) (saját szerkesztés)

A T1 tesztenapon az e-Golf_1 és a e-Golf_2 személygépjárművek voltak használva. A mérések a ZalaZONE járműipari tesztpálya – Rural Road (1. ábra kézzel jelölve) szakaszán lett elvégezve. A mérőrendszer beállítása és a felvett értékek mindkét személygépkocsi esetében azonosak voltak. Fontos megjegyezni, hogy a különböző elemeken eltérő sebességhatárolások vannak érvényben, így szimulálva a valós közúti forgalmat. A T2 tesztenapon az e-Golf_1 és e-Golf_3 személygépkocsikon a ZalaZONE - Handling pályán (1. ábra pirossal jelölve) teljes merülési tesztek végeztek, szintén páros elrendezésben. A Test_03 esetben csak az e-Golf_1-et vetették alá teljes merülési tesztnek, amelyet más autótípusokkal együtt végeztek el egy szakaszos teszt részeként. Az alkalmazott pályaelem a Rural Road (1. ábra kézzel jelölve) volt.

3.Számítási módszerek

Az adatok feldolgozása után az egyes tesztek eredménye külön-külön került vizsgálatra. A cél egy olyan algoritmus kidolgozása volt, amely képes a rendszerfeszültségekből a leggyengébb cellát felismerni és lokalizálni. Erre a célra egy feszültségeltérés-alapú megoldás került kidolgozásra. Első lépésben a teljes vizsgált tartomány: 4.2 V és 3 V közötti, az eltérések mértéke: 0 mV (0%), 12 mV (1%), 60 mV (5%), 120 mV (10%), 240 mV (20%) került meghatározásra. A nagyobb feszültségű eltérések nagyobb súlyozási tényezőt kapnak az összesítés során. Két megközelítés került alkalmazásra, egyrészt az átlag feszültségtől való eltérése (későbbiekben: AVC), másrészt pedig, a mozgó átlag feszültség számítási módszer (későbbiekben: MAVC). Az első megközelítés szerint, minden mérési időpontban: t kiszámításra kerül az átlagos feszültség: \bar{V}_t , N cella esetében:

$$\bar{V}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{it} \quad (1)$$

, ahol V_{it} feszültség az i -ik cella értéke, a t időpillanatban. Ezek után az átlag feszültség értéke csökkentésre kerül egy előre meghatározott ΔV értékkel (pl. 0,012 V, 0,060 V, 0,120 V, 0,240 V):

$$\bar{V}'_t = \bar{V}_t - \Delta V \quad (2)$$

, ahol a csökkentett küszöbfeszültség értéke \bar{V}'_t . Az eltérések újraértékelése a csökkentett egyszerű átlag alapján történik:

$$D_{it} = \begin{cases} 1, & \text{ha } |V_{it} - \bar{V}'_t| > 0 \\ 0, & \text{különben} \end{cases} \quad (3)$$

, ahol D_{it} egy bináris érték és 1, ha az érték eltér az átlagtól. A második megközelítés során mozgóátlagolás került felhasználásra. Az egyes időpontok mozgóátlaga t az előző, az aktuális és a következő időpontok átlagának kiszámításával történik:

$$MA_t = \frac{1}{3} (\bar{V}_{t-1} + \bar{V}_t + \bar{V}_{t+1}) \quad (4)$$

, ahol MA_t az új cellafeszültség érték, amely az előző, az aktuális és a következő feszültségértékektől függ. Az eltérések kiértékelése az előzővel megegyező módon történik. Az elemzés következő lépése a súlyértékek meghatározása volt, amelyhez a négyzetgyök-transzformációs súlyozás került felhasználásra. A különböző eltéréseket nem célszerű egyenlő arányban súlyozni a súlyok kiválasztásakor. A jelentősebb eltérések nagyobb súlyokat kaptak, de korlátozni is kell, hogy egyes értékek ne, hogy túlzottan domináljanak.

A következő lépés az átalakított súlyok meghatározása volt a következő képlet segítségével:

$$\omega(V_{diff}) = \sqrt{V_{diff} + 1} \quad (5)$$

, ahol V_{diff} a feszültségeltérés (mV-ban), és az 1 (minimális érték hozzáadása) biztosítja a súlyértéket 0 mV-os eltérés esetén is. Az így kapott súlyok újra normalizálásra kerültek a következő megfontolás szerint:

$$\omega_{norm}(V) = \frac{\omega(V)}{\sum \omega(V)} \quad (6)$$

, ahol $\omega(V)$ az egyes transzformált súlyok, és $\sum \omega(V)$ a súlyoknak az összege.

Az eltéréseket külön-külön kerültek összegzésre minden egyes ΔV értékre, megfelelő súlyokat alkalmazva ($\omega_{\Delta V}$). Az egyes cellák súlyozott összege i és az eltérés ΔV a következő képlet segítségével került kiszámításra:

$$S_{i\Delta V} = \sum_t \omega_{\Delta V} \cdot D_{it} \quad (7)$$

, ahol $\omega_{\Delta V}$ a súly, amely az adott ΔV értéknél (pl. 0,026, 0,093, 0,201, 0,282 és 0,399).

4. Mérési eredmények

A vizsgálatok során a Volkswagen e-Golf járművek akkumulátor rendszere került tesztelésre az SoC tartomány teljes skáláján. E célból három különböző jármű került felhasználásra, összesen öt teljes lemerítési cikluson vizsgálva. Elemzés tárgyát képezték az egyes cellák átlag feszültségektől való eltéréseinek megfigyelése. A következő 1. táblázatban az elvégzett tesztek során kapott főbb viszonyítási értékek láthatóak:

1. táblázat: Alapértékek a vizsgálatok szerint (saját szerkesztés)

Jármű	SOC_Start [%]	Sebesség_AVR [km/h]	Idő [s]	Energia [Wh]
e-Golf 1	94.00	68.48	8897	24897
e-Golf 2	94.80	68.37	8178	34039
e-Golf 1	86.00	75.33	5170	24897
e-Golf 3	83.60	73.81	5235	22835
e-Golf 1	95.20	68.16	8548	27843

Az 1. táblázatban az öt teszt értékeléséhez szükséges alapértékek láthatók. Az 1., 2. és 5. esetben magasabb volt az alaptöltési szint (kb. 95%), az átlagsebesség három esetben ~68 km/h, két esetben pedig ~74 km/h volt. A Test_01 és a Test_02 páros összehasonlításában, közel azonos

körülmények között, egyidejűleg végzett tesztben a pályán eltöltött idő a Test_02-ben használt járművel volt hosszabb. Ennek oka lehet, hogy bár az autók beszerzése (vásárlása) közel azonos módon történt, a Test_01 során használt járművek több kilométert futottak. A Test_03 és Test_04 párokat (a mérést egy időben került elvégzésre) figyelembe véve az átlagsebesség ebben az esetben magasabb volt, mint az első mérési párban. A vizsgálat idején megfigyelhető, hogy bár a Test_4 hosszabb ideig tartott, és a felhasznált energia kevesebb volt. Ennek oka, hogy a teszt végén a Test_4 vizsgálatához használt jármű lelassult (lassabb köridők), ami az átlagsebességben is megmutatkozik. A Test_05, Test_01 és Test_03 vizsgálatokat ugyanazzal a járművel történt. A rendelkezésre álló energia nagyobb volt, de a mérés magasabb SoC-szintről indult. A többi esethez képest a lemerült energia megközelítőleg arányos volt a töltési szinttel és az átlagos terheléssel.

5. A hibás cella felismerése és lokalizálása az akkumulátor rendszerben

Az eljárás során a rendszer összes sorba kapcsolt cellája monitorozásra került. A mérések elvégzése és feldolgozása után a következő lépés a kiértékelés volt. A 2. táblázat mutatja a különböző mérések eltéréseit az átlag feszültségtől.

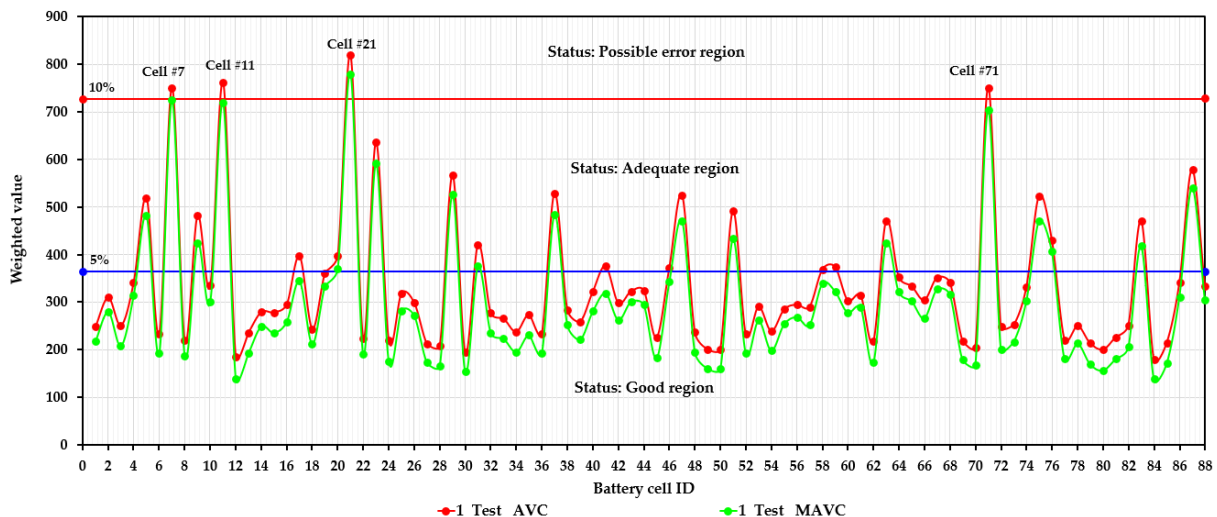
2. táblázat: A különböző mérések eltérései az átlagos feszültségtől (saját szerkesztés)

DIFF	Test_01	Test_02	Test_03	Test_04	Test_05
0mV AVC	282.060	257.785	124.328	1.063.835	287.607
0mV MAVC	282.060	257.438	124.485	1.082.770	284.751
12mV AVC	135.753	112.844	56.394	698.301	108.992
12mV MAVC	116.865	112.502	44.281	125.641	95.146
60mV AVC	30.587	17.482	9.120	34.768	8708
60mV MAVC	22.927	17.140	4.116	28.082	6054
120mV AVC	7.146	3.960	2.019	7.733	703
120mV MAVC	4.167	3.618	638	5.293	310
240mV AVC	259	796	115	1.099	8
240mV MAVC	84	454	16	218	2

A 2. táblázat a különböző határértékeknél vizsgált eltérések teljes számát mutatja az összes mérés esetében. Az első oszlop a vizsgálati kritériumokat mutatja. A második, harmadik, negyedik és ötödik oszlop a különböző tesztek értékeit ábrázolja. A táblázat sorai az eltérések számát mutatják. Azokban a sorokban, ahol az első oszlopban a MAVC-érték szerepel, a mozgóátlag-módszer lett alkalmazva; egyébként az átlagtól való eltérés. Az egyes és az ötödik

mérés közötti összehasonlítások a leglényegesebbek, hasonló SoC-szintekről indulva, és a jármű is ugyanaz volt. A 0 mV-os esetben az eltérések száma majdnem azonos volt, de 12 mV-nál megfigyelhető volt, hogy az ötödik vizsgálatban kevesebb volt. A 60 mV, 120 mV és 240 mV esetében az ötödik tesztben sokkal kisebb értékek figyelhetők meg, mint az elsőben. Ennek az lehet az oka, hogy Test_01-ben az áramváltozások átlagosan jelentősebbek és változékonnyabbak, amely alapján a jármű dinamikusabb terhelésnek volt kitéve (jelentősebb terhelés ingadozás) a Test_01 vizsgálatban.

Az értékelés következő lépése az volt, hogy minden egyes teszt cellánként lett elvégezve, és az eredmények súlyozással összesített formában lettek bemutatva. A 2. ábra az első mérés elemzését mutatja:



2. ábra: Az első teszt súlyozott eredményei (saját szerkesztés)

A 2. ábrán az első mérés során kapott eredmények súlyozott átlaga látható. A vízszintes tengelyen az akkumulátor ID értéke látható, a függőleges tengelyen pedig az eltérések száma. Az eredmények megjelenítése során piros színnel az átlag érték szerinti összegzés látható, zöld színnel pedig a mozgóátlag felhasználásával kapott értékek. Az ábrán piros vonal felett láthatóak a kritikus értékek, amelyet a cellánkénti mintavételezett érték 10 %-ban lett meghatározva. Ami annyit jelent, hogy minden celláról megközelítőleg 7200 adat érkezett és ha a súlyozott eltérés 10 %-ban eltért az átlagfeszültségtől, akkor az kritikusnak lett jelölve. Az 5 %-ban való eltérés vízszintes kék vonallal került jelölésre. Az első jármű esetében a kritikus akkumulátorok a következők: ID 7, ID 11, ID 21, ID 71. A 4. táblázatban lettek összefoglalva azok a cellák, amelyek az öt mérés bármelyikében a hibás kategóriába kerültek:

3. táblázat: A kritikus cellák azonosítása és elemzése az öt tesztben (saját szerkesztés)

Test_NO	Módszer	Cella #7 [%]	Cella #11 [%]	Cell #21 [%]	Cell #71 [%]
Test_1	AVC	10.32	10.47	11.25	10.31
	MAVC	9.95	9.89	10.72	9.68
Test_2	AVC	8.43	8.82	8.07	9.67
	MAVC	8.39	8.76	8.00	9.61
Test_3	AVC	13.50	11.23	10.70	13.49
	MAVC	12.30	10.04	9.33	12.20
Test_4	AVC	12.63	14.06	12.46	13.32
	MAVC	11.90	13.34	11.72	12.49
Test_5	AVC	6.91	7.83	7.70	8.43
	MAVC	6.59	7.37	7.29	7.93

A 3. táblázat az egyes mérések lehetséges hibahatárán belüli cellákat mutatja. Fontos megjegyezni, hogy 3 különböző állapotú jármű adatai kerülnek bemutatásra, így az összehasonlítás inkább az azonos típusú jellemzők elemzésére alkalmas. A táblázat első oszlopa a mérések számát, a második oszlop pedig az eltérés vizsgálatára használt módszert, az AVC-t és a MAVC-t mutatja. A következő hat oszlop a kiemelt cellákat mutatja azonosítónként. Az eltérések %-ban súlyozott átlagban vannak kifejezve, és a teljes kisülési időre vonatkoznak. A 10 %-os eltérés egy lehetséges hibakategória, az 5 %-os pedig még mindig egy megfelelő régió. Ez azt jelzi, hogy a cellák nem érték el a jó régiót. Ugyanakkor nem minden esetben esnek a hibás régióba. A leggyakrabban a hibás kategóriába tartozó cellák az ID 7, az ID 11, az ID 21 és az ID 71 cellák.

6. Összegzés

Ez a cikk három különböző elektromos járműakkumulátor-rendszer diagnózisát ismerteti. Mindhárom járművön teljes merítési tesztet végeztek, hogy értékelni lehessen az állapotukat. Ez azt jelenti, hogy a járműveket magasan feltöltött állapotban indították el, és addig használták őket a tesztpályán, amíg az akkumulátorok le nem merültek. Az értékeléshez a teljes töltöttségi szinttartományban hibaérzékelő és lokalizációs algoritmus lett alkalmazva. Az elemzések a cellafeszültségek átlagtól való eltéréseit vizsgálta, lefedve a 0 mV, 12 mV, 60 mV, 120 mV és 240 mV értékeket. Az eredményeket részletesen elemezve az algoritmus segítségével azonosítva lettek a gyengébbnek tűnő cellák. Fontos megjegyezni, hogy a három járművel lett mérés végezve, így pontos következtetéseket nem lehet levonni. Ezek az adatok azonban

iránymutatást nyújtanak, és hasznosak lehetnek a további diagnosztikai lépésekhez. A jelenlegi mérés során a piros vonal, azaz a potenciálisan hibás tartomány többnyire az ID 7, ID 11, ID 21 és ID 71 tartományokat érintette. Ez nem feltétlenül jelzi a hibát, hanem gyengébb vagy gyorsabban öregedő (érzékenyebb) akkumulátorra is utalhat. Ennek megerősítéséhez további, több járművel végzett mérésekre van szükség. A különböző járműtípusok esetében nem biztos, hogy az adaptáció pontosan ugyanaz, mivel az akkumulátor-rendszerek eltérőek. A cél egy egyszerű, de hatékony megközelítés kidolgozása az akkumulátor-diagnosztika elvégzésére kevesebb számítási erőforrással. Ez a módszer potenciális lehetőségeket rejt magában az energiagazdálkodásban és a járművek akkumulátor állapotának nyomon követésében, de jelenleg inkább egy kutatási projekt stádiumában van. Az olyan biztonságkritikus rendszerek, mint a BMS vezérlése, változatlanok maradtak; a kutatás az adatgyűjtésre és annak elemzésére összpontosított. Az akkumulátorok állapotával (SoH) és az eltérésekkel kapcsolatos további munkához több adatra és különböző állapotú akkumulátorrendszerek elemzésére lesz szükség.

7. Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

Irodalomjegyzék

- [1.] Ehsani, M.; Singh, K.V.; Bansal, H.O.; Mehrjardi, R.T. State of the Art and Trends in Electric and Hybrid Electric Vehicles. Proceedings of the IEEE 2021, 109, 967–984, doi:10.1109/JPROC.2021.3072788.
- [2.] Kwade, A.; Haselrieder, W.; Leithoff, R.; Modlinger, A.; Dietrich, F.; Droeder, K. Current status and challenges for automotive battery production technologies. Nature Energy 2018, 3, 290–300. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0130-3>.
- [3.] Yin, L., Geng, Z., Chien, Y. C., Thiringer, T., Lacey, M. J., Andersson, A. M., & Brandell, D. (2022). Implementing intermittent current interruption into Li-ion cell modelling for improved battery diagnostics. Electrochimica Acta, 427. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.140888>

- [4.] Remmlinger, J.; Buchholz, M.; Meiler, M.; Bernreuter, P.; Dietmayer, K. State-of-Health Monitoring of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles by on-Board Internal Resistance Estimation. *J Power Sources* 2011, 196, 5357–5363, doi:10.1016/j.jpowsour.2010.08.035.
- [5.] Kortenbruck, G.; Jakubczyk, L.; Nowak, D.F. Voltage Signals Measured Directly at the Battery and via On-Board Diagnostics: A Comparison. *Vehicles* 2023, 5, 637–655, doi:10.3390/vehicles5020035.
- [6.] Szürke, S.K.; Sütheö, G.; Apagyí, A.; Lakatos, I.; Fischer, S. Cell Fault Identification and Localization Procedure for Lithium-Ion Battery System of Electric Vehicles Based on Real Measurement Data. *Algorithms* 2022, 15, doi:10.3390/a15120467.
- [7.] Yin, L.; Geng, Z.; Chien, Y. C.; Thiringer, T.; Lacey, M. J.; Andersson, A. M.; Brandell, D. Implementing intermittent current interruption into Li-ion cell modelling for improved battery diagnostics. *Electrochimica Acta* 2022, 427, 140888. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.140888>.
- [8.] Kocsis Szürke, S., Szabó, M., Szalai, S., & Fischer, S. (2024). Deformation Analysis of Different Lithium Battery Designs Using the DIC Technique. *Energies*, 17(2), 323. <https://doi.org/10.3390/en17020323>
- [9.] Pfrang, A., Kersys, A., Kriston, A., Sauer, D. U., Rahe, C., Käbitz, S., & Figgemeier, E. (2019). Geometrical Inhomogeneities as Cause of Mechanical Failure in Commercial 18650 Lithium Ion Cells. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(15), A3745–A3752. <https://doi.org/10.1149/2.0551914jes>

SLAM módszerek összehasonlítása alkalmazhatóság szempontjából

Comparison of SLAM Methods Based on their Applicability

Krecht Rudolf^a, Ballagi Áron^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Automatizálási és Mechatronikai Tanszék

krecht.rudolf@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Automatizálási és Mechatronikai Tanszék

ballagi@ga.sze.hu

Absztrakt

A szimultán helymeghatározó és térképépítő (SLAM) algoritmusok kérdésköre a mobil robotika alapvető területei közé tartozik. A témakör komplexitásából adódóan számos megközelítés született, amelyek jelentősen eltérnek a megoldás módja és az alkalmazott bemeneti adatok jellege és minőségi alkalmazhatóságuk előírásai tekintetében egyaránt. A megoldási módok széles spektrumából adódik, hogy jelentősen eltér ezek alkalmazhatósága is. Jelen cikk célja a meghatározó SLAM algoritmusok összehasonlítása, elsősorban az alkalmazhatóságot figyelembe véve. Összehasonlításra kerül a különböző algoritmusok által igényelt érzékelők költsége, a megvalósítás összetettsége, valamint a szükséges számítási kapacitás. A követelmények értékelése az algoritmusok elvárt és valós pontosságának tükrében történik.

Kulcsszavak: SLAM, alkalmazhatóság, LiDAR, kamera

Abstract

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) algorithms is one of the fundamental areas of mobile robotics. Due to the complexity of this topic, numerous approaches have been developed that significantly differ in the method of solution and the nature and quality requirements of their required input data. This wide range of solution methods results in wide variations in their applicability. The aim of this article is to compare key SLAM algorithms, primarily considering their applicability. The comparison will include the cost of sensors required by different algorithms, the complexity of implementation, and the necessary computational capacity. Each requirement is evaluated in light of the expected and actual accuracy of the algorithms.

Keywords: SLAM, applicability, LiDAR, camera

1. Bevezetés

A mobil robotok és önvezető járművek fejlesztésének egyik legjelentősebb kihívása az ismeretlen környezet érzékelése. A távlati cél az, hogy nagy részletességű, könnyen értelmezhető, összetett környezeti modellt hozzunk létre úgy, hogy ezek mellett nem igényel jelentős számítási teljesítményt, számos környezetészlelési megoldás kidolgozásához vezetett. A környezetészlelés többféle módszerre osztható, ezek egyike a szimultán helymeghatározás és térképépítés (simultaneous localization and mapping, SLAM). Az autonóm mobil robotika két fő kérdésének megválaszolását célozzák [1]:

- Hol vagyok?
- Merre tartok? Hogy néz ki a környezet?

A SLAM egy általánosan alkalmazott módszer, amely mindkét említett kérdésre képes választ adni. Számos különböző SLAM módszer létezik, amelyek különböző megközelítéseken alapulnak. Egyes megoldások kameraképen alapultak. Ezen módszereket vizuális SLAM-nek (vSLAM) nevezzük. A feature-alapú vSLAM módszerek a bemeneti kameraképek hasonló mértani jellemzőit azonosítják. A MonoSLAM [2] kiterjesztett Kálmán-szűrőt használ, és a megszerzett információt valószínűségi eloszlással reprezentálta. A vSLAM területén az ORB-SLAM [3] módszer bevezetésével új megoldási irányvonal jelent meg. Az ORB-SLAM-et követte az ORB-SLAM2 [4], amely kiegészült a sztereokamera-bemenet támogatásával, majd az ORB-SLAM3 [5], amely tehetetlenségi érzékelők hozzáadásával még pontosabbá tette az ORB-SLAM-et. A közvetlen vSLAM egy korszerű megközelítés, amely az intenzitásértékek alapján dolgozik, ami azt jelenti, hogy ez a módszer a kép által hordozott adatok nagyobb százalékát képes alkalmazni a klasszikus módszerekhez képest. A DTAM [6] egy térbeli regularizált függvény minimumát számítja ki a mélységtérkép létrehozásához. A NID-SLAM [7] a normalizált rendezési távolságot használja, és az jellemzi, hogy a fény- és időjárási viszonyokkal szemben robusztusabb. Fontos megemlíteni azt is, hogy létezik néhány mélytanuláson alapuló vSLAM módszer is. Ezek általában a korábban említett módszereken alapulnak.

A LiDAR-alapú SLAM széles körben alkalmazott megközelítés, mivel nagyfokú megbízhatósággal rendelkezik. A regisztráció-alapú LiDAR SLAM módszerek az egymást követő szkennelésekből származó pontfelhőket illesztik. A szkennelési illesztést az ICP (iterative closest point) algoritmus végzi, de számos hasonló megközelítés is létezik, melyek célja a kezdeti megoldás robusztusságának növelése. A feature-alapú módszerek, hasonlóan a vSLAM-megoldások feature-alapú módszereihez, háromméretű jellemzőket használnak a letapogatások közötti mozgás meghatározásához. Az egyik ilyen módszer a LOAM [8], amely egy pontos, valós idejű feature-alapú SLAM módszer, amely két szálát futtat párhuzamosan, az egyiket az odometria becslésére nagy frekvencián, a másikat pedig a térképezésre, kisebb frekvencián.

E cikk célja egy egyszerű, könnyen használható LiDAR-alapú SLAM módszer gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálata, amely elég robusztus ahhoz, hogy további, például tehetetlenségi érzékelők nélkül is használható legyen. Az azonosított algoritmust egy egyedi szenzoradatkészlet felhasználásával teszteltük egy adott környezetben. Összehasonlítási alapként a kijelölt algoritmust inerciális szenzoradatok hozzáadása nélkül és hozzáadásával is teszteltük. Ezt követően kiértékelésre került, hogy az algoritmus elég robusztus és pontos-e ahhoz, hogy az gyorsulásmérő egység (inertial measurement unit, IMU) kiegészítő bemenete nélkül is használható legyen. Az eredmény akkor értékelhető robusztusnak és pontosnak, ha átlagos személyi számítógépen futtatva, az algoritmus számára nem előkészített, általános mérési adatok alapján a GNSS-alapú referenciaméréshez képest 10 cm-en belüli hibával rendelkező odometria-eredményt szolgáltat. Az eredményeket két szempontból értékeltük. Egyrészt a SLAM-algoritmusból származó odometria-eredményt összehasonlítottuk a GNSS-vevővel végzett közvetlen helymérésből nyert viszonyítási alappal (ground truth), másrészt a 3D-pontfelhő szkenneléseket is összehasonlítottuk. Ebben az esetben a különböző érzékelőkkel elért vizsgálati eredmények egymáshoz viszonyítva kerülnek megjelenítésre és értékelésre.

2. Az adatgyűjtés körülményei

A kiválasztott SLAM-algoritmus valós alkalmazású tesztelésének elvégzéséhez szükség volt valós teszteset létrehozására. Egy autonóm fejlesztési célokra átalakított személygépkocsit és egy zárt, kis forgalmú, komplex kültéri környezetet választottunk. Ezután meghatároztuk az adatgyűjtési folyamatot. Az érzékelő adatgyűjtéshez egy meghatározott környezetet és egy

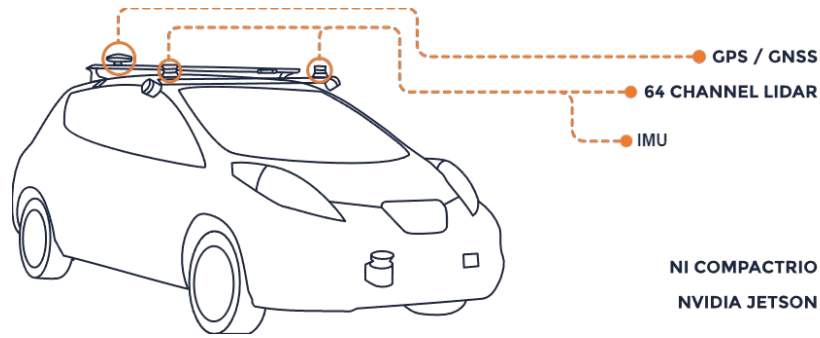
meghatározott útvonalat választottunk ki. Az összehasonlíthatóság biztosítása érdekében az összes alkalmazott szenzoradat ugyanazon adatgyűjtés során gyűjtöttük össze. A szükséges szenzoradatok (LiDAR-ok és egy IMU) mellett a GNSS-vevőből származó adatokat is rögzítettük, hogy a SLAM-odometria eredményeinek kiértékeléséhez ground truth adatként használhatók legyenek.

2.1. Szenzorrendszer

A kiválasztott SLAM-algoritmus kültéri alkalmazhatóságának tesztelése érdekében egy Nissan Leaf személygépkocsin alapuló, autonóm fejlesztésre átalakított járművel végeztünk kezdeti adatgyűjtési folyamatot. Ez a jármű egyedi, összetett érzékelőkészlettel rendelkezik, amely négy LiDAR szenzort, egy lézerszkennert, egy autóiipari radart, egy GNSS-vevőt és különböző kamerákat tartalmaz, de ezt a szenzorkészletet csak részben használtuk (1. ábra) ezen cikk céljaira. Az adatgyűjtést a jármű érzékelőkészletéből a következő érzékelők végezték:

- Kettő 64 csatornás Ouster OS1 LiDAR
- Egy 6 szabadságfokú tehetetlenségi mérőegység
- SwiftNav Duro GNSS vevő viszonyítási alapként (ground truth adat)

A LiDAR és az IMU érzékelők adatait gyűjtöttük, hogy a kiválasztott SLAM bemeneteként alkalmazzuk, a GNSS-vevő pedig a ground truth információkhoz szükséges adatok gyűjtésére szolgált. A szenzoradatokat egy fedélzeti Nvidia Jetson AGX Xavier beágyazott számítógép gyűjtötte, amelyen Ubuntu 18.04 futott. A szenzoradatok gyűjtését a *rosbag*, a Robot Operating System (ROS) Melodic Morena által biztosított eszközzel végeztük. Az ROS Melodic Morena az ROS 12. LTS változata. Ez egy nyílt forráskódú middleware, amely egy sor olyan eszközt biztosít, amelyekre gyakran van szükség a robotszoftverek fejlesztése során. Funkciói közé tartozik a hardver absztrakció, az eszközüillesztők, a könyvtárak, megjelenítő eszközök és a folyamatok közötti üzenetátvitel, mivel az ROS egy *publisher-subscriber* alapú rendszer.



1. ábra: A méréshez alkalmazott tesztjármű szenzorkészlete (saját szerkesztés)

2.2. A mérési környezet

Annak érdekében, hogy a kiválasztott SLAM-módszert valóság-hű kültéri környezetben teszteljük, egy összetett, kislevegű tesztjelenetet választottunk ki a Széchenyi István Egyetem telephelyén belül. A kijelölt tesztterület zárt pályát alkot, környezetében épületek, parkoló járművek és fák találhatók. Az adatgyűjtést úgy végeztük el, hogy a jármű az említett útszakaszon közlekedett. A kiindulási területet és irányt a nyíl, az utat pedig a narancs vonal jelzi a 2. ábrán.



2. ábra: Az adatgyűjtés útvonala (saját szerkesztés)

3. Az alkalmazott SLAM módszer

A cikk célja olyan egyszerű, robusztus és könnyen alkalmazható SLAM-megközelítés kiválasztása, amely megbízható kimenetet képes biztosítani egy összetett kültéri jelenet esetén, kizárólag egy LiDAR-érzékelő bemenetére alapozva. A bevezető részben is összefoglalt rövid irodalmi áttekintés alapján a DLO (direct LiDAR odometry, közvetlen LiDAR-alapú odometria) [9] módszer került kiválasztásra.

A DLO elsődleges bemeneti adatként 3D pontfelhőt vár, ami IMU adattal opcionálisan kiegészíthető. A pontfelhőre mindössze két előfeldolgozó szűrőt alkalmaz. Először eltávolításra kerülnek a LiDAR 1 m³-es környezetéből származó pontok, mivel ezek általában nem a környezeti objektumokról, hanem a szenzort hordozó járműről keletkeznek. Ezt követően 0,25 m felbontású voxel rács szűrő kerül alkalmazásra. Ezzel csökkenthető a pontfelhő felbontása a könnyebb kezelhetőség érdekében úgy, hogy közben elkerülhető a domináns struktúrák elvesztése. A bemenő adat előfeldolgozását az általánosított iteratív legközelebbi pont (Generalized Iterative Closest Point – GICP) algoritmus alkalmazása követi. Ez két lépésre bontható. Az első lépés az egymás utáni pontfelhő-beolvasások összehasonlítása. Ezzel a módszerrel meghatározásra kerül a relatív transzformáció két egymás után rögzített pontfelhő között. A második lépés során a lokális altérkép és az aktuálisan beolvasott pontfelhő között kerül meghatározásra transzformáció.

A DLO SLAM során a LiDAR-adatokat a robot mozgásának valós idejű becslésére használják, az egymást követő időlépések közötti pontfelhő-különbségek alapján, így létrehozva az odometria adatokat. Az odometriát ezután a térképadatokkal egyesítik, hogy jobb becslést kapjanak a jármű vagy a robot helyzetére (helyére és tájolására) és a környezet szerkezetére vonatkozóan. A DLO SLAM lehetővé teszi a nagy pontosságú és precíz térképek létrehozását, még dinamikus akadályokkal vagy korlátozott fényviszonyokkal rendelkező, kihívást jelentő környezetben is. A DLO SLAM nem igényel IMU bemenetet, de IMU-adatokkal javítható.

A DLO-nak vannak bizonyos korlátai, amelyeket figyelembe kell venni. Valós teszt alapján [10] megállapítja, hogy a DLO SLAM nem alkalmazható 3D rekonstrukciós alkalmazásokhoz. Továbbá fontos megemlíteni, hogy bár a DLO SLAM által végzett szkennelési folyamat tovább javítható IMU-adatok hozzáadásával, a jelenlegi algoritmus a LiDAR és az IMU koordináta-

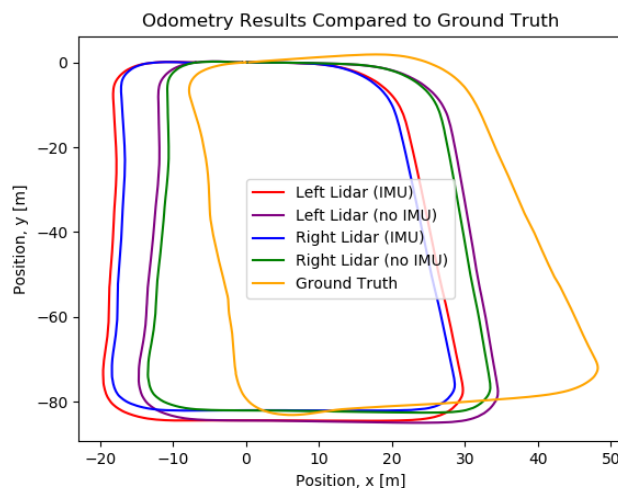
rendszereit tökéletesen átfedőnek tekinti. Így az IMU-t a LiDAR pontos közelségében kell felszerelni, ami gyakran nehezen vagy egyáltalán nem valósítható meg.

4. Az összehasonlítás eredménye

A DLO-SLAM valós kültéri tesztelését egy adathalmazon végeztük el, az érzékelő bemenetek többféle variációját használva. Amint az 1. ábrán látható, az adatgyűjtéshez alkalmazott jármű mindkét oldalán egy-egy Ouster OS1 LiDAR érzékelő található. A DLO-SLAM módszert a bal és a jobb oldali Ouster OS1 LiDAR érzékelő adatainak felhasználásával is teszteltük. Mindkét esetet megismételtük IMU-adatokkal és azok hozzáadása nélkül. A DLO-SLAM algoritmus teszteléséhez használt összes érzékelő bemeneti szekvencia a 2. táblázatban látható.

4.1. Az odometria pontossága

A kapott térképek pontosságának értékeléséhez a különböző odometria eredmények összehasonlítása történt meg. Ez egy jó módszer a megoldás megismételhetőségének értékelésére azáltal, hogy összehasonlítjuk az ugyanazon LiDAR-érzékelővel, az adatgyűjtő járművön különböző elhelyezéssel kapott eredményeket.



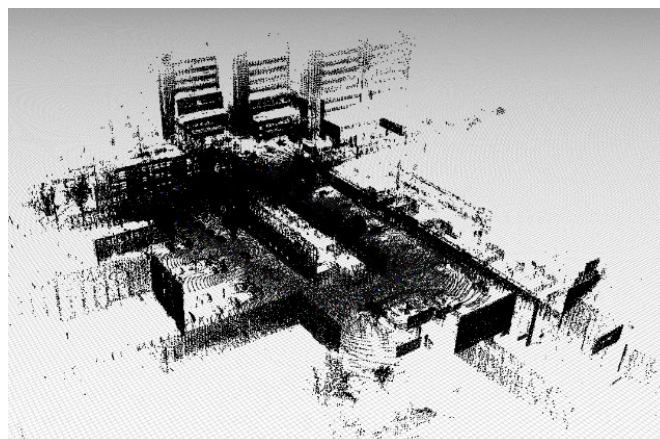
3. ábra: Az odometria eredmények a ground truth mérésekhez hasonlítva (saját szerkesztés)

Mivel a vizsgált SLAM-módszer iteratív, a folyamat során keletkező hibák kumulatív viselkedést mutatnak. Ez a jelenség fontossá teszi a SLAM-módszer eredményeinek helyi értékelését. Így a teljes és a viszonyított hibát külön kell értékelni, de mivel az alkalmazott DLO

módszer esetében a LiDAR-nak és az IMU-nak ugyanabban a koordináta-rendszerben kell lennie, problémás az eredményül kapott odometria adatok és a ground truth információ megfelelő átfedésének biztosítása. Ezért a DLO algoritmus viselkedésének értékeléséhez és a koordinátatranszformációs problémák hatásainak elhagyásához jobb, ha csak a relatív hibát vesszük figyelembe a ground truth-hoz képest. A relatív hiba nem veszi figyelembe az eltolt koordinátarendszerekből eredő hibákat, amint az a 2. ábrán látható. Ez az ábra tartalmazza mind a négy eredő odometria adatot, amelyek a bal és jobb oldalon felszerelt Ouster OS1 LiDAR bemeneti adatainak felhasználásával készültek, IMU-adatokkal és azok hozzáadása nélkül, kiegészítve a GNSS-vevőből származó ground truth útvonallal. Fontos hangsúlyozni, hogy ezek az ábrák eltolts, de összehangolt koordináta-rendszerekben vannak ábrázolva, így az eredmények kiértékelése során az összehangolás várhatóan helyes lesz. A bemutatott odometria eredmények mélyreható elemzéséhez az *evo* csomagot használtuk [11]. Az *evo* csomag a relatív, nem igazított hibák számításához és ábrázolásához kínál eszközöket. A viszonyított helyzethiba (relative pose error, RPE) a mozgások közötti különbséget számítja ki, és a helyi pontosságot reprezentálja.

4.2. 3D pontfelhők

A Direct LiDAR Odometry algoritmus sikeresen alkalmazható 3D rekonstrukcióra. A különböző szenzorkonfigurációkkal létrehozott eredményül kapott pontfelhők alig mutattak eltéréseket, és még a távoli pontok esetében is jó szekvencia-illesztés volt tapasztalható. A 3D szkennelés eredményei a 4. ábrán láthatók.



4. ábra: 3D pontfelhő rekonstrukció (saját szerkesztés)

5. Összegzés

Összefoglalva, ez a cikk áttekintést nyújt egyes SLAM-módszerekről, részletesen elemezve a DLO-SLAM alkalmazhatóságát. A hangsúly a LiDAR-alapú SLAM-re és egy egyszerű és könnyen használható LiDAR SLAM-módszer, a Direct LiDAR Odometry gyakorlati alkalmazhatóságára helyeződött. A kiválasztott algoritmust különböző szerelési konfigurációjú LiDAR-érzékelőkön, valamint IMU kiegészítő bemenetével és anélkül is teszteltük, és az eredményeket a GNSS-vevő adataiból nyert ground truth információk segítségével értékeltük. Az eredmények azt mutatták, hogy a kiválasztott SLAM-algoritmus elég robusztus és pontos ahhoz, hogy az IMU kiegészítő bemenete nélkül is használható legyen, és a LiDAR-érzékelő elhelyezése hatással volt az algoritmus pontosságára.

6. Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

Irodalomjegyzék

- [1.] Z. Shen, G. Huan, P. Zhi and R. Zhao, “Chapter 3 - Localization for unmanned vehicle,” in Theories and Practices of Self-Driving Vehicles, Elsevier, 2022, pp. 63-93.
- [2.] A. Davison, I. Reid, N. Molton and S. Olivier, "MonoSLAM: Real-time single camera SLAM," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 29, no. 6, pp. 1052-1067, 2007.
- [3.] R. Mur-Artal and J. Tardós, “ORB-SLAM: A versatile and accurate monocular SLAM system,” IEEE Transactions on Robotics, vol. 31, no. 5, pp. 1147-1163, 2015.
- [4.] R. Mur-Artal and J. Tardós, “ORB-SLAM2: An open-source SLAM system for monocular, stereo, and rgb-d cameras,” IEEE Transactions on Robotics, vol. 33, no. 5, pp. 1255-1262, 2017.

- [5.] C. Campos, R. Elvira, J. Gómez Rodríguez, J. Montiel and J. Tardós, “ORB-SLAM3: An accurate open-source library for visual, visual-inertial and multi-map SLAM,” IEEE Transactions on Robotics , vol. 37, no. 6, pp. 1874-1890, 2020.
- [6.] R. Newcombe, S. Lovegrove and A. Davison, “DTAM: Dense tracking and mapping in real-time,” in International Conference on Computer Vision, Barcelona, Spain, 2011.
- [7.] G. Pascoe, W. Maddern, M. Tanner, P. Piniés and N. Paul, “NID-SLAM: Robust Monocular SLAM using normalised information distance,” in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017.
- [8.] Z. Ji and S. Sanjiv, “LOAM: Lidar Odometry and mapping in real-time,” Robotics: Science and Systems, vol. 2, 2014.
- [9.] K. Chen, B. Lopez, A.-a.-. Agha-mohammadi and A. Mehta, "Direct LiDAR Odometry: Fast Localization With Dense Point Clouds," IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 7, no. 2, pp. 2000-2007, 2022.
- [10.] D. Fasiolo, L. Scalera, E. Maset and A. Gasparetto, “Experimental evaluation and comparison of LiDAR SLAM algorithms for mobile robotics,” in Advances in Italian Mechanism Science: Proceedings of the 4th International Conference of IFToMM Italy, 2022.
- [11.] M. Grupp, “evo: Python package for the evaluation of odometry and SLAM,” 2017. [Online]. Available: <https://github.com/MichaelGrupp/evo>.

Az állandó mágneses szinkrongépek szöghelyzetfüggő nemlinearitásainak modellezése

Modelling the rotor position-dependent nonlinearities of permanent magnetic synchronous machines

Szalay István

Széchenyi István Egyetem, Teljesítményelektronika és Villamos Hajtások Tanszék;

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

szalay.istvan@sze.hu

Absztrakt

Az állandó mágneses szinkrongépek érzékelő nélküli szabályozása, különösen a kezdeti szöghelyzet meghatározás és a polaritásfelismerés, olyan modellt kíván, amely magába foglalja a gép szöghelyzetfüggő sajátosságait. Az ismertetett kibővített modell a fluxusmodellen keresztül építi be a háromfázisú villamosgép-modellezés hagyományos keretrendszerébe a gép szöghelyzetfüggő nemlinearitásait. A kibővített modell a többváltozós vektor értékű függvények Taylor-sorfejtését alkalmazza az állandó mágneses szinkrongépek fluxusmodelljére, kibővítve a hagyományosan lineáris fluxusmodellt a másodfokú és harmadfokú tagokkal. Mérési úton igazoltam, hogy a kibővített modell a nemlineáris tagok együtthatóinak szöghelyzetfüggését helyesen jelzi előre.

Kulcsszavak: állandó mágneses szinkron gép, modellezés, érzékelő nélküli szabályozás

Abstract

Sensorless control of permanent magnet synchronous machines, and in particular initial position and polarity detection, requires a model that incorporates the rotor position-dependent properties of the machine. The extended model presented here incorporates the rotor position-dependent nonlinearities of the machine into the conventional framework of three-phase electrical machine modelling via the extension of the flux model. The extended model applies the Taylor series expansion of multivariate vector-valued functions to the flux model of permanent magnet synchronous machines, extending the traditionally linear flux model with the quadratic and cubic terms. It was verified by measurements that the extended model correctly predicts the angular position dependence of the coefficients of the nonlinear terms.

Keywords: permanent magnetic synchronous machine, modelling, sensorless control

1. Bevezetés

Az állandó mágneses szinkrongépeket (ÁMSZG) jó tulajdonságainak köszönhetően előszeretettel alkalmazzák mind az iparban, mind a közúti járművek villamos hajtásaiban. A hagyományos állandó mágneses szinkrongépes hajtásokban a forgórész szöghelyzetének és szögsebességének mérésére valamilyen forgójeladót, rendszerint optikai enkódert vagy rezolvert alkalmaznak, ami azonban növeli az alkatrészkiöltséget és a hajtás méretét, valamint csökkenti a hajtás megbízhatóságát és ellenálló képességét [1,2]. A megbízhatóbb és költséghatékonyabb ÁMSZG-hajtások megvalósításához kulcsfontosságú a forgójeladók kiküszöbölése, ami a szöghelyzet-érzékelő nélküli módszerek bevezetésével lehetséges. Az érzékelő nélküli módszerek a forgórész szöghelyzetét közvetett módon határozzák meg, kihasználva, hogy a fázisáramok a szöghelyzet függvényében torzulnak. Az érzékelő nélküli módszerek működésének alapját egy megfelelően felépített gépmodell szolgáltatja [3,4].

A kutatómunkámban egy újszerű matematikai modellt dolgoztam ki, amely a hagyományos modellben alkalmazott lineáris helyett másod- vagy harmadfokú fluxusmodellen alapul. A kibővített modell korábban kidolgozott másodfokú változata lehetővé teszi a forgórész-mágnesek polaritásának állóhelyzetben történő felismerését nagyfrekvenciás jelbefecskendezés alkalmazásával, a forgórész megmozdítása nélkül, amire a létező módszerek egyáltalán nem, vagy csak korlátozottan voltak képesek [5-7].

A cikkben a kibővített modell harmadfokú változatát ismertetem, beleértve a kibővített fluxusmodellt, az erre alapuló feszültségegyenletet, és a fluxusmodell paramétereinek mérési úton történő meghatározását.

2. Az állandó mágneses szinkrongép modell

Az állandó mágneses szinkrongépes hajtások érzékelő nélküli szöghelyzet meghatározásának és polaritásfelismerésének alapját a gépmodell szolgáltatja, amely a feszültségegyenlettel jellemzi a gép áramkörü részének viselkedését, a nyomatékegyenlettel jellemzi a forgórész forgómozgását, és a fluxusmodellel írja le a gép mágnesköreinek viselkedését, amelyek a villamos áramkör és a forgó rendszer között csatolásokat biztosítják.

A gép feszültségegyenlete az állórészhez kötött, háromfázisú abc koordinátarendszerben az

$$\underline{u}_{abc} = R\underline{i}_{abc} + \frac{d\underline{\Psi}_{abc}}{dt} \quad (1.)$$

alakban írható fel, ahol \underline{u}_{abc} , \underline{i}_{abc} és $\underline{\Psi}_{abc}$ rendre a feszültség-, áram-, és tekercsfluxusvektor, R pedig a fázisellenállás [5].

A Park-transzformáció alkalmazása után a forgórészhez kötött $dq0$ koordinátarendszerben az

$$\underline{u}_{dq0} = R\underline{i}_{dq0} + \frac{d\underline{\Psi}_{dq0}}{dt} + \omega \underline{J}_3 \underline{\Psi}_{dq0}, \quad \underline{J}_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.)$$

alakot veszi fel a feszültségegyenlet.

A nyomatékegyenlet a forgórész mozgásegyenlete, amely szerint a forgórész tehetetlenségi nyomatékának és szöggyorsulásának szorzata egyenlő a gép forgórészére ható eredő forgatónyomatékkal.

$$J \frac{d\omega_M}{dt} = \Sigma M = \frac{3}{2} z_p (\Psi_d i_q - \Psi_q i_d) - M_S - M_T \quad (3.)$$

A modell villamos és géptani forgási mennyiségeit z_p , a póluspárok száma kapcsolja össze.

$$\vartheta = z_p \vartheta_M, \quad \omega = z_p \omega_M \quad (4.)$$

A fenti összefüggések a szakirodalomban jól ismertek, de ezek szolgáltatják a kiindulási alapot a kutatómunkám során kidolgozott kibővített modellhez.

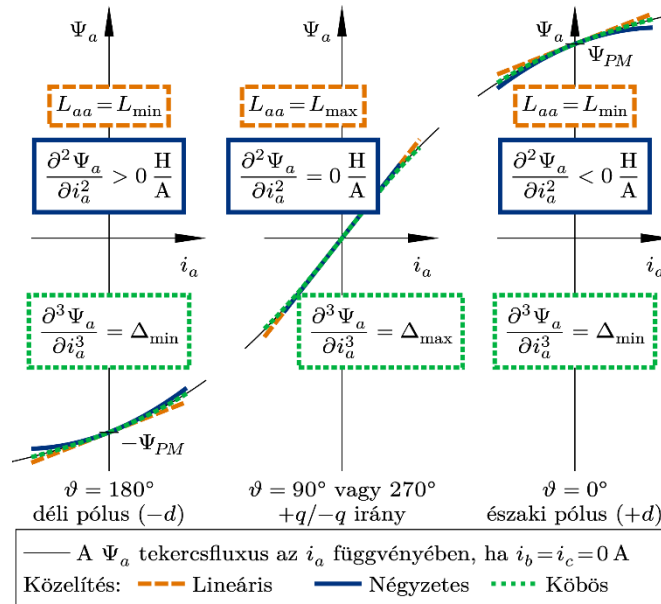
3. Az állandó mágneses szinkrongép modell bővítése

A kutatási munkám legfőbb elméleti eredménye az ÁMSZG modell tekercsfluxus-áram függvényének másod-, illetve harmadfokú bővítése, amely az alábbi abc és $dq0$ alakokban felírható fluxusmodell eredményezte.

$$\begin{aligned} \underline{\Psi}_{abc}(\underline{i}_{abc}, \vartheta) &= \underline{\Psi}_{abc}^{PM}(\vartheta) + \underline{L}_{abc}(\vartheta)\underline{i}_{abc} + \frac{1}{2}(\underline{I}_3 \otimes \underline{i}_{abc}^T)\underline{\Gamma}_{abc}(\vartheta)\underline{i}_{abc} \\ &+ \frac{1}{6}(\underline{I}_3 \otimes \underline{i}_{abc}^T)\underline{\Delta}_{abc}(\vartheta)(\underline{I}_3 \otimes \underline{i}_{abc})\underline{i}_{abc}, \end{aligned} \quad (5.)$$

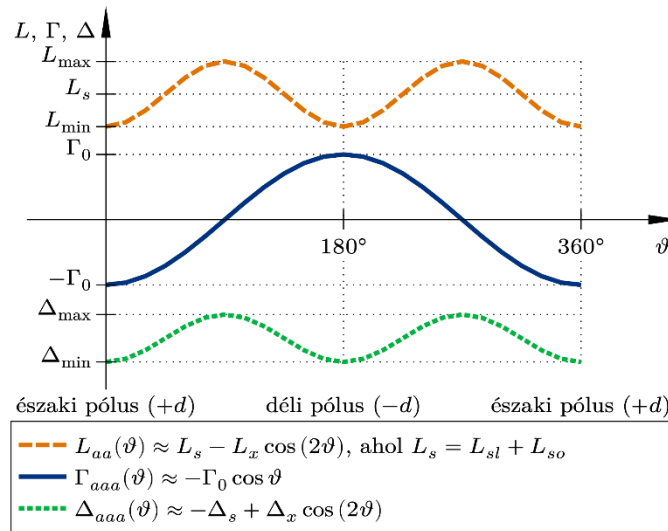
$$\begin{aligned} \underline{\Psi}_{dq0}(\underline{i}_{dq0}) &= \underline{\Psi}_{dq0}^{PM} + \underline{L}_{dq0}\underline{i}_{dq0} + \frac{1}{2}(\underline{I}_3 \otimes \underline{i}_{dq0}^T)\underline{\Gamma}_{dq0}\underline{i}_{dq0} \\ &+ \frac{1}{6}(\underline{I}_3 \otimes \underline{i}_{dq0}^T)\underline{\Delta}_{dq0}(\underline{I}_3 \otimes \underline{i}_{dq0})\underline{i}_{dq0}, \end{aligned} \quad (6.)$$

A tekercsfluxusvektor abc -ben az áramvektor és a szöghelyzet, $dq0$ -ban az áramvektor függvénye. A tekercsfluxusvektort mindkét alak az áramvektor szerinti sorfejtéssel nyert Taylor-polinomként közelíti. Az abc rendszerben ez a ϑ villamos szöghelyzettől függő együtthatókat, $dq0$ -ban viszont állandó együtthatókat eredményez. A Γ és Δ betűkkel jelölt másodfokú és harmadfokú telítődési együttható mátrixokat a négyzetes és köbös tagok együtthatóinak jelölésére vezettem be.



1. ábra: Az „a” fázis tekercsfluxusának lineáris, négyzetes és köbös közelítése (saját szerkesztés)

A másodfokú és harmadfokú telítődési együtthatók jelentését az 1. ábra szemlélteti. Az együtthatókat a mágnesezési görbe deriváltjaiként foghatjuk fel, és ennek megfelelően eltérő térbeli harmonikus tartalomra számíthatunk (2. ábra).



2. ábra: A másodfokú és harmadfokú telítődési együtthatók feltételezett térbeli harmonikus tartalma (saját szerkesztés)

A vasfélék jellemzően S-alakú mágnesezési görbéje miatt a másodfokú telítődési együtthatóknál meghatározó térbeli alapharmonikusra, a harmadfokú telítődési együtthatóknál pedig negatív középértékre és hasonlóan az induktivitásokhoz második térbeli harmonikusra számítottam (2. ábra).

4. Paraméteridentifikáció

A kutatás során előbb a másodfokú, majd a harmadfokú telítődési együtthatók térbeli harmonikus tartalmát mérésekkel igazoltam. A mérések vizsgálójele a befecskendezett feszültség, amire a gép fázisáramai a válaszok, és az idősorok kapcsolata alapján számíthatók a kibővített modell paraméterei. Az összefüggések felírásához a megfelelő feszültségegyenletet kell alkalmazni a mérési elrendezésre. A mérések feszültségegyenleteinek alapját a gépmodell állóhelyzetre érvényes feszültségegyenlete szolgáltatja, amely (1.) és (5.) alapján, $\omega = 0$ behelyettesítésével az

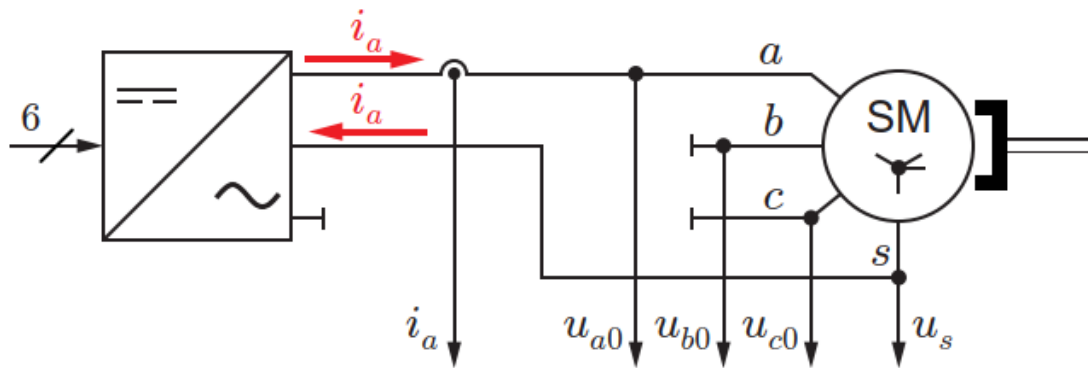
$$\underline{u}_{abc} = R\underline{i}_{abc} + \left(\underline{L}_{abc}(\vartheta) + \left(\underline{I}_3 \otimes \underline{i}_{abc}^T \right) \underline{\Gamma}_{abc}(\vartheta) + \frac{1}{2} \left(\underline{I}_3 \otimes \underline{i}_{abc}^T \right) \underline{\Delta}_{abc}(\vartheta) \left(\underline{I}_3 \otimes \underline{i}_{abc} \right) \right) \frac{d\underline{i}_{abc}}{dt} \quad (7.)$$

alakban írható fel.

A fluxusmodell együtthatóinak szöghelyzetfüggését a forgó mozgás periodikus jellege miatt a térbeli harmonikus tartalommal célszerű jellemezni. A szöghelyzetfüggés méréséhez a vizsgálójeles méréseket több különböző szöghelyzetben meg kell ismételni, célszerűen adott felbontással a gép egy teljes fordulatán.

5. Egyfázisos négyszögjel-betáplálásos mérések

A négyzetes tag együtthatóinak mérésére kidolgozott egyfázisos négyszögjel-betáplálás a köbös tag néhány együtthatójának számításában is felhasználható. A mérési elrendezés az „a” fázis gerjesztése esetén alábbi ábrán látható:



3. ábra: A motor mennyiségei az „a” fázis gerjesztése során (saját szerkesztés)

A fenti elrendezésben a gerjesztett fázis módosítható a váltóirányító és a gép közötti vezetékkel.

Az „a” fázis gerjesztése esetén a fázisokra az alábbi feszültségegyenletek érvényesek:

$$u_a = u_{a0} - u_s = R_a i_a + L_{aa}(\vartheta) \frac{di_a}{dt} + \frac{1}{2} \Gamma_{aaa}(\vartheta) \frac{di_a^2}{dt} + \frac{1}{6} \Delta_{aaaa}(\vartheta) \frac{di_a^3}{dt} \quad (8.)$$

$$u_b = u_{b0} - u_s = L_{ba}(\vartheta) \frac{di_a}{dt} + \frac{1}{2} \Gamma_{baa}(\vartheta) \frac{di_a^2}{dt} + \frac{1}{6} \Delta_{baaa}(\vartheta) \frac{di_a^3}{dt} \quad (9.)$$

$$u_c = u_{c0} - u_s = L_{ca}(\vartheta) \frac{di_a}{dt} + \frac{1}{2} \Gamma_{caa}(\vartheta) \frac{di_a^2}{dt} + \frac{1}{6} \Delta_{caaa}(\vartheta) \frac{di_a^3}{dt} \quad (10.)$$

Az „b” fázis esetén a fázisokra az alábbi feszültségegyenletek érvényesek:

$$u_a = u_{a0} - u_s = L_{ab}(\vartheta) \frac{di_b}{dt} + \frac{1}{2} \Gamma_{abb}(\vartheta) \frac{di_b^2}{dt} + \frac{1}{6} \Delta_{abbb}(\vartheta) \frac{di_b^3}{dt} \quad (11.)$$

$$u_b = u_{b0} - u_s = R_b i_b + L_{bb}(\vartheta) \frac{di_b}{dt} + \frac{1}{2} \Gamma_{bbb}(\vartheta) \frac{di_b^2}{dt} + \frac{1}{6} \Delta_{bbbb}(\vartheta) \frac{di_b^3}{dt} \quad (12.)$$

$$u_c = u_{c0} - u_s = L_{cb}(\vartheta) \frac{di_b}{dt} + \frac{1}{2} \Gamma_{cbb}(\vartheta) \frac{di_b^2}{dt} + \frac{1}{6} \Delta_{cbbb}(\vartheta) \frac{di_b^3}{dt} \quad (13.)$$

Az „c” fázis esetén a fázisokra az alábbi feszültségegyenletek érvényesek:

$$u_a = u_{a0} - u_s = L_{ac}(\vartheta) \frac{di_c}{dt} + \frac{1}{2} \Gamma_{acc}(\vartheta) \frac{di_c^2}{dt} + \frac{1}{6} \Delta_{accc}(\vartheta) \frac{di_c^3}{dt} \quad (14.)$$

$$u_b = u_{b0} - u_s = L_{bc}(\vartheta) \frac{di_c}{dt} + \frac{1}{2} \Gamma_{bcc}(\vartheta) \frac{di_c^2}{dt} + \frac{1}{6} \Delta_{bccc}(\vartheta) \frac{di_c^3}{dt} \quad (15.)$$

$$u_c = u_{c0} - u_s = R_c i_c + L_{cc}(\vartheta) \frac{di_c}{dt} + \frac{1}{2} \Gamma_{ccc}(\vartheta) \frac{di_c^2}{dt} + \frac{1}{6} \Delta_{cccc}(\vartheta) \frac{di_c^3}{dt} \quad (16.)$$

A mérőrendszerben az egyfázisos négyszögjel-betáplálásos mérésekben a fázisfeszültségek és a gerjesztett fázis áramának szinkronizált mérését kell elvégezni, feszültség és áram idősorokat gyűjtve. Az így kapott idősorokból egy fázis esetén a fázisellenállás, az öninduktivitás, a két kölcsönös induktivitás, a Hesse-mátrix három eleme, és a köbös együttható mátrix három eleme határozható meg. Összességében a három fázisellenállás, az induktivitás mátrix 9 eleme, a Hesse-mátrix 9 eleme, és a köbös együttható mátrix 9 eleme számítható ki.

6. Adatgyűjtés az egyfázisos négyszögjel-betáplálásos mérésekben

A mérések feldolgozása során a paraméterbecslésre a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztam. A mérések mintavételezett jellege miatt a feszültségegyenleteket időben diszkrétizáltam. Az áramderiváltak közvetlen mérésére nem volt mód, ezért azokat az áramokból számítottam numerikus deriváltakként.

A (8.)–(16.) feszültségegyenletek mennyiségeit a számítások során g , p és n indexekkel jelöltem, ahol g a gerjesztett, p a tőle 120° -ra, és n a tőle 240° -ra lévő fázis.

1. táblázat: A fázisok indexelése a feldolgozás során (saját szerkesztés)

g	p	n
a	b	c
b	c	a
c	a	b

Az alábbi képletek ismertetik a gerjesztett fázison mért jelek mintáinak jelölését és a belőlük képzett idősorok értelmezését (N a mintavételi pontok száma):

$$u_{g,k} = u_g(kT_S), \quad \underline{u}_g = [u_{g,1} \dots u_{g,N}]^T, \quad (17.)$$

$$i_{g,k} = i_g(kT_S), \quad \underline{i}_g = [i_{g,1} \dots i_{g,N}]^T \quad (18.)$$

Az alábbi képletek ismertetik a két nemgerjesztett fázison mért feszültségjelek mintáinak jelölését és a belőlük képzett idősorok értelmezését:

$$u_{p,k} = u_p(kT_S), \quad \underline{u}_p = [u_{p,1} \dots u_{p,N}]^T, \quad (19.)$$

$$u_{n,k} = u_n(kT_S), \quad \underline{u}_n = [u_{n,1} \dots u_{n,N}]^T. \quad (20.)$$

A gerjesztő áram deriváltját, az áramnégyzet deriváltját, és az áramküb deriváltját az alábbiak szerint jelöltem és számítottam (a d jelölés itt a derivált szóra, a q jelölés a quadratic szóra, a c jelölés pedig a cubic szóra utal):

$$\frac{di_g}{dt} \rightarrow d_{g,k} = \frac{i_{g,k+1} - i_{g,k-1}}{2T_S}, \quad \underline{d}_g = [d_{g,1} \dots d_{g,N}]^T \quad (21.)$$

$$\frac{di_g^2}{dt} \rightarrow q_{g,k} = \frac{i_{g,k+1}^2 - i_{g,k-1}^2}{2T_S}, \quad \underline{q}_g = [q_{g,1} \dots q_{g,N}]^T \quad (22.)$$

$$\frac{di_g^3}{dt} \rightarrow c_{g,k} = \frac{i_{g,k+1}^3 - i_{g,k-1}^3}{2T_S}, \quad \underline{c}_g = [c_{g,1} \dots c_{g,N}]^T \quad (23.)$$

A fenti jelölésekkel az eredeti kilenc feszültségegyenlet az alábbi háromféle általánosított indexelésű feszültségegyenletnek felel meg:

$$\underline{u}_g = R_g \underline{i}_g + L_{gg}(\vartheta) \underline{d}_g + \frac{1}{2} \Gamma_{ggg}(\vartheta) \underline{q}_g + \frac{1}{6} \Delta_{gggg}(\vartheta) \underline{c}_g \quad (24.)$$

$$\underline{u}_p = L_{pg}(\vartheta) \underline{d}_g + \frac{1}{2} \Gamma_{pgg}(\vartheta) \underline{q}_g + \frac{1}{6} \Delta_{pggg}(\vartheta) \underline{c}_g \quad (25.)$$

$$\underline{u}_n = L_{ng}(\vartheta) \underline{d}_g + \frac{1}{2} \Gamma_{ngg}(\vartheta) \underline{q}_g + \frac{1}{6} \Delta_{nggg}(\vartheta) \underline{c}_g \quad (26.)$$

A legkisebb négyzetek módszerével közelítő megoldást kaphatunk $\underline{\beta}$ -ra az

$$\underline{y} = \underline{X} \underline{\beta} + \underline{z} \quad (27.)$$

alakú egyenletekből (\underline{z} jelöli a mérési zajt és modellhibát magába foglaló maradék vektort).

A mért jelek mintáiból álló vektorokat – a regresszor-vektorokat – a feszültségegyenletek szerint az alábbi módokon rendeztem el ahhoz, hogy a közönséges lineáris legkisebb négyzetek módszere alkalmazható legyen a paramétervektorok számítására:

$$\underline{u}_g = \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{i}_g & \underline{d}_g & \frac{1}{2} \underline{q}_g & \frac{1}{6} \underline{c}_g \end{bmatrix}}_{\underline{x}_g} \underbrace{\begin{bmatrix} R_g \\ L_{gg}(\vartheta) \\ \Gamma_{ggg}(\vartheta) \\ \Delta_{gggg}(\vartheta) \end{bmatrix}}_{\underline{\beta}_g} \quad (28.)$$

$$\underline{u}_p = \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{d}_g & \frac{1}{2} \underline{q}_g & \frac{1}{6} \underline{c}_g \end{bmatrix}}_{\underline{x}_p} \underbrace{\begin{bmatrix} L_{pg}(\vartheta) \\ \Gamma_{pgg}(\vartheta) \\ \Delta_{pggg}(\vartheta) \end{bmatrix}}_{\underline{\beta}_p} \quad (29.)$$

$$\underline{u}_n = \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{d}_g & \frac{1}{2} \underline{q}_g & \frac{1}{6} \underline{c}_g \end{bmatrix}}_{\underline{x}_n} \underbrace{\begin{bmatrix} L_{ng}(\vartheta) \\ \Gamma_{ngg}(\vartheta) \\ \Delta_{nggg}(\vartheta) \end{bmatrix}}_{\underline{\beta}_n} \quad (30.)$$

A legkisebb négyzetek módszere szerint a bal és jobboldal közötti hibanégyzetösszeget az alábbi paramétervektor érték minimalizálja:

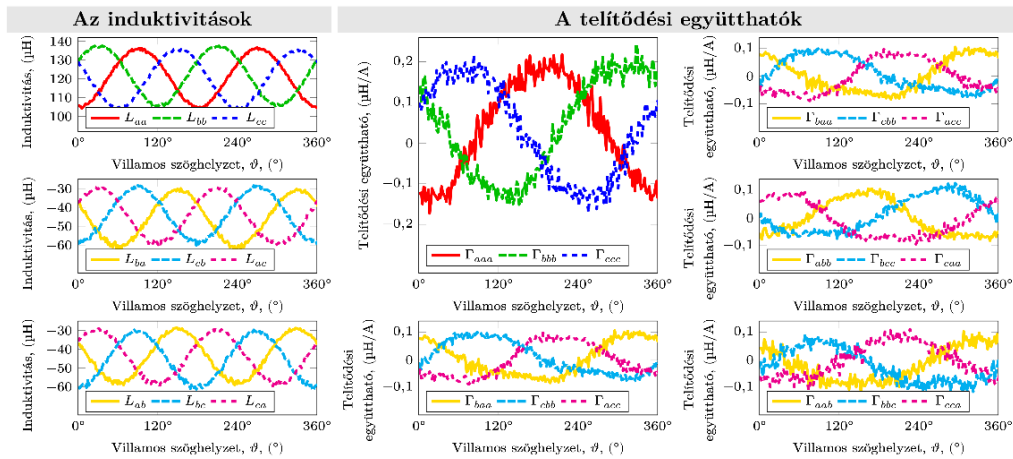
$$\underline{\hat{\beta}} = \left(\underline{X}^T \underline{X} \right)^{-1} \underline{X}^T \underline{y} \quad (31.)$$

Az egyfázisos négyszögjel-befecskendezéses mérésekből így összesen az alábbi 3×10 modellparamétert lehet meghatározni az adott ϑ szöghelyzetben:

- a 3 fázisellenállást,
- a 3 öninduktivitást,
- a 6 kölcsönös induktivitást,
- a Hesse-mátrix 3 Γ_{ggg} alakú elemét,
- a Hesse-mátrix 3 $\Gamma_{p gg}$ alakú elemét,
- a Hesse-mátrix 3 $\Gamma_{n gg}$ alakú elemét,
- a köbös együttható mátrix 3 Δ_{gggg} alakú elemét,
- a köbös együttható mátrix 3 $\Delta_{p ggg}$ alakú elemét, és
- a köbös együttható mátrix 3 $\Delta_{n ggg}$ alakú elemét.

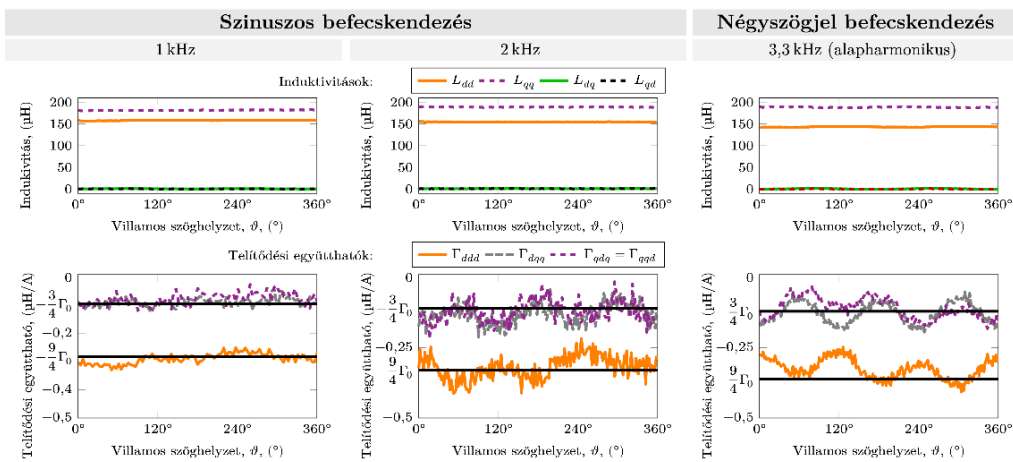
7. Mérési eredmények

A modell bővítéséhez és érvényesítéséhez szükséges mérésekhez mérő-környezetet építettem ki, amelyben a gépparaméterek szöghelyzet-függésének meghatározására irányuló vizsgáló-jeles méréseket végeztem. A mérések között voltak négyszög- és szinuszos feszültség jeleket alkalmazó, csillagpont kivezetéses és csillagpont kivezetés nélküli mérések egyaránt.



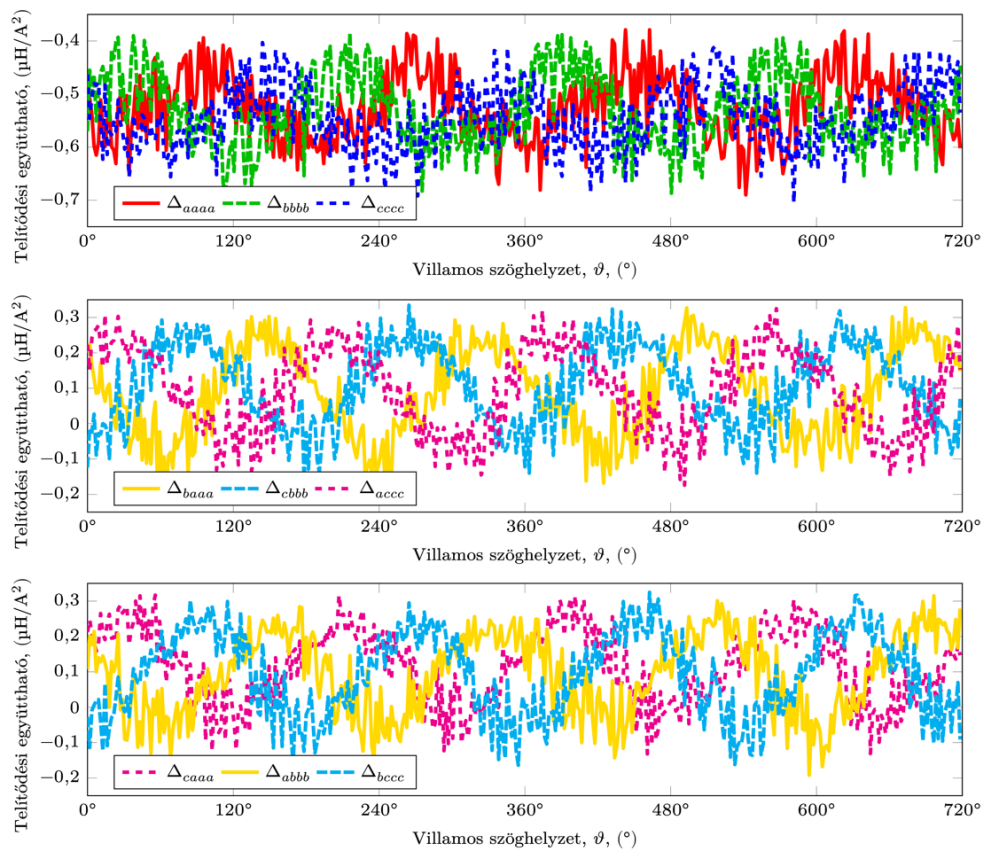
4. ábra: Az induktivitások és a másodfokú telítődési együtthatók mérési eredményei az rendszerben (saját szerkesztés)

A 4. ábra ismerteti az induktivitások és a másodfokú telítődési együtthatók mérési eredményeit az rendszerben. Megállapítható, hogy a feltételezett térbeli alapharmonikus tartalom jól teljesül a másodfokú telítődési együtthatók esetén, és az induktivitásokhoz hasonlóan az egyes fázistekercsek és tekercspárok együtthatói egymástól 120°-kal eltolódnak.



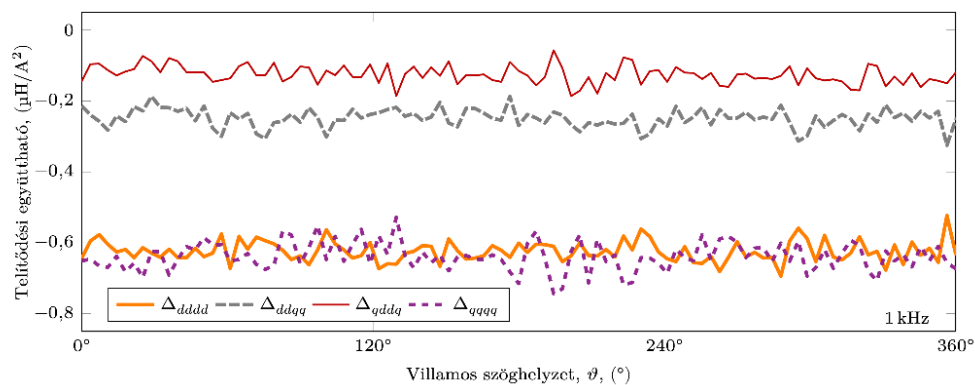
5. ábra: Az induktivitások és a másodfokú telítődési együtthatók mérési eredményei a rendszerben (saját szerkesztés)

Az 5. ábra ismerteti az induktivitások és a másodfokú telítődési együtthatók mérési eredményeit a 0 rendszerben. Itt a másodfokú telítődési együtthatók a szöghelyzettől nagyjából független, közel állandó értékeket vettek fel, ami megfelel az induktivitások viselkedésének.



6. ábra: A harmadfokú telítődési együtthatók mérési eredményei az rendszerben (saját szerkesztés)

A 6. ábra ismerteti a harmadfokú telítődési együtthatók mérési eredményeit az abc rendszerben. A mágnesezési görbe alakja alapján itt második térbeli harmonikus tartalomra, illetve a főátlóbeli három elemnél (az ábra felső része) negatív középértékre számítottam. Mindkét feltételezés elég jól teljesül.



7. ábra: A harmadfokú telítődési együtthatók mérési eredményei a rendszerben (saját szerkesztés)

A 7. ábra ismerteti a harmadfokú telítődési együtthatók mérési eredményeit a $dq0$ rendszerben. Itt a harmadfokú telítődési együtthatók a szöghelyzettől nagyjából független, közel állandó értékeket vettek fel, hasonlóan az induktivitások és a másodfokú együtthatók viselkedéséhez.

8. Összegzés

Kidolgoztam az állandó mágneses szinkrongépek fluxusmodelljének másodfokú és harmadfokú bővítését, és a nemlineáris tagok telítődési együtthatóinak meghatározására mérési eljárásokat dolgoztam ki, majd elvégeztem a méréseket. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a mágnesezési görbék matematikai sajátosságai alapján kibővített ÁMSZG-modell helyesen jelzi előre a nemlineáris tagok együtthatóinak térbeli harmonikus tartalmát, igaz, a harmadfokú tag együtthatói további méréseket tesznek szükségessé.

A másodfokú modellbővítés elengedhetetlen a polaritásfelismerés elméleti megalapozásához és az érzékelő nélküli polaritásfelismerés gyakorlati megvalósításához. A harmadfokú modellbővítés esetén a gyakorlati hasznosítás módja még nem teljesen világos, de a szöghelyzetfüggés megléte erősen alátámasztja, hogy ez is felhasználható lesz az érzékelő nélküli szöghelyzet meghatározásban. Az érzékelő nélküli módszereken kívül a kibővített modell hasznosítható lehet vége-selemes szimulációk érvényesítésében is.

9. Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

Irodalomjegyzék

- [1.] J. Wei, H. Xu, B. Zhou, Z. Zhang and C. Gerada, "An Integrated Method for Three-Phase AC Excitation and High-Frequency Voltage Signal Injection for Sensorless Starting of Aircraft Starter/Generator," *IEEE T. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 7, pp. 5611-5622, 2019.
- [2.] Y. Zhao, H. Yu and S. Wang, "An Improved Super-Twisting High-Order Sliding Mode Observer for Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Motor," *Energies*, vol. 14, no. 19, 2021.
- [3.] V. Repecho, J. B. Waqar, D. Biel and A. Dòria-Cerezo, "Zero Speed Sensorless Scheme for Permanent Magnet Synchronous Machine Under Decoupled Sliding-Mode Control," *IEEE T. Ind. Electron.*, vol. 69, no. 2, pp. 1288-1297, 2022.
- [4.] R. Spießberger, A. Brunner and M. Schrödl, "Saliency-Based Position Sensorless Control of a Heavily Cross-Saturated PMSM," in *IECON 2021 – 47th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, 2021.
- [5.] I. Szalay, D. Fodor, K. Enisz and H. Medve, "Saliency Model Extension for Sensorless Initial Position and Polarity Detection of Permanent Magnet Synchronous Motors," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 168292-168314, 2021.
- [6.] I. Szalay, D. Fodor, K. Enisz and H. Medve, "Permanent Magnet Synchronous Motor Model Extension for High-Frequency Signal Injection-Based Sensorless Magnet Polarity Detection," *Energies*, vol. 15, no. 3, 2022.
- [7.] I. Szalay, D. Fodor and K. Enisz, "Comparison of square-wave and sinusoidal signal injection in sensorless polarity detection for PMSMs," in *IEEE-PEMC Power Electronics and Motion Control Conference*, Brassó, 2022.

Autoware universe lidaros érzékelési algoritmusok bemutatása

Presentation of Autoware universe lidar detection algorithms

Unger Miklós

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

unger.miklos@sze.hu

Absztrakt

Az Autonóm autók egyik legfontosabb eleme a környezetérzékelés. Ekkor mérnöki szempontból a feladatunk az, hogy szenzorokból érkező nyers adatokat olyan formába alakítsuk át, amire nekünk, illetve az autónak is szüksége van. A piacon vannak olyan ingyenes nyílt forráskódú programok, amelyek egyrészt módosítás nélkül is felhasználhatóak különböző bemutatókon, illetve lehetőséget adnak az ötletek szerzésére hangzatos néven inspirálódásra. A következőben egy ilyen nyílt forráskódú keretrendszert és algoritmusait szeretném röviden bemutatni.

Kulcsszavak: *autoware, autonóm, járműirányítás, környezetérzékelés*

Abstract

One of the key elements of Autonomous Cars is environmental sensing. From an engineering perspective, our task is to convert raw data from sensors into a form that we, and the car, need. There are free open-source programs on the market that can be used without modification in various demonstrations, as well as providing a way to get ideas for inspiration. In the following I would like to briefly describe one such open source framework and its algorithms.

Keywords: *autoware, autonomous, vehicle control, environmental sensing*

1. Az Autoware történelmi áttekintése

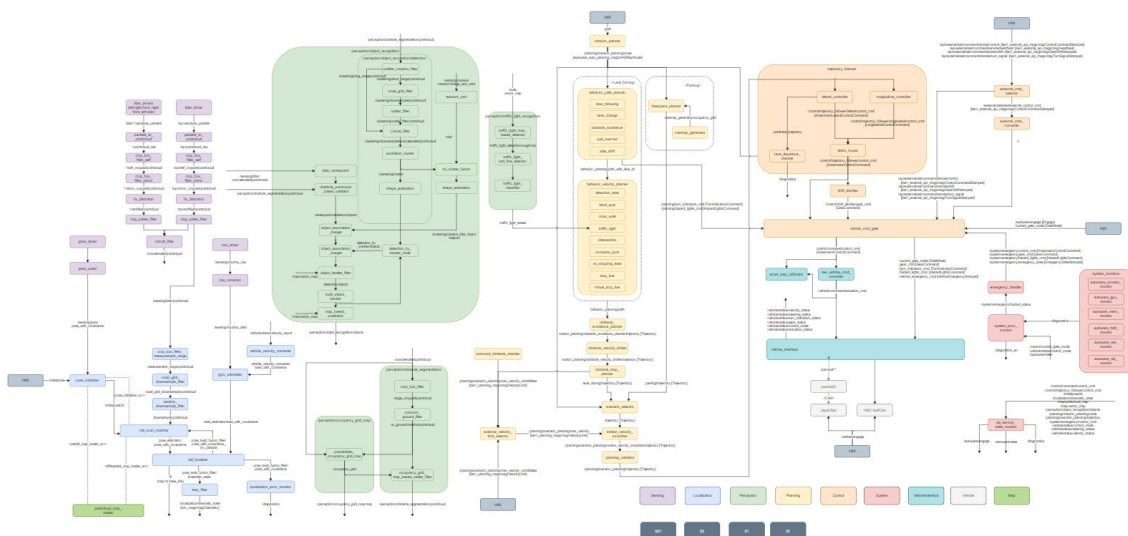
Az autoware összefoglaló néven egy olyan nyílt forráskódú szoftver, amely az autonóm járművek témaköréhez tartozó algoritmusokat foglal magába. Melyek fő területei a környezetérzékelés és észlelés, a helymeghatározás, azaz a lokalizáció, az útvonal tervezés, a jármű irányítás, valamint a térkép készítés.

Az autoware-nek több verziója is elérhető a piacon. Létezik ROS1-es kódbázis, amit autoware.ai-nak hívnak. Ennek a verziónak bár voltak hasznos elemei, a legnagyobb problémája az volt, hogy bárki változtathatott a kódon. Ezért semmiféle olyan egységesítés, illetve dokumentáció nem volt, ami összefogta volna és igazán mások számára is használhatóvá tette volna.

Az autoware.universe az eredeti autoware-hez képest egy más megközelítést alkalmaz. Az open source jellegét megtartotta, de szigorú követelményeket támaszt a kód módosításával vagy új funkciók implementálásával szemben.

2. Az autoware universe felépítése

Az autoware felépítését az 1. ábra mutatja be. A sokadik ránézésre is bonyolultnak tűnő ábrán, a színek adják a legtöbb információt ugyanis a különböző színek különböző modulokat és komponenseket jelentenek.



1. ábra: Az autoware universe felépítése (saját szerkesztés)

Ezek a modulok és komponensek általában az alábbi területekre összpontosítanak:

Térképezés és Lokalizáció: Ezek a modulok a jármű környezetét térképezik fel és határozzák meg a jármű pontos helyzetét és orientációját a térben. Ide tartoznak például a SLAM (simultán helymeghatározás és térképezés) algoritmusok és a GNSS (globális navigációs műholdrendszer) alapú helymeghatározás.

Érzékelés és Észlelés: Ezek a modulok az autonóm járművek általános környezeti észleléséért felelősek, például az objektumfelismerés, az akadályok észlelése és a környezeti információk gyűjtése különböző szenzorok segítségével, például LIDAR, radar és kamera rendszerekkel.

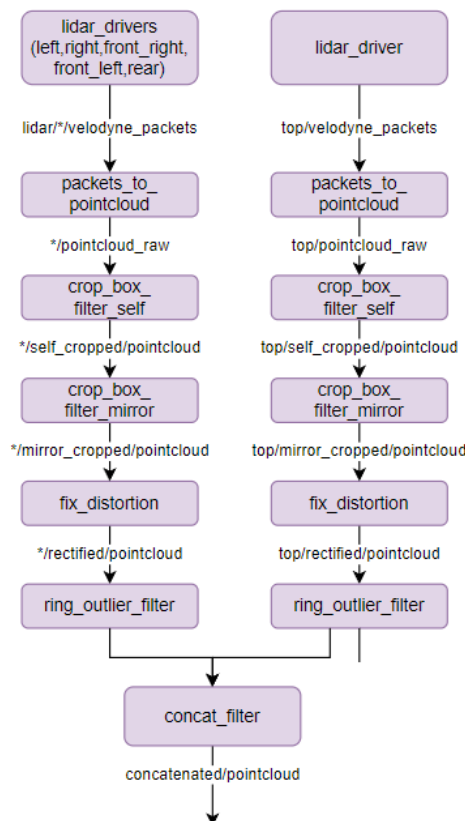
Pályatervezés és Vezérlés: Ezek a modulok az autonóm járművek navigációját és irányítását végzik, beleértve a célállomások közötti optimális útvonal kiválasztását, a sebesség és a kormányzási parancsok kiszámítását, valamint a jármű dinamikus viselkedésének irányítását.

Kommunikáció és Felhasználói Interfész: Ezek a modulok lehetővé teszik a jármű kommunikációját más járművekkel és infrastruktúrával, valamint az emberi operátorokkal. Ide tartoznak például a V2X (Vehicle-to-Everything) kommunikációs protokollok és a felhasználói interfész (GUI), amely lehetővé teszi az emberi felügyeletet és beavatkozást.

Az Autoware Universe moduljai és komponensei általában modulárisak és könnyen cserélhetők, így lehetővé téve a fejlesztők számára, hogy testre szabhassák és alkalmazzák azokat az adott projekt igényeinek megfelelően. Emellett ezek a modulok gyakran támogatják a szabványos interfészeket és protokollokat, hogy könnyebb legyen az integráció más rendszerekkel és eszközökkel.

3. A Lidar pontfelhő felhasználása az autowareben

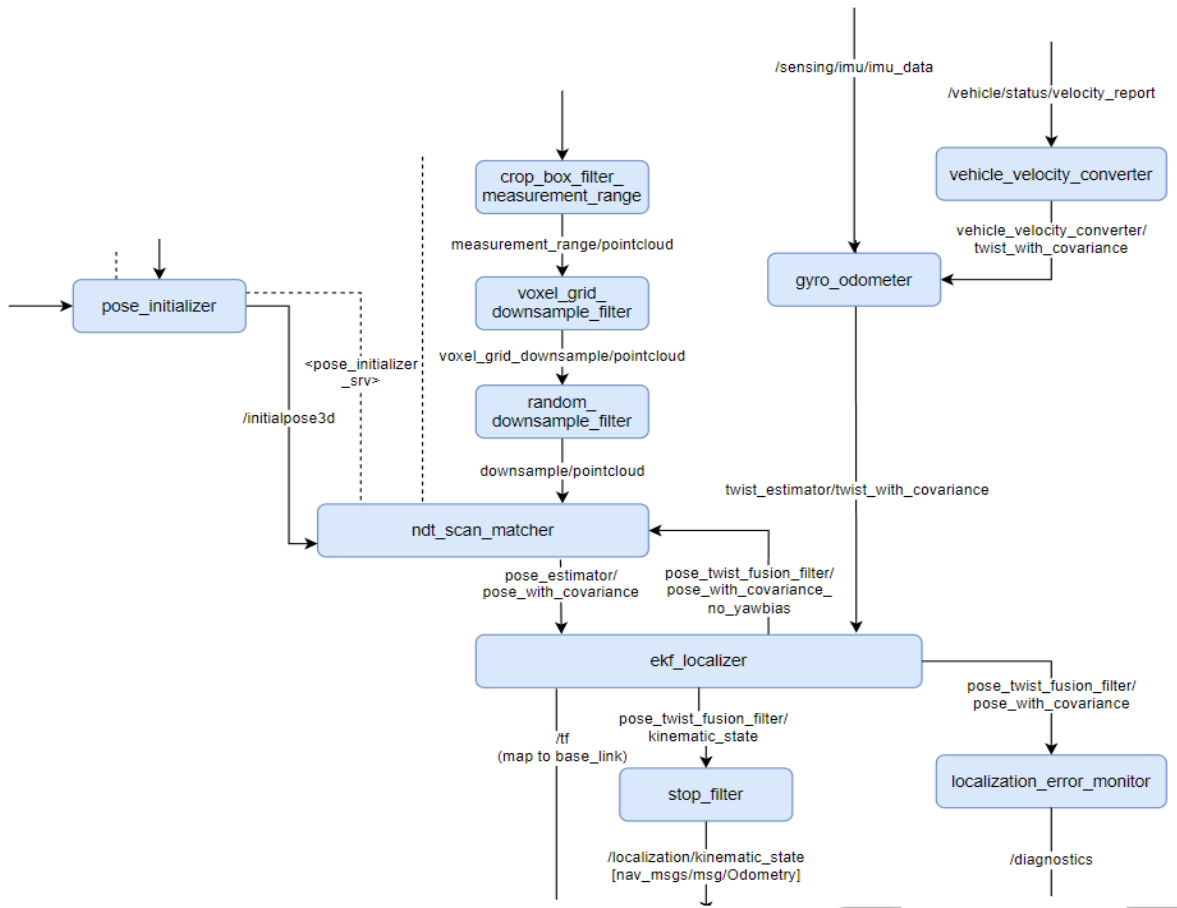
A Lidar kimenetét a pontfelhőt három különböző algoritmus használja fel. Az első és egyben legnyilvánvalóbb a pontfelhő előfeldolgozása. Ebben a modulban a 2. ábra folyamatai zajlanak le.



2. ábra: Itt az egyesített pontfelhőig, olyan lépéseken keresztül juthatunk el, mint az outlierok kiszűrése, a torzulások kijavítása vagy a körgyűrűn lévő outlier pontok kiszűrése. (saját szerkesztés)

A második ilyen egység a lokalizáció, azaz a helyzetmeghatározás.

A lokalizáció az autoware ebben a verziójában, három szenzor fúziójával áll elő. A három szenzor a GPS, az IMU és a Lidar. A 3. ábra alapján a leimplementált Kálmán filter három különböző inputot használ fel a szükséges transzformot a map és base_link között. Egyrészt az IMU és az odometria fúziójával állít elő egy twist típusú topicot.



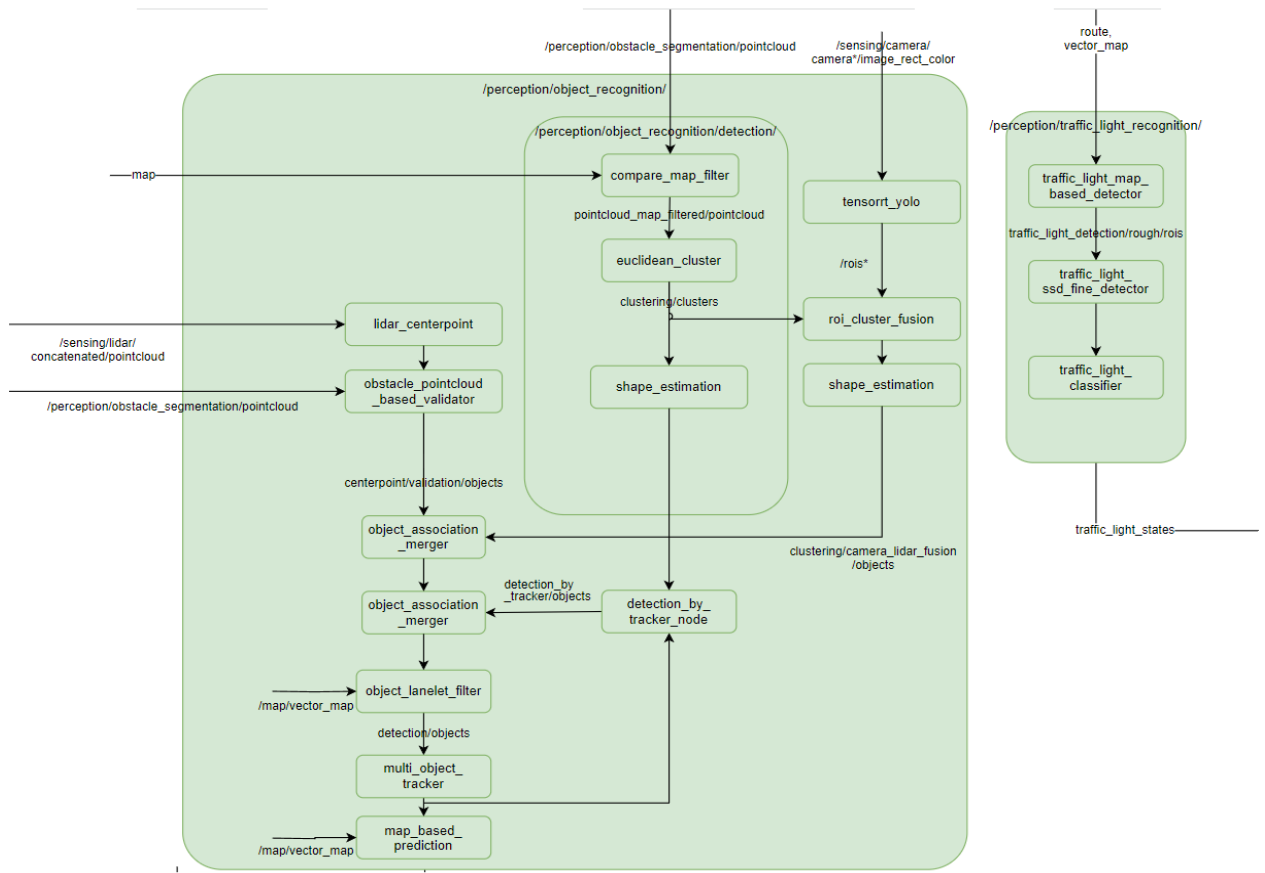
3. ábra: A Lidar pontfelhőt a rendszer nem nyersen, hanem NDT matching módszerrel használja fel. (saját szerkesztés)

A Normal Distributions Transform (NDT) Matching egy olyan algoritmus és módszer, amelyet elsősorban pontfelhő adatok regisztrációjára és párosítására használnak a térbeli pontfelhők közötti megfeleltetés céljából. A pontfelhők olyan adatkészletek, amelyek térbeli pontok halmazából állnak, és gyakran alkalmazzák 3D-s tárgyak vagy környezetek modellezésére és vizsgálatára vagy éppen lokalizációra.

Ezen eljárás során egy előre elkészített térképet vetünk össze az aktuálisan valós időben érzékelt pontfelhővel. Minél inkább hasonlít az aktuális pontfelhő a térkép egy részére, azaz minél több pont van azonos helyen annál nagyobb score értéket kap és ha ez a score érték átlép egy határ értéket már lokalizálhatjuk is magunkat.

A harmadik szenzor a GPS itt jön a képbe. Ugyanis ezeket a pontfelhőket UTM-be vagy valamilyen globális koordináta rendszerbe rögzítik. Így, ha van egy viszonylag pontos GPS rendszerünk, valamint a térképen rögzített koordináták is elég pontosak akkor a lokalizáció megkönnyíthető.

A harmadik algoritmus a perception azaz érzékelés rész. A 4.ábra ezt a blokkot mutatja be.



4. ábra (saját szerkesztés)

4. Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

Irodalomjegyzék

- [1.] A. Bécue; E. Maia; L. Feeken; P. Borchers; I. Praça: A New Concept of Digital Twin Supporting Optimization and Resilience of Factories of the Future, Applied Science 2020
- [2.] Autoware universe dokumentáció
<https://autowarefoundation.github.io/autoware.universe/main/>
- [3.] J. Lee; K. Lee; A. Yoo; C. Moon: Design and Implementation of Edge-Fog-Cloud System through HD Map Generation from LiDAR Data of Autonomous Vehicles, Electronics 2020
- [4.] J. Jeong; J. Yong Yoon; H. Lee; H. Darweesh; W. Sung; Tutorial on High-Definition Map Generation for Automated Driving in Urban Environment, Sensors 2022
- [5.] J. Yong Yoon; J. Jeong; W. Sung: Design and Implementation of HD Mapping, Vehicle Control, and V2I Communication for Robo-Taxi Services, Sensors 2022
- [6.] Kai-Wei Chiang; Hao-Yu Pai; Jhih-Cing Zeng; Meng-Lun Tsai; Naser El-Sheimy: Automated Modeling of Road Networks for High-Definition Maps in OpenDRIVE Format Using Mobile Mapping Measurements, Geomatics 2022
- [7.] N. Senel; K. Kefferpütz; K. Doycheva; G. Elger: Multi-Sensor Data Fusion for Real-Time Multi-Object Tracking, Processes 2023
- [8.] P. Biber, W. Straßer, The normal distributions transform: a new approach to laser scan matching, 2003
- [9.] S. Kato; S. Tokunaga; Y. Maruyama; S. Maeda; M. Hirabayashi; Y. Kitsukawa; A. Monrroy; T. Ando; Y. Fujii: Autoware on Board: Enabling Autonomous Vehicles with Embedded Systems, 2018 ACM/IEEE 9th International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPS)
- [10.] Q. Liu; Z. Li; S. Yuan; Y. Zhu; X. Li: Review on Vehicle Detection Technology for Unmanned Ground Vehicles, Sensors 2021

Többdimenziós buszvezető viselkedés vizsgálat - pilot

Multidimensional bus driver behaviour study - pilot

Nagy Viktor^a, Kovács Gábor^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatásiközpont

nvitkor@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem

gkovacs@sze.hu

Absztrakt

A tanulmány célja a Multi-dimenziós Buszvezető Viselkedés Felmérés (MuDiBu) kidolgozása. A felmérés három fő komponenset tartalmaz: a Többdimenziós vezetési stílus leltár (MDSI), a Vezetői magatartás kérdőív (DBQ) és a Vezetői düh skála (DAS). Az MDSI segítségével a buszvezetők vezetési stílusát mértjük, figyelembe véve a sebességkezelést, a kanyarodási technikát és a közlekedési szabályok betartását. A DBQ azon kérdéseket tartalmazza, amelyek segítenek értékelni a vezetői magatartást, beleértve a kommunikációt az utasokkal és a személyzettel, valamint az ügyfélszolgálati készségeket. A DAS skála pedig a buszvezetők düh és frusztráció szint mérésére alkalmas, általa megérthető, milyen hatással van ez a viselkedésükre. Jelen pilot vizsgálat lehetőséget teremt a felmérés tesztelésére és finomítására a későbbi, nagyobb mintavételű kutatások megalapozására. A kidolgozott felmérés hozzájárulhat a buszvezetők munkavégzésének és viselkedésének jobb megértéséhez, és segíthet a közlekedésbiztonság és az utaselégedettség növelésében azáltal, hogy az eredmények alapján célzott fejlesztéseket vezet be a szakmai képzés és a munkahelyi gyakorlat területén.

Kulcsszavak: járművezető monitoring, buszvezető, járművezetői viselkedés

Abstract

The aim of the study is to develop a Multi-dimensional Bus Driver Behaviour Survey. The survey consists of three main components: the Multi-Dimensional Driving Style Inventory (MDSI), the Driving Behaviour Questionnaire (DBQ) and the Driving Anger Scale (DAS). The MDSI measures bus drivers' driving style, taking into account speed management, cornering technique and compliance with traffic rules. The DBQ includes questions that help assess driver behaviour, including communication with passengers and staff, and customer service skills. And the DAS scale measures bus drivers' anger and frustration levels and provides an understanding of how this affects their behaviour. The present pilot study provides an opportunity to test and refine the survey to inform future research with a larger sample size. The developed survey can contribute to a better understanding of bus drivers' work and behaviour and help to improve road safety and passenger satisfaction by introducing targeted improvements in professional training and workplace practices based on the results.

Keywords: driver monitoring, bus driver, driver behaviour

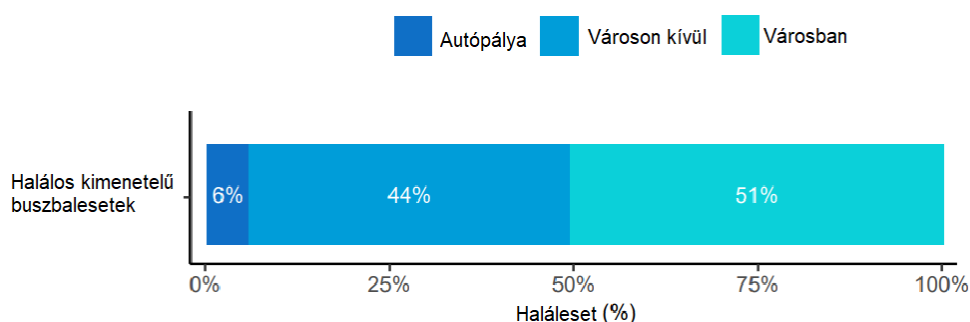
1. Bevezetés

A figyelem az egyik legfontosabb tényező a járművezetés során, hiszen a vezetőnek folyamatosan érzékelnie kell az úton történő eseményeket, és a járműve környezetével való interakcióit. A sok vezetéssel töltött óra miatt a buszvezetés kihívásokkal teli munkának számít, ráadásul a járművezető egy apró hibája is több utas biztonságát és testi épségét veszélyeztetheti. Számos tényező befolyásolhatja a járművezető figyelmét, és a kognitív terhelés az egyik legfontosabb közülük, mivel az hatással lehet a vezetési teljesítményre és a baleseti kockázatra. Ennek következtében a járművezetői figyelem és kognitív terhelés témaköre kiemelkedő fontossággal bír a közlekedésbiztonság szempontjából.

A kutatás során a járművezető vizsgálatát több pszichológiai kérdéssor segítségével végeztük el. A szakirodalomban használt, hivatásos sofőrök felmérésére is alkalmazott vezetési stílus, magatartás és düh jellemzők szubjektív adatfelvételére került sor, mely adatok újszerű feldolgozását és értékelését tettük meg.

2. Irodalomkutatás

A közúti közösségi közlekedés jelentős elterjedtsége az utasok szempontjából nagyon magas baleseti kockázatot jelent. A növekvő forgalomsűrűség, valamint közlekedésben résztvevő járművek száma egyaránt növelik a kockázati tényezők számát és hatását. A buszokkal összefüggésbe hozható balesetek halálos áldozatainak száma 1 millió lakosra vetítve az Európai Unió országaiban átlagosan 1,47 fő, Magyarországon ez a szám 2,2, a 2018-2020 évi adatokat tekintve. Részletesen megvizsgálva a halálos kimenetelű baleseteket kiderül, hogy a legtöbbször városi környezetben, valamint országúton (lakott területen kívül) történik, míg az autópálya nagyobb biztonságot jelent (1. ábra).



1. ábra: Halálos kimenetelű buszbalesetek eloszlása úttípus szerint [1]

A járművezetők figyelmének elterelődése, zavarása jelentős közlekedésbiztonsági probléma. Számos jelenleg is folyamatban levő kutatásban már vizsgálják, hogy a figyelemelterelés milyen módon befolyásolhatja a vezetési teljesítményt és biztonságot. Ezek közé tartozik a csökkent irányítóképesség, helyzetfelismerés, a közúti veszélyekre való reagálási idő növekedése. A jelen kutatás szempontjából vizsgált „figyelem elterelés” a biztonságos vezetés szempontjából kritikus tevékenységekről egy másik tevékenységre történő fókuszálást jelent [2]. Összességében hét fő célalapú feladatkategoriát azonosítottak, amelyeket a buszvezetők jelenleg a buszok üzemeltetése során végeznek. Ezek a következők voltak:

- előkészítési feladatok;
- fizikai járműirányítási feladatok;
- kognitív járműirányítási feladatok;
- útvonal/időbeosztási feladatok;
- utasokkal kapcsolatos feladatok;
- kommunikációs feladatok;
- és személyes kényelmi feladatok.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) szerint: A járművezető figyelmének elterelése úgy jellemezhető, mint bármely olyan tevékenység, amely eltereli a járművezető figyelmét a járművezetésről. A baleseti adatok vizsgálata azt mutatja, hogy bármelyik figyelemelterelés képes lehet arra, hogy a baleseti okként felmerüljön vagy hozzájáruljon egy balesethez. Ilyenek lehetnek az ablak lehúzása, a tükör beállítása, a rádió hangolása vagy a mobiltelefon tárcsázása.

Az NHTSA négy különböző kategória szerint vizsgálja a figyelemelterelést: vizuális figyelemelterelés (pl.: az úttestről való elfordulás), auditív figyelemelterelés (pl.: csörgő mobiltelefonra reagálás), biomechanikus figyelemelterelés (pl.: a csörgő mobiltelefonra reagálás), biomechanikus figyelemelterelés (pl. a rádió hangerejének kézi beállítása), és kognitív figyelemelterelés (pl.: gondolatokba merülve). A járművezetők számos figyelemelterelő tevékenységet végezhetnek, melyek egynél több ilyen összetevőből állnak (pl.: egy kezelőszerv vizuális keresése). A legújabb aggodalmak a technológia alapú

figyelemeltereléssel, ennek biztonsági következményeivel és kockázataival kapcsolatban jelentek meg.[3]

Zsidó N. András a figyelem kognitív pszichológiája című könyvében a figyelmi terhelés (attentional load) mint jelenséggel foglalkozik [4]. A kognitív terhelés egy olyan pszichológiai fogalom, amely arra utal, hogy mennyi mentális erőfeszítésre van szükség egy adott feladat elvégzéséhez. Azaz, hogy az adott feladat, amelyet éppen végzünk, a rendelkezésre álló munkamemória-kapacitás mekkora részét veszi igénybe. Gyakran aggódunk az aktuális célt fenyegető veszély miatt és próbálunk valamilyen módszert találni ennek csökkentésére – ez a szorongás. A szorongás negatívan befolyásolhatja a kognitív teljesítményt, mivel zavarhatja a figyelmet és növelheti a fenyegető ingerekre való összpontosítást. Az elmélet szerint minél nagyobb a perceptuális, azaz figyelmi terhelés annál kevésbé lesz zavaró más ingerek hatása, mivel nincs kapacitás azok feldolgozására. A szelektív észleléshez a figyelemrendszer túlterhelése szükséges, és ez határozza meg, hogy mikor történik a szelekció (szűrés). Ha van még szabad kapacitás a fő feladat mellett, akkor nem teljesül a szelekció és a zavaró ingerek részlegesen feldolgozódnak. Hosszan tartó figyelem és tevékenység terhelést jelent a kognitív rendszerre, különösen a prefrontális területekre. A fáradtság problémákat okozhat a vizuális figyelemben, megváltoztathatja a figyelem összpontosításának képességét, és csökkentheti a figyelmi folyamatok hatékonyságát. Hibrid vizuális keresés lényege, hogy több célingert tanulunk meg, majd ezeket különböző vizuális keresési helyzetekben kell eldöntenünk, hogy bármely korábban megtanult célinger jelen van-e. Ötvözi a vizuális és az emlékezeti keresést. Elmélyülés a feladatban ezen elmélet esetén, ha az egyén bevonódik a feladatba és motivált a teljesítésére, kevésbé fogják zavarni a külső ingerek. Vagyis az elterelhetőség mértéke (hogy mennyire interferál egy zavaró inger a feladatmegoldással) attól is függ, hogy mennyire tud elmélyülni a feladatban.

A tanulmányban az kognitív és figyelmi elterelés, zavaró és fárasztó, illetve befolyásoló tényezőket mérjük fel a komplex, több területre fókuszáló kérdőívvel, melyet kimondottan a buszvezetőkre adaptálunk.

Többdimenziós Járművezetési Stílus Felmérés - TJSF

A Többdimenziós Járművezetési Stílus Felmérés – TJSF (Multidimensional Driving Style Inventory vagy MDSI) talán a legfontosabb eszköz a vezetési stílusok mérésére. A 2004-es

megjelenése óta világszerte alkalmazzák a járművezetők különböző mintáin, és a közúti közlekedésbiztonság szempontjából bizonyítottan jó hatásfokkal használható szubjektív mérőrendszer. A kérdőív nyolcfaktoros szerkezetből épül fel: disszociatív (F1); szorongó (F2); kockázatos (F3); dühös (F4); nagy sebességű (F5); preventív (F6); türelmes (F7) és óvatos (F8). A témában végzett korábbi kutatások alátámasztják azt a hipotézist, hogy a hivatásos gépjárművezetőknél a TJSF fontos szerepet játszhat a vezetés biztonságának javításában és a sérülések megelőzésében a veszélyeztetett munkaerő kiszűrése miatt [5].

Korábbi kutatások azt is kimutatták, hogy az ellenséges, agresszív vagy szorongó attitűdök és/vagy jellemzők magasabb pontszámával rendelkező járművezetők hajlamosak voltak gyakrabban belekeveredni közlekedési balesetekbe, vagy a közlekedési szabályok megsértése miatt büntetéssel szankcionálták őket. A feladatukra alkalmasabb járművezetők a "türelmes és óvatos" vezetési stílusba kategorizálódtak, így jellemzően kevesebb a hibát, szabálysértést vétének. Egyes tanulmányok szerint a pszichológiai alkalmazkodás pozitívan összefügg a vezetési tapasztalattal. Számos korábbi, globálisan végzett vizsgálatban pozitív kapcsolatot találtak a magasabb kockázatra való hajlamot mutató jellemzők és vezetési stílusok (szorongás, ellenségesség vagy düh) pontszámai és a balesetek között [5]. A kérdőív eredményeiből képet kaphatunk az egyének vezetési stílusáról, olyan módon, hogy egy 5 pontos skálán a "egyáltalán nem" (1) és a "nagyon" (5) között értékelik, hogy az egyes állítások mennyire jellemzőek az érzéseikre, gondolataikra és viselkedésükre.

Járművezetői Magatartás Kérdőív - JMK

Vezetés közben a járművezetők gyakran tanúsítanak olyan magatartást, amely jelentős veszélyt jelent az életükre, az utasokra és a többi közlekedőre [6]. Három fő kategóriába sorolhatjuk őket:

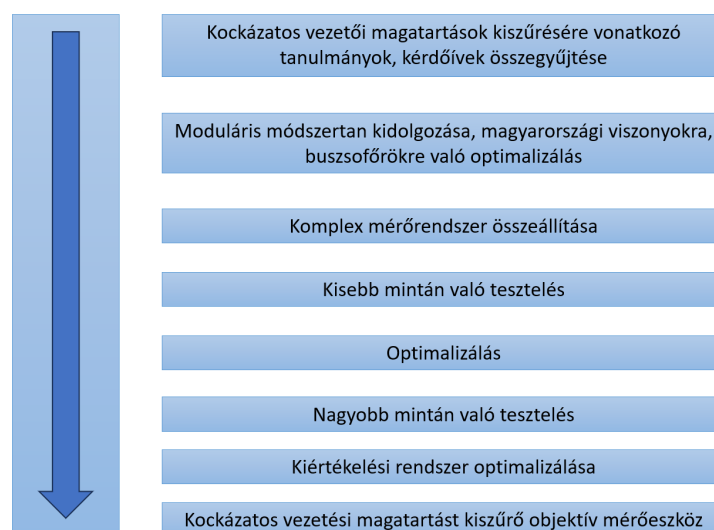
1. Közlekedési normák és szabályok megszegése: például gyorsajtás, jelzések megsértése stb.
2. Helytelen döntések: például az elsőbbségadás jelzőtábla figyelmen kívül hagyása, rossz sebességfokozatban való vezetés stb.
3. Elvárásnak megfelelő magatartás.

Járművezetői Düh Skála - JDS

A közúti közlekedésben a járművezetők dühkitörésre való hajlamának értékelésére szolgáló eszköz. Számos kutatás használta ezt a skálát a világ különböző országaiban a düh mérésére. A vezetés közbeni haraggal kapcsolatos eredményeket összefüggésbe hozták a harag általános megélésével és kifejezésével, valamint bizonyos demográfiai változókkal. A JDS értékeli, hogy a járművezető hajlamos-e dühöt érezni olyan eseményekre válaszul, amelyek udvariatlansággal, szabálytalan vezetéssel, ellenséges gesztusokkal, lassú vezetéssel, forgalmi akadályokkal és/vagy rendőri jelenléttel járnak. A vezetési düh és a vezetési eredmények közötti kapcsolatot vizsgáló 51 különálló tanulmány metaanalízise kimutatta, hogy a vezetési düh magas foka jelentősen korrelál az agresszív vezetéssel, a kockázatos vezetéssel és a vezetési hibák előfordulásával [7]. A kérdések segítségével különböző szituációkba kell a sofőrnek beleképzelnie magát, és egy 5 pontos skálán értékelni mennyire dühítené őt az, amit tapasztalnának: 1 = egyáltalán nem, 2 = egy kicsit, 3 = valamennyire, 4 = eléggé, és 5 = nagyon.

3. A vizsgálati rendszer

Célunk egy olyan mérőrendszer létrehozása, amely komplex és átfogó képet ad a közlekedésbiztonság szempontjából kockázatos vezetői magatartásokról (2. ábra). Kiemeli a kockázatos pontokat és akár pszichológus beavatkozásával is kizárhatók legyenek bizonyos kockázati tényezők. Hasznosítható kimenetet biztosítva akár cégvezetők számára a munkahelyi környezet optimalizálása és a közúti biztonság növelése érdekében.



2. ábra: Vizsgálati módszertan (saját szerkesztés)

A módszertani áttekintés és eszközválasztás során az önismereti/demográfiai kérdéseket követően a TJSF, JMK és JDS kérdéssorokat a helyi környezeti jellemzőkre adaptálva alkalmaztuk. A kutatás első lépéseként a cikkben bemutatott tanulmány elkészítése során egy pilot projekt keretében három fős mintán teszteltük a rendszert. Ezt a bőséges, nemzetközi szakirodalmi eredményekre alapozva tettük meg, és a saját eredményeink megfelelő alapot biztosítanak a nagy mintán történő, átfogó vizsgálat lefolytatására.

4. A vizsgálat eredményei

A pilot vizsgálat során három fő került megkérdezésre (N=3), akik életkora 39-53 év (átlag: 47,3; szórás: 7,4). Első körben egy demográfiai, önismereti, kérdőívet töltöttek ki, ahol munkájukra, általános közérzetükre és egészségükre vonatkozó kérdéseket kaptak. A kérdőív eredményeinek elemzése segíthet az egyének figyelmének, kognitív terheléseinek megértésében és elemzésében. A 4. táblázat alapján látható, hogy mindhárom sofőr különböző vezetési tapasztalattal rendelkezik, „A” esetében 13 éves tapasztalat, távolsági járatokon dolgozott, „B” alanynak jogosítványa 21 éve van, de nem vezet buszt „C” pedig 12 éve vezet buszt, jelenleg is városi buszon dolgozik. Mindannyian automataváltós diesel buszt vezettek. Továbbá egyikőjük sem visel szemüveget, valamint nincs gerinc problémájuk. Mindhárman igyekeznek tenni az egészségük megóvásáért. Sajnos kettőjüknek van krónikus betegsége vélhetően stresszből fakadóan. A vezetési szokásaikra térve jellemző hibájuknak szabálytalan parkolást és irányjelző elmulasztását említették. Ami legjobban zavarja őket többnyire a megnövekedett forgalom, dugó, illetve a jármű rossz műszaki állapota. Ha a munkanapjukat tekintjük a sofőröknek akkor az A esetben egyformán terhelő a munkavégzés a nap kezdetén és befejeztével, míg a „C” a nap végén érzi terhelőbbnek a munkát.

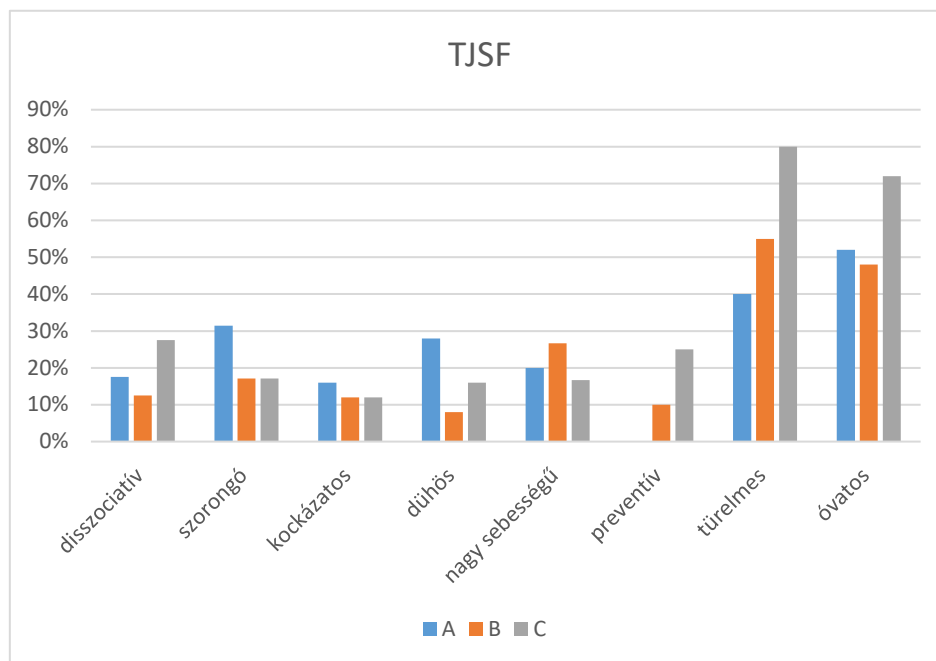
TJSF - Többdimenziós Járművezetési Stílus Felmérés

Ebben a vizsgálatban a Többdimenziós Járművezetési Stílus Felmérést (TJSF) mutatjuk be, mely 44 kérdésből áll, és az egyéni vezetési stílus jellemzőit vizsgálja. A résztvevőket arra kértük, hogy alaposan olvassák el az egyes kérdéseket, majd egy 6 pontos skálán értékeljék, hogy az állítások mennyire fejezik ki vezetés közbeni érzéseiket, gondolataikat és viselkedésüket, a "egyáltalán nem" (0) és a "nagyon" (5) között.

Az eredmények kiértékelése során az első lépésben 3 kérdés került kiválasztásra a szorongó vezetési stílus vonatkozásában, ahol az egységes eredmény elérése érdekében az inverz válaszokat vettük figyelembe. Példaként, a "Komfortosan érzem magam vezetés közben" és a "Vezetés közben frusztrálnak érzem magam" kérdésekre adott válaszok ellentétesek lennének, így a pozitív jellegű kérdésekre adott pontszámok inverzét használtuk a skálán. Hasonlóképpen, az óvatos vezetési stílus esetén is 2 kérdést választottunk ki, és ugyanezt a módszert alkalmaztuk. Az egyes stílusokhoz tartozó kérdések számának kiegyenlítése érdekében az elemzés során az adott kategóriában kapott pontszámokat összegeztük, majd ezt osztottuk el az adott faktoron belüli maximális pontszámmal (amely minden esetben 5 volt). Az eredményeket táblázat formájában összegeztük (1. táblázat). Színskálával ábrázoltuk a szélsőséges, kiugró értékeket adott magatartásformán belül, így látható, hogy a vészhelyzet elkerülő/preventív vezetési stílus, ami leginkább fejlesztendő a mintán belül.

1. táblázat: TJSF eredmények (saját szerkesztés)

	<i>Factor 1</i>	<i>Factor 2</i>	<i>Factor 3</i>	<i>Factor 4</i>	<i>Factor 5</i>	<i>Factor 6</i>	<i>Factor 7</i>	<i>Factor 8</i>
TJSF	disszociatív	szorongó	kockázatos	dühös	nagy sebességű	preventív	türelmes	óvatos
A	0,175	0,314	0,160	0,280	0,200	0,000	0,400	0,520
B	0,125	0,171	0,120	0,080	0,267	0,100	0,550	0,480
C	0,275	0,171	0,120	0,160	0,167	0,250	0,800	0,720



3. ábra: Faktoronkénti intenzitás (saját szerkesztés)

A 3. ábra százalékos arányai egyértelműen mutatják, hogy melyik vezetési stílus a leginkább jellemző a tesztalanyokra. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a résztvevőket leginkább a türelmes és óvatos vezetési stílus jellemzi. Összehasonlítva a különböző stílusokat a „C” stílusú sofőröknél a preventív, türelmes és óvatos stílusok mutatják a legmagasabb arányokat, míg a kerülendő stílusok közül ők érik el a legalacsonyabb intenzitást. Az „A” stílusú sofőröknél a szorongás és a düh mértékének csökkentése lehet javasolt, míg a „B” stílusú sofőröknél a nagy sebességű vezetési stílus visszafogása lehet célszerű.

A disszociatív vezetési stílusra jellemző, hogy a vezetés közben elmerülnek gondolataikban, és figyelmüket elveszítik a körülöttük zajló közlekedésről. Gyakori figyelmetlenségi hibákhoz vezethet, például helytelen távolságok felméréséhez, elfelejtett távolsági fényszóró lekapcsolásához, téves funkciók használatához a járműben, valamint hiányzó pontos útvonaltervezéshez. Az álmodozás miatt előfordulhat, hogy nem vesznek észre más közlekedőket, és gyakran rutinból vezetnek. A disszociatív vezetési stílus kialakulását számos tényező befolyásolhatja, például a fáradtság, érzelmi stressz (szorongás, harag), és figyelemelterelő eszközök (pl. telefon, rádió, navigáció). Azok, akik erősebben ki vannak téve ezeknek a tényezőknek, nagyobb valószínűséggel hajlamosak lehetnek erre a vezetési stílusra, és ilyenkor érdemes lehet kerülni a vezetést.

A szorongó vezetési stílus jellemzője az, hogy a sofőrök aggódnak és frusztráltak a vezetés közben. Nem érzik magukat komfortosan, és túlterhelteknek érzik magukat a közlekedés során. A szorongó vezetési stílus kialakulhat traumatikus események, például korábbi baleset vagy más traumatikus élmények miatt, de genetikai hajlam is szerepet játszhat (egyesek hajlamosabbak a szorongásra, mint mások). Ezenkívül lelki állapot és pszichés betegségek, például pánikbetegség vagy depresszió is okozhatnak szorongást vezetés közben. Tapasztaltabb járművezetőknél általában csökken a szorongás a vezetés során, ahogy a képességeik fejlődnek.

A kockázatos vezetési stílusú sofőrök hajlamosak kockázatokat vállalni és megszegni a közlekedési szabályokat. Szeretik a veszélyes helyzeteket és a gyorsajtást, és gyakran figyelmetlenek vezetés közben, például mobiltelefon használat, ivás, evés vagy öltözködés során. A tanulmányok kimutatták, hogy sok sofőr bevallotta, hogy legalább néhányszor evett vagy ivott vezetés közben. A kockázatos vezetési stílus hátterében érzelmi stressz, harag vagy kihívások is állhatnak, és egyes emberek általában hajlamosabbak a kockázatos viselkedésre. A kockázatos magatartás csökkentése érdekében érdemes elkerülni a vezetést, ha érzelmi

feszültség áll fenn, és figyelni a közlekedési szabályok és normák betartására. A szakember segítségével lehet azonosítani a kockázatos viselkedés okait és terápiás módszerekkel csökkenteni a magatartást.

A dühös vezetési stílus a káromkodás, dudálás és másokra való rávillogás jellemzi. Az ilyen sofőrök gyakran megpróbálják megakadályozni mások előzését és agresszíven viselkednek más járművezetőkkel szemben. A dühös vezetési stílus az ellenséges agresszió egy formája, és negatív állapotot idézhet elő a többi sofőrben. Ez a viselkedés a kezdő és a tapasztalt sofőröknél is megfigyelhető, és a csökkentése hasonló a más vezetési stílusokhoz: az érzelmi stressz kerülése, szakember bevonása, valamint az óvatosságra és a közlekedési szabályok betartására való odafigyelés.

A nagy sebességű vezetési stílusra jellemző a türelmetlenség és a közlekedés többi résztvevőjének figyelmen kívül hagyása. Az ilyen sofőrök általában nem tartják be a közlekedési szabályokat, és a veszélyes helyzeteket is vállalják. Mobiltelefon használata, ivás, evés vagy öltözködés vezetés közben szintén gyakori

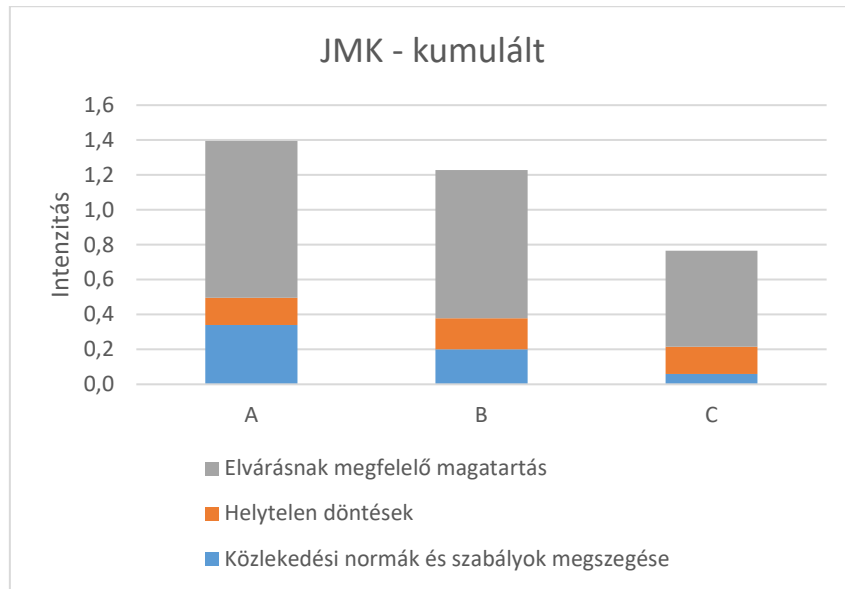
JMK- Járművezetői Magatartás Kérdőív

A JMK (Járművezetői Magatartás Kérdőív) kitöltése során a résztvevőknek 22 állítást kellett értékelniük egy hatfokozatú skálán, ahol a "0 = soha" és a "5 = szinte mindig" között kellett értékelniük, hogy milyen gyakran tapasztalják a leírt viselkedéseket. Az egyes magatartási csoportokon belül eltérő kérdésszám lehetett, ezért az elemzés során faktoronként az adott kategóriában kapott pontszámokat összegeztük, majd azt osztottuk el a faktoron belüli maximális pontszámmal (amely minden esetben 5 volt). Ezt a módszert alkalmazva összeállítottuk az eredményeket, és színskálán jelöltük a szélsőséges értékeket kérdéscsoportonként (2. táblázat).

2. táblázat: JMK eredmények (saját szerkesztés)

	Közlekedési normák és szabályok megszegése	Helytelen döntések	Elvárásnak megfelelő magatartás
A	0,340	0,156	0,900
B	0,200	0,178	0,850
C	0,060	0,156	0,550

Megfigyelhető, hogy többnyire az elvárásnak megfelelő magatartás jellemző a populációra. Az „A” alanyra jellemző leginkább a közlekedési normák és szabályok megszegése, ez kiemelkedő eredmény.



4. ábra: A magatartás típusonkénti intenzitása (saját szerkesztés)

A 4. ábra alapján jól látható, hogy milyen mértékben jellemzőek az egyénekre az egyes magatartási típusok. Az „A” típusú sofőrnél észrevehető egyfajta kettősség: a közlekedési normák és szabályok megszegése és az elvárásoknak megfelelő magatartás is magas intenzitással jelenik meg. Hasonlóan, a helytelen döntések is hasonló módon jellemzik ezt a mintát.

Az "elvárásoknak megfelelő magatartás" azt mutatja, hogy ezek a sofőrök hajlandók betartani a közlekedési szabályokat, tiszteletben tartják a többi közlekedőt, és biztonságosan és előrelátóan vezetnek. Kerülik a hirtelen fékezéseket, tartanak megfelelő követési távolságot, és nem feleslegesen dudálnak a többi közlekedőre. A "helytelen döntések" azt jelzi, hogy a buszsofőrök olyan döntéseket hoznak, amelyek veszélyeztetik a közlekedés biztonságát és zökkenőmentességét. Ezek a döntések lehetnek technikai hibákból eredők, például rosszul felmért távolság parkolás vagy megállás során, figyelmetlenségekből eredők, például a visszapillantó tükör ellenőrzésének elhagyása, vagy hirtelen fékezés miatti incidensek. A "közlekedési normák és szabályok megszegése" különböző formákat ölel fel, például a sebességhatárok túllépése, jelzőlámpák vagy stoptáblák figyelmen kívül hagyása, sávváltási vagy előzési szabályok megsértése, telefonálás vezetés közben, és akár a megengedettnél több

utas szállítása. Ezek a magatartásformák a közúti biztonságot veszélyeztetik és súlyosabb balesetek kockázatát hordozzák magukban.

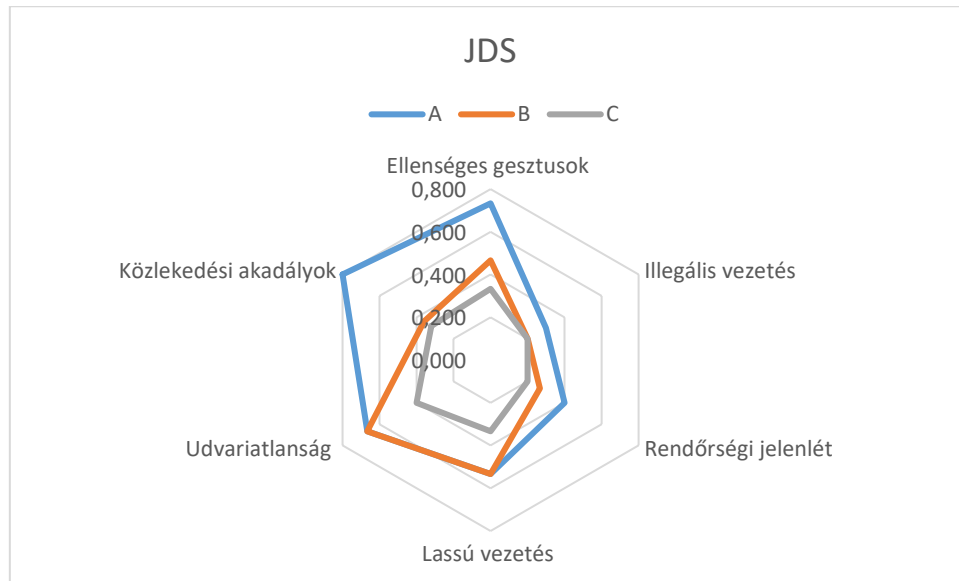
JDS - Járművezetői Düh Skála

A JDS kérdések segítségével kiderítettük milyen események hozzák leginkább erős érzelmi állapotba a tesztalanyokat. A vezetői düh számos formában jelentkezhet, beleértve a dühös kiabálást, a dudálást, a mutogatást, a veszélyes vezetést, valamint a fizikai agressziót. Szerencsére stresszmenedzsment technikákkal és szélsőségesebb esetekben terápiával hatékonyan javítható. A kitöltés során 22 szituációba kellett magukat elképzelni, és egy 5 pontos skálán értékelni mennyire dühítené az, amit tapasztalna: 1 = egyáltalán nem, és 5 = nagyon.

3. táblázat: JDS eredmények (saját szerkesztés)

	Ellenséges gesztusok	Illegális vezetés	Rendőrségi jelenlét	Lassú vezetés	Udvariatlanság	Közlekedési akadályok
A	0,733	0,300	0,400	0,533	0,667	0,800
B	0,467	0,200	0,267	0,533	0,667	0,360
C	0,333	0,200	0,200	0,333	0,400	0,320

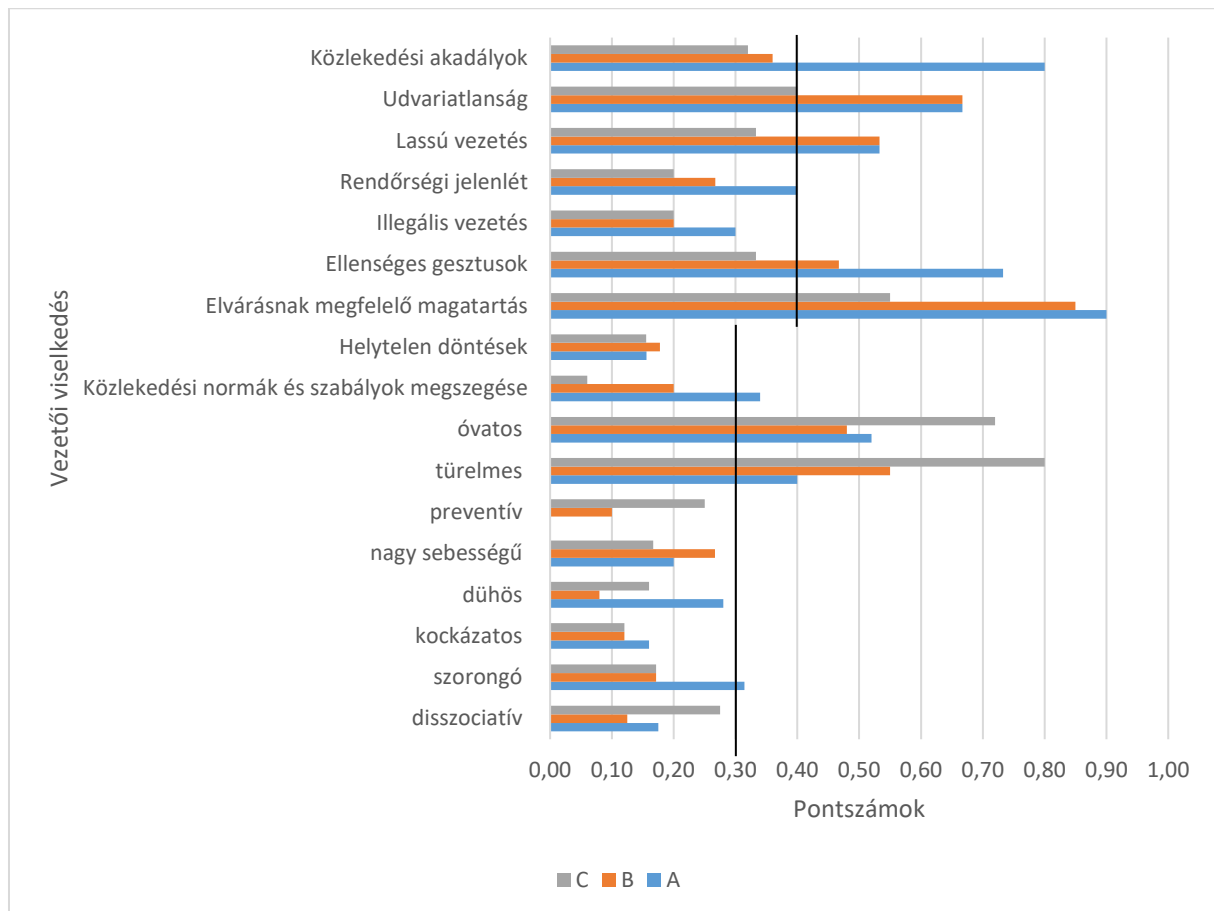
Az „A” típusú sofőrt a leginkább az ellenséges gesztusok és a közlekedési akadályok dühítik fel (3. táblázat). Például, ha valaki rájuk dudál, obszcén gesztust tesz feléjük, kiabál velük a vezetés miatt, vagy ha olyan tényezők zavarják őket, mint a kátyúk, a dugó, vagy ha egy másik autó kavicsot ver fel az általuk vezetett járműre. A „B” típusú sofőröket az udvariatlanság zavarja leginkább. A „C” típusú sofőrnél a kapott értékek általánosan magas tűrőképességi szintet mutatnak. A 5. ábra szerint a düh eloszlása jól szemléltethető a radar diagram segítségével. Ebben az esetben a kisebb területtel jelölt értékekhez tartozó járművezető (típus) kevésbé érzékeny a külső hatásokra, tehát nem dühítik annyira a környezeti tényezők.



5. ábra: Düh eloszlása (saját szerkesztés)

5. Összegzés

A kutatás célja a járművezetők vezetési magatartásának mélyebb megértése és elemzése volt. A résztvevőket különböző témájú kérdőívek kitöltésére kértük fel. Fontos hangsúlyoznunk, hogy a válaszoknak nincs helyes vagy helytelen megoldása, mivel minden résztvevő saját egyedi élményekkel és nézőponttal rendelkezik. Az összes válasz fontos a kutatás szempontjából, és hozzájárul a közúti biztonság javításához. Az egyénekre lebontott eredményeket összesítve az 6. ábrán szemléltettük. A faktorok kritikus határait két ponton húztuk meg: a vezetési düh esetében 0,4, míg a vezetői stílusok és magatartások esetében 0,3 értéknél. Fontos megjegyezni, hogy a pozitív tulajdonságok esetében is figyelembe kell venni, hogy mikor nem lépik át ezt a határt.



6. ábra: A sofőrök eredményei összesítve (saját szerkesztés)

Eredmények alapján látszik, hogy a preventív vezetési stílus egyáltalán nem jellemző az „A” sofőrre, tehát az fejlesztendő terület lehet. Emellett a közlekedési normák és szabályok megszegése és a szorongó vezetési stílus is fejleszthető. A düh esetében az eredmények markánsak, és kiderül, hogy a közlekedési akadályok, az udvariatlanság és az ellenséges gesztusok kiemelkedően hatnak az „A” sofőrre. Ezek a viselkedésformák általában stressz vagy frusztráció következményei lehetnek. A helyzetek felismerése és a megfelelő stresszkezelési technikák alkalmazása segíthet az ilyen helyzetek kezelésében. A „B” sofőr esetében a kritikus magatartásformák határon belül maradtak, és a kockázatos vezetési stílusok sem érték el a határértéket. Ennek ellenére érdemes lehet fejleszteni a preventív vezetési stílust, mivel az elősegítheti a közlekedés biztonságát és a konfliktusok elkerülését. Ami a düh területét illeti, az udvariatlanság, lassú vezetés és ellenséges gesztusok tolerálásának fejlesztésén kell dolgozni. Ezek a tényezők valószínűleg befolyásolják a sofőr közlekedési stílusát és hatással lehetnek másokra az úton. A „C” sofőr eredményei alapján látszik, hogy ő teljesített a legjobban, és nála nincsenek kiugró kritikus értékek. Még számára is érdemes lehet fejleszteni a preventív vezetési

stílust, mivel mindig van lehetőség a tudatosabb és előrelátóbb vezetésre, ami hozzájárulhat a közlekedési biztonság javításához.

A cikk a közösségi közlekedés biztonságának javítására irányuló kutatás eredményeit foglalja össze, különös tekintettel a magyarországi buszsofőrökre. A kutatás célja az volt, hogy segítse a sofőröket és munkáltatóikat a biztonságos vezetés elősegítésében, valamint a minőségbiztosítási rendszerek támogatásában. Az adatok és baleseti statisztikák áttekintése révén lehetőség nyílik a potenciális veszélyek és hibák azonosítására, amelyekből tanulságokat levonva javítható a közlekedési biztonság. A tanulmány egy moduláris módszertant mutat be, amely a buszsofőrök gondolkodási mintáit és érzelmi állapotait vizsgálja. A módszertan magában foglal egyedi kérdősorokat, amelyek kifejezetten a helyi közlekedési viszonyokhoz igazodnak. A tanulmány rámutat, hogy a sofőrök személyisége és a kockázatos magatartás között szoros kapcsolat van. Ilyen kockázatos viselkedésformák például a gyorsajtás, a közlekedési normák szándékos megsértése, vagy a vezetés közbeni kockázatkeresés. Ezek a viselkedések összefüggenek az egyén személyiségjegyeivel, mint például a vezetési sebesség, figyelem, óvatosság, valamint attitűdök, meggyőződések és személyes értékek.

A cikk kitér a preventív vezetési stílus fontosságára is, hangsúlyozva, hogy a megfelelő támogatás és oktatás, valamint a stresszkezelési technikák elsajátítása hozzájárulhat a biztonságosabb vezetéshez. Az empátia és türelem gyakorlása, valamint a vezetési düh kezelése kulcsfontosságú a személyes és mások biztonságának megőrzése érdekében. Az ilyen típusú fejlesztések elősegíthetik a sofőrök jobb megértését mások helyzetére, és hozzájárulhatnak a tiszteletteljes és türelmes közlekedési magatartáshoz. A pilot vizsgálat eredményei megfelelő alapot jelentenek a nagyobb populáción történő továbbfejlesztett MuDiBu kérdőív kidolgozására.

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Kooperatív Doktori Program (KDP) keretén belül az Kulturális és Innovációs Minisztérium, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- [1] „European Road Safety Observatory”. [Online]. Elérhető: <https://road-safety.transport.ec.europa.eu/statistics-and-analysis/data-and-analysis/facts-and->
- [2] S. Keffane, „Ergonomics methods for identifying sources and effects of bus driver distraction”, *MOJ Civil Engineering*, köt. 4, sz. 2, o. 87–91, 2018, doi: 10.15406/mojce.2018.04.00102.
- [3] T. A. Ranney, W. R. Garrott, és M. J. Goodman, „NHTSA DRIVER DISTRACTION RESEARCH: PAST, PRESENT, AND FUTURE”.
- [4] ZSIDÓ N. ANDRÁS, *A figyelem kognitív pszichológiája*. Akadémiai Kiadó, 2022. Elérés: 2023. november 24. [Online]. Elérhető: https://mersz.hu/dokumentum/m952afkp__71/
- [5] S. A. Useche, B. Cendales, F. Alonso, J. C. Pastor, és L. Montoro, „Validation of the Multidimensional Driving Style Inventory (MDSI) in professional drivers: How does it work in transportation workers?”, *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*, köt. 67, o. 155–163, nov. 2019, doi: 10.1016/j.trf.2019.10.012.
- [6] H. Singh és A. Kathuria, „Self-reported aberrant driving behavior among Bus Rapid Transit drivers”, *J Public Trans*, köt. 25, o. 100040, 2023, doi: 10.1016/j.jpubtr.2023.100040.
- [7] S. Brandenburg és M. Oehl, „Driving anger in Germany: Validation of the driving anger scale for German drivers”, *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*, köt. 81, o. 317–328, aug. 2021, doi: 10.1016/j.trf.2021.06.006.

