

"FENNTARTHATÓ JÁRMŰIPARI TECHNOLÓGIÁK KUTATÁSA A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN"

**KONFERENCIAKIADVÁNY
2023. TAVASZ**



FENNTARTHATÓ JÁRMŰIPARI
TECHNOLÓGIÁK KUTATÁSA A
SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN

2023. tavasz

Lektorok:

Dr. Busznyák Tibor, Dr. Eisingerné dr. Balassa Boglárka,
Dr. Enisz Krisztián, Dr. Gyurián Nagy Nikolett,
Dr. Polák József, Pup Dániel,
Dr. Speiser Ferenc Péter, Dr. Szénásy István,
Dr. Titrik Ádám, Dr. Varga Zoltán

Szerkesztette:

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

Széchenyi István Egyetem

2023

ISBN 978-615-6443-31-1



Tartalomjegyzék

TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2021 - NEMZETI KUTATÁSOK ALPROGRAM – DIGITÁLIS IPARI TECHNOLOGIÁK KUTATÁSA A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN

AUTONÓM JÁRMŰVEK FORGALOMRA GYAKOROLT HATÁSAINAK VIZSGÁLATA A VISSIM FORGALOMSZIMULÁCIÓS PROGRAM SEGÍTSÉGÉVEL	10
<i>CSIKOR DÁNIEL</i>	
AZ EZÜST GENERÁCIÓ TECHNOLOGIA-ELFOGADÁSÁNAK MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐI A DIGITÁLIS KORBAN.....	24
<i>DR. GYURLÁN NAGY NIKOLETT</i>	
AZ ROS 2 ALKALMAZÁSAI	34
<i>HORVÁTH ERNŐ</i>	
VEZETŐI MODELLEK TIPIZÁLÁSA KLASZTEREZÉSI MÓDSZEREK SEGÍTSÉGÉVEL	38
<i>IGNÉCZI GERGŐ FERENC^A, DOBAY TAMÁS^B</i>	
RADARALAPÚ VÉSZFÉKKRENDSZER TESZTELÉSE KÜLÖNBÖZŐ KALIBRÁCIÓS BEÁLLÍTÁSOKKAL..	70
<i>JAGICZA MÁRTON^A, SÜTHEÖ GERGŐ^B, ŐRI PÉTER^C, KOCSIS-SZÜRKE SZABOLCS^D, PROF. DR. LAKATOS ISTVÁN^E</i>	
MIT JELENT A JÁRMŰIPARI ÖKOLÓGIAI FENNTARTHATÓSÁG A JOG SZEMPONTJÁBÓL?	86
<i>KECSKÉS GÁBOR PHD</i>	
HOGYAN LEHET FENNTARTHATÓBBÁ TENNI A MOBILTELEFON PIACOT? A TERMÉKCSERE ÉS A FORDÍTOTT LOGISZTIKA LEHETŐSÉGEI	95
<i>KOTECZKI RÉKA</i>	
SZEMÉLYGÉPJÁRMŰ VALÓSÁGHOZ KÖZELI MENETELLENÁLLÁSÁNAK SZIMULÁLÁSA GÖRGŐS TELJESÍTMÉNYMÉRŐ PADON.....	104
<i>PESZLEG RICHÁRD</i>	
A GOLYÓSOROS HAJTÓMŰ MODELLEZÉSÉNEK KITERJESZTÉSE KÜLÖNBÖZŐ GEOMETRIAI ELRENDEZÉSŰ HAJTÓMŰVEK ESETÉRE	112
<i>DR. POLÁK JÓZSEF</i>	
AUTONÓM JÁRMŰVEK V2X KOMMUNIKÁCIÓJÁNAK HATÁSA AZ ENERGIAHATÉKONYSÁGRA RELEVÁNS TUDOMÁNYOS KUTATÁSOK ALAPJÁN.....	132
<i>SALY GÁBOR</i>	
DIGITÁLIS IKERREL TÁMOGATOTT GYÁRTÁS	142
<i>KORPAI RICHÁRD^A, TOMOR MÁTÉ ERNŐ^A, SZÁNTÓ NORBERT^A</i>	

AZ AUTONÓM JÁRMŰVEK HÁLÓZAT OPTIMALIZÁLÁSI SZEMPONTJAI: KIHÍVÁSOK ÉS JÖVŐBELI IRÁNYOK 151

UNGER MIKLÓS

NEMZETKÖZI KITEKINTÉS AZ 5G TECHNOLOGIA TERJEDÉSÉVEL KAPCSOLATBAN..... 158

VASTAG TÍMEA

TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2021 - NEMZETVÉDELEM, NEMZETBIZTONSÁG ALPROGRAM – KATONAI RENDSZEREK TŰRŐKÉPESSÉGÉNEK KUTATÁSA A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN

ENERGIAHATÉKONY VERSENYJÁRMŰ ABLAKTÖRLŐ BERENDEZÉSE 167

BASA ANDRÁS

ENERGIAHATÉKONY VERSENYAUTÓ ELEKTRONIKAI SZERELŐPANELJÉNEK TERVEZÉSE 177

FÜR BALÁZS^A, GULYÁS PÉTER^B

KOMPLEX ELEKTRONIKAI SZERELŐ PANEL FEJLESZTÉSE KÍSÉRLETI JÁRMŰHÖZ..... 186

GULYÁS PÉTER^A, FÜR BALÁZS^B

JÁRMŰ TELEMETRIA RENDSZER FEJLESZTÉSE ELEKTROMOS VERSENYJÁRMŰHÖZ 192

KECSKEMÉTI ISTVÁN^A, ORSZÁG ANDRÁS^B

PILÓTA NÉLKÜLI FÖLDI JÁRMŰVEK REZILIENCIAVIZSGÁLATA A FENNTARTHATÓ BEVETHETŐSÉG ÉRDEKÉBEN 200

KRECHT RUDOLF^A, BALLAGI ÁRON^B

ENERGIAHATÉKONY ELEKTROMOS VERSENYJÁRMŰ FÉNYSZÓRÓ BÚRÁJÁNAK SZKENNELÉSE ÉS VISSZAMODELLEZÉSE 209

KRECH DÁVID

ENERGIAHATÉKONY VERSENYAUTÓHOZ TERVEZETT TENGELYKAPCSOLÓ MECHANIZMUS AKTUÁLÁSA 221

LUBINSZKI ZSOMBOR

NAGY PONTOSSÁGÚ NAVIGÁCIÓS RENDSZER VIZSGÁLATA ÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSA FÖLDI RTK-BÁZISÁLLOMÁSSAL, ILLETVE MŰHOLD ALAPÚ RTK PONTOSÍTÁSSAL ÖNVEZETŐ JÁRMŰ SZEMPONTJÁBÓL..... 228

SOMOGYI HUBA

GYALOGOS TESZTBÁBU TERVEZÉSE ÉS TESZTELÉSE 237

TÓTH GÁBOR^A, SIMON NORBERT^B, MAGAI RÓBERT^C, PEKK LETÍCIA^D, DR. HÁRY ANDRÁS^E



TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2021

Nemzeti kutatások alprogram – Digitális ipari technológiák kutatása a Széchenyi István Egyetemen

TKP2021-NKTA-48

Támogatási összeg: 990 000 000 Ft

Támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2022.01.01. – 2023.12.31.

Projektismertető:

A Tématerületi Kiválósági Program 2021 projekt célkitűzése a különböző Digitális Ipari Technológiák Kutatása az alábbi területeken:

1. Virtuális valóság alapú rendszerek kutatása
2. Rendszer és irányításelméleti kutatás
3. Kiber-fizikai rendszerekkel kapcsolatos kutatás, IPAR 4.0 gyártástechnológiák kutatása
4. Önvezető járművek validációs módszereivel kapcsolatos kutatás
5. Járműipari tesztpályához kötődő kutatási feladatok
6. Autonóm járművek egyedi és kooperatív irányítását megvalósító rendszerek kutatása
7. Smart és logisztikai rendszer kutatása
8. Digitális technikák alkalmazása anyagtechnológiai kutatásokban
9. BIG DATA rendszerek kutatása
10. Mesterséges intelligencia kutatása

A kutatás során a 3D virtuális rendszerben létrejön a menedzsment támogató alrendszer. A projekt során létrejön a Nissan Leaf kísérleti jármű dinamikai irányítási célú pontosított modellje, illetve megvalósul kiber-fizikai rendszerek segítségével a gyártórendszerek megfigyelhetőségének kialakítása. Az autonóm járművekben megtalálható technológiák algoritmusainak fejlesztéséhez újrakonfigurálható HIL/SIL tesztkörnyezet épül ki. A kutatási időszak során az Autonóm Rendszer tesztelési módszerei jönnek létre. A jármű

környezetérzékelésének fejlesztésével a kamera és LIDAR adatok fúziója is megvalósul. Hibrid push-pull rendszerek tervezéséhez kapcsolódóan megvalósul az On-demand szolgáltatások időbeli összefüggéseinek vizsgálata.

A 3D digitális képelemzési technikák kutatásával kiterjesztjük a képességeket a fémhabok 3D modelljeire és azok szimulációs technikájára. A BIG DATA rendszerekhez kapcsolódóan anomália detektálás területén létrejön a jármű geometriájában az elmozdulásokat kezelő modell. A mesterséges intelligencia alapú döntéstámogató rendszerekben analízis eredmények születnek.

Autonóm járművek forgalomra gyakorolt hatásainak vizsgálata a VISSIM forgalomszimulációs program segítségével

Traffic impact assessment of autonomous vehicles using the VISSIM traffic-simulation software

Csikor Dániel

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

csikor.daniel@ga.sze.hu

Absztrakt

A kutatások, vizsgálatok szerint az autonóm járművek nagyságrendileg csökkenthetik a forgalmi torlódásokat, hozzájárulhatnak a tüzelőanyag-felhasználás és károsanyag-kibocsátás mérsékléséhez, de ami a legfontosabb, hogy számottevően csökkenthetik a közúti közlekedési baleseteket, melyek 90 – 95 %-át emberi hiba okozza. A fejlett vezetéstámogató rendszerekkel felszerelt autók és az első önvezető személygépjárművek nagy valószínűség szerint először az autópályákon közlekedhetnek humán vezető beavatkozása nélkül. Autópályán történő utazás során a gépnek, programnak lényegesen kevesebb tényezőt kell figyelembe vennie, mint a városi környezetben. Autópályán csekélyebb számú közlekedési tábla van, nincsenek például közlekedési lámpák, gyalogátkelőhelyek, különböző épületek, parkolók, autóbuszöblök, amelyek mind bonyolítják az autonóm járművek felkészítését a közlekedésre. Az önvezető technológia forgalomra gyakorolt hatásainak bemutatását a legszemléletesebben a hagyományos autóközlekedéssel összehasonlítva lehet megtenni. A cikk keretében 2800 egységjármű/óra forgalomnagyságra készítettem forgalomszimulációkat, mely egy 2 sávós autópálya nagyjából 80%-os kihasználtságának felel meg. A VISSIM forgalommodellező programban a szimulációs környezet felépítését követően meghatároztam a hagyományos és autonóm járműforgalom paramétereit. A kiértékelés során összehasonlítottam a forgalomsűrűsége, átlagsebessége és relatív késésre kapott eredményeket a hagyományos, illetve az autonóm járművezetési modell esetében. A relatív késés tulajdonképpen az átlagos késési idő (a beállított sebességhez tartozó elméleti eljutási időhöz képesti többletidő – átlagos késési idő) és az átlagos eljutási idő hányadosa. Az elkészített forgalommodellezésem választ ad arra, hogy vajon tényleg hatékonyabb-e a közlekedés önvezető autókkal a kisebb követési távolság által, illetve mérsékeltebb idővesztéssel, forgalmi torlódást okoznak-e azáltal, hogy minden szükséges információ, adat rendelkezésükre áll a vezérlő algoritmusoknak és környezetérzékelőknek a többi közlekedőről.

Kulcsszavak: autonóm jármű, hatásvizsgálat, forgalomszimuláció

Abstract

Research and studies show that autonomous vehicles can reduce congestion by an order of magnitude, help reduce fuel consumption and emissions, but most importantly they can significantly reduce road accidents, 90-95% of which are caused by human error. Cars equipped with advanced driver assistance systems and the first self-driving cars are likely to be the first to be able to travel on motorways without human driver intervention. When driving on a motorway, the machine or program will have to take into account significantly fewer factors than in an urban environment. On motorways there are fewer traffic signs, no traffic lights, pedestrian crossings, various buildings, parking lots, bus stops, for example, all of which complicate the task of preparing autonomous vehicles for driving. The best way to illustrate the impact of self-driving technology on traffic is to compare it with conventional car transport. In this paper, I have carried out traffic simulations for a traffic volume of 2,800 vehicles per hour, which corresponds to roughly 80% occupancy on a 2-lane motorway. After building the simulation environment in the traffic modeling software VISSIM, I determined the parameters of conventional and autonomous vehicle traffic. In the evaluation, I compared the results obtained for traffic density, average speed and relative delay for the conventional and autonomous driving models. The relative delay is actually the ratio of the average delay time (the additional time compared to the theoretical travel time for the set speed - average delay time) divided by the average travel time. My traffic modeling answers the question whether self-driving cars are really more efficient by reducing the following distance and whether they cause less time loss and congestion by providing all the necessary information and data to the control algorithms and environmental sensors about other road users.

Keywords: *autonomous vehicle, impact assessment, traffic simulation*

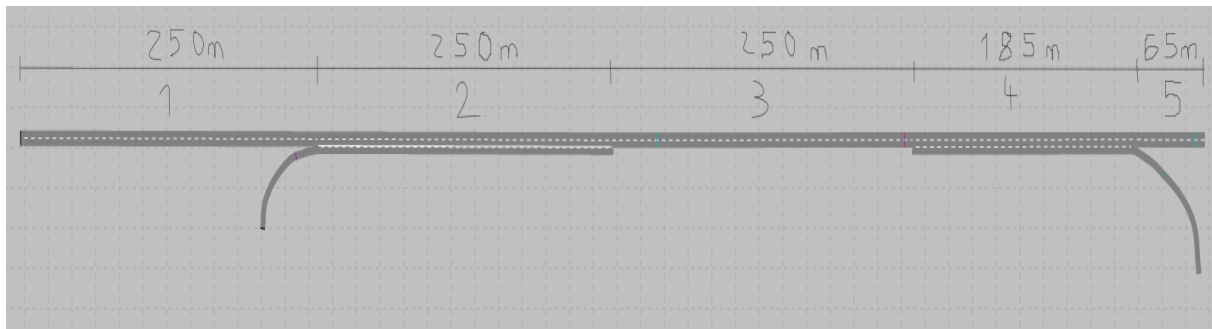
1. Bevezetés

Az autonóm járművek forgalomra gyakorolt hatásainak bemutatását a legszemléletesebben a hagyományos autóközlekedéssel összehasonlítva lehet megtenni. Az általam elkészített és megvizsgált szimulációs esetekben a teljesen hagyományos közlekedést - humán járművezetőkkel viszonyítottam a teljesen autonóm gépkocsiból álló mobilitási struktúrához. A fejlett vezetéstámogató rendszerekkel felszerelt autók és az első önvezető személygépjárművek nagy valószínűség szerint először az autópályákon közlekedhetnek humán vezető beavatkozása nélkül. Autópályán történő utazás során a gépnek, programnak lényegesen kevesebb tényezőt kell figyelembe vennie, mint a városi környezetben. A szűk belvárosi régiókban olyan típusú közlekedési eszközök jelennek meg – gyalogosok, kerékpárosok – amelyek megnehezítik az algoritmusok döntési mechanizmusát. Autópályán csekélyebb számú közlekedési tábla van, nincsenek például közlekedési lámpák, gyalogátkelőhelyek, különböző épületek, parkolók, autóbuszöblök, amelyek mind bonyolítják az autonóm járművek felkészítését a közlekedésre. [2, 7, 14, 15] Hasonlóképpen, Buics és Eisinger (2020) is rámutatott arra, hogy a szolgáltatási folyamatok modellezése és elemzése révén jobban megérthetjük az új technológiák hatásait a közlekedési rendszerekre és a felhasználói élményekre [17].

A fentiek következtében úgy gondolom jelenleg egy autópályás forgalomszimuláció jelenti a leghasznosabb eredményt az autonóm járművek közlekedésre gyakorolt hatásainak elemzéséhez. Szimulációs környezetnek egy 1 kilométeres (1000 méter) autópályaszakaszt készítettem el a VISSIM forgalommodellező programban, amely rendelkezik 1 különálló becsatlakozási sávval, illetve 1 különálló kihajtási lehetőséggel. A szimuláció lényege tehát az autópályára felhajtás, illetve lehajtás, valamint az autópályás közlekedés modellezése teljesen hagyományos, továbbá teljesen autonóm járművekkel való közlekedés során. A kapott adatokból következtethetők az autók automatizálásának hatásai a forgalom alakulására, illetve a közlekedési torlódások mértékére.

Az autópályarészletet 5 egységre osztottam fel: 250 méter hosszú 2 sávós autópálya (1. szakasz), 250 méter hosszú 2 sávós autópálya 1 felhajtósávval (2. szakasz), 250 méter hosszú 2 sávós autópálya (3. szakasz), 185 méter hosszú 2 sávós autópálya 1 lehajtósávval (4. szakasz), a befejező szakasz egy 65 méter hosszú 2 sávós autópálya (5. szakasz). [4, 7, 13]

Az 1. ábra a megvalósított forgalomszimulációhoz használt autópályaszakasz egyes intervallumait illusztrálja a VISSIM programban általam elkészített felületen.



1. ábra: Szimulációhoz használt autópályaszakasz¹

2. A szimuláció paramétereinek meghatározása

A forgalommodellezéshez először a **beérkező egységjárműforgalmat** kell beállítani. Az autópályán érkező egységjárműforgalom meghatározásához és kiválasztásához a Magyar Közút Nonprofit Zrt. megbízásából a One Planet Mérnökiroda Kft. által készített – Az országos közutak 2021. évre vonatkozó keresztmetszeti forgalma című dokumentációt használtam fel. Magyarországon jelenleg gördülő típusú forgalomszámlálás van érvényben, mely szerint az egész úthálózatra vonatkozó forgalommérés 5 éves periódusokban valósul meg. Minden évben a közutak 1/5-én végeznek valódi számlálást, a 4/5 részére pedig becsült értékek (forgalomváltozási paraméterek segítségével felszorozott adatok) találhatók meg a kimutatásban. A mérést végző cég tájékoztatása alapján egy 4 sávós autópálya kapacitáshatára 6 800 egységjármű/óra, míg a szimulációimhoz megtervezett 2 sávós autópálya kapacitáshatára pedig 3 400 egységjármű/óra. Nitsch Gergelytől – a One Planet Mérnökiroda Kft. ügyvezetőjétől kapott információim szerint az autópályák, autóutak, elsőrendű és másodrendű utak, illetve a bekötő utak kapacitáshatárának megállapítása a Magyar Közút, a Közlekedéstudományi Intézet és külső szakértők bevonásával elvégzett összetett munka volt, melyhez elsődlegesen az e-UT 06.03.13. számú Útügyi Műszaki Előírás rendeleteit tekintették irányadónak. [4, 10, 11, 13]

A forgalomszámlálások eredményeit tartalmazó táblázatok áttanulmányozása után arra a következtetésre jutottam, hogy az egyes magyarországi autópályák (M0, M1, M3, M5, M6, M7,

¹ Saját szerkesztés

M8) forgalma, kihasználtsága között jelentős mértékű eltérések mutatkoznak, Egy adott közúti keresztmetszet pillanatnyi forgalmát számos tényező befolyásolja: időszak (hónap, hétköznap/hétvége), napszak (hajnal/nappal/este, csúcsidő), útszakasz, irány, közlekedő gépjárművek típusa (személyautó, teherautó, busz, utánfutót vontató gépkocsi), közlekedési baleset, torlódás, sávelhúzás építkezés vagy baleset miatt, rendkívüli meleg. A fentiek alapján jelen tanulmány keretében 80%-os kapacitáskihasználtságra vonatkozóan végzem el a szimulációt.

A VISSIM program felső menüsorában lévő **Traffic** → **Vehicle Compositions** parancs segítségével állítottam be a járműkompozíciók – járművek típusát (Vehicle Type) a megengedett maximális sebességre (Assigned Desired Speed Distribution) és a különböző típusú járművek megoszlására (Relative Flow) vonatkoztatva. A megvalósított szimulációkban 2 eltérő járműkompozíciót alkalmaztam. [3, 4, 7, 13]

1. táblázat: 1. típusú járműkompozíció értékei²

1. Járműtípus (Vehicle Type)	Maximális sebesség (Desired Speed Distribution)	Járművek megoszlása (Relatív Flow)
Személyautó (Car)	60 km/h	0,98
Tehergépjármű (HGV)	60 km/h	0,02

2. táblázat: 2. típusú járműkompozíció értékei³

2. Járműtípus (Vehicle Type)	Maximális sebesség (Desired Speed Distribution)	Járművek megoszlása (Relatív Flow)
Személyautó (Car)	130 km/h	0,98
Tehergépjármű (HGV)	80 km/h	0,02

² Saját szerkesztés

³ Saját szerkesztés

Az 1. típusú járműkompozíciót a főpályán érkező járműforgalomra állítottam be a Vehicle Inputs menüponton belül, míg a 2. járműkompozíciót a felhajtósávra konfiguráltam. A főpályán maradók és kihajtók arányát 10:1-nek választottam meg. [3, 13, 14]

A hagyományos és az autonóm autók közlekedésének szimulációjához talán az egyik legfontosabb a **járművezetői viselkedés (Driving Behaviors)** beállítása, mely meghatározza, hogy az algoritmus milyen irányítási és döntési elvek alapján futtassa le a szimulációt. A VISSIM ajánlása alapján a városi környezethez a Wiedemann 74, míg az autópályás szakaszok modellezéséhez a Wiedemann 99 viselkedési algoritmus az optimális választás. Ennek megfelelően a hagyományos járművek szimulációjánál az alapértelmezett Wiedemann 99 modellt alkalmaztam, míg az önvezető gépkocsik esetén a Wiedemann 99 egy általam – a LIDAR, radar, kamera, ultrahangos szenzor, GPS technológiai jellemzői és a hálózatba kapcsoltág, 5G technológia tulajdonságai alapján – módosított konfigurálását használtam. [7, 8, 15]

A 3. táblázatban a hagyományos és autonóm járművekkel végrehajtott szimulációim esetén alkalmazott paramétereket mutatom be. A listában szereplő tulajdonságok terén figyelhetők meg a legjelentősebb különbségek a hagyományos irányítás és az önvezetés között, ezért választottam ki ezeknek a jellemzőknek a módosítását. [4, 7, 13-15]

3. táblázat: Járműkövetési tulajdonságok⁴

VISSIM járműkövetési jellemző	Alapértelmezett érték → Hagyományos járművek	Megváltoztatott érték → Autonóm járművek
Maximum előretekintési távolság (Maximum look ahead distance)	250 méter	200 méter
Minimum előretekintési távolság (Minimum look ahead distance)	0 méter	150 méter
Maximum hátratekintési távolság (Maximum look back distance)	150 méter	200 méter
Minimum hátratekintési távolság (Minimum look back distance)	0 méter	150 méter
Sávválasztás előre ismert útirány figyelembevételével (Advanced merging)	Inaktív	Aktív
Kooperatív sáv váltás – maximum sebességkülönbség (Cooperative lane change – Maximum speed difference)	Inaktív	Aktív → 3 km/h
Kooperatív sáv váltás – maximum sáv váltási idő (Cooperative lane change – Maximum collision time)	Inaktív	Aktív → 10 s
Követési időköz (CC1 -Headway time)	0,9 s	0,3 s
Érzékelt járművek száma (Number of observed vehicles)	2	7

⁴ Saját szerkesztés

A hagyományos és önvezető autók összehasonlításához a fentiek mellett nagyon fontos a **járművek sebességeloszlásának** (speed distribution) módosítása. A VISSIM ezen funkciójához tartozó adatok nagyban befolyásolják a járműforgalom lefolyását, mert az autók közötti kisebb sebességkülönbségek egyenletesebb forgalmat generálnak.

- 1) **Hagyományos autók esetén**, 60 km/h megengedett maximális sebességnél a járművek sebességeloszlását 58 km/h (LowerBound: Minimum value of the distribution → járművek minimum sebessége) → 68 km/h (UpperBound: Maximum value of the distribution → járművek maximum sebessége) közötti értékre állítottam be. Abban az esetben, ha az adott útpályán 130 km/h a megengedett maximum sebesség, akkor 80 → 170 km/h közötti sebességeloszlást definiáltam. [8, 13]
- 2) **Az autonóm járműforgalom modellezéséhez egyedi paramétereket alkalmaztam**, amely értékek megállapításánál a sebességtartó automatika és a különböző vezetéstámogató rendszerek jelenlegi technológiai szintjét vettem figyelembe. A felhajtó- és lehajtósávon engedélyezett 60 km/h maximum sebességnél 58 → 62 km/h közötti sebességeloszlást határoztam meg, míg a főpályán – ahol a megengedett legnagyobb sebesség 130 km/h – a közlekedő járművek sebességeloszlását 128 → 132 km/h között állapítottam meg. [8, 13]

A többi beállítási, változtatási lehetőségénél a Wiedemann 99 járműkövetés alapértelmezett értékeit vettem figyelembe, mert azok főként a járművek műszaki tulajdonságaira vonatkoznak és nem a járművezetőtől függő paraméterek, továbbá autonóm járművek esetén is számolni kell az autók fizikai határaival a biztonságos közlekedéshez. [12]

3. 2800 egységjármű/óra forgalomnagyságra készített szimulációk vizsgálata

Mind az 5 szakaszon külön-külön megvizsgáltam a forgalomsűrűséget (jm/km/sáv mértékegységben), a relatív késést %-ban megadva, illetve a járművek átlagsebességét km/h-ban a hagyományos és az autonóm járművek tekintetében is 2800 beérkező egységjármű/óra forgalom mellett. Mindegyik szakaszon 30 mérést végzett el a program 16 másodperces időközönként, 120 → 600 s időintervallumban, melyet szakirodalmakban fellelhető adatok alapján állítottam be. Az első 120 másodpercet nem vettem figyelembe az elemzés során, mert

ennyi idő minimálisan kell a szoftvernek az útpálya, sávok járműforgalommal történő feltöltéséhez. A humán járművezetési modell és az automatizált járműirányítás összehasonlításához a 3 keresendő érték (forgalomsűrűség, relatív késés, járművek átlagsebessége) 30 mérésének átlagával számoltam, mint végeredmény. [4, 7, 15]

A 2. fejezetben kifejtett beállításokat felhasználva a VISSIM forgalomszimulációs programban a 4. és 5. táblázatban rögzített értékeket kaptam, amennyiben a főpályán 2500 egységjármű/óra, míg a felhajtósávon 300 egységjármű/óra forgalom érkezik. A Magyar Közút Zrt. és a One Planet Mérnökiroda Kft. által közzétett információk szerint e paraméterek egy 2 sávós autópálya nagyjából 80%-os kihasználtságának felelnek meg. Jelentős mértékű forgalmi torlódások és megnövekedett késési idők is kialakultak a hagyományos közlekedés esetén a vizsgált autópálya-szakaszon. A két járművezérlési módszer közötti eltérések jelen esetben kiemelkedők, a forgalomszimulációkból kapott értékeket pedig a táblázatokban pontosan szemléltetem. A forgalomsűrűség jármű/km/sáv mértékegységben, az átlagsebesség km/h-ban, míg a relatív késés %-ban van megadva. A relatív késés tulajdonképpen az átlagos késési idő (a beállított sebességhez tartozó elméleti eljutási időhöz képesti többletidő – átlagos késési idő) és az átlagos eljutási idő hányadosa. [9]

4. táblázat: Hagyományos járművezetési modellhez tartozó eredmények 2800 egységjármű/h beérkező forgalom esetén⁵

	Hagyományos járművezetési modell – eredmények átlagértéke			
Szakasz	Forgalomsűrűség (jármű/km/sáv)	Relatív késés (%)	Átlagsebesség (km/h)	Forgalomnagyság (egységjármű/h)
1.	22,0803857	4,15	116,3351749	2555,644852
2.	24,96157517	4,11	114,2503843	2829,913529
3.	25,90072017	6,79	111,976286	2873,21931
4.	26,675094	9,55	108,9659036	2875,916132
5.	23,78298713	8,48	110,632523	2588,115804

⁵ Saját szimuláció eredményei

A forgalomszimuláció során kapott értékekből könnyedén meghatározható, hogy a 2. szakaszon és azt követően – a kialakított felhajtósáv után a forgalomnagyság emelkedni kezdett, ennek következtében pedig a forgalomsűrűség és relatív késés értéke is megnőtt, így az átlagsebesség mérséklődésnek indult. Az eredmények láttán kikövetkeztethető, hogy a személy- és teherautók felhajtása a főpályára és lehajtása az autópályáról nem volt zavartalan. A megtervezett lehajtósávot követően nyilvánvalóan csökkenésnek indult a forgalomnagyság – függetlenül a beérkező egységjárművek számától, ami a relatív késés és forgalomsűrűség mérséklődését eredményezte, ezzel egyidejűleg az átlagsebesség emelkedni kezdett.

5. táblázat: Autonóm járművezetési modellhez tartozó eredmények 2800 egységjármű/h beérkező forgalom esetén⁶

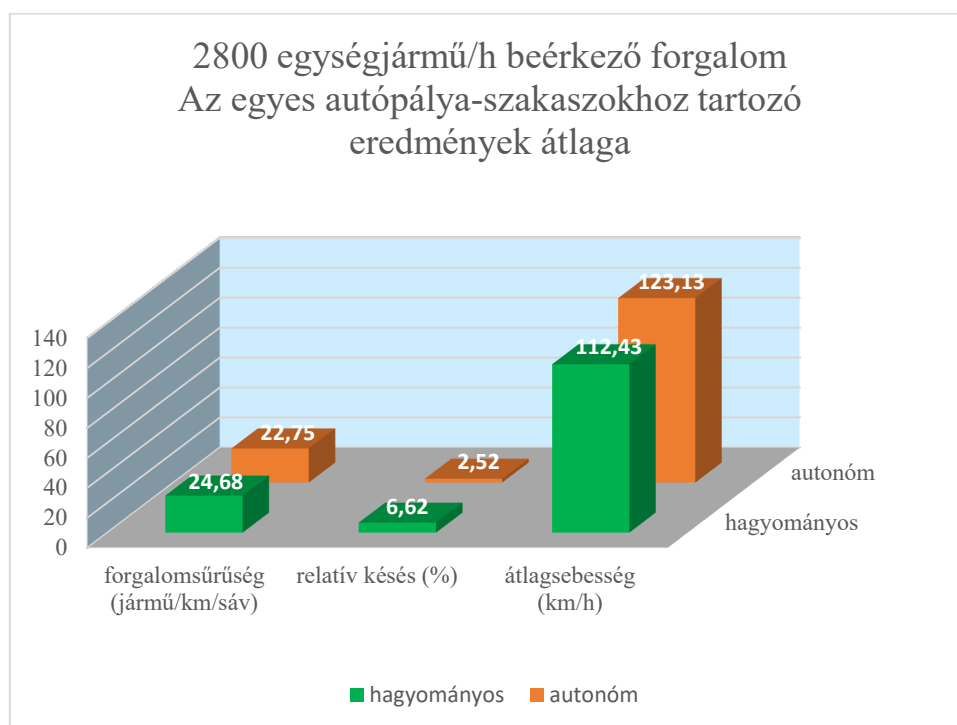
	Autonóm járművezetési modell – eredmények átlagértéke			
Szakasz	Forgalomsűrűség (jármű/km/sáv)	Relatív késés (%)	Átlagsebesség (km/h)	Forgalomnagyság (egységjármű/h)
1.	19,9762121	0,35	128,0150229	2555,618849
2.	22,703303	1,37	124,9052341	2824,060658
3.	23,409318	1,71	123,5570983	2853,51991
4.	24,68814088	5,03	118,7382847	2813,565037
5.	22,95904779	4,16	120,4272187	2578,130163

Az autonóm járművezetési modellparaméterekkel megvalósított szimulációban a forgalomsűrűség értéke mindegyik szakaszon erőteljesen mérséklődött. A kiegyensúlyozottabb forgalmi struktúrának köszönhetően pedig az átlagsebesség is emelkedni kezdett a hagyományos járművezetési modellel lefuttatott szimulációhoz viszonyítva. Az egyenletesebb haladás a gépkocsik közötti kisebb sebességkülönbség és a járművek közötti (V2V – vehicle-to-vehicle) kommunikáció által fog bekövetkezni az autonóm gépjárművek esetében. A kutatásaim alapján az automatizált működtetésű autók sebessége várhatóan 128 és 132 km/h

⁶ Saját szimuláció eredményei

között fog alakulni autópályán, szemben a hagyományos irányítású járművek 80 és 170 km/h közötti sebességeloszlásával. [8, 13-15]

Az 1. diagram ábrázolja az 5 szakasz átlagértékét a forgalomsűrűség, relatív késés és átlagsebesség vonatkozásában hagyományos és autonóm forgalomszimuláció esetén is.



1. diagram: Az egyes autópálya-szakaszokhoz tartozó eredmények átlagértékei a forgalomsűrűség, relatív késés és átlagsebesség tekintetében 2800 óránkénti egységjárműforgalom esetén⁷

A fejezetben megjelenített táblázatok ismeretében megállapítható, hogy kétségtelenül számottevő átalakuláson fog keresztül menni a közlekedési ágazat az autonóm járműtechnológia megjelenésével, melynek köszönhetően kiegyenlítettebb közlekedés lesz megfigyelhető.

⁷ Saját szimuláció eredményei

4. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Abbas, M., Higgs, B., Medina, A.: Analysis of the Wiedemann Car Following Model over Different Speeds using Naturalistic Data, 3rd International Conference on Road Safety and Simulation (2011)
https://www.researchgate.net/publication/281302974_Analysis_of_the_Wiedemann_Car_Following_Model_over_Different_Speeds_using_Naturalistic_Data
- [2.] Dong, J., Hawkins, N., Houchin, A., Lu, C., Shafieirad, N.: VISSIM Calibration for Urban Freeways – Final Report, Institute for Transportation (2015)
https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1205&context=intrans_reports
- [3.] Dr. Bede Zsuzsanna, Dr. Csikós Alfréd, Dr. Tettamanti Tamás, Dr. Varga István, Horváth Márton Tamás: Közúti forgalommodellezési gyakorlatok
- [4.] Dr. Horváth Richárd – Széchenyi István Egyetem – Közlekedési Tanszék oktató
- [5.] Konzultáció: 2023. március
- [6.] Duschl, M., Laquai, F., Rigoll, G.: Impact and Modeling of Driver Behavior Due to Cooperative Assistance Systems, Proceedings of the Third international conference on Digital human modeling (2011), pp. 473-482
https://www.researchgate.net/publication/225103268_Impact_and_Modeling_of_Driver_Behavior_Due_to_Cooperative_Assistance_Systems
- [7.] Gomes, G., Horowitz, R., May, A.: Calibration of VISSIM for a Congested Freeway, California Partners for Advanced Transit and Highways
https://www.researchgate.net/publication/46439394_Calibration_of_VISSIM_for_a_Congested_Freeway

- [8.] Horváth Márton Tamás – Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem – Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék oktató
Konzultáció: 2023. március
- [9.] Leyn, U., Vortisch, P.: Calibrating VISSIM for the German highway capacity manual, 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board (2015)
https://www.researchgate.net/publication/271513953_Calibrating_VISSIM_for_the_German_highway_capacity_manual
- [10.] L. P. Duarte-Figueiredo, F., Storck, C.: A Survey of 5G Technology Evolution, Standards and Infrastructure Associated with Vehicle-to-Everything Communications by Internet of Vehicles, IEEE Access, Volume 8
https://www.researchgate.net/publication/342458034_A_Survey_of_5G_Technology_Evolution_Standards_and_Infrastructure_Associated_With_Vehicle-to-Everything_Communications_by_Internet_of_Vehicles
- [11.] Magyar Közút Nonprofit Zrt., One Planet Mérnökiroda Kft.: Az országos közutak 2021. évre vonatkozó keresztmetszeti forgalma
<https://internet.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagos-kozuti-adatbank/forgalomszamlalas/>
- [12.] Nitsch Gergely – One Planet Mérnökiroda Kft. ügyvezető
Konzultáció: 2023. március
- [13.] Pirinen, Pekka: A Brief Overview of 5G Research Activities, 1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity (5GU), 2014
https://www.researchgate.net/publication/268978196_A_Brief_Overview_of_5G_Research_Activities
- [14.] Schreurs, M., Steuwer, S.: Autonomous Driving – Political, Legal, Social and Sustainability Dimensions, Autonomous Driving Book (2016), pp. 149-171
https://www.researchgate.net/publication/303480863_Autonomous_Driving-Political_Legal_Social_and_Sustainability_Dimensions
- [15.] SICK LIDAR Official Website: Products description
<https://www.sick.com/us/en/detection-and-ranging-solutions/3d-lidar-sensors/mrs1000/mrs1104c-111011/p/p495044>

[16.] Velodyne LIDAR Official Website: Products description
<https://velodynelidar.com/>

[17.] Buics, L. & Eisinger, B. (2020). Analyzing public service processes from customer and employee perspectives by using service blueprinting and business process modelling. ENTRENOVA-ENTERprise REsearch InNOVation, 6(1), 195-211.

Az ezüst generáció technológia-elfogadásának meghatározó tényezői a digitális korban

Determining Factors Of The Silver Generation's Technology Acceptance In The Digital Age

Dr. Gyurián Nagy Nikolett

Széchenyi István Egyetem, Kautz Gyula Gazdaságtudományi Kar, Vezetéstudományi és Marketing Tanszék;
Járműipari Kutatóközpont
nagyova.nikoleta@ga.sze.hu

Absztrakt

A technológiai fejlődés aranykorában a társadalom különféle generációit egyaránt érintik az új technológiai eszközökkel kapcsolatos kihívások. Bár a technológia széles skálája jelen van az idősök mindennapi életében is, az ezzel való azonosulás kérdéses lehet, hiszen az idősebb felnőttek kisebb valószínűséggel veszik át az új és feltörekvő technológiákat. Az idős felnőttek technológiahasználati sajátosságai kapcsolatban állnak a mobiltelefonhasználati és okos eszköz használati hajlandóságukkal. Az utóbbi időben jelentősen megnőtt az intelligens viselhető technológiák/eszközök száma, például különféle okosórák, egészséget támogató okos eszközök is megjelentek. Ezen eszközök használatának számos lehetséges előnye van, különösen az idősebb felnőttek számára. Ennek ellenére keveset tudunk a célcsoport befogadási hajlandóságáról. A befogadási hajlandóságot számos tényező befolyásolhatja. Az idősebb felnőttek technológia-elfogadására nagy mértékben hatást gyakorolhatnak a személyes tényezők, a környezeti tényezők, de a technikai tényezők is. Mindezek mellett nagy jelentőséggel bírhatnak további, egyénre illeszkedő jellemzők, mint például a látás, a hallás, de akár a korábbi tapasztalat a technológiával kapcsolatban, az egyént körülvevő társadalom szokásai és a család támogatása, s további külső vagy belső motivációs tényezők. A tanulmány célja az idősebb felnőttek technológia-elfogadási motivációinak és befolyásoló tényezőinek feltárása.

Kulcsszavak: ezüst generáció, STAM, technológia elfogadás

Abstract

In the golden age of technological development, different generations of society are equally affected by the challenges related to new technological devices. Although a wide range of technology is present in the everyday life of the elderly, identification with it can be questionable, since older adults are less likely to adopt new and emerging technologies. The technology use characteristics of older adults are related to their willingness to use mobile phones and smart devices. Recently, the number of smart wearable technologies/devices has increased significantly, for example, various smart watches and smart devices supporting health have appeared. There are many potential benefits of using these devices, especially for older adults. Despite this, little is known about the willingness of the target group to receive.

The willingness to accept can be influenced by many factors. The acceptance of technology by older adults can be greatly influenced by personal factors, environmental factors, but also technical factors. In addition to all of this, additional characteristics that suit the individual can be of great importance, such as vision, hearing, but also previous experience with technology, the customs of the society surrounding the individual and the support of the family, as well as other external or internal motivational factors. The purpose of this study is to explore the technology acceptance motivations and influencing factors of older adults.

Keywords: silver generation, STAM, technology acceptance

1. Bevezetés

A népesség elöregedése, a várható élettartam növekedése és az önálló életvitel iránti igény már széles körben elismert társadalmi változások, amelyek hatalmas nyomást helyeznek különféle területekre, mint például az egészségügyi rendszerre is. Ebben az összefüggésben az idősök technológiai felzárkóztatása és bevonása az informatikai társadalomba kötelező. Az asszisztens technológia (az idősebb felnőttek funkcionális képességeinek növelésére, fenntartására vagy javítására tervezett technológia) gyors fejlődésének köszönhetően képes feloldani az idősök kívánságai és szükségleteik közötti szakadékot. Bár a technológia széles skálája jelen van az idősök mindennapi életében, az ezzel való közvetlen foglalkozás frusztráló és megfélemlítő lehet, különösen a könnyű használat hiánya miatt (Iancu & Iancu, 2020; Buics & Süle, 2020). Számos technológiai alkalmazás áll rendelkezésre, amelyek javíthatják az idősebb felnőttek életminőségét (QoL – quality of life). Az idősebb felnőttek azonban kisebb valószínűséggel veszik át az új és feltörekvő technológiákat, valamint kevésbé használják ki a technológia nyújtotta lehetséges előnyöket (Berkowsky et al., 2017). Ehhez hasonlóan Bencsik és Eisingerné (2013) kutatása is kiemeli az intergenerációs menedzsment és a tudásmegosztás fontosságát, különösen a munkahelyi környezetben, ahol különböző generációk együttélése és együttműködése elengedhetetlen a sikeres működéshez.

2. Módszertan

A kutatás szakirodalmi feldolgozásra épül. A szakirodalom gyűjtése különböző adatbázisokból történt olyan kulcsszó párok alapján, mint a technológia-elfogadás, ezüst generáció, motiváció. A releváns tanulmányok azonosítása és kiválasztása után került sor a részletes elemzésre. Az elemzés során különös figyelmet kapott az idősebb felnőttek technológia-elfogadásának személyes, technikai és környezeti tényezői. A tanulmányok kategorizálása után az eredmények összehasonlítására került sor, annak érdekében, hogy feltárássra kerüljenek a közös tényezők és esetleges eltérések az ezüst generáció technológia elfogadásának elemzése céljából. Az elemzéshez tematikus elemzés és narratív szintézis alkalmazására is sor került. A tematikus elemzés segített azonosítani és elemezni a szakirodalom kulcstémáit és motívumait. A narratív szintézis pedig lehetővé tette a szakirodalomból származó információk összefoglalását és integrálását a tanulmány céljainak és kutatási kérdéseinek megfelelően.

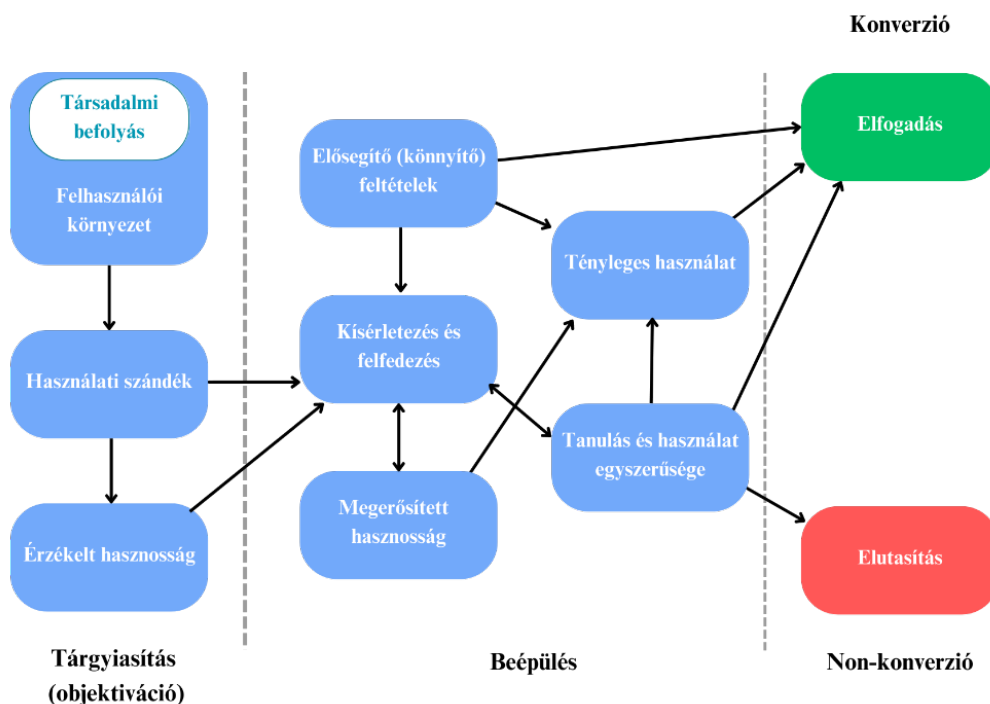
3. Az ezüst generáció technológiával kapcsolatos attitűdje

Az idős felnőttek technológiahasználati sajátosságai kapcsolatban állnak a mobiltelefonhasználati és okos eszköz használati hajlandóságukkal. Az utóbbi időben jelentősen megnőtt az intelligens viselhető technológiák/eszközök, például a Fitbit népszerűsége, de a különféle okosórák, egészséget támogató okos eszközök is megjelentek. Ezen eszközök használatának számos lehetséges előnye van, különösen az idősebb felnőttek számára. Ennek ellenére keveset tudunk a célcsoport befogadási hajlandóságáról (Farivar et al., 2020).

Berkowsky et al. (2017) olyan tényezőket vizsgált tanulmányában, amelyek befolyásolják az idősebb felnőttek döntéseit az új technológia elfogadásával kapcsolatban. Ötvenkét idősebb felnőtt vett részt egy vegyes módszerű felmérésben, amely a következőket foglalta magában: (1) kilenc különböző technológiát részletező előadások megfigyelése, (2) a technológiák testreszabott kérdőívek segítségével történő értékelése, valamint (3) fókuszcsoportos beszélgetéseken való részvétel. A résztvevőket hét csoport egyikébe sorolták, életkor (65-74, 75+) és nyelv (angol, spanyol) szerint elválasztva. Az eredmény a technológia átvételére való hajlandóság volt. Az előrejelzők között szerepeltek az önértékelési képességek (pl. numerikus képesség), a számítógépes/internetes készségek és ismeretek, a technológiai felkészültség, az életkor, a nyelv és a technológiai értékelések (pl. észlelt érték). A fókuszcsoportos megbeszéléseket a támogató példák feltárásáért folytatták le. Az önértékelési képességek és a számítógépes/internetes készségek előre jelezték a technológiák átvételére való hajlandóságot, bár a kapcsolat a vizsgált technológiától függően változott. A technológiai felkészültség, az életkor és a nyelvi csoport gyenge asszociációt mutatott az eredménnyel. A technológiai értékelések közül az észlelt érték, a technológia elsajátításának képességébe vetett bizalom és a QoL-ra gyakorolt észlelt hatás volt a legerősebb előrejelző a technológia átvételére való hajlandóság tekintetében. Az eredmények azt mutatják, hogy az idősebb felnőttek körében a technológia átvételében különböző érdekelt feleknek tisztában kell lenniük a technológia funkcionalitásával és összetettségével, valamint az idősebb felnőttek jellemzőivel és képességeivel. Bizonyos tényezők azonban, mint például a technológia értékével kapcsolatos felfogás és az életminőségre gyakorolt lehetséges hatás, szintén kritikus jelentőséggel bírnak az idősök körében a technológia átvételével kapcsolatos döntések szempontjából (Berkowsky et al., 2017). Wang és kutatócsapata (2017) eredményei azt mutatták, hogy az öregedés fiziológiai

korlátai negatívan befolyásolták, a szorongás pedig szignifikánsan negatívan befolyásolta a mobiltelefon-használati szándékukat, valamint a szükséges ismeretek, a belső motiváció és a használati elvárás mind-mind szignifikánsan pozitív hatással volt viselkedési szándékukra (Wang et al., 2017).

Nagy szerepet játszanak a konkrét technológia elfogadási modellek is. A főként TAM-ra és UTAUT-ra épülő Senior Technology Acceptance Model (STAM, Seniorok technológia elfogadási modellje) célja, hogy három dimenzióra támaszkodva magyarázza meg az idős emberek mobiltelefon-elfogadását: objektiváció (az a fázis, amelyben a felhasználó saját és saját maga alapján alakítja ki szándékát egy eszköz használatára), a beépülés (a kísérletezési és feltárási szakasz, amely segít a könnyű használat és hasznosság érvényesítésében) és önmagában az elfogadás (Kim et al., 2016).



1. ábra: Idősebb felnőttek technológia elfogadási modellje (STAM) (saját szerkesztés)

Az elfogadási modelleket hangsúlyozva és kiegészítve Kuerbis et al. (2017) felsorolja azokat a legfontosabb tényezőket, amelyek szerepet játszanak az idős emberek technológia használatának befolyásolásában: személyes tényezők, technikai tényezők és környezeti tényezők. Míg a személyes és környezeti tényezők egy részét a technológiai szolgáltatók nem tudják ellenőrizni,

addig a technikai változókat teljes mértékben figyelemmel tudják követni, és figyelmesen hozzáigazíthatják az idősök igényeihez. Így a kifejezetten az idősebb felnőttek számára készített készüléknek a könnyű használhatóságot kell hangsúlyoznia, a funkcionális kapacitásokra, valamint az eszköz- és alkalmazástervekre támaszkodva (Iancu & Iancu, 2020). Mindez igaz lehet a marketingstratégiára és a termékek újrahasznosítási politikájára is az állami szabályoknak megfelelően (Gyurián, Gyurián Nagy, 2022).

1. táblázat: Az idős felnőttek technológiahasználati motivációját befolyásoló tényezők *Kuerbis et al. (2017) alapján*

Személyes tényezők	• Funkcionális kapacitás
	• Tudás
	• Diszpozíciós jellemzők
	• Attitűdök és motiváció a technológia használatához
	• Fizikai biztonság
	• Adatvédelem és titoktartás
Technikai tényezők	• Eszközhöz kapcsolódó tervezés
	• Weboldal és alkalmazás tervezés
	• Összetettség/használhatóság
Környezeti tényezők	• Pénzügyi költségek
	• Társadalmi hatások
	• A technológia használatának elsajátítása

Az idősebb felnőttek arról számoltak be, hogy használnák a technológiát, ha az könnyebben használható, felhasználóbarátabb lenne és jobban megfelelne egy idősebb felnőtt szükségleteinek. Ezek a szempontok egyaránt vonatkoznak magára a készülék kialakítására, valamint a menü és az alkalmazások kialakítására (Damant, Knapp, 2015).

A következő táblázat összefoglalja az idős felnőttek fizikai és kognitív profilja közötti kapcsolatot, valamint a megfelelő mobileszközök létrehozásánál alkalmazható tervezési elveket és megoldásokat.

4. Az ezüst generáció motivációi

Az angol nyelv tanulásához használható alkalmazások számos előnnyel járhatnak az idősebb felnőttek számára, például lehetőség nyílik arra, hogy kapcsolatba léphessenek szeretteikkel, vagy időpontot kérjenek orvoshoz. Ezáltal lehetővé teszik számukra, hogy függetlenek és társadalmilag befogadók maradjanak. Ezen túlmenően, különösen az oktatási mobilalkalmazások segíthetnek az időseknek a későbbi életkorban bekövetkező kognitív hanyatlás elleni küzdelemben. Sanda és Klimova (2021) eredményei azt mutatják, hogy a cseh piacon nincs mobilalkalmazás az idősek angoltanulásához. Mindazonáltal van négy alkalmazás, amelyeket az angol, mint második nyelv tanulására használnak. Ezek közé tartozik: Duolingo, EWA: angol, Mondly: Tanuljon 33 nyelvet és LinGo: Play. Az eredmények azt mutatják, hogy az idősek angoltanulása szempontjából a Duolingo tűnik a legrelevánsabbnak, mert nagyon kényelmes a feldolgozása, minden tartalom elérhető, és az alkalmazásban való eligazodás nagyon egyszerű. Ezen túlmenően a megállapítások alapján az idősek angol nyelvként második nyelvként történő elsajátítására vonatkozó lehetséges alkalmazásnak minden bizonnyal meg kell felelnie a következő szempontoknak: minimalista kialakítású legyen, kerülje a felesleges és irreleváns tartalmakat, világos utasításokkal legyen ellátva.

Az Egyesült Nemzetek Szervezete jelezte, hogy növekszik az önállóan, egyedül vagy házastársával együtt élő idős lakosság száma. Ez magában hordozza azt a vágyat, hogy saját otthonukban éljenek, és ne nyugdíjasotthonokban vagy kórházakban. A támogatottság hiánya és a közösségi hálózataik megromlása, valamint a fiatalabb lakosság munkaigénye miatt azonban kevésbé valószínű, hogy személyes kapcsolatot tudnak tartani (Briede-Westermeyer et al., 2020). A mobiltelefonok fontos szerepet kaptak az idősebb felnőttek személyes kommunikációjában social media és egyéb hálózatokban szereplő ismerősökkel. A kutatások azt mutatják, hogy az idősebb felnőttek egyre gyakrabban használják a mobiltelefont a családtagjaikkal, társaikkal és gondozóikkal folytatott szociális interakciók fenntartására és fejlesztésére, mint érzelmi támogatás és társasági kapcsolat biztosítására. A szlovéniai nyugdíjas, idős felnőttek országos reprezentatív mintáján gyűjtött egoközpontú szociális támogató hálózat adatait felhasználva megállapították, hogy az érzelmi támogatás és a társas kapcsolati hálózatok összetétele aligha jelzi előre az idősebb felnőttek mobiltelefonos kommunikációjának gyakoriságát. Ezzel szemben az eredmények szerint úgy tűnik, hogy a hálózat tagjaival való gyakoribb személyes és vezetékes telefonos kommunikáció pozitívan

kapcsolódik a mobiltelefonos kommunikációhoz, ami arra utal, hogy az idősebb felnőttek a támogató hálózataikban mobiltelefonnal bővítik kommunikációs szférájukat. Végül az eredmények azt mutatják, hogy az idősebb felnőttek szociodemográfiai jellemzői, mint például az életkor, a társadalmi-gazdasági státusz és az egyedül élés, jelentősen meghatározzák a hálózat tagjaival való mobilkommunikáció gyakoriságát, bár ezek mértéke a szociális támogató hálózat típusától függően változik (Petrovčič et al., 2015).

Az új technológiák és innovációk azt ígérték, hogy gyorsabbá, biztonságosabbá, hatékonyabbá és eredményesebbé teszik a különféle teendőket (Gyurián et al., 2021). A technológiai innovációkat már alkalmazták az egészségügyi különbségek áthidalására és a lakosság szükségleteinek kielégítésére is. Míg sok korábbi rendszert a klinikai szakemberek és az egészségügyi adminisztráció szem előtt tartásával építettek fel, az utóbbi időben egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik ezen új technológiák fogyasztói egészségügyben való alkalmazása iránt, lehetővé téve a betegek számára, hogy átvegyék az irányítást és aktív szerepet játszanak egészségük kezelésében. A fogyasztói egészségügyi technológiai beavatkozásokat például arra használták, hogy segítsék az egyéneket saját egészségi állapotuk nyomon követésében, tájékoztatást és szociális támogatást nyújtsanak, és távoli otthoni monitorozásra is lehetőséget adtak (Briede-Westermeyer, 2020). Az ezüst generáció technológiai elfogadásának társadalmi és gazdasági hatásait jelentős előnyökkel járhat a társadalom egészére nézve (Makkos et al., 2013).

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Berkowsky, R. W., Sharit, J., & Czaja, S. J. (2017). Factors predicting decisions about technology adoption among older adults. *Innovation in Aging*, 1(3), Article igy002.
- [2.] Briede-Westermeyer, J C., Pacheco-Blanco, B., Luzardo-Briceño, M., Pérez-Villalobos, CH. (2020). Mobile Phone Use by the Elderly: Relationship between Usability, Social Activity, and the Environment. *Sustainability*.
- [3.] Buics, L. & Süle, E. (2020). Service process excellence in public services. *Proceedings of ENTRENOVA-ENTERprise REsearch InNOVAtion* 6(1), 173–186.
- [4.] Damant, J., Knapp, M. (2015). What are the likely changes in society and technology which will impact upon the ability of older adults to maintain social (extra-familial) networks of support now, in 2025, and in 2040? In: Government Office for Science.
- [5.] Farivar, S., Abouzahra, M., & Ghasemaghahi, M. (2020). Wearable device adoption among older adults: A mixed-methods study. *International Journal of Information Management*, 55, Article 102209
- [6.] Gyurián, N., Gyurián Nagy, N., Koczmann, K. (2021). Változó munkavégzés a Covid-19 világjárvány idején. *Vállalkozásfejlesztés a XXI. században 2021/1. kötet: Üzleti megoldások és gyakorlati tapasztalatok a menedzsment területén*.
- [7.] Gyurián, N., Gyurián Nagy, N. (2022). The evaluation of environmental taxes in Hungary and Slovakia. *Acta Oeconomica Universitatis Selye*. 11 (1).
- [8.] Iancu, I., & Iancu, B. (2020). Designing mobile technology for elderly. A theoretical overview. *Technological Forecasting and Social Change*, 155, 119977.
- [9.] Kim, J. S. (2018). Measuring willingness-to-pay for mobile phone features: a multi-region study. *Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship*.
- [10.] Kuerbis, A., Mulliken, A., Muench, F., Moore, A., Gardner, A. (2017). Older adults and mobile technology: Factors that enhance and inhibit utilization in the context of behavioral health. In: *Mental Health and Addiction Research* 2(2).

- [11.] Petrovčič, A., Fortunati, L., Vehovar, V., Kavčič, M., Dolničar, V. (2015). Mobile phone communication in social support networks of older adults in Slovenia. *Telematics and Informatics* 32.
- [12.] Sanda, L., Klimova, B. (2021). Educational Mobile Applications for Learning English as a Second Language by Czech seniors. In: *Procedia Computer Science*, 192(2).
- [13.] Wang, K. H., Chen, G., & Chen, H.-G. (2017). A model of technology adoption by older adults. *Social Behavior and Personality: International Journal*, 45(4), 563–572
- [14.] Bencsik, A., & Eisingerné, B. (2013). Intergeneráció-menedzsment és a tudásmegosztás kulturális háttere: mozaikcsaládok "gyerekszobái" kontra munkahelyi együttélés. *HUMÁNPOLITIKAI SZEMLE* 20 : 1-2 pp. 10-25. , 16 p.
- [15.] Makkos-Káldi, Judit., Eisingerné, Balassa. Boglárka., & Kecskés, Petra. (2013). Aranyat ér-e az ezüstgeneráció? *TÉR-GAZDASÁG-EMBER* 1 : 1 pp. 119-134. , 16 p.

Az ROS 2 alkalmazásai

Application of ROS 2

Horváth Ernő

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

herno@ga.sze.hu

Absztrakt

Az ROS 2, a ROS legújabb kiadása, olyan szoftverkönyvtárak és eszközök készlete (middleware), amelyek segítenek robotalkalmazások fejlesztésében. Definíció szerint a middleware egy szoftver komponenseket összekötő szoftver. Ez egy olyan réteg, amely az operációs rendszer és az alkalmazások között helyezkedik el az elosztott számítógépes hálózat mindkét oldalán. Az ROS 2 megengedő, nyílt forráskódú, Apache 2.0 licenszelést használ. A cikk a Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont kutatás feladataival összefüggésben elemzi a rendszert.

Kulcsszavak: ROS 2, önvezető járművek

Abstract

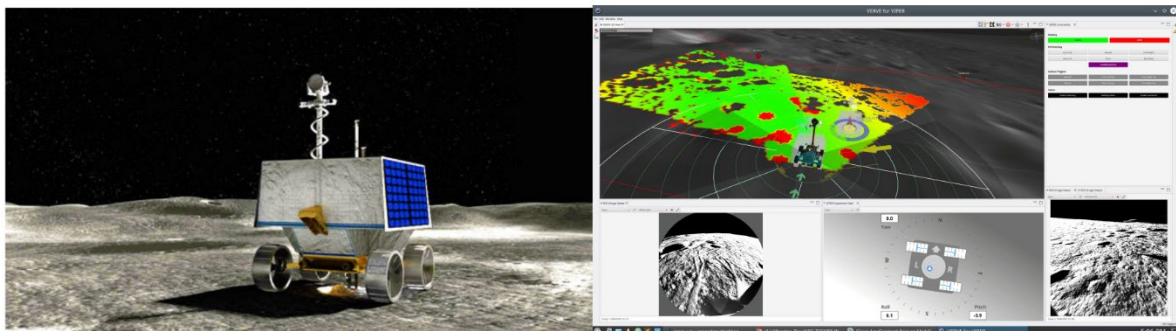
ROS 2, the latest release of ROS, is a set of software libraries and middleware that help you develop robotic applications. By definition, middleware is software that connects software components. It is a layer that sits between the operating system and applications on either side of a distributed computer network. ROS 2 is permissive, open source, using Apache 2.0 licensing. This paper analyses the system in the context of the research tasks of the Vehicle Industry Research Center at Széchenyi István University.

Keywords: ROS 2, self-driving

1. Bevezetés

A ROS 2007-es kiadása óta inkrementális frissítéseken esett át, tehát fundamentális változások nem, nagyobb fejlesztések viszont folyamatosan történtek. 2017-ben jött rá a robotikai közösség, hogy olyan alapvető limitációi vannak az eredeti 2007-es elképzelésnek, amit ilyen inkrementális módon sajnos nem lehet javítani. Így végül a Noetic Ninjemis (2025-ig támogatva) az ROS 1 utolsó kiadása, helyette párhuzamosan elkezdtek fejleszteni az ROS 2-t. Ez egyben azt is jelenti, hogy a korábbi forráskódokat nehezebben lehet portolni az új verzióra, cserébe rengeteg újdonságot, javítást, támogatást kaphatunk a fejlesztendő robotok, járművek számára.

A fentiek hatására tehát az ROS 2 átlépett az akadémiai kutatások világából az ipari felhasználásra. Érdekesség, hogy a NASA VIPER nevű holdjárója is ROS 2-t futtat. Emellett olyan autóiipari óriások is használják, mint a Bosch, a BMW vagy a Volvo. Robotikai cégek közül pedig számos további példát lehetne hozni.



1. ábra: ROS 2 a holdon [1]

2. Különbségek az ROS 1 és ROS 2 között

Változások a Middleware-ben

A ROS 1 a Master-Slave architektúrát és az XML-RPC middleware-t használja. A ROS 2 ezzel szemben a Data Distribution Service (DDS) használ, amely nagyobb hatékonyságot és megbízhatóságot, alacsony késleltetést és skálázhatóságot, valamint konfigurálható szolgáltatásminőségi (QoS) paramétereket biztosít. Többek között így nem kell roscore-t

indítani. Az XML-RPC jobb az egyszerű távoli eljáráshívásokhoz, míg a DDS hozzáadott komplexitása lehetővé teszi, hogy jobban támogassa a valós idejű rendszereket.

Változások a ROS API-ban

A ROS 1 két különálló könyvtárral rendelkezik: a C++ nyelvhez készült roscpp és a Pythonhoz készült rospy. Ezek nem teljesen azonosak egymással a funkciók tekintetében. Ezzel szemben a ROS 2 egy C nyelven írt alapkönyvtárral - rcl (ROS klienskönyvtár) - rendelkezik, amelyre könyvtárak épülnek. Ez biztosítja, hogy az alapvető funkciók hamarabb elérhetők legyenek a különböző API-kban. Ez az egyik fő oka annak, hogy a ROS 2 a korábbi Pythonon és a C++-on kívül több nyelvi támogatást is képes nyújtani: például rclada Ada, rclcpp C++, rclgo Go, rclpy Python, rcljava Java, rclnodejs Node.js, rclobjc Objective C (iOS), rclc C, ros2_rust Rust, ros2_dotnet .NET, ros2cs ros2_dotnet alternatíva C# nyelven.

Változások az adatformátumban

A ROS 2 az MCAP formátumot használja, ami nem dedikáltan az ROS saját formátuma, hanem egy nyílt forráskódú konténerfájl-formátum multimodális log-adatokhoz. Támogatja az időbélyegzővel ellátott, előre sorba rendezett adatokat, és ideális a pub/sub vagy robotikai alkalmazásokban való használatra. Bővebben: mcap.dev Harmadik fejezet

Valós idejű feldolgozás

A fenti funkciók összegzése, valamint a DDS használata lehetővé teszi, hogy a ROS 2 kiválóan alkalmas legyen a valós idejű (real time) feldolgozásra, különösen akkor, ha determinisztikus, alacsony késleltetésű kommunikációra van szükség.

QoS: Quality of Service A ROS 2 lehetővé teszi az adatáramlás konfigurálását, ami befolyásolja az adatok küldésének és fogadásának módját. Ez magában foglalja az üzenetek megbízhatóságára, határidejére és prioritására vonatkozó beállításokat, amelyek biztosíthatják, hogy a kritikus üzenetek időben kézbesítésre kerüljenek.

Többszálú végrehajtás

A ROS 2 támogatja a több csomópont valóban párhuzamos futtatását, így a modern többmagos processzorok sokkal jobban kihasználhatók, mint a ROS 1 esetében.

Egyéb változások

A Catkin eltűnt, helyére az Ament (Colcon) lépett, mint build rendszer. Az overlay-ek lehetővé teszik egy másodlagos munkaterület létrehozását, amely nem befolyásolja az elsődleges munkaterületet - ez akkor hasznos, ha új csomagokkal kell kísérletezni, de úgy, hogy ez ne befolyásolja az alapkonzfigurációt (ezt “underlay”-nek hívják).

A ROS 2 visszafelé nem kompatibilis a ROS 1-gyel. Következésképpen a ROS 1 csomagok valószínűleg nem fognak működni a ROS 2-vel, és átdolgozást igényelnének, és más szoftverek, amelyeket a ROS 1-gyel szoktál használni, már nem fognak működni.

A ROS 1 elsősorban az Ubuntu számára készült. A ROS 2 fut MacOS, Windows, Ubuntu és más (akár Real-Time) operációs rendszereken is.

3. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Macenski, S., Foote, T., Gerkey, B., Lalancette, C. and Woodall, W., 2022. Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild. Science Robotics, 7(66), p.eabm6074.
- [2.] S. Chitta, E. Marder-Eppstein, W. Meeussen, V. Pradeep, A. R. Tsouroukdissian, J. Bohren, D. Coleman, B. Magyar, G. Raiola, M. Lüdtke, E. F. Perdomo, *ros_control: A generic and simple control framework for ROS*. J. Open Source Soft. 2, 456 (2017).
- [3.] E. Marder-Eppstein, E. Berger, T. Foote, B. Gerkey, K. Konolige, *The Office Marathon: Robust navigation in an indoor office environment*, in IEEE International Conference on Robotics and Automation (IEEE, 2010), pp. 300–307.

Vezetői modellek tipizálása klaszterezési módszerek segítségével

Typification of Driver Models Using Clustering Methods

Ignéczi Gergő Ferenc^a, Dobay Tamás^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

gergo.igneczi@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

dobayt@gmail.com

Absztrakt

Az automatizált vezetési rendszerek rohamos fejlődése az elmúlt években a közlekedésbiztonság és az utazási kényelem javulásához vezetett. Az egyik jellemző funkciója ezeknek a rendszereknek a sávtartás, ami általános esetben nem veszi figyelembe az emberi vezetésre jellemző preferenciákat. Korábbi munkánk során bebizonyítottuk, hogy egy lineáris vezetői modellen alapuló útvonal tervező algoritmussal lehetséges az emberi preferenciáknak megfelelő sávtartó funkciót megvalósítani. Jelenlegi munkánk során azt vizsgáljuk, miként lehet külön választani az egyes sofőrökre jellemző vezetési stílusokat az ívválasztási preferenciájuk alapján. Ennek bizonyítására klaszterezési módszereket alkalmaztunk korábban rögzített méréseken. Az osztályokhoz tartozó átlagos viselkedést leíró paraméterekkel szimulációkat végezve (klaszterezett típusokkal újra szimulálva) kiderült, hogy az így kapott útvonalak alapján a sofőrök osztályozása sikeres volt, a 3 osztály viselkedésében elkülönül és a modellünk segítségével ezen viselkedések reprodukálhatók.

Kulcsszavak: vezetői modell, klaszterezés, validáció

Abstract

The rapid development of automated driving systems in recent years has led to improvements in road safety and travel comfort. One typical function of these systems is Lane Keep Assist, which generally does not take human driving preferences into account. In our previous work, we have demonstrated that it is possible to implement a Lane Keep Assist function that is appropriate to human preferences using a trajectory planning algorithm based on a linear driving model. In our current work, we investigated how to separate the driving styles of individual drivers. We assumed that there are three driving styles: sporty, neutral and defensive. To prove these relations, clustering methods were applied to previously recorded measurements. Simulations with parameters describing the average behaviour of the classes (re-simulated with clustered types) showed that the resulting paths successfully classified drivers, that the 3 classes are distinct in their behaviour and that our model reproduces these behaviours.

Keywords: driver model, clustering, validation

1. Bevezetés

A 2020-as évek autóiipari trendjei két fő irány köré rendeződnek: energiamenedzsment és automatizálás. A járművezetés automatizálása évtizedes ötlet, már az 1980-as és 90-es években jelentek meg olyan asszisztens rendszerek, melyek segítették a vezető feladatát ezzel növelve a vezetés biztonságát és komfortélményét. Az első ilyen rendszerek voltak a blokkolásgátló rendszerek (Anti-Blocking Systems, ABS), amelyet a Chrysler és a Mercedes mutatott be az 1970-es években. Ennek folyománya a kipörgésgátló (Traction Control, TC), illetve az Elektronikus Stabilitás Kontrol (Electronic Stability Control, ESC), amelyet több japán, német, illetve amerikai gyártó is korán kifejlesztett, már az 1990-es években. Ezek elsősorban a vezetés biztonságát növelték, így mára már az összes újonnan üzembe helyezett járműben kötelező a jelenlétük. Ezzel párhuzamosan megjelentek az ún. kényelmi funkciók, amelyek nem kizárólag a biztonságot növelik, hanem vezetési feladatokat vesznek át a sofőrtől, ezzel könnyítve a járművezetést. A jelenleg elterjedt rendszerek hosszirányú, illetve keresztirányú járműirányítási feladatokra bomlanak. A legelterjedtebb hosszirányú szabályzást megvalósító funkció az adaptív sebességtartó automatika (Adaptive Cruise Control, ACC) [1]. Az ACC képes a jármű sebességének szabályzására a teljes működési tartományon, akár állóhelyzetből a maximális sebességig úgy, hogy figyelembe veszi más járművek sebességét, illetve a sebességhatárokat, vagy a kanyarívből adódó sebességcsökkentést. A legelterjedtebb keresztirányú funkció, mely kényelmi célokat szolgál az ún. Sávtartó Automatika (Lane Keep System, LKS) [2]. Ennek célja, hogy a járművet az úton, illetve a sávon belül tartsa úgy, hogy biztonságos távolságot hagyjon más objektumoktól. Más elnevezése ennek a rendszernek az ún. Lane Centering System, vagyis „sávközépre szabályzó rendszer”. Ez az elnevezés már a technológiai megvalósításra is utal, hiszen a legtöbbször a járművet a sávtartó automatika a sáv közepén vezeti, ezzel biztosítva a fentebb említett biztonsági követelményeket. Annak ellenére, hogy ez a megközelítés technológiailag egy jó megoldás, erősen gépies, hiszen az emberek legtöbbször nem a sáv közepén vezetnek.

A fentebb említett asszisztens rendszerek fejlődésével megjelent az igény a jármű minél nagyobb önállóságára, arra, hogy a jármű minél nagyobb tartományban tudjon önállóan vezetni, emberi kooperációval és/vagy felügyelettel. Ezen automatizáltsági szintek osztályozására a Society of Automotive Engineers (SAE) 2014-ben egységes rendszert vezetett be [3]. Összesen 5 szintet különböztetünk meg. Az 1. automatizáltsági szint jelenti a legkisebb

automatizáltságot, ahol az emberi vezető teljes mértékben jelen van és a felelősség a vezetésért is őt terheli. Azonban bizonyos feladatokban a jármű átveszi az irányítást, ilyen pl. a sebességtartó automatika (tempomat). A 2. és 3. szinten egyre inkább nagyobb hangsúly helyeződik a járműre, a jármű által ellátott feladatok mennyisége és azok széles működési tartományára, ugyanakkor a sofőrnek jelen kell lennie, komplikációk esetén az ő feladata az irányítás átvétele. A 4. és 5. szinten a járművezető szerepe szinte nullára csökken. Az 1. szintet szokás asszisztenciának, a 2. és 3. szintet automatikának és a 4. illetve 5. szintet autonómiának, azaz önvezetésnek hívni. Megjegyezzük, hogy a határok nem élesek, így a szintek között van átfedés, ennek megfelelően az elnevezések is változhatnak (pl. a fejlesztés egységesítéséért német autógyártók bevezettek egy ún. 2+ szintet, ezzel némileg teret adva a fejlesztéseknek, amíg a 3. szinthez szükséges jogi háttér nem születik meg). Ahogy nő az automatizáltsági szint, úgy fogalmazódnak meg további felhasználói igények a szóban forgó rendszerek viselkedésével kapcsolatban. A vezetési feladat átadása nagyfokú bizalmat igényel. A felhasználók bizalma az automatizált vezetési rendszerekben kulcskérdés ahhoz, hogy ezek a rendszerek elterjednek. Minél inkább kielégítjük a felhasználó preferenciáit a működés jellegével, annál inkább válik elfogadottá egy automatizált vezetési rendszer. A 2020-as évek elején ez az igény már az autógyártók részéről is felmerült, így kulcskérdéssé vált: hogyan tudjuk az automatizált vezetési rendszereket személyre szabhatóvá, emberszerűvé tenni [4-7]? Jelen cikkünk célja, hogy a 2. és 3. szintű sávtartó automatikák viselkedése emberszerűbbé váljon, illetve megoldásokat keresünk arra, hogyan lehet manuális vezetés alatt megismerni a vezetői egyéni preferenciáit. Ezért felállítottunk egy vezetői modellt, mely képes reprodukálni emberszerű útvonalakat a sávban történő haladáshoz. Ebben a cikkben bemutatjuk, hogyan hasznosítható ez a modell a fenti alkalmazásban, illetve beazonosítunk több vezetői típust a modell segítségével.

A cikk felépítése a következő: először bemutatjuk a vezetői modellezés irodalmát, illetve egy korábbi kutatásunk során azonosított vezetői modellt, amelyet felhasználunk az ívválasztási preferenciák azonosítására. Ezek után bemutatjuk a modell alkalmazását, a modell paraméterek alapján a vezetési preferenciák klaszterezésének lehetőségeit. Végezetül egy átfogó validációt ismertetünk, amely során bebizonyítjuk, hogy a feltárt vezetői klaszterek milyen vezetői típusokat jelentenek, illetve ezen típusoknak milyen jellemzői vannak.

2. Irodalmi áttekintés

a. A vezetői modellek csoportosítása

A vezetési feladatok, és ezzel együtt a vezető, mint ember modellezése több évtizedre tekint vissza. Már az 1950-es években vizsgálták autóvezetők követési távolságát, és az ehhez kapcsolódó viselkedési normákat [4]. Az ezt követő évtizedekben a vezetési modellek kiegészültek, és a forgalom egészét kezdték vizsgálni [5, 6]. Ennek elsődleges célja az volt, hogy megértsék az emberi sofőrök viselkedését és ezáltal fejlesszék az útbiztonságot. A modellek ebben az esetben kifejezetten leíró szerepet tölthettek be, így jóslatokat tettek egy-egy útszakaszon várható balesetek számára, vagy épp mikroszkopikus forgalmi helyzetek alakulására. Ezen kívül a modellek segítettek megérteni, hogyan fejlődik egy járművezető, ezáltal jobb vezetői képzést tudtak nekik nyújtani.

Az első jelentős összefoglalását a vezetői modellezési feladatoknak 1984-ben Evans és Schwing tette meg, melyet később John A. Michon holland mérnök dolgozott át [7]. Ebben a sokat hivatkozott tanulmányban szerepel minden jelentős 1950 és 1985 közötti vezetői modell. A teljes közlekedési rendszert Evans és Schwing a 1. táblázat szerinti szempontok mentén foglalta össze. Eszerint a közlekedési rendszerben való részvétel felosztható az egyén két fő stratégiájára:

- osztályozási stratégia, azaz a döntéshozáshoz szükséges egyszerűsítés, információ észlelés és feldolgozás, majd döntéshozás, mindezt egyéni preferenciák alapján, illetve
- funkcionális stratégia, azaz a döntés alapján megvalósítás, cselekvés, végrehajtás.

A másik dimenziót képezik a modellek, amelyek megtestesítik ezeket a stratégiákat feloszthatók az alábbi két csoportra:

- ki-, és bemeneti modellek, azaz olyan viselkedési modellek, amelyek valamilyen bemeneti adat (érzékelés) alapján produkálnak kimenetet (pl. cselekvést, származtatott információt vagy döntést), illetve
- belső állapotok, amelyek pszichológiai modellek és az egyén személyes preferenciái alapján megadják a jellemző viselkedést rövid- és hosszútávon.

1. táblázat: Evans és Schwing közlekedési rendszer modellje, az eredeti táblázat forrása: [7]

	Osztályozási stratégia	Funkcionális stratégia
Ki – Bemeneti modellek (viselkedési modellek)	Feladatanalízis	Mechanikai modellek Adaptív Szabályzó Modellek: - szervó-szabályzás - információ áramlás szabályzása
Belső állapotok (pszichológiai modellek)	Tulajdonság modellek	Motivációs modellek Kognitív (leíró) modellek

A fenti két dimenzió alapján összesen négy nagyobb feladatcsoportot különítünk el: feladatanalízis, tulajdonság modellek, funkcionális ki- és bementi modellek és motivációs vagy leíró modellek.

A feladatanalízist leíró modellek célja, hogy elkülönítse a vezetés során felmerülő feladatokat, illetve megadja azon összefüggéseket, amelyek segítségével mérhető mennyiségek alapján a feladatok elkülöníthetők, osztályozhatók. Egy ilyen rendszert dolgozott ki McKnight és Adams [6]. Összesen 45 főbb feladatot különítettek el. Ezek reprezentálják a vezetés során felmerülő feladatokat, viselkedési célokat, illetve az egyéni és a körülményekből adódó képességeket. Ide sorolhatók azok a leírások is, amelyek kifejezetten a vezetés során felmerülő hibalehetőségeket vizsgálják.

A tulajdonság modellek tartalmazzák az egyéni tulajdonságokat, melyek szándékolt jellemzők és befolyásolják a vezetési feladathoz való hozzáállást (pl. személyiségtípus, hangulat). Ezen kívül ide sorolhatjuk a vezetési képesség hiányából adódó nem megfelelő normákat. Ezen a területen érdemes megemlíteni pl. a kifejezetten motoros tevékenységek fejlődésére irányuló kutatásokat, melyek hozzájárulnak a vezetői oktatás javításához, a XXI. században pedig a vezetéstámogató rendszerek fejlesztéséhez [5].

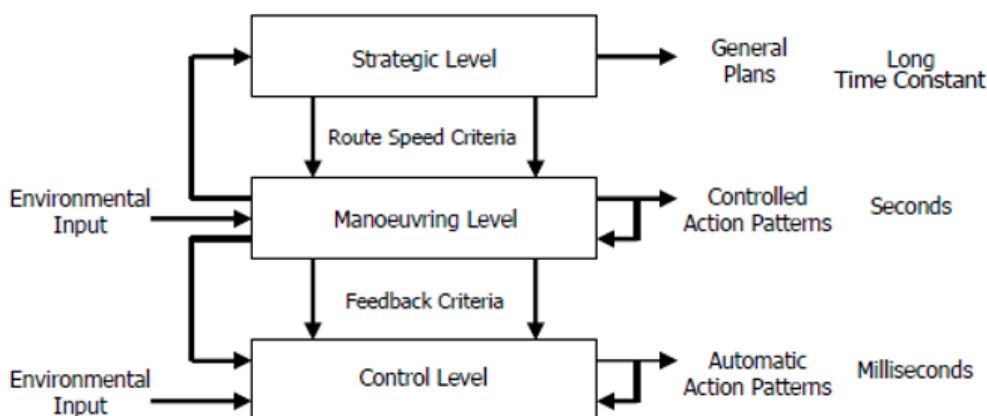
A funkcionális ki- és bemeneti modellek a legelterjedtebbek az ADAS (Automated Driving and Assisted System) területén. Ezen kívül a forgalom modellezésére is előszeretettel használják. Ide sorolhatók az 1980-as évektől fejlesztett vezetési modellek mind motoros szinten [8, 9] mind jármű szinten [10-15].

A funkcionális, ám elsősorban belső állapotokra visszavezethető modellek jellemzően a tervezés szintjén jelennek meg. Ez azt jelenti, hogy a vezetői valamilyen szempontrendszer szerint kiválasztja a végrehajtandó mozgásbéli feladatot, majd a motoros tevékenységein keresztül ezt meg is valósítja. Az 1985-ös Michon cikkig ezen a szinten elsősorban olyan munkák jelentek meg, melyek az ember toleranciáját, azaz a jármű mozgásában bekövetkező hibákat, illetve a vezető ezen hibákhoz való hozzáállását vizsgálja. Ide kapcsolódnak a kompenzációs modellek, a kockázat adaptációs elmélet („*risk homeostatis theory*”) [16], a kockázat határérték („*risk threshold theory*”) elmélete [17], illetve a fenyegetés elkerülő modellek („*threat avoidance models*”) [18]. Ezek a modellek kifejezetten hasznosak akkor, ha a modellezés célja a leírás, azaz egy megfigyelt jelenség (mért adat) magyarázása. ADAS rendszerekkel kapcsolatos alkalmazásokban ezen modellek által leírt viselkedéseket általában nem reprodukáljuk, hiszen az ember tűréshatárán belüli hibáit nem szeretnénk viszont látni egy gépi irányítástól. Ugyanakkor jó alapot adhat a követelményeink megalkotására, pl. milyen hibahatárt engedünk meg egy járműszabályzásnak. Emellett ezen modell típusokba sorolhatók az ADAS felhasználásban is közkedvelt vezetői modellek, melyek a befutni kívánt útvonalat adják meg. Ezek a modellek szolgálnak alapul a jármű kívánt mozgásához, amely esetén szeretnénk emberszerűsége törekedni [19-31].

b. Vezetői modell rendszerek

Evans és Schwing modell osztályozása egy jó összegzése a modellezési feladatoknak, de nem ad konkrét megoldást a modellezési problémára. Ugyanakkor ők is hivatkoznak olyan megközelítésekre, amelyek alkalmazhatók a gyakorlatban. A vezető feladatainak Jannsen-féle hierarchikus modelljét mutatja az 1. ábra. Ugyanezen modellen alapszanak későbbi munkák, melyek ADAS architektúrákat ajánlanak [32, 33]. Ez a modell összesen 3 hierarchikus szintet tartalmaz:

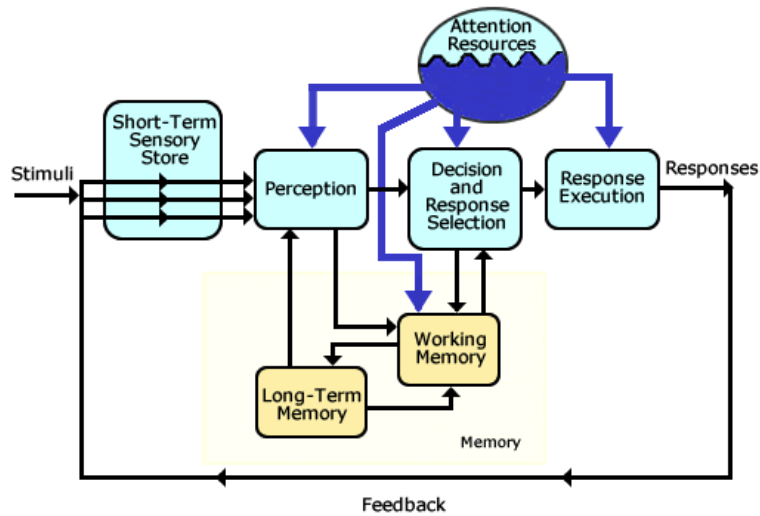
- stratégiai szint, amely kifejezetten az általános tervezést, a leghosszabb időhorizonton való döntéshozást tartalmazza (pl. két város közötti útvonal kiválasztása),
- manőver szint, amelyet sokszor taktikai szintnek is hívunk, amely kifejezetten az aktuális információk alapján hozott döntés (tervezés), figyelembe véve a személyes preferenciákat (pl. ívválasztás, sebességválasztás, gyorsítás mértéke, sávváltás melletti döntés...stb.), illetve
- szabályzó szint, amelyet operatív szintnek is hívunk, és az eltervezett viselkedés megvalósításáért felel, a legtöbbször tudatalatti, motoros tevékenységek egymásutáni végrehajtása segítségével (pl. a gázpedál vagy kormánykerék kezelése).



1. ábra: A vezető feladatainak hierarchikus modellje, forrás: [7]

Ez a 3 szint a feladatok egymáshoz való kapcsolódását modellezi. Egy másik dimenzió szerint rendezhetjük a vezetési feladatszinteket az egyes szintek célja szerint. Erre ad példát D.C. Wickens az információ áramlási modelljével, amely leginkább az 1. táblázat szerinti funkcionális ki- és bemeneti modelljei közé sorolható [34]. A modellt a 2. ábra mutatja. Ez alapján három fő információs szint különíthető el:

- észlelés és érzékelés („*perception and detection*”),
- döntéshozás („*decision making*”),
- végrehajtás („*execution*”).

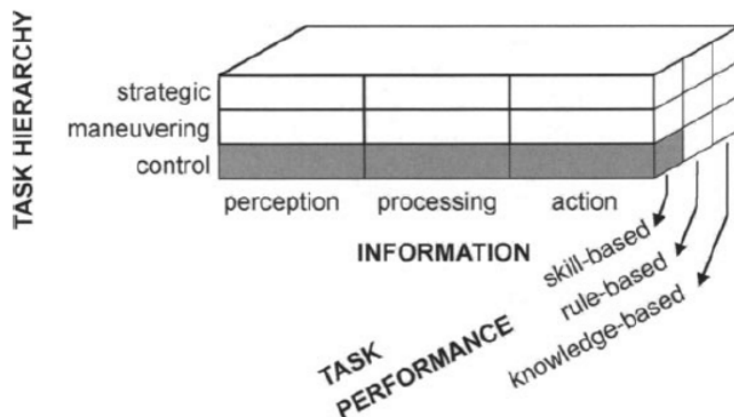


2. ábra: D. C. Wickens információ áramlási modellje, forrás: [34]

A három információs szint mindegyike kapcsolódik a rövid és hosszútávú memóriákon keresztül, és ezzel születik meg a végső beavatkozás.

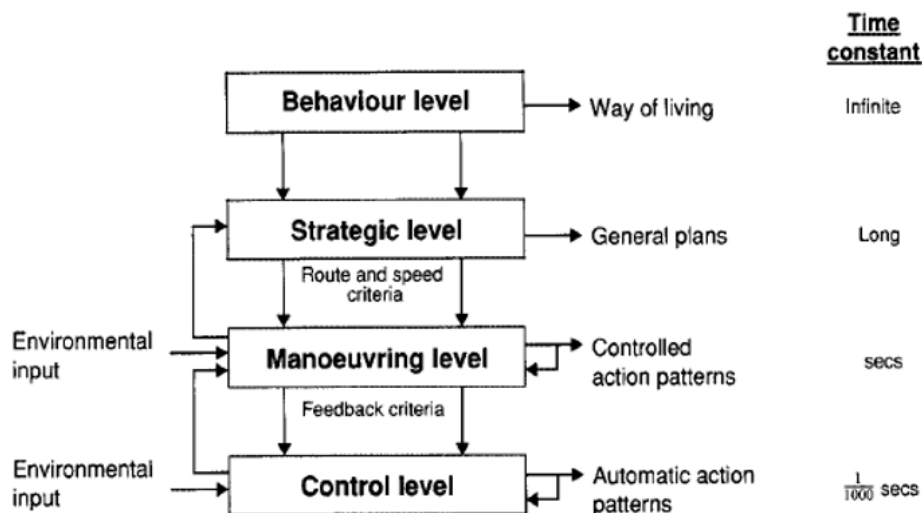
Látható, hogy a vezetői modellezés több dimenzióban vizsgálendő. Elkülönül az információ időbeli feldolgozása, illetve a feladatok szintje. Ezt a többdimenziós megközelítést használva született meg a vezetői modellek 3-dimenziós struktúrája, melyet a 3. ábra mutat. J. Theeuwes modelljében megjelenik mind az információs, mind a feladathierarchikus modell, kiegészülve az ún. feladat teljesítés („*task performance*”) modelljével. Ez utóbbi elkülönít 3 különböző módot:

- készségalapú,
- szabályalapú,
- tudásalapú feladatvégrehajtás.



3. ábra: A 3 dimenziós vezetői modellrendszer szemléltetése, forrás: [35]

Theeuwes modelljéhez hasonló motiváció bújik meg a GADGET projekt által ajánlott vezetői modellben [36]. Ez a modell Jannsen hierarchikus modelljén alapszik, kiegészítve azt egy 4., ún. viselkedési szinttel. A kiegészített modellt a 4. ábra mutatja. A viselkedési szint tartalmazza mindazon egyéni tulajdonságokat, amelyek befolyásolják az alatta lévő szintek feladatait. Theeuwes háromdimenziós modelljével ez a megközelítés hasonlóságot mutat, hiszen a feladat teljesítés módja függ az egyéni tulajdonságoktól (pl. egy kezdő sofőr a jármű irányítási szinten inkább tudásalapon működik, egy tapasztalt sofőr inkább készség alapon).



4. ábra: A GADGET projekt által ajánlott kiegészített hierarchikus modell, forrás: [36]

c. Vezetői modellek irodalmának összegzése

Az eddigi fejezetekben áttekintést adtunk a vezetői modellek XX. századi fejlődéséről, irodalmáról. Habár a vezetés modellezése komplex feladat, mely a pszichológia és a mérnöki tudományok határán helyezkedik el, megkíséreljük az alábbiak szerint egyszerűen összefoglalni a következtetéseket:

- a vezetői modellek csoportosíthatók a modellek céljai és megoldásai alapján, lásd 1. táblázat,
- a vezetői modellrendszerek több osztályba is sorolhatók (pl. Jannsen hierarchikus modellje, Theeuwes háromdimenziós modellje, Wickens információ áramlási modellje): ezekben megjelenik mind az osztályozási feladat (pl. a döntéshozási szinten, stratégiai szinten...stb.), mind a funkcionális feladat (végrehajtás, irányítás és manőverezés),
- a vezetői modellek minimum 4 dimenzióra bonthatók: feladathierarchia, információ áramlás szintjei, feladat teljesítés módja és viselkedési modell.

Az érthetőség kedvéért a következő fogalmakat vezetjük be:

- modell-rendszer: a vezetői modellek legnagyobb, összefoglaló szintje, amely több dimenzióban reprezentálja a vezetői feladatokat,
- modell-alrendszer: a modell rendszer dimenziója, több modell összessége,
- modell: a vezetői modell egysége, pl. a feladathierarchikus modellben a szabályzó szint modellje; ezen szint a modell alrendszer több eleméhez is kapcsolódhat (pl. a 3-dimenziós modell-rendszer egy építőköve),
- almodellek: a modelleket felépítő matematikai modellek.

3. A modellezési probléma

a. A probléma megfogalmazása

Az eddigiekben a vezetői modellek osztályozásáról szóltunk. Ahhoz, hogy a jelen cikkben tárgyalt modellezési problémát megfogalmazzuk, röviden kitérünk a modell céljára, illetve annak felhasználási területére. A vezetési rendszer modellezése több céllal is történhet. [37] szerint egy vezető modellezése történhet abból a célból, hogy a megfigyelt vezetési mintákat meg tudjuk magyarázni, vagy hogy elkülönítsük a biztonságos és nem biztonságos vezetési attitűdöket. Ezen kívül a 2000-es évek elejétől nagy hangsúlyt kap a vezetői modellek asszisztens és automatizált rendszerekben történő felhasználása. Ez utóbbi jól megfigyelhető az irodalomban: 2000 után a vezetői modellek elsőszámú alkalmazása az ún. ADAS területen történik [8, 9, 38-42]. Ahhoz azonban, hogy ezek az alkalmazások a megfelelő szintű vezetői modellt használják, tisztában kell lenni a teljes közlekedési rendszer modelljével, aminek egy része a vezető maga. Ugyanerre hívja fel a figyelmet Cody és Gordon: „*The authors' intention [...] was to illustrate [...] that the aim of developing driver models is not to create 'the' driver model [...]. Actually, the level of detail to integrate in a driver model really depends on the goal of the developer. For instance, in order to predict driver behaviour, how necessary is it to describe the psycho-motor processes underlying the driving activity or is a data analysis of data patterns and trends sufficient?*” [43], azaz „A szerzők szándéka az volt, hogy megmutassák: a vezetői modellek fejlesztésének célja nem „a” vezetői modell kifejlesztése. Egy vezetői modell részletessége nagyban függ annak alkalmazásától. Például, hogy megjósoljuk egy vezető viselkedését, mennyire szükséges leírni a vezetés mögött rejlő pszichomotoros folyamatokat, vagy elég egy adathalmazban jelenlévő trendeket felfedni és modellezni?”⁸ Azaz ismerni kell a teljes vezető, szélesebb spektrumon pedig a teljes közlekedési rendszer elemeit és azok egymásra gyakorolt hatását, majd ennek tudatában kiválasztani az alkalmazásnak megfelelő modellt. Az 1. táblázatban látható két dimenziót egymással keresztezve összesen 4 jól elkülöníthető modell osztályt kapunk, amelyek összessége adja a teljes vezetői modellt. Itt két dologra hívjuk fel a figyelmet:

⁸ A szerző szabadszavas fordítása angol nyelvről.

- egy értelmezés szerint minden vezetési szituációban mindegyik modell osztály jelen van, és így ezek szuperponált hatása eredményezi a végső történéseket, másrésről viszont
- a fentebb említett modellezési cél szerint pontosítani kell a modell alkalmazását, és ennek megfelelően akár egyszerűsíteni annak struktúráján, így elméletileg előfordulhat az, hogy tisztán csak az egyik modell osztály összefüggéseit használjuk fel.

Ez a két szempont egymással szemben áll. A modellezési probléma megfogalmazása során mi magunk is megmutatjuk, hogy mindkét utat választhatjuk, ugyanakkor az egyszerűsítés esetén fontos olyan peremfeltételeket szabni, amely ezt az egyszerűsítést lehetővé teszik (pl. kifejezetten a kormányzással kapcsolatos mechanikai modell egy funkcionális ki- és bemeneti modell, a modellre hatással lehetnek a vezetői saját tulajdonságai, és ez így már egy tulajdonság modell is; ahhoz, hogy ezt feloldjuk, ki lehet jelölni egy választott névleges viselkedést, pl. tapasztalt sofőr).

A fenti gondolatokat figyelembe véve az alábbi követelményeket támasztjuk a vezetői modellünk felhasználási területével kapcsolatban:

- a vezetői modellt kizárólag normál aszfaltos úton, jó minőségű felületen, egy kijelölt sávon belüli haladásra használjuk, amely esetben a jármű a 60 – 110 *kph* sebességtartományban közlekedik,
- a modell célja, hogy megadja a sávon belüli kívánt jármű pozíciót, orientációt és görbületet, nem célja a jármű sebességének tervezése,
- továbbá nem vesszük figyelembe a dinamikusán változó körülményeket, azaz más járművek, illetve közlekedési résztvevők mozgását,
- a modell lokálisan érzékelt valós idejű információk alapján képezi a lokális útvonalat.

Ezen szempontok alapján mondhatjuk, hogy a cél egy olyan vezetői modell megalkotása, amely képes emberszerű ívek tervezésére az út geometriai információi alapján. A modellt ezek után a következő alkalmazásban használjuk:

- a modell segítségével mérhetők, illetve reprodukálhatók az egyéni ívválasztási preferenciák,
- a modell segítségével osztályozható az adott vezető vezetési típusokba, és ez az információ tetszőlegesen felhasználható.

b. A vezetői modell azonosítása

A 2/c fejezetben megállapítottuk, hogy a vezetői modellrendszerek 4 dimenzióval rendelkeznek, továbbá bevezettünk alapfogalmakat, melyek segítségével behatárolható a 3/a pontban megfogalmazott modell. A következőkben elhelyezzük az általunk modellezni kívánt szakaszt a modellrendszeren belül. A következő scenáriót illusztráljuk először: a vezető számára ismert, jól belátható útszakasz, eldöntött útvonal (azaz nem szükséges sávváltás, kanyarodás...stb.), nincs más jármű a sávban, nincs szembejövő forgalom, a vezető ismeri az autót, kipihent és nagy vezetési tapasztalattal rendelkezik, továbbá nyugodt, kiegyensúlyozott személyiség. Ennek a helyzetnek az illusztrált modell-alrendszerét az 5. ábra (a) részábrája mutatja. A sávon belüli haladás járműszintű irányítása a manőver szinthez tartozik, így a feladatokat feketével kereteztük be ezen a szinten. Feltételezhetjük, hogy ebben a scenárióban az észlelés elsősorban készség alapú, azaz nem tudatos a vezető részéről. Mivel nincsen más mozgó objektum a közelben, így elsősorban a vezethető útfelület észlelése a fő cél. A döntéshozás, azaz a befutni kívánt útvonal megtervezése részben készség, részben szabály alapú, hiszen ösztönösen választunk egy útvonalat, de figyelembe vesszük pl. az út geometriáját, a jármű aktuális sebességét...stb., így valamilyen belső motiváció modell szabályai szerint is döntünk. A végrehajtás feltételezhetően készség alapú, ösztönösen választunk pl. célgyorsulást vagy kormányszöget, azonban itt is megjelenhetnek a szabályszerűségek, hiszen nem mindig ragaszkodunk egy bizonyos útvonalhoz (amit korábban megterveztünk), hanem ettől eltérünk egy megadott tűréshatáron belül, belső szabályaink szerint („*risk threshold theory*”). A teljesség kedvéért felrajzoltuk az operatív szinten zajló feltett folyamatokat, amelyet mind a készség alapú megvalósításba soroltunk, mind az észlelés, mind a döntéshozás, mind a végrehajtás terén (feltettük, hogy a vezető rendelkezik annyi vezetői tapasztalattal, hogy pl. a kormányszög megvalósítás, vagy a sebesség tartása ne okozzon neki különösebb tudatos megterhelést).

		Észlelés	Döntéshozás	Végrehajtás
Stratégiai	Tudásalapú			
	Szabályalapú			
	Készségalapú			
Manőver (taktikai)	Tudásalapú			
	Szabályalapú			
	Készségalapú			
Szabályzó (operatív)	Tudásalapú			
	Szabályalapú			
	Készségalapú			

(a)

		Észlelés	Döntéshozás	Végrehajtás
Stratégiai	Tudásalapú			
	Szabályalapú			
	Készségalapú			
Manőver (taktikai)	Tudásalapú			
	Szabályalapú			
	Készségalapú			
Szabályzó (operatív)	Tudásalapú			
	Szabályalapú			
	Készségalapú			

(b)

5. ábra: Az 1. scenárió (a) és a 2. scenárió (b) illusztrált modellje a 4-dimenziós modellrendszerben elhelyezve (saját szerkesztés)

A magyarázat kedvéért illusztrálunk egy másik scenáriót is. Ez így hangzik: reggeli csúcsforgalom, sávban haladás, kipihtent, ám sietős vezető, napos idő, ismert útszakasz, ismert jármű, a sávunkban jelenlévő más járművek, országút, szembejövő járművek. Ennek a feltételezett modell alrendszerét az 5. ábra (b) alábrája jelöli.

Ebben az esetben is a sávon belüli ívválasztás a manőverezés szintjére esik. Az észlelés feltételezhetően továbbra is készségalapú, a döntéshozás (azaz az ív megtervezése) inkább szabály alapú, hiszen sok a külső változó, így a belső szabályrendszer szempontjai felerősödnek. A végrehajtás inkább készség alapú, hiszen a változók miatt feltételezhetően nagyobb a koncentráció, így az eltervezett ívet pontosabban hajtja végre a sofőr.

Az eddigiekben nem esett szó az egyes cellákban szereplő színekről. Az 5. ábra táblázata tartalmazza a Theeuwes féle 3 dimenziót, azonban nem tér ki a 4-re, a viselkedési modellre. Ahogyan azt a 3/a pontban is megadtuk, az útvonal tervező vezetői modell segítségével szeretnénk megfigyelni és reprodukálni egyéni ívválasztásokat. Így az alkalmazásunkra nézve is fontos, hogy a viselkedési modell szerepeljen a modell rendszerben. Ezt a 4. dimenziót jelképezik a színek. Megjegyezzük, hogy a választott szín csupán illusztráció. A szín jól megtestesíti a viselkedés azon tulajdonságát, hogy a viselkedés nem diszkretizálható mennyiség, továbbá önmagában is komplex modellt alkot. Ahogy egy szín lehet különböző árnyalatú, fényerősségű, tágabb értelemben akár különböző textúrájú, úgy a viselkedési minták is szerte ágazók. Az 1. scenárió esetén zöld színt használunk mindenhol, ezzel reprezentálva a nyugodt, kiegyensúlyozott viselkedést. Ahol a szín erősebb, ott a modell tulajdonságokat intenzíven játszanak szerepet a modellrendszerben (pl. erős szín a készség és szabályalapú

megközelítések határon, halványabb ettől messzebb), ahol halvány, ott pedig kevésbé játszik szerepet. Ahol nem szerepel szín, ott úgy véljük, az adott scenárióban nem releváns az az modellrész, így nem befolyásolja a végső kimenetet. A 2. scenárió esetén a kék szín az odafigyelést, a sietésből adódó intenzív észlelést jelöli, míg a piros a dinamikus, agresszív tulajdonságokat testesíti meg. Valamivel halványabb piros jelöli az operatív szint feladatait, jelezve, hogy éppen a sietés, kapkodás miatt kevesebb figyelem hárul a végrehajtásra.

Véleményünk szerint a fenti modell segítségével a legtöbb scenárió esetén elhelyezhető a modellezni kívánt szakasz.

A 3/a pontban megfogalmazott alkalmazásnak megfelel az 1. scenárió. A modellt kizárólag a manőverezési feladat döntéshozási szintjére készítettük el. Ez a szint a kiválasztott ív megtervezését jelenti lokálisan, kizárólag statikus információk alapján (azaz más járművek, illetve közlekedési szereplők viselkedését nem vesszük figyelembe). Továbbá ennek a modellnek a célja egy ösztönös viselkedés leírása, azaz kizárólag a készségalapú megközelítést használjuk. A szabályalapú megközelítés esetén figyelembe vehetnénk több tényezőt, ezáltal egy optimalizációs problémát kapunk. A modell elkészítésénél azonban ezt nem vettük figyelembe, ehelyett feltártunk egy fizikai modellt, mely az alapját adja a szabályalapú megközelítésnek. A modell helyét a modellrendszerben az 5. ábra (a) alábráján piros téglalap jelöli.

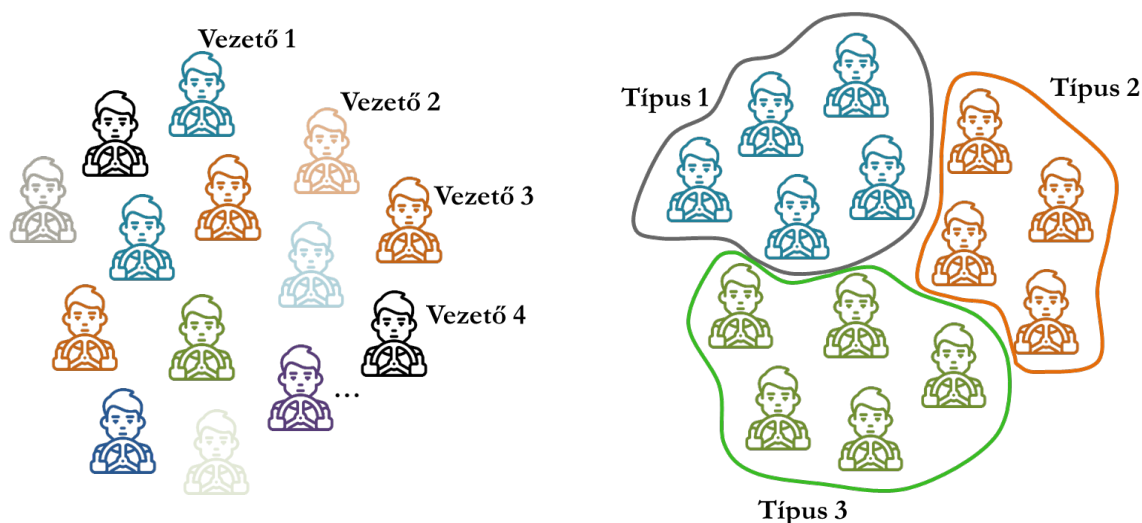
A modell azonosításához valódi sofőrök mért adatait használtuk. A modell bemenetei az út belátott szakaszának geometriai viszonyai, a kimenete pedig egy lokális útvonal, amely tükrözi az adott sofőr preferenciáit. A viselkedési modellt az útvonaltervező modell paraméterei reprezentálják. Ezeket a paramétereket külön-külön megfigyeltük az egyes vezetőkre. Biztosítottuk, hogy mindegyik vezető ugyanolyan körülmények között, nyugodt lelki állapotban teljesítse a vezetést. Az időbeli paraméterváltozással, azaz a viselkedési minták változásával nem foglalkoztunk. A viselkedési modell így tekinthető egy egyszerűsített modellnek.

Összefoglalva, a modellezés során a következő szempontokat vettük figyelembe:

- a vezető ösztönös, készség alapú útvonalválasztása,
- nyugodt, ideális körülmények közötti vezetés,
- országúti útszakasz, más járművek mozgásának figyelmen kívül hagyása,
- a manőverezési szint észlelésének és végrehajtásának figyelmen kívül hagyása.

Azon listázott szempontok, melyeket nem vettünk figyelembe, zavarként jelennek meg a rendszerben. Ugyanakkor a cél nem a teljes viselkedés reprodukálása, sokkal inkább az ösztönös és szándékos útvonal választási preferenciák feltárása. Az így megszületett modellt korábbi cikkeinkben mutattuk be [25, 44, 45]. A modell neve *Extended Linear Driver Model* (ELDM). A modell egy 150 méteres előre tekintési távon látott útgörbület alapján 3 csomópontban meghatározza a sávközéphez viszonyított célofszetet, majd ezen csomópontokra illeszt 3 Euler-görbét, így kiadva a teljes lokális útvonalat. A tervezés ciklikusan ismétlődik, ahogy a jármű halad. Az ofszet értékek a csomópontok közötti átlagos útgörbület lineáris kombinációjaként áll elő. A 3 görbületérték leképezése 3 ofszet értékévé így összesen 9 paramétert jelent. Mivel más a vezetők jellemző viselkedése bal- illetve jobbkanyarban, így a görbület előjelének a függvényében a modell más paraméterek alapján számítja a célofszet értékeket. Ezzel nem 9, hanem 18 paramétert tartalmaz a modell. Továbbá az egyenesekben vett ofszet preferenciát egy paraméterrel adjuk meg (az átlagos ofszet értéke zérus görbület mellett), ezzel 19 paramétert kapunk. A 19 paramétert minden egyes vezető nagyjából 40 km-es vezetése után határoztuk meg, külön-külön.

Ahhoz, hogy ne csak megfigyelni, de reprodukálni is tudjuk az egyéni preferenciákat, több megoldás is rendelkezésre áll. Egyrészt kiszámíthatjuk az egyéni paramétereket, majd pl. egy sávtartó aktiválásánál az adott sofőrre jellemző paraméterhalmazt használjuk. Ezt az esetet a 6. ábra (a) alábrája mutatja. Azonban ebben az esetben a végleges kódban szabad paramétereket hagyunk, ami így megnehezíti a verifikációt és validációt. Sorozatgyártásba szánt szoftver esetén jobb megoldás, ha a vezetőket a saját viselkedésünk alapján típusokba soroljuk, majd az adott típusú sofőrökre jellemző viselkedést reprodukáljuk az egyéni viselkedések helyett. Ezt a verziót a 6. ábra (b) alábrája mutatja. A továbbiakban ezt a megvalósítást fogjuk használni.

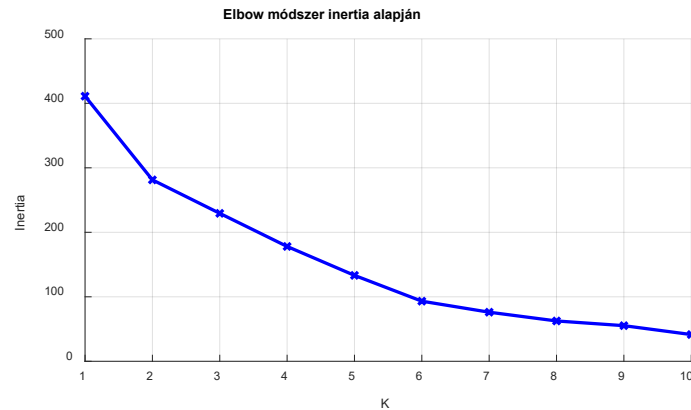


6. ábra: A vezetők osztályozása az ívválasztásuk alapján, (a) egyéni viselkedések reprodukálása, (b) vezetői típusok használata (saját szerkesztés)

A tanítási adathalmazban összesen 19 sofőr szerepelt. Minden egyes sofőrt 19 paraméterrel jellemeztünk, majd ezt a 19 paramétervektort használtuk fel a vezetők osztályozásához. A következőkben ezen klaszterezési eljárást mutatjuk be.

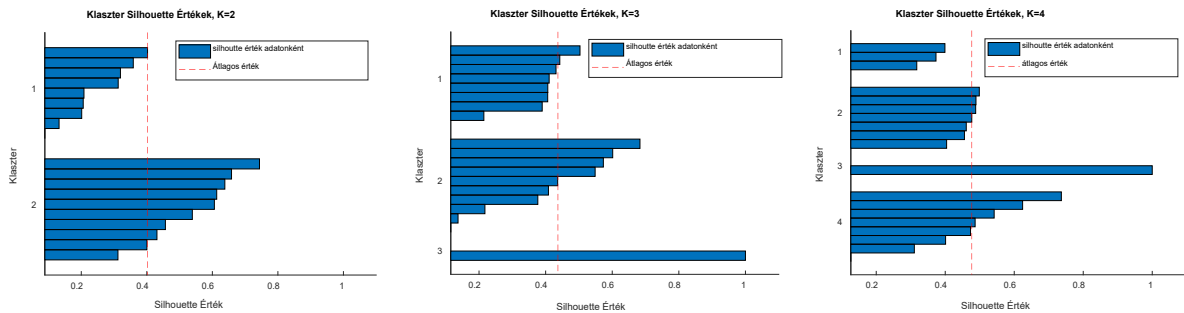
4. Vezetők klaszterezése vezetői típusokba

Az ELDM modell alapján elkülöníthető vezetési típusok meghatározásához k-means [46], illetve hierarchikus [47] klaszterezési módszereket használtunk fel. Sűrűség alapú klaszterezés használatát az adatkészletünk dimenziója, illetve a minták darabszáma miatt vetettük el. A klaszterezéshez használt adatkészletünk 19 mintát tartalmazott, amely 15 vezető által megtett 40 km-es országúti útszakaszból kinyert modellek P_{left} , P_{right} , Δy_0 paramétereit tartalmazta egy $x \in \mathbb{R}^{19 \times 1}$ vektor formájában. A modell Δy_0 statikus oldalirányú eltolását meghatározó paraméterét egyszer tartalmazta egy minta a jobb eredmények elérésének érdekében. A k-means klaszterezés esetén a K paraméter meghatározására kétféle módszert alkalmaztunk. Először az ún. könyök módszer („elbow method”) [48] alapján szeretnénk volna meghatározni K értéket, azonban az inercia-K függvényen nem volt egyik K érték esetében se kiemelkedő töréspont, ahogy azt a 7. ábra is mutatja, ezért más módszert alkalmaztunk.



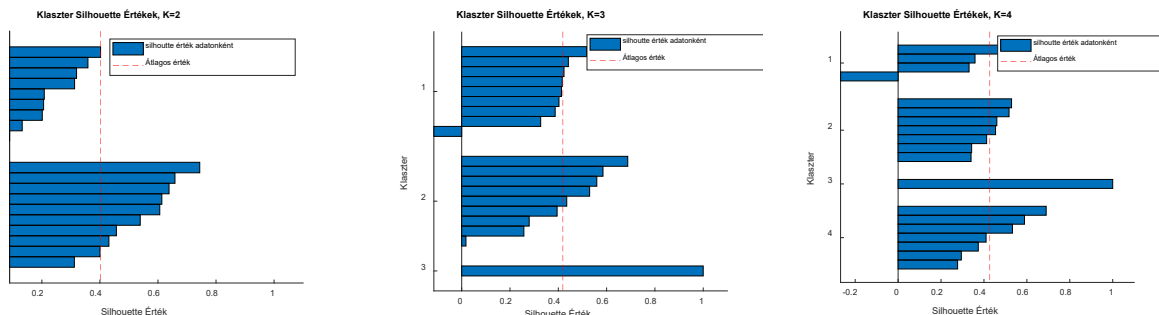
7. ábra: Inertia értékek a K paraméter függvényében (saját szerkesztés)

Az ún. *Silhouette* [49] értékeket kiszámolva az adatkészletünk egyes mintáira és ezek átlagát véve meg tudtuk határozni az optimális K értéket *Euklédesszi*, illetve *Manhattan* távolság becslés esetében. A korábban említett távolság becslő módszer esetében $K=3$ bizonyult a megfelelő értéknek, mert a keletkezett klasztereknek legalább 1 mintája egyértelműen meghaladta az kimenet átlagos *Silhouette* értékét. Az eredményeket a 8. ábra mutatja.



8. ábra: Silhouette értékek $K=2/3/4$ paraméter esetén, Euklédesszi távolságbecslést használva (saját szerkesztés)

A Manhattan távolság becslő használata esetében $K=2$ bizonyult az optimális értéknek, mivel a klaszterezett mintákra számolt Silhouette értékek mind pozitívak, illetve a korábbi kritériumnak is megfelelt a klaszterezés eredménye. Ezeket az eredményeket a 9. ábra mutatja.



9. ábra: Silhouette értékek K=2,3,4 paraméter esetén, Manhattan távolság becslés (saját szerkesztés)

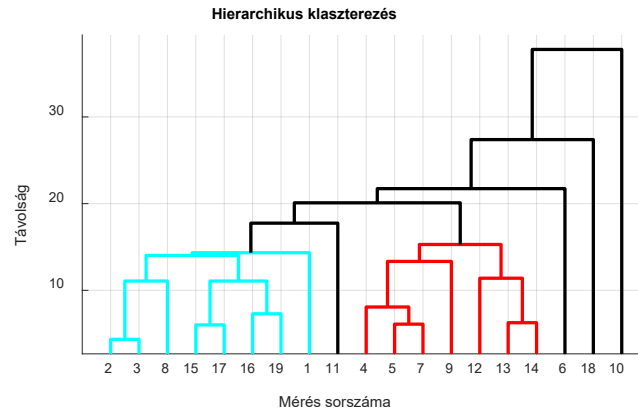
2. táblázat: Az adatkészleten belül kialakult klaszterek minták alapján (saját szerkesztés)

Vezetők	1/1	1/2	2/1	2/2	2/3	3	4/1	4/2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K-means	1	1	1	3	1	1	3	3	3	1	3	3	1	1	3	2	1	3	1
Hierarchikus	1	1	1	3	2	1	3	3	3	1	2	3	1	1	3	2	2	3	1

Az agglomeratív hierarchikus klaszterezés esetében a *Cophenet* korreláció [50] értéket alkalmaztuk az adatunkhoz legjobban illeszkedő távolság becslő kiválasztására, ami alapján a Manhattan távolság becslő bizonyult optimálisnak. A távolságok számítása a klaszterek között az (1) alapján történik.

$$d(r,s) = \frac{1}{n_r n_s} \sum_{i=1}^{n_r} \sum_{j=1}^{n_s} dist(x_{ri}, x_{sj}) \quad (1)$$

A klaszterezés eredményét a 10. ábra mutatja. A klaszterek határértékeit 15 és 20 közé becsültük, mivel ez még nem haladja meg a maximális klaszter távolság felét. A határértéken felül eső klaszterek átlagos távolsága nagy, ezért ezek tekinthetők azon vezetők csoportjának, amelyek nem sorolhatóak be egyértelműen egyik típushoz se.



10. ábra: A hierarchikus klaszterezés dendrogramja (saját szerkesztés)

A korábban említett klaszterelési eljárások alapján kapott eredményeket a 2. táblázat mutatja. Ez adja meg, mely klaszterekbe kerültek az egyes vezetők. A *K-means* esetében az *Eukledeszi* távolság becsléssel kapott eredményeket ábráztuk, mivel ezek a klaszterek nagyobb átfedésben voltak a hierarchikus klaszterezés eredményével.

Az egyes klaszterekre jellemző modell paraméter értékeket a klaszterbe tartozó minták átlagaként határoztuk meg, ami egyben a klaszterek középpontjait is jelenti. Ezeket az átlagos paraméter értékeket (2) és (3) adja meg. Egy újabb vezető megfigyelése után eldönthető, melyik vezetési klaszterbe sorolható ez a vezető.

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1.26 & -1.32 & 0.14 & 0.16 & 0.03 & -0.12 & -0.09 \\ 0.37 & -0.24 & -0.05 & -0.75 & 1.07 & -0.25 & -0.09 \\ -0.60 & 0.69 & 0.00 & -0.35 & 0.21 & 0.22 & -0.09 \end{bmatrix} \quad (2)$$

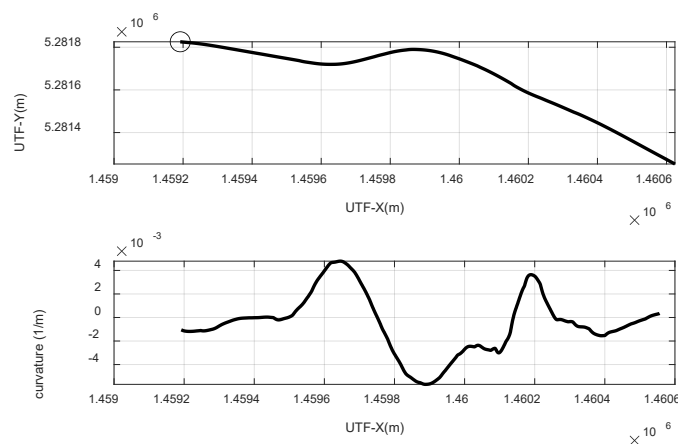
$$P_3 = \begin{bmatrix} -0.45 & 0.64 & -0.21 & -0.38 & 0.71 & -0.26 & 0.00 \\ -1.00 & 1.32 & -0.33 & -1.67 & 2.21 & -0.48 & 0.00 \\ -0.51 & 0.66 & -0.17 & 0.58 & -0.78 & 0.28 & 0.00 \end{bmatrix} \quad (3)$$

A 2-es klaszterhez nem határoztunk meg jellemző paramétert, mert a *K-means* módszer esetén a klaszter minták eloszlása alapján, a hierarchikus klaszterezés esetén pedig a dendrogram alapján látszik, hogy azok a minták egy kívülálló csoportot, mint sem egy típust határoznak meg. Az 1-es és 3-as számú klaszterek a klaszterezés típusától függetlenül átfedésben vannak egymással, ezzel is bizonyítva az összetartozásukat.

5. Eredmények

A 4. fejezetben bemutatott klaszterezési eljárás alapján elkülönítettük az egyes vezetőket, illetve meghatároztuk a klaszterek jellemző viselkedését, mint a klaszterek átlagos paramétereit. Ezekkel szimulációt végeztünk egy rövidebb kanyar kombinációban. Ezt az útszakaszt a 11. ábra mutatja. Ez a 31-es út Mende és Maglód közötti szakasza. A járművet a szimulációban egy kinematikai biciklimodell helyettesíti, a szabályzó egy pure-pursuit szabályzó. Mivel a járműmodell egyszerűsített, így a szabályzó közel zérus pozíció hibával tudja lekövetni a kívánt útvonalat. A vizsgált szakasz egy enyhe jobb kanyarral kezdődik, majd egyenesen halad. Ezek után következik egy éles S-kanyar, először bal majd jobb kanyarokkal. Egy nagyon rövid szakasz után újabb S-kanyart látunk, amely először jobbra majd balra ível, azonban kisebb görbülettel, mint az első S-kanyar. Végezetül újra egyenes szakasz következik.

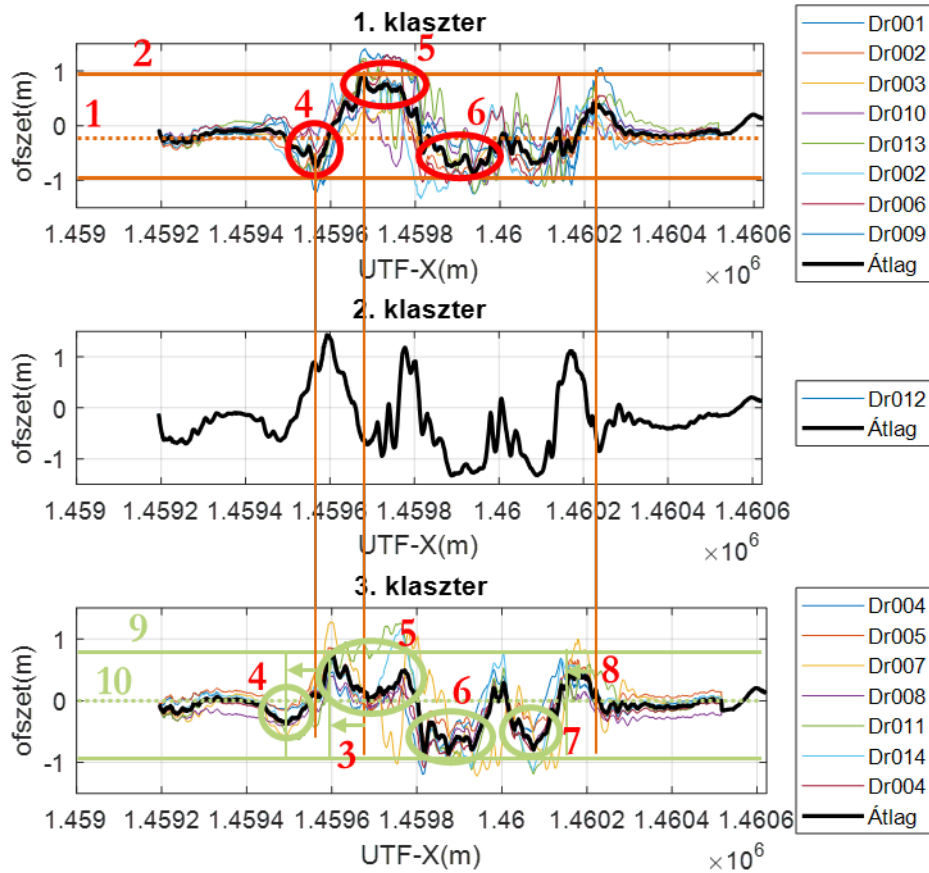
A 11. ábra felső diagramja mutatja az útvonalat a globális UTF koordinátarendszerben, fekete körrel jelölve a jármű kiinduló pontját. Az alsó diagram az út görbületét mutatja: pozitív görbület felel meg a bal kanyarnak.



11. ábra: A validációs útszakasz, amit a szimulációhoz használtunk (saját szerkesztés)

Először a 2. táblázat első sorában látható K-means klaszterezési eredményeket felhasználva szimuláljuk az 1-es és 3-as sz. klaszterhez tartozó viselkedéseket. A teljesség kedvéért az átlagos viselkedés mellett az egyéni viselkedéseket is megjelenítjük. Az eredményeket a 12. ábra mutatja. A következő megállapításokat tehetjük:

- 1. sz. marker: az 1. klaszter egyenesbeli ofszete negatív.
- 2. sz. marker: közel szimmetrikus viselkedés, maximális ofszet: $\sim \pm 1\text{ m}$.
- 3. sz. marker: első ofszet csúcspont később található a megtett táv szerint, mint a 3. klaszter esetén, azaz az 1. klaszterben szereplő vezetők általánosságban a kanyarban később húzódnak át a belső ívre.
- 4. sz. marker: első bal kanyar előtt negatív ofszet, amely egyúttal ív külsőre húzódást is jelent. Ez megfigyelhető a 3. klaszter esetében is, azonban a csúcspont előrébb van (hasonlóan a 3. sz. markerhez).
- 5. sz. marker: hosszan tartó pozitív ofszet a balkanyarban (kanyarlevágás). Ugyanez a 3. klaszter esetén nem figyelhető meg (sávközépre húzódás). Ez egyben a jobb kanyarra való készülés az 1. klaszter esetén, a 3. klaszter esetén ez a felkészülés jól elkülöníthető.
- 6. sz. marker: jobb kanyarban a levágás mértéke és hossza közel azonos mindkét klaszter esetében. Az 1. klaszter esetén ez elnyúlik, és egyben az utolsó balkanyarra való készülést is jelenti. A 3. klaszter esetén ez jól elkülöníthető (7. sz. marker).
- 8. sz. marker: az utolsó, jobb kanyar levágása hasonló mértékű és hosszúságú mindkét klaszter esetén, azonban a 3. klaszter esetén a csúcspont hamarabb van.
- 9. sz. marker: aszimmetrikus maximális ofszet értékek bal- és jobb kanyarban: $\sim +0.75\text{ m} / -1\text{ m}$.
- 10. sz. marker: a 3. klaszter esetén közel nulla ofszet egyenesekben.

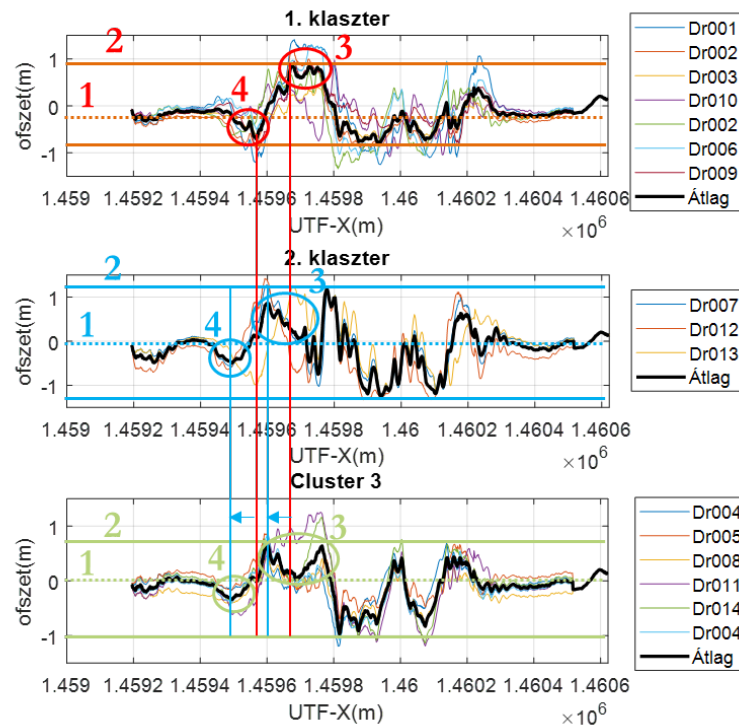


12. ábra: A K-means klaszterező alapján meghatározott vezetési típusok ívválasztása a szimulált kanyarkombinációban. (saját szerkesztés)

Ugyanígy elvégeztük a szimulációt a 2. táblázat 2. sorának eredményei alapján, ahol a hierarchikus klaszterezési módszert használtuk. Az eredményeket a 13. ábra mutatja. Itt is hasonló jelenségeket figyelhetünk meg, mint a *K-means* alapú klaszterezés esetén:

- 1. sz. marker:
 - Egyenesbeli ofszet negatív (1. klaszter)
 - Nem egyértelmű, inkább negatív (2. klaszter)
 - Közel nulla (3. klaszter).

- 2. sz. marker:
 - Közel szimmetrikus: $\pm 0.9 \text{ m}$ (1. klaszter)
 - Közel szimmetrikus: $\pm 1.2 \text{ m}$ (2. klaszter)
 - Aszimmetrikus: $+ 0.65 \text{ m} / - 1 \text{ m}$ (3. klaszter)
- 3. sz. marker:
 - Első csúcspont kanyarban későn (1. klaszter)
 - Első csúcspont a kanyar előtt (2. és 3. klaszter)
- 4. sz. marker:
 - Kanyar előtti külső ívre húzódás nagy mértékű ($\sim 0.8 \text{ m}$), kanyarbejáraton (1. klaszter)
 - Kanyar előtti külső ívre húzódás kisebb mértékű ($\sim 0.3 \text{ m}$) és a kanyar előtt található (2. és 3. klaszter)



13. ábra: A hierarchikus klaszterező alapján meghatározott vezetési típusok ívválasztása a szimulált kanyarkombinációban. (saját szerkesztés)

3. táblázat: A vezetői típusokra jellemző viselkedések a feltárt 4 db kanyarbeli jellemző szerint
(saját szerkesztés)

	Vezetői típus 1.	Vezetői típus 2.
Az abszolút jobb- és balkanyarbeli maximális ofszet helye és értéke	helye: a kanyarban később értéke: szimmetrikus, $\pm 1\text{ m}$	helye: a kanyar bejáratáig közeli értéke: aszimmetrikus, $+0.75\text{ m} / -1\text{ m}$
Kanyar előtti ívkülsőre húzódás helye és mértéke	helye: közel a kanyarhoz mértéke: erőteljes	helye: kanyar előtt hamarabb mértéke: nem jelentős
Kanyarlevágás helye és hossza	helye: a kanyarban később hossza: hosszán elnyúlóan	helye: kanyar bejáratán hossza: rövid ideig
Egyenesbeli ofszet mértéke	negatív	közel nulla

Megjegyezzük, hogy míg a *K-means* esetén a 2. klaszter csupán egy kívülálló elemet tartalmaz, addig a hierarchikus klaszterezés esetén ez már 3 vezetőt jelent, így itt külön értékeltük ezt a klasztert is. Azonban a megfigyelések alapján nem eldönthető, hogy a 2. klaszter rendelkezik-e saját tulajdonságokkal, sokkal inkább egyfajta keveréke az 1. és a 3. klaszter viselkedési mintáinak. Ebből azt a következtetést vonjuk le, hogy a 2. sz. klaszter valóban kívülálló elemek csoportja, és ezen az adathalmazon nem eldönthetők egyértelműen a jellemzőik.

Az eredményeket a 3. táblázat mutatja. Sikertelenül próbáltuk bizonyítani, hogy az egyes klaszterekbe sorolt vezetők hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, ezek a tulajdonságok 4 jellemző alapján megfogalmazhatók: abszolút jobb- és balkanyarbeli maximális ofszet helye és értéke, kanyar előtti ívkülsőre húzódás helye és mértéke, kanyar előtti ívkülsőre húzódás helye és mértéke és egyenesbeli ofszet mértéke. Ezek alapján az elkülönített 2 vezetői klasztert nevezhetjük vezetői típusnak. Ahogyan azt a 4. fejezetben is említettük, bármely új vezető megfigyelése után eldönthető, hogy az adott vezető átlagos ívválasztási viselkedése melyik típusba sorolható. Ezek után az adott típushoz tartozó jellemző viselkedést reprodukálva emberszerűvé tehetjük a sávtartás funkciót.

6. Összegzés

Ebben a cikkben bemutattuk az általános vezetői modellezési problémát, részletes áttekintést adtunk a történelméről és felhasználva a legújabb modellrendszereket egy megfogalmaztuk a sávtartás problémájához tartozó modellezési feladatot. Ezen kívül felhasználva egy korábban alkotott ívválasztási modellt sikerült valódi vezetők preferenciáit felismerni, illetve ezek alapján a vezetőket klaszterekbe sorolni. A klaszterekhez megadtunk egy átlagos viselkedést, amelyhez összesen 4 jellemző alapján társítottunk tulajdonságokat. Ezáltal sikerült 2 különálló, saját viselkedéssel bíró vezetői típust elkülöníteni. A meglévő adathalmaz egyértelműen nem alkalmas arra, hogy eldöntsük, elegendő a 2 vezetői típus az ívválasztás alapján, ugyanakkor állíthatjuk, hogy legalább 2 típus létezik. Ezzel alkalmazást adtunk az *Extended Linear Driver Modelnek*, és ennek segítségével egy sávtartó rendszer személyre szabható, emberszerűvé tehető.

A jövőben szeretnénk az 5. ábra szerinti 4 dimenziós vezetői modellt tovább vizsgálni kifejezetten a sávtartás problémájánál maradva. Úgy gondoljuk, hogy az ívtervezésben nagy szerepet játszanak a külső zavarok, amelyekre adott szabályszerű válaszreakciót szeretnénk modellezni. ezáltal szélesítve a modell felhasználási körét.

7. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] SAE International, „Adaptive Cruise Control (ACC) Operating Characteristics and User Interface,” 2014.
- [2.] B. Nguyen, N. Famiglietti, O. Khan és R. Hoang, „Testing and Analysis of Lane Departure Warning and Lane Keeping Assist System Response,” *SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility*, %1. kötet3, %1. szám5, pp. 2301-2316, 2021.
- [3.] SAE International, „Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles,” 2021.
- [4.] R. E. Chandler, R. Herman és E. W. Montroll, „Traffic Dynamics: Studies in Car Following,” *Operations Research*, pp. 165-184, 1958.
- [5.] E. A. Fleishman, „Development of a behavior taxonomy for describing human tasks: A correlational-experimental approach,” *Journal of Applied Psychology*, pp. 1-10, 1967.
- [6.] J. A. McKnight és B. B. Adams, „Driver Education Task Analysis,” Human Resources Research Organisation, Alexandria, Va., 1970.
- [7.] L. Evans és R. C. Schwig, „Human behavior and traffic safety,” *Plenum Press*, pp. 485-520, 1985..
- [8.] F. Mars és C. Philippe, „Modelling human control of steering for the design of advanced driver assistance systems,” in *Annual Reviews in Control*, 2017.
- [9.] W. Zheng, K. Tsutomu és N. Kimihiko, „Effect of Haptic Guidance Steering on Lane Following Performance by Taking Account of Driver Reliance on the Assistance System,” in *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Miyazaki, Japan, 2018.
- [10.] U. Kiencke, R. Majjad és S. Kramer, „Modeling and performance analysis of a hybrid driver model,” *Control Engineering Practice*, %1. kötet7, %1. szám8, pp. 985-991, 1999.

- [11.] C. Rathgeber, F. Winkler, D. Odenthal és S. Müller, „Lateral trajectory tracking control for autonomous vehicles,” in *European Control Conference (ECC)*, Strasbourg, France, 2014.
- [12.] D. D. Salvucci és R. Gray, „A two-point visual control model of steering,” *Perception*, %1. kötet33, pp. 1233-1248, 2004.
- [13.] C. R. Conlter, Implementation of the Pure Pursuit Path Tracking Algorithm, Pittsburgh, Pennsylvania: The Robotics Institute Carnegie Mellon University, 1992.
- [14.] C. C. McAdam, „An Optimal Preview Control for Linear Systems,” *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, %1. kötet102, %1. szám1, pp. 188-190, 1980.
- [15.] A. Y. Ungoren és H. Peng, „An Adaptive Lateral Preview Driver Model,” *Vehicle System Dynamics*, %1. kötet43, pp. 245-259, 2005.
- [16.] G. J. S. Wilde, „The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health,” *Risk Analysis*, %1. kötet2, %1. szám4, pp. 209-225, 1982.
- [17.] D. Klebersberg, „ Subjektive und objektive Sicherheit im Strassenverkehr als Aufgabe für die Verkehrssicherheitsarbeit,” *Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswacht*, %1. kötet5, pp. 3-12, 1971.
- [18.] R. Fuller, „A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance,” *Ergonomics*, %1. kötet27, %1. szám11, pp. 1139-1155, 1984.
- [19.] I. Bae, J. Moon és J. Seo, „Toward a Comfortable Driving Experience for a Self-Driving Shuttle Bus,” *Electronics*, %1. kötet8, %1. szám9, pp. 943-955, 2019.
- [20.] K. Christos, Q. Mohammed, C. Wen-Hua és D. Lipika, „Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, %1. kötet60, pp. 416-442, 2015.
- [21.] F. Braghin, F. Cheli, S. Melzi és E. Sabbioni, „Race Driver Model,” *Computer and Structures*, %1. szám86, pp. 1503-1516, 2008.

- [22.] Y. Cenxin, N. Anning, L. Jing , W. Jinghui, Z. Chunqin, C. Qinqin és T. Yifeng, „A Novel Dynamic Lane-Changing Trajectory Planning Model for Automated Vehicles Based on Reinforcement Learning,” *Journal of Advanced Transportation*, %1. kötet2022, pp. 1-16, 2022.
- [23.] T. Gu és J. M. Dolan, „Toward human-like motion planning in urban environments,” in *IEEE Symposium on Intelligent Vehicle*, Dearborn, USA, 2014.
- [24.] P. Iakovos és T. Masayoshi , „Fast Lane Changing Computations using Polynomials,” in *Proceedings of the American Control Conference*, Denver, USA, 2003..
- [25.] G. Ignéczi, E. Horváth, R. Tóth és K. Nyilas , „Curve Trajectory Model for Human Preferred Path Planning of Automated Vehicles,” *Automotive Innovations*, 2023.
- [26.] E. Lambert, R. Romano és D. Watling, „Optimal Path Planning with Clothoid Curves for Passenger Comfort,” in *5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*, Heraklion, Crete, 2019.
- [27.] W. Moritz, Z. Julius, K. Sören és T. Sebastian, „Optimal trajectory generation for dynamic street scenarios in a Frenét Frame,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2010.
- [28.] O. Takayuki, „Multimodal trajectory optimization for motion planning,” *The International Journal of Robotics Research*, %1. kötet39, %1. szám8, pp. 983-1001, 2020.
- [29.] O. Siebinga, A. Zgonnikov és A. David, „A Human Factors Approach to Validating Driver Models for Interaction-aware Automated Vehicles,” *ACM Transactions on Human-Robot Interaction* , %1. kötet11, %1. szám4, pp. 1-21, 2022.
- [30.] L. Xiao, L. Jun és Z. Hua, „Dynamic motion planner with trajectory optimisation for automated highway lane-changing driving,” *IET Intelligent Transport Systems*, %1. kötet14, %1. szám14, pp. 2133-2140, 2021.

- [31.] H. Xu, X. Donghao, Z. Huijing, M. Mathieu, A. Francois és G. Frank, „A Human-like Trajectory Planning Method by Learning from Naturalistic Driving Data,” in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Suzhou, China, 2018.
- [32.] D. G. Bautista, Function architecture for automated vehicles trajectory planning in complex environments, Paris: Université Paris sciences et lettres, 2017.
- [33.] R. Novickis, R. Kadikis, A. Levinskis és V. Fescenko, „Functional Architecture for Autonomous Driving and its Implementation,” in *Conference of 17th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC)*, Tallin, Estonia, 2020.
- [34.] D. C. Wickens, „Engineering Psychology and Human Performance,” Foresman and Company, Glenview, Illinios, 1984.
- [35.] J. Theeuwes, „Visual attention and driving behaviour,” in *In Proceedings of the International Seminar on Human Factors in Road Traffic*, Braga, Portugal, 1993.
- [36.] M. Panou, E. Bekiaris és V. Papakostopoulos, „Modelling Driver Behaviour in European Union and International Projects,” *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*, pp. 3-25, 2007.
- [37.] P. Björn és L. Nilsson, „Modelling the Driver in Control,” *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*, pp. 85-104, 2007.
- [38.] K. Sarvesh, d. W. Joost és A. David, „Human-like driving behaviour emerges from a risk-based driver model,” *Nature Communications*, pp. 4850-4863, 2020.
- [39.] A.-C. Hensch, M. Beggiate és J. F. Krems, „Drivers’ gap acceptance during parking maneuvers as a basis for initiating driving actions in automated vehicles,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, pp. 133-142, 2023.
- [40.] A.-C. Hensch, S. Mandl, M. Beggiate és S. Anja, „The interplay of personality traits with drivers’ gap acceptance,” in *13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2022)*, New York, USA, 2022.

- [41.] Kazuhide, O. Kazuhide, I. Laurent és T. Panagiotis, „Vision-Based Autonomous Path Following Using a Human Driver Control Model With Reliable Input-Feature Value Estimation,” *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, pp. 497-506, 2019.
- [42.] Z. K. Zhaobo, K. Akash és M. Teruhisa, „Detection of Perceived Discomfort in SAE L2 Automated Vehicles through Driver Takeovers and Physiological Spikes,” in *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Macau, China, 2022.
- [43.] C. Delphine és T. Gordon, „TRB Workshop on Driver Models: A Step Towards a Comprehensive Model of Driving,” *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*, pp. 26-42, 2007.
- [44.] G. Ignéczi és E. Horváth, „Node Point Optimization for Local Trajectory Planners based on Human Preferences,” in *IEEE 21st World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*, Herlany, Slovakia, 2023.
- [45.] G. Igneczi, E. Horvath és K. Nyilas, „A Linear Driver Model of Local Path Planning for Lane Driving (in press),” in *IEEE 21st International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY 2023)*, Pula, Croatia, 2023.
- [46.] J. Hartigan, *Clustering algorithms*, New York, NY United States: John Wiley & Sons, 1975.
- [47.] K. Sasirekha és P. Baby, „Agglomerative Hierarchical Clustering Algorithm - A Review,” *International Journal of Scientific and Research Publications*, %1. kötet3, %1. szám3, pp. 1-3, 2013.
- [48.] M. Cui, „Introduction to the K-Means Clustering Algorithm Based on the Elbow Method,” *Geoscience and Remote Sensing*, %1. kötet3, %1. szám3, pp. 9-16, 2020.
- [49.] L. Kaufman és P. J. Rousseeuw, *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 1990.

- [50.] J. S. Farris, „On the Cophenetic Correlation Coefficient,” *Systematic Biology*, %1. kötet18, %1. szám3, pp. 279-285, 1969.
- [51.] T. Choudhari és A. Maji, „Modeling driver’s braking and steering behavior along horizontal curves of two-lane rural highways for ADAS applications,” *Traffic Injury Prevention*, %1. kötet7, %1. szám23, pp. 404-409, 2022.
- [52.] M. M. Aydin, „A new evaluation method to quantify drivers’ lane keeping behaviors on urban roads,” *Transportation Letters*, %1. kötet10, %1. szám12, pp. 738-749, 2020.
- [53.] Z. Yassine, E. Khalid, R. Salahhedine, B. Afaf és B. Ismail, „Driver profiling: The pathway to deeper personalization,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, %1. kötet10, %1. szám34, pp. 9088-9101, 2022.
- [54.] M. Zanker, F. Ricci, D. Jannach és L. Terveen, „Measuring the impact of personalization and recommendation on user behaviour,” *International Journal of Human-Computer Studies*, %1. kötet8, %1. szám68, pp. 469-471, 2010.

Radaralapú vészfékrendszer tesztelése különböző kalibrációs beállításokkal

Radar-based emergency braking system testing with different calibration settings

**Jagicza Márton^a, Sütheő Gergő^b, Óri Péter^c,
Kocsis-Szürke Szabolcs^d, Prof. Dr. Lakatos István^e**

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

jagicza.marton@ga.sze.hu

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

sutheo.gergo@ga.sze.hu

^c9026 Győr, Egyetem tér 1. - Széchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont

ori.peter@ga.sze.hu

^d9026 Győr, Egyetem tér 1. - Széchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont

kocsis.szabolcs@ga.sze.hu

^e9026 Győr, Egyetem tér 1. - Széchenyi István Egyetem – Közúti és Vasúti Járművek Tanszék

lakatos@sze.hu

Absztrakt

A közúti baleseti statisztikák még mindig magas számokat mutatnak ez EU-ban, ennek egyik nagy százalékát a ráfutásos balesetek teszik ki, amelynek oka főként a helytelen követési távolság megválasztása. Az Európai Parlament által elfogadásra került a 2018/858 EU rendelet, amely meghatározza az egyes fejlett vezetéstámogató rendszerek (ADAS) kötelező elhelyezését személygépjárművekben, a közlekedésbiztonság további növelésének céljából. Az ADAS rendszerek működését környezetérzékelő szenzorok biztosítják, amelyek pontos beállítása és kalibrációja kritikus a megfelelő működéshez. Egyik ilyen ADAS rendszer, a vészfékassisztens. Veszélyes helyzetben a rendszer gyorsan tud reagálni, és kritikus esetben időben vészfékezést tud végrehajtani. A jármű elején lévő radarszenzorból és/vagy az első szélvédőbe épített kamerából érkező információk alapján határozza meg a beavatkozás szükségességét. A cikk során egy e-Golfnak az elülső segéd-és vészfékrendszerének tesztelését mutatjuk be, amelyet el a ZalaZONE járműipari tesztpályán végeztünk különféle radar érzékelési beállítások mellett. A vizsgálatban a jármű által szolgáltatott figyelmeztető jelzéseket és a segédrendszerek beavatkozását a jármű CAN hálózataról rögzítettük. A munkánk során különféle beállítási szövegeket határoztunk meg a tesztekhez, majd állítottunk be a Texa RCCS3 univerzális kalibrációs rendszerrel a Széchenyi István Egyetem – Szenzor kalibrációs laboratóriumában.

Kulcsszavak: fejlett vezetéstámogató rendszerek, radar kalibráció, vészfékassisztens

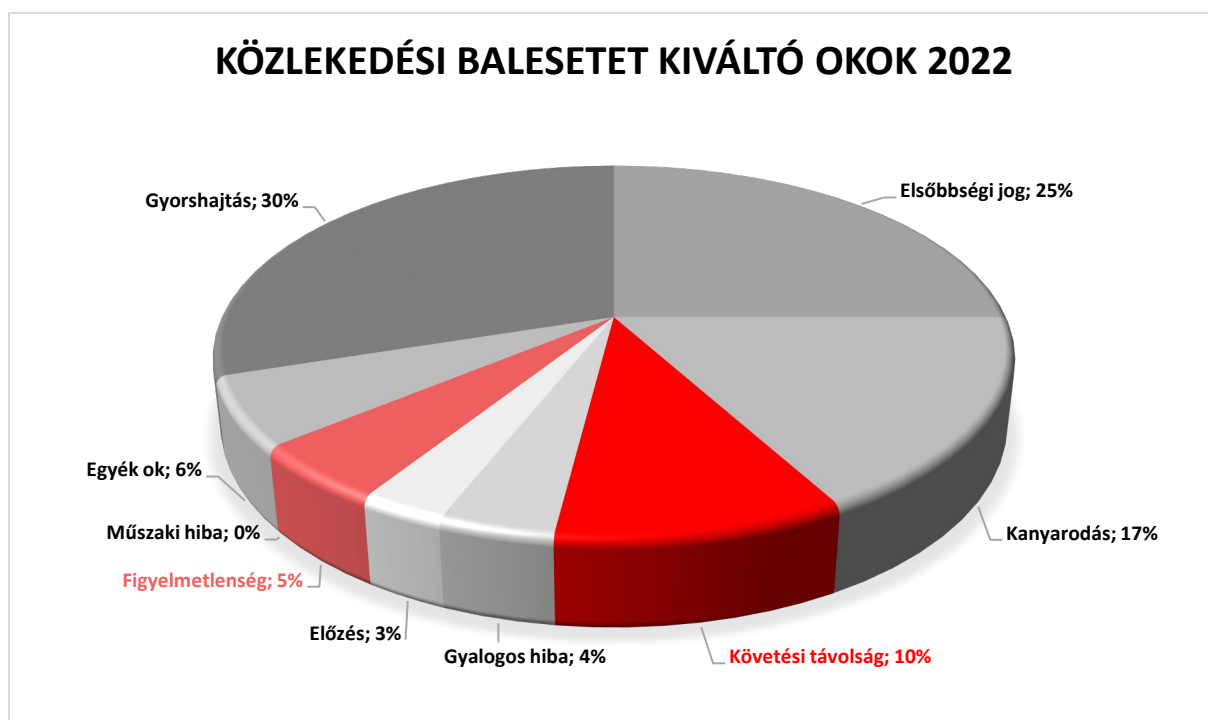
Abstract

Road accident statistics still show high figures in the EU, with high percentage of accidents involving overtaking, mainly due to inappropriate following distance. The European Parliament adopted EU Regulation 2018/858, which lays down the mandatory installation of certain advanced driving assistance systems (ADAS) in passenger cars, with the aim of further improving road safety. ADAS systems are operated by automotive sensors, the accurate adjustment and calibration of which is critical for proper operation. One of these ADAS systems is Emergency Brake Assist. In dangerous situation, the system can react quickly and if necessary, apply emergency braking in time. It determines the need for intervention based on information from a radar sensor at the front of the vehicle or from a camera in the front windscreen. This article presents the testing of the front assist and emergency braking system of an e-Golf, carried out at the ZalaZONE automotive test track under different radar detection settings. In the test, the warning signals provided by the vehicle and the intervention of the auxiliary systems were recorded from the vehicle CAN network. During our work we determined different set-up angles for the tests and adjusted them with the TEXA RCCS3 universal calibration system at the Széchenyi István University – Sensor Calibration Laboratory.

Keywords: *advanced driving assistance systems, radar calibration, emergency braking assistant*

1. Bevezetés

A közlekedésbiztonság egy nagyon fontos központi kérdése életünknek, az Európai Unióban a tavalyi év során mintegy 20.600 ember vesztette életét közúti balesetben, amely 3%-os növekedést jelent a 2021-es évhez képest. Ezeket a közúti baleseteket különféle okok válthatják ki, túlnyomóan még mindig a gyorsshajtás a leginkább kiemelkedő ezek közül, de nagyszámban mulasztják el az elsőbbségi jogot, rosszul kanyarodnak, vagy tiltott helyen előznek (lásd 1.ábra).



1. ábra: Közlekedési balesetet kiváltó fő okok 2022-évben [1]

Azonban vannak olyan esetek, amikor az emberi hibából és figyelmetlenségből adódó baleseteket elkerülhetjük, csökkenthetjük az esetlegesen bekövetkező károkat és súlyosságokat. Ezen esetekben általában rosszul választjuk meg a követési távolságunkat, túlságosan közel megyünk az előttünk haladóhoz, nem lesz elég helyünk a biztonságos lassításhoz, megálláshoz és így ráfutásos baleset lehet az eredménye. A járműipar fejlődésével és az Európai Unió szabályozásának hatására azonban javulhat a helyzet a közlekedésbiztonságban, hiszen a 2022-es évtől a 2018/858 & 2019/2144 rendelet értelmében az egyes járműtípusokban a gyártónak kötelezően kell helyeznie fejlett vezetéstámogató rendszereket (ún. ADAS rendszereket – Advanced Driving Assistance Systems). [2]

Ezen rendszerek a közül a legfontosabbak:

- Automata vészfékező rendszer (AEBS);
- Sávelhagyás figyelmeztető rendszer (LKA);
- Intelligens sebességszabályozó (ACC);
- Fáradtság érzékelő rendszer (FDS);
- Esemény adatrögzítő (EDR).

Ezen ADAS rendszerek nagymértékben képesek csökkenteni az egyes emberi hibákból és figyelmetlenségből bekövetkező hibákat, például képes lesz a jármű automatikusan sebességet szabályozni, távolságot tartani, figyelmezteti a sofőrt, ha elhagyná a sávot, ha fáradtnak érzékeli a vezetőt, illetve képes automatikusan lefékezni, akár vészfékezni is a járművünket. Ezáltal elkerülhető számos baleseti forma, például a ráfutásos baleseteknek a száma.

2. Vészfékrendszer bemutatása (AEBS)

A fejlett ADAS rendszerek egyik kiemelkedő terméke az automatikus vagy fejlett vészfékrendszer, amely kritikus esetekben képes működésbe lépni, figyelmeztetni, illetve beavatkozni, ha szükségesnek látja a gépjármű. A rendszer mögött egy komplex háttér áll, amelyet a laikus felhasználó nem is gondolna, a jármű folyamatosan használja egyes érzékelőit, vezérlőegysége pedig szükség szerint készenlétben tartja biztonsági elemeit. Ha úgy észleli, hogy akadályfelé közeledünk és nem kezdjük mérsékelni a sebességünket, akkor előkészíti a fékrendszert, hogy a leggyorsabban a legkevesebb út megtételével lassítsa, fékezze le járművünket. A rendszer működését négy főfázisra oszthatjuk fel, különféle figyelmeztetési fázisokra és beavatkozásokra (lásd 2.ábra).



2. ábra: Automatikus vészfékrendszer működésbelépésének szakaszai VW Golf széria esetében [3]

A rendszer működésbelépését a következő fő szakaszok jelentik:

1. Előzetes figyelmeztetés:

- fékek előtöltése;
- hidraulikus fékrásegítő rendszer bekapcsolása: 1.szint;
- vizuális és akusztikus figyelmeztetés.

2. Fő figyelmeztetés:

- hidraulikus fékrásegítő rendszer bekapcsolása: 3.szint;
- rövid fékrázás.

3. Részleges automatikus fékezés:

- automatikus lassítás (max. $6-8 \text{ m/s}^2$).

4. Célfékezés:

- teljes szintű jármű fékezés és megállítás. [3]

Összefoglalva a rendszer háttérének működését, a fékrendszer az első szakaszban előtöltésre kerül, ez azt jelenti, hogy a féktárcsa és a fékpofák közötti légrést csökkenti a rendszer, ezzel gyorsabb fékreakciót érhetünk el úgy, hogy előzetesen felépítjük a szükséges nyomást. Ez a nyomás körülbelül 2 bar nagyságú. Ebben a szakaszban történik a hidraulikus fékrásegítő rendszer kapcsolása is, amely a fékerő gyorsabb felépítéséért felel, szintén elősegítve a féktávolság csökkentését. Ekkor már optikai és akusztikus jelzéssel is figyelmezteti a jármű a vezetőt. Ezt követő szakasz során a hidraulikus fékrásegítő rendszer már magasabb szintre kapcsol és a jármű rövid fékrázással figyelmeztet. A harmadik szakaszban már a jármű

méréskelten kezd el lassítani, míg nem a negyedik szakaszban teljesen képes megállítani a járművet.

3. Szenzorkalibráció és szögbeállítások

A munkánk során egy Volkswagen e-Golf elülső radarérzékelője által megvalósított Front Assist rendszert teszteltünk. Ez a gyűjtőnév magába foglalja a jármű AEB & ACC rendszerét. Célunk az volt, hogy megvizsgáljuk miként hat egy rosszul elvégzett, hibásan hitelesített vagy szimplán elállítódott szögbeállítás, a jármű vezetéstámogató rendszerének működésére. A feladat során különféle oldalirányú szögbeállításokat alkalmaztunk, majd futtattuk le a teszt folyamatot újra és újra. A beállításokat minden esetben visszamértük és ellenőriztük a szenzorkalibrációs laboratóriumban a Texa RCCS3 univerzális kalibrációs rendszerrel (lásd 3.ábra).

A kalibrációs folyamat a következő lépéseket tartalmazta:

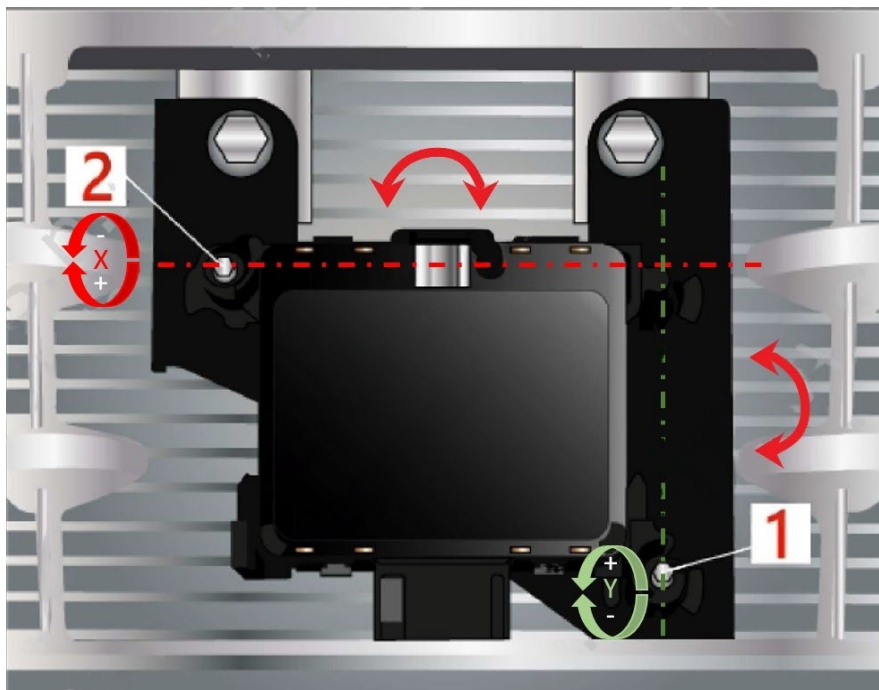
- szenzorkalibráció előkészítése (futómű ellenőrzés és ha szükséges állítás, kormányszög beállítása, plusz súlyok eltávolítása, ...);
- kalibrációs folyamat (szerkezet pozicionálás, reflexiós lemez beállítása, diagnosztikai folyamat futtatása, ...);
- kalibrációs folyamat hitelesítése (dokumentáció, jegyzőkönyv készítés, új adatok elmentése, ...);
- kapcsolódó vezetéstámogató rendszer tesztelése (pl. ACC, AEB, ...).



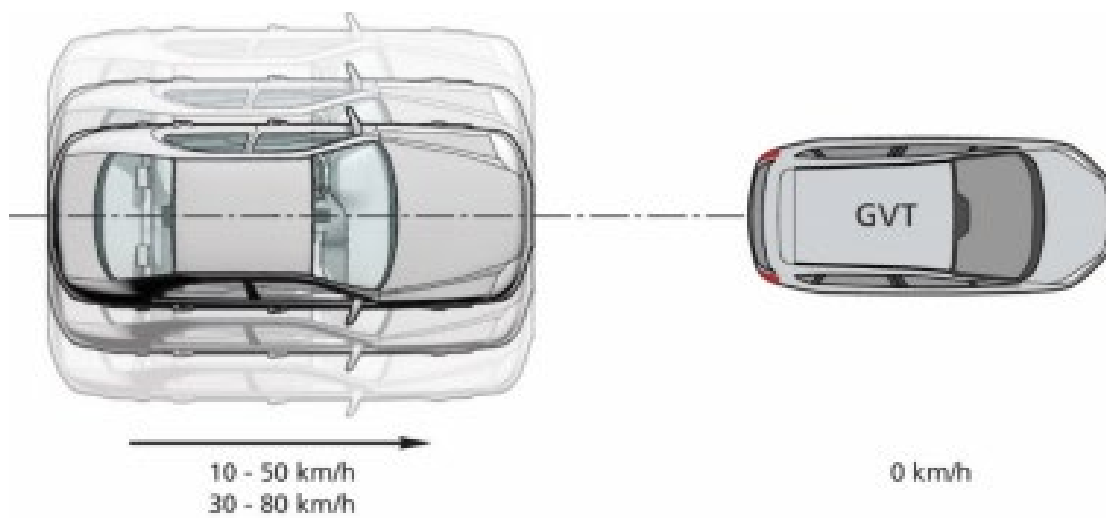
3. ábra: Volkswagen e-Golf kalibrációs folyamata, a szükséges kellékekkel (saját szerkesztés)

A tesztek során az elülső radarérzékelő vízszintes szögbeállításának hatását vizsgáltuk elsődlegesen, elmentünk az állíthatóság határáig, majd változtattunk a függőleges beállítási szögön is kiegészítésként. Az állításokat X-és Y-tengely irányban végezhetjük (lásd 4.ábra), finom léptekben, egy 360°-os tekerés hozzávetőlegesen 0,6° szögváltozást jelentett. A teljes kalibrációs tartományt a gyártó a következők szerint határozta meg:

- Vízszintes beállítási szög: $[-2,00^\circ ; +2,00^\circ]$;
- Függőleges beállítási szög: $[-0,5^\circ ; +4,50^\circ]$.



4. ábra: Volkswagen e-Golf elülső radar érzékelőjének szögállítási lehetőségei (saját szerkesztés)



5. ábra: Vészfékrendszer tesztelésének illusztrációja, statikus akadály esetén (EURO NCAP C2C AEBS) [4]

4. Teszt folyamat részletei

A vészfékrendszer tesztelését egy ismert ajánlás alapján végeztük, név szerint a(z) EURO NCAP C2C AEBS teszt protokoll előírás alapján. A vizsgálatunkban statikus akadállynak megközelítését végeztük, a szabvány által előírt módon (lásd 5.ábra), kellő távolságból kezdve. Az alkalmazott sebesség tartományokat 30-és 40 km/h-nak határoztuk meg, abból az okból, hogy a gyártókra vonatkozóan létezik egy szabályozás (152.számú ENSZ-előírás, 2020/1597 rendelet) amely leírja, hogy a jármű relatív sebességéhez képest megengedett bizonyos erőjű és sebességű ütközés, a túl érzékenység elkerülésének céljából. Ez külön tárgyalja az álló és mozgó járműre vonatkozó értékeket, szétválasztva a terhelt és terheletlen eseteket. Ez az előírás M1 kategóriájú járművekre vonatkozik, különféle határokkal és tartományokkal (lásd 1.táblázat).

1. táblázat: Legnagyobb relatív ütközési sebesség [km/h] az M1 kategóriájú járművek esetén [5]

Relatív sebesség (km/h)	Álló		Mozgó	
	Terhelt	Terheletlen	Terhelt	Terheletlen
10	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00
42	10,00	0,00	-	0,00
45	15,00	15,00	-	-
50	25,00	25,00	-	-
55	30,00	30,00	-	-
60	35,00	35,00	-	-

Határok tekintetében láthatjuk, hogy 42 km/h sebességet alkalmazva, terhelt állapotban már megengedett a kiserőjű ütközés, ezért az ez alatti alacsonyabb sebességű (30-40 km/h) tartományt alkalmaztuk tesztjeink során.

A vizsgálatunk során a ZalaZONE Járműipari Tesztpálya – Smart City Zone modulját használtuk, itt állítottuk fel az ADAS tesztelésre alkalmas ún. Dummy Car-t (lásd 6.ábra). A teszt során tehát ez a teszteszköz szimulálta az akadályt, a radar esetében a visszaverődés megfelelő, a jármű ezt képes felismerni és bekapcsolni biztonsági rendszereit.

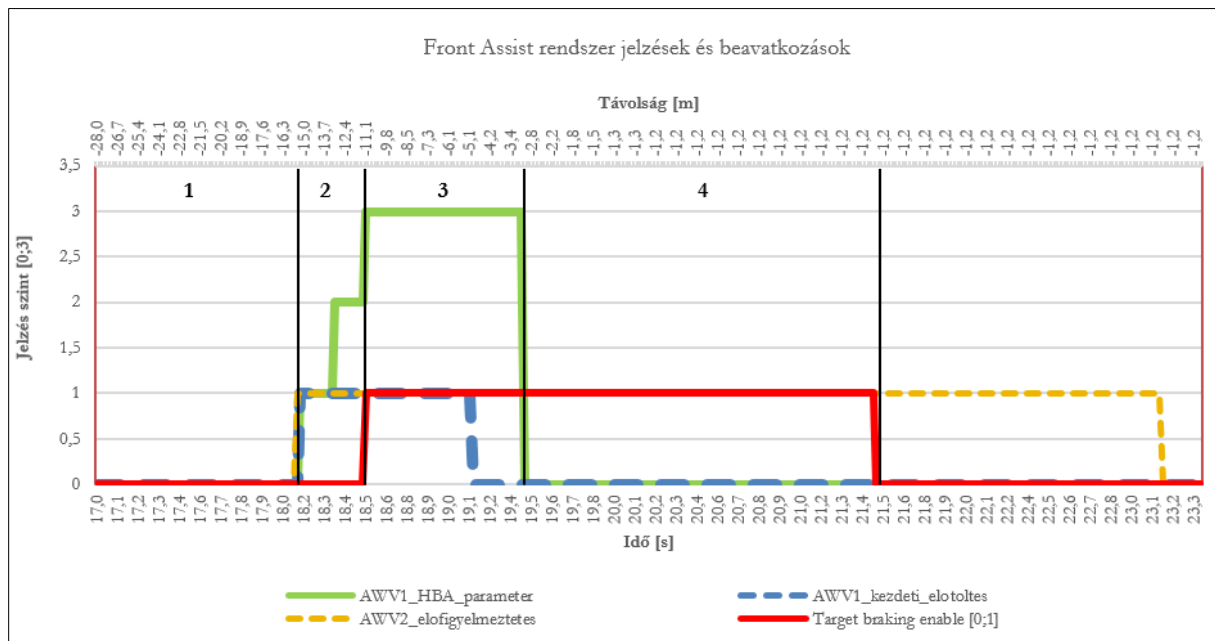


6. ábra: Vészfékkrendszer tesztelésének folyamata a ZalaZONE tesztpályán (saját szerkesztés)

A mérések folyamán rögzítésre kerültek a vészfékkrendszerhez kapcsolódó jelzések a jármű kommunikációs hálózatról, így többek között a fény és hangjelzés, a fékek előtöltése, a hidraulikus fékrásegítő bekapcsolása és egyes szintjei, valamint a jármű által aktivált automatikus fékezés jelei is. Ezen adatok alapján hasonlóan lehet ábrázolni az egyes szakaszokat (lásd 7.ábra), akárcsak az irodalom szerint a Volkswagen vészfékkrendszeréhez kapcsolódott a 2. bekezdésben (lásd 2.ábra). A CAN hálózaton futó adatok segítségével megállapítható a pontos sebesség, a távolság és az idő is, amikor a jármű kiadta az egyes jelzéseit.

A szakaszok felosztása hasonlóan az előzőhöz:

1. Előzetes figyelmeztetés
2. Fő figyelmeztetés
3. Automatikus részleges fékezés
4. Célfékezés

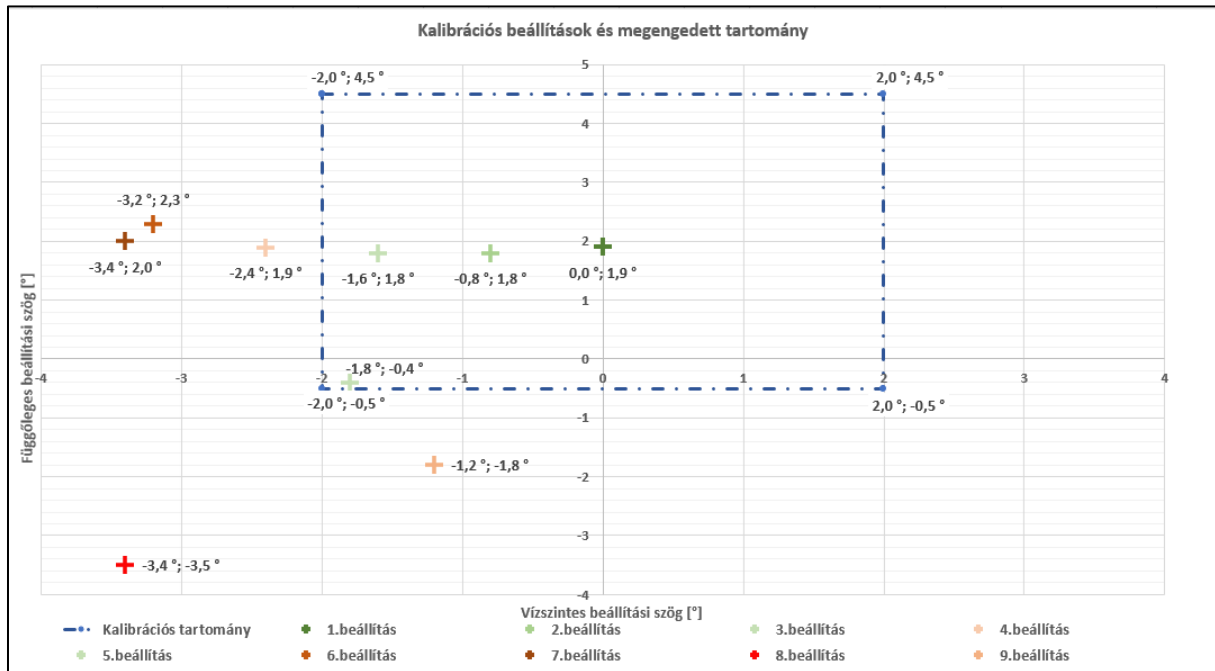


7. ábra: Automatikus vészfékrendszer figyelmeztetések és beavatkozások jelzései a kommunikációs hálózaton
(saját szerkesztés)

A tesztek során 9 különböző beállítást alkalmaztunk és összesen 20 tesztet folytattunk le, konfigurációnként 30-es és 40 km/h sebességekkel (lásd 2.táblázat). Kiindulási pontunkat a gyártó által meghatározott kalibrációs tartomány közepére helyeztük el nagyságrendileg. Ez a vízszintes tartományban 0° -ot (határok: $[-2,00^\circ ; +2,00^\circ]$), míg függőleges tartományban 2° -ot jelent (határok: $[-0,5^\circ ; +4,50^\circ]$). A vizsgálatok során léptékenként haladtunk a vízszintes orientáció negatív irányában, körülbelül $0,8^\circ$ változtatással a végállásig, majd végül a függőleges irányt is elállítva egy szélsőséges esetet idéztünk elő a rendszerbe (lásd 8.ábra). A teszt lezárásaként visszaállítottunk egy megfelelő értéket, biztosítva ezzel a rendszer biztonságos működését.

2. táblázat: Tesztek során alkalmazott kalibrációs beállítások és sebességek (saját szerkesztés)

Beállítás	Teszt azonosító	Sebesség [km/h]	Radar függőleges orientáció [°]	Radar vízszintes orientáció [°]
1.beállítás	1.teszt	30	1,9	0
	2.teszt	40	1,9	0
2.beállítás	3.teszt	30	1,8	-0,8
	4.teszt	40	1,8	-0,8
3.beállítás	5.teszt	30	1,8	-1,6
	6.teszt	40	1,8	-1,6
4.beállítás	7.teszt	30	1,9	-2,4
	8.teszt	40	1,9	-2,4
5.beállítás	9.teszt	30	-0,4	-1,8
	10.teszt	40	-0,4	-1,8
6.beállítás	11.teszt	30	2,3	-3,2
	12.teszt	40	2,3	-3,2
7.beállítás	13.teszt	30	2	-3,4
	14.teszt	40	2	-3,4
8.beállítás	15.teszt	30	-3,5	-3,4
	16.teszt	40	-3,5	-3,4
	17.teszt	30	-3,5	-3,4
	18.teszt	30	-3,5	-3,4
	19.teszt	30	-3,5	-3,4
9.beállítás	20.teszt	30	-1,8	-1,2



8. ábra: A tesztek során alkalmazott kalibrációs beállítások a gyártó által előírt tartományhoz képest (saját szerkesztés)

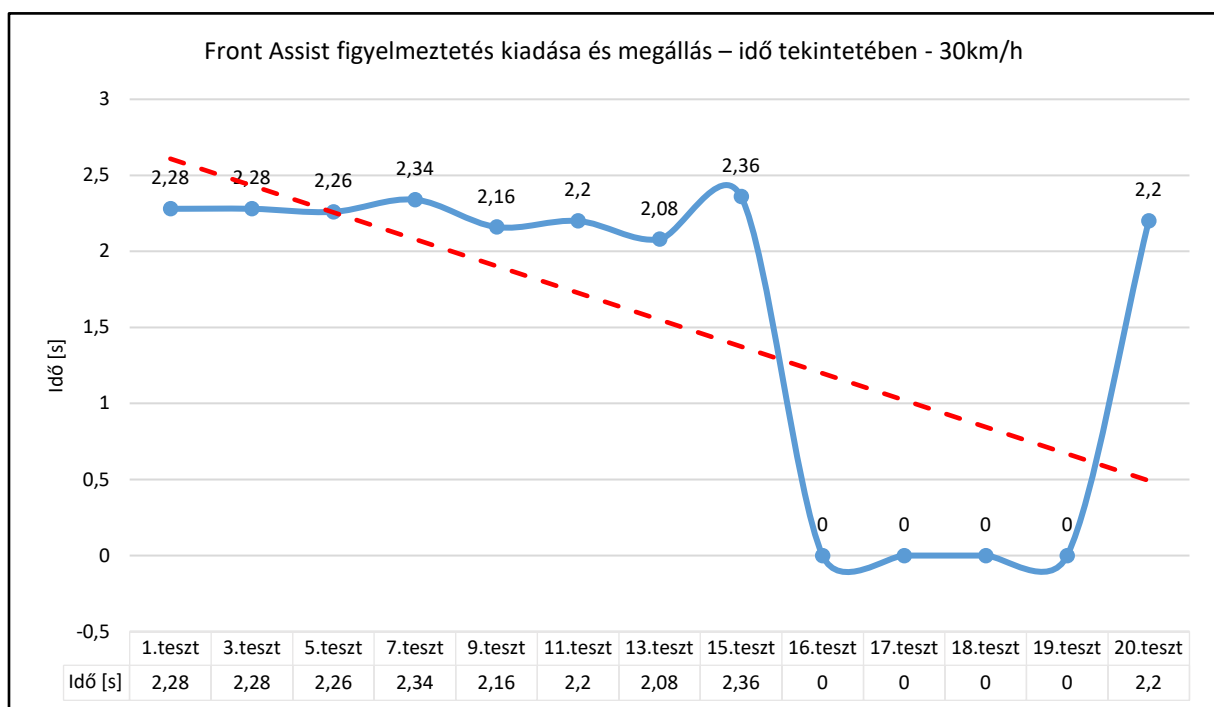
5. Elért eredmények

A kutatási tesztjeink során minden mérés kiértékelésekor megfigyelésre került a négy fő figyelmeztetés és beavatkozás jelének kiadása. A hálózati adatok alapján egyértelműen meg lehet állapítani méterre és másodpercre pontosan a történéseket. A kiértékelések során számszerűsítettük az értékeket az akadályfelé haladva aszerint, hogy mekkora távolságra jelzett a rendszer, illetve mennyi idő telt el a jelzés/beavatkozás és a megállás pillanata között.

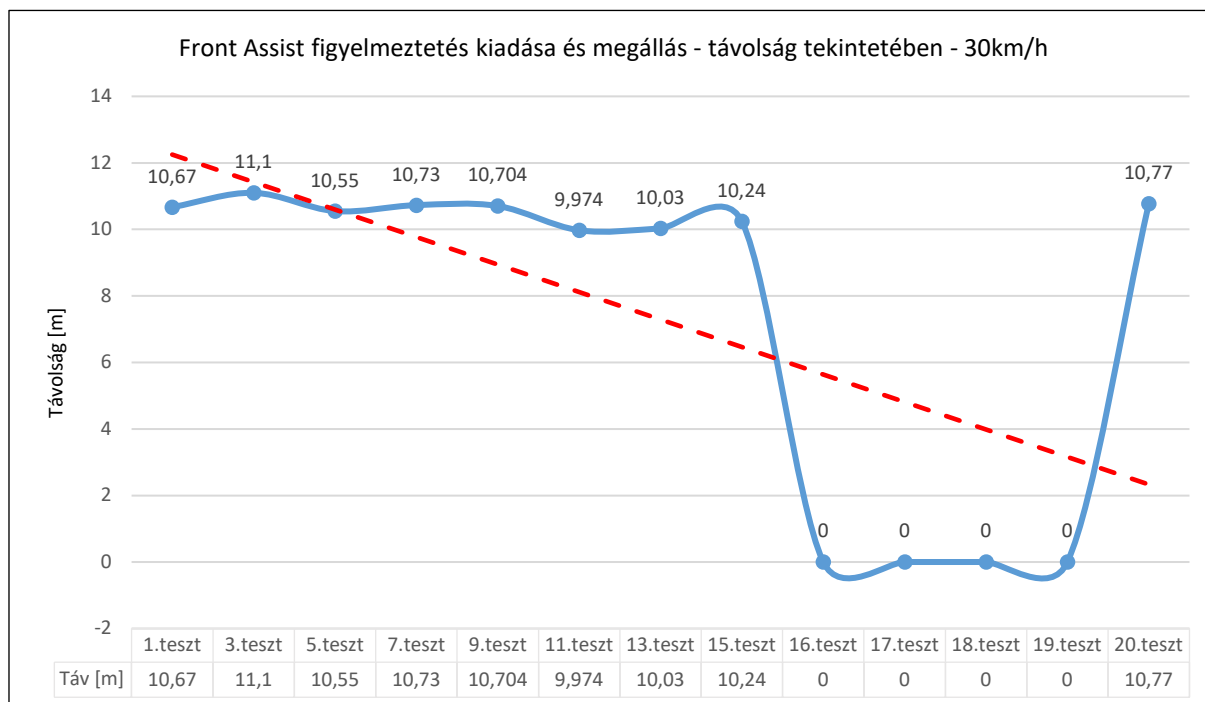
Tehát távolság [m] és idő [s] tekintetében ismert:

- Figyelmeztetés kiadása a teljes megállástól;
- Fékrendszer előtöltése a teljes megállástól;
- Hidraulikus fékrendszer aktiválása (1-3.szint) a teljes megállástól;
- Automatikus fékezés megkezdése a teljes megállástól;
- Vezető fékpedál beavatkozás (igen/nem) a teljes megállástól.

Ezen adatok mellett rögzítésre került a maximális automatikus lassulásnak az értéke is, amely ahogyan az irodalomban is leírásra került 6 és 8 m/s² között alakul, attól függően milyen érzékenységre állítjuk a Front Assist rendszert és mekkora sebességet alkalmazunk. Tesztjeink során a 30-és 40km/h tesztek tekintetében is 7,992 m/s² maximális lassulást mértünk. Az idő alapú kiértékelések (lásd 9.ábra) és a távolság alapú kiértékelések (lásd 10.ábra) a szögállításokkal nem mutattak egyértelmű lineáris változást adat szinten, mint amelyet az ember elsőre várt volna. Ennek az oka, hogy a vízszintes látómezője (FOV – Field of View) a szenzornak elég nagy látószöget zár be, ezért a néhány fokos állítás nem okozott nagy eltérést az érzékelőben ennél a teszt szituációnál. Azonban a függőleges orientáció változtatással már sikerült előidézni olyan eseteket, amikor a jármű nem volt képes aktiválni a vészfékrendszerét, ekkor emberi beavatkozás volt szükséges, így a kiértékelésekben is 0 értéket vettünk fel, ezeket az eseteket a 8.beállítás tartalmazta (lásd 2.táblázat).



9. ábra: Vészfékrendszer akusztikus és vizuális figyelmeztetésének kiadása az idő tekintetében



10. ábra: Vészfékrendszer akusztikus és vizuális figyelmeztetésének kiadása a távolság tekintetében

Mint a fenti ábrákon is látható, egyes esetekben előfordult, hogy a jármű biztonsági rendszere a kiinduló beállítástól számítva vagy előbb vagy később aktiválta magát. Ami távolság szempontjából 0,5 – 1 méteres szóráson belül, idő szempontjából kb. 0,2 másodperces szóráson belül történt. A piros színnel jelölt trendvonal a nullás értékek figyelembevétele nélkül is csökkenő tendenciát mutat, tehát összességében később jelezhet a rendszer a vészfékezési esetekben, ilyenkor már előfordulhat koccanás az előttünk haladóval. Szóval mindenféleképpen érdemes pontosan bekalibrálnunk az egyes ADAS szenzorjainkat.

6. Összegzés

A cikkben egy radarlapú vészfékrendszernek tesztelését végeztük el, különféle szenzorkalibrációs beállítások mellett. A tesztek során egy EURO NCAP C2C AEBS teszt protokoll alapján vizsgáldtunk, amelyet a ZalaZONE Járműipari Tesztpályán végeztünk el. A szükséges kalibrációs beállításokat a Széchenyi István Egyetem – Szenzorkalibrációs laboratóriumában végeztünk Zalaegerszegen. A szenzor szögbeállításokat a TEXA RCCS 3 univerzális kalibrációs rendszerrel mértük vissza és hitelesítettük. A méréseink során az oldalirányú állítások nem mutattak egyértelmű hibát a rendszerben, teljes mértékben

visszamérhetőek voltak az egyes biztonsági szakaszok, kisebb-nagyobb késedelmi eltéréssel, főként a vertikális tengelyirány volt befolyásoltsággal a rendszerre. A jövőben megfogjuk vizsgálni a szenzor függőleges szögbeállításának hatását a vészfékrendszerre vonatkozóan.

7. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Országos Rendőr-főkapitányság: 2022. statisztikai kimutatása, közlekedésrendészeti szakterület www.police.hu/
- [2.] Európai Parlament és Tanács (EU): 2019/2144 rendelet <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/ALL/?uri=CELEX:32019R2144>
- [3.] Volkswagen A.G.: Self-Study Programme 890253 Volkswagen Driver Assistance Systems, Service Training, 2016
- [4.] Euro NCAP: AEB C2C Test Protocol <https://cdn.euroncap.com/media/56143/euro-ncap-aeb-c2c-test-protocol-v302.pdf>
- [5.] Európai Unió: 152. számú ENSZ-előírás – Egységes rendelkezések a gépjárműveknek az M1 és N1 kategóriájú járművek fejlett vészfékező rendszere (AEBS) tekintetében történő jóváhagyásáról [2020/1597] <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fc2d3589-1a7c-11eb-b57e-01aa75ed71a1/>

Mit jelent a járműipari ökológiai fenntarthatóság a jog szempontjából?

What Does the Term 'Ecological Sustainability' of the Automotive Industry Mean By Legal Terms?

Kecskés Gábor PhD.

Széchenyi István Egyetem Deák Ferenc Állam- és Jogtudományi Kar

kecskesg@ga.sze.hu

Absztrakt

Jelen tanulmány megvizsgálja a járműipari ökológiai fenntarthatóságra vonatkozó legfőbb szabályokat, elemzi ezek négy szintjét, a nemzetközi, az uniós (regionális), az állami és a piaci szereplők önszabályozási szintjeit. A tanulmány mindenekelőtt definiálja fenntartható fejlődés fogalmát és a fenntarthatóság nemzetközi keretrendszerét. Ezek után a munka megragadja a járműipari ökológiai fenntarthatóság jelentését, amely csak nagyon általános keretek között határozható meg, és értelemszerűen eltérő jelentéssel bír akár régiók, kontinensek, de akár államok szerint is. Bízató jel viszont, hogy az utóbbi években felgyorsult – a környezet- és klímatudatos közbeszéd hatására, és nem titokoltan, erre reagálva – a fenntarthatóság hangsúlyozásával egyfajta versenyelőny kialakításának szándékával a legtöbb jelentős járműipari szereplő „zászlajára tűzte” a fenntarthatósági célokat.

A szerző meglátása szerint egy olyan globális közhangulat kialakulását vélelmezhetjük a járműiparban, ahol versenyhátrány lesz nem fenntarthatónak és nem környezettudatosnak mutatkozni/lenni. A járműipar a fenntarthatóság mindhárom pilléréhez (ökológiai, gazdasági és társadalmi szemlélet) erőteljesen hozzá kell, hogy járuljon a közeljövőben, ez normatív kötelezettségen túl egyfajta jogos vásárlói elvárás is, amelynek egyértelmű jelei már megmutatkoznak.

Kulcsszavak: fenntarthatóság, irányelvek, járműipar

Abstract

This paper examines the main rules for environmental sustainability in the automotive industry, analysing the four levels of regulation, namely the international, the EU (regional), the state-level and the self-regulation of the market actors. First of all, the study defines the concept of sustainable development and the international framework for sustainability. Afterwards, the study captures the meaning of environmental sustainability within the automotive sector, which can only be defined in very general terms and, by definition, has different meanings across regions, continents and even states. It is encouraging, however, that in recent years most of the major actors of the automotive industry have stepped up their efforts to promote sustainability, in response to the accelerating public discourse on the environment and climate change, for the sake of gaining a competitive edge on the market.

In the author's view, we can assume that a global public perception is developing in the automotive industry where it will be a competitive advantage to be seen as sustainable and environmentally conscious. The automotive industry will have to make a strong contribution to all three pillars of sustainability (ecological, economic and social) in the near future, which is not only a normative obligation but also a legitimate customer expectation, of which there are clear signs yet to realize.

Keywords: sustainability, guidelines/guides, automotive industry

1. Bevezetés

A fenntarthatóságnak három aspektusát ismeri a nemzetközi közösség, hiszen a globális nemzetközi szervezet, az Egyesült Nemzetek Szervezetének (ENSZ) égisze alatt született vonatkozó dokumentumok egyaránt említik a fenntarthatóság, illetve a fenntartható fejlődés *ökológiai, gazdasági és társadalmi* vonatkozásait [1].

A 'fenntartható fejlődés' fogalmát először az ENSZ Környezet és Fejlődés Világbizottsága 1987-es Közös jövőnk (*Our Common Future*) c. jelentésében definiálták. Eszerint ez egy olyan fejlődés, amely „*kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy csökkentené a jövő generációk képességét, hogy kielégítsék a saját szükségleteiket.*”[2] Következésképpen a fenntarthatóságnak mára már kialakult gazdasági, társadalmi és ökológiai pillére is, hiszen valamennyi pillér esetében értelmezendő a fejlődés fogalma. A meglehetősen általános fogalmi keret pontos tartalma ugyanakkor nemzetközi szinten aligha határozható meg, hiszen régióként, mi több, államonként is különbözik a fejlődés fogalma és volumene.

A fenntarthatóság, fejlődési célok megfogalmazása kapcsán az ENSZ a 2000-es évben ünnepi vállalásként fogadta el 189 állam 15 éves időtávra, 2015-ig megvalósítani tervezett Millenniumi Fejlesztési Célokat (*Millennium Development Goals – MDGs* [3]), amely egy rendkívül általános és gyakorta önellentmondásoktól sem mentes, összesen 8 fő célt (*goal*) érintő általános vállalási keretrendszer. Eme célok általános politikai vállalásnak, amelyek jogi kötőerővel nem rendelkeznek, hiszen rendkívül széles mozgásteret adnak az államoknak a célok elérésére. A másfél évtizedes időszáv eltelte után, 2015-ben szintén az ENSZ égisze alatt készült el az új keretrendszer, amelyet valamennyi ENSZ-tagállam (193 tagállam) elfogadott. Ennek keretében a MDGs mintájára, filozófiájához hasonlóan 2030-ig megvalósítandó Fenntartható Fejlődési Célok (*Sustainable Development Goals – SDGs* [4]) kerültek meghatározásra. Eme lépések továbbra is csupán politikai célokként értelmezhetőek, rendkívül szerteágazó általános globális vállalásokként minősíthetjük ezeket. Azonban a Fenntartható Fejlődési Célok keretében immár 17 fő célt (*goal*) és jelentősen megnövelt számú, összesen 169 részcélt (*target*), továbbá az ezek megvalósítását elősegítő 232 indikátort tartalmaztak. Az ENSZ tagállamai tehát a 2015 és 2030 közötti időszakban ezek megvalósítását tűzték ki célul, azonban most, a periódus felének tapasztalatai alapján egyelőre erősen kétségesnek tűnik ezek sikere és 2030-as megvalósítása. Ugyanakkor fontos eredménye a célok által meghatározott keretrendszernek,

hogy az államokat valamelyest cselekvésre ösztönzik, és bármilyen apró lépésekkel is, de némi javulást el lehet érni a fenntarthatóság terén, legyen szó annak akár társadalmi, akár gazdasági, akár környezetvédelmi rész céljairól.

A Fenntartható Fejlődési Célok elfogadása után és általában a fenntartható fejlődés keretrendszeréről való elmélkedésnek köszönhetően viszonylag gyorsan beindult a tudományos diskurzus a közlekedési rendszerek szerepéről eme célok megvalósításában [5].

A Fenntartható Fejlődési Célok között a 9. célként megjelenített ipar, innovációs és infrastruktúra hármas célrendszere elvárja az államoktól a karbonlábnyom csökkentését előirányzó hatékonyabb és innovatívabb eszközök bevezetését, míg kétséget kizáróan a legjobban a fenntartható városok és közösségek (11. cél) feladatához kapcsolódik a fenntartható mobilitás témaköre.

2. A járműipari ökológiai fenntarthatóság fontossága

Meglátásom szerint a járműipari ökológiai fenntarthatóság jelentése csak nagyon általános keretek között ragadható meg, és értelemszerűen eltérő jelentéssel bír akár régiók, kontinensek, de akár államok szerint is. Bízató jel viszont, hogy az utóbbi években felgyorsult – a környezet- és klímatudatos közbeszéd hatására, és nem titkoltan, erre reagálva – a fenntarthatóság hangsúlyozásával egyfajta versenyelőny kialakításának szándékával a legtöbb jelentős járműipari szereplő „zászlajára tűzte” a fenntarthatósági célokat. Ennek bizonyítására felhozom, hogy a nyolc legnagyobb(nak tartott) autóiipari szereplő többségének honlapján már vagy önálló, azaz a fenntarthatóságnak szentelt aloldalon, vagy a társadalmi felelősségvállalásnak, illetve általánosságban a vállalatoknak szentelt aloldalon hosszasan szól a fenntarthatóságról, vagy csupán kiemelt prioritást élvező témaként nevesíti. Továbbá fontos globális jelzés az is a piaci szereplők számára, hogy a KPMG 2022-es felmérése szerint egy új jármű vásárlásakor a válaszadók 31%-a kiemelkedően fontosnak, 39%-a fontosnak, 23%-a mérsékelten fontosnak, míg 7%-a kevésbé fontosnak tartja, hogy a jármű zéró kibocsátású legyen [6]. Jelzésértékű az is, hogy a válaszadók nulla százaléka mondta azt, hogy egyáltalán nem veszi figyelembe a fenntarthatósági szempontokat egy új jármű vásárlásakor.

Mindezekre tekintettel következőképpen ragadnám meg a járműipar ökológiai fenntarthatósági célkitűzéseit: *nemzetközi, állami szabályok és belső standardok, önkéntes vállalások, irányelvek alkalmazása annak érdekében, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátása csökkenjen, az egyszerű tervezésen és digitalizáción is keresztül az előállítás folyamatában minél kevesebb hulladék termelődjön, és a gyártás folyamatában a karbonlábnyom csökkenjen.*

3. A járműiparra vonatkozó jogi kötelezettségek jogi szintjei

A járműiparra vonatkozó kötelezettségek (főként ökológiai vonatkozásban) négy szinten vizsgálhatók, azonban az első két szint szabályai beépülhetnek a harmadik és negyedik szintbe, azonban fontosságuk okán külön is meg kell ezeket említeni.

- i. *Az első szint a nemzetközi kötelezettségek szintje*, amikor is az államok egymás között kötelezettségeket vállalnak bizonyos régiós vagy globális célok elérése érdekében. Ezek közé sorolható a Párizsi klímamegállapodás [7] vagy a Glasgowi klímapaktum [8], de a közlekedésre fókuszáltnak a közlekedésre vonatkozó nemzetközi szerződések [9] vonatkozó szakaszai is. Ezek a szabályok döntően az államokat kötelezik, amelyek belső jogalkotásukban eszerint járnak el, és ennek fényében hoznak szabályokat akár magánszemélyekre, akár jogi személy ipari szereplőkre is, és utóbbi körbe sorolhatók a járműipari szereplők.
- ii. *A második szint az Európai Unió jogalkotásának szintje*. Fontos rögzíteni, hogy az uniós célok többségét azon Unión kívüli entitásoknak, azaz jelen esetben járműipari szereplőknek is be kell tartani, amelyek az Unió piacára kívánnak lépni, mégpedig az Európai Unió egy rendkívül fontos cél és globális felvevőpiac az autóipar számára. Az EU ökológiai fenntarthatósági (ideértve egyébiránt a gazdasági és társadalmi pillérek szempontjait is) célkitűzéseit az ún. Európai zöld megállapodás [10] foglalja össze, amely egy 2050-re karbonsemleges EU képét vázolja fel, és ezt segíti elsődleges a *Fit for 55* csomag, amelyhez egy rendkívül fontos jogalkotási eszköz, a közvetlenül alkalmazható EU klímarendelet [*Európai Parlament és a Tanács 2021/1119 rendelete (2021. június 30.) a klímasemlegesség elérését célzó keret létrehozásáról*] is tartozik. A klímarendelet felsorolja a közös célokat és cselekvési lépéseket, amelyek elősegítik a klímasemleges EU 2050-es megvalósulását. A klímarendelet preambuluma 35.

pontja nevesíti, hogy „a Bizottság az európai zöld megállapodásban foglaltak szerint (...) közleményt fogadott el „Fenntartható és intelligens mobilitási stratégia – az európai közlekedés időtálló pályára állítása” címmel. A stratégia meghatározza az európai közlekedés fenntartható és intelligens jövőjére vonatkozó ütemtervet, valamint a közlekedési ágazat tekintetében célként kitűzött, 2050-ig elérendő 90 %-os kibocsátáscsökkentés megvalósítását célzó cselekvési tervet.” Ezzel összefüggésben az Európai Bizottság szakértői 2021 júniusában elkészítettek egy anyagot az európai járműipar fenntarthatósági technológiai fókuszáról [11], amely ugyan e formájában nem kötelező erejű, de az autóipar számára számos fontos sarokpont kiolvasható ebből, amelyek az európai klímarendelet és a fenntarthatósági célkitűzések elérése szempontjából kulcsfontosságú adatként, elvárásként jelentkeznek. Az tehát egyértelmű, hogy nemcsak az EU-n belüli járműipari szereplők, hanem az EU-ba, mint közös belső piacra belépni kívánó, EU-n kívüli járműipari szereplők számára is rendkívül fontossággal bír az EU klímarendeletre vonatkozó további jogalkotás (pl. tagállamok szintjén).

- iii. *A harmadik szint az állami jogalkotás*, amely persze figyelembe veheti az ezt megelőző szint(ek) szabályait is, így azok be is épülhetnek az állami szabályozásba, ahogyan ez például teljesül az uniós jogalkotás és a tagállamok jogalkotása viszonylatában.
- iv. *A negyedik szint pedig a járműipari szereplők önszabályozása*, amikor is akár egyedileg, akár közösen standardokat, irányelveket fogalmaznak meg maguk számára. Fontos leszögezni, hogy eme szint leginkább önkéntes és jobbra jogilag ki nem kényszeríthető vállalásokon alapul, noha éppenséggel az is előfordulhat, hogy eme szabályokat követik majd a legszigorúbban a járműipari szereplők. Természetesen egyes járműipari szereplőknek is lehetnek vállalásai, célkitűzései, üzleti és vállalati policyjai, ahogy már erre a korábbiakban is utaltam azzal, hogy a fenntarthatóság (Sustainability) kulcskifejezés általában jelen van a nagy ipari szereplők honlapjai, sok helyütt vezérfogalomként (akár ökológiai, gazdasági vagy társadalmi értelemben, de természetesen leginkább mindhárom pillér vonatkozásában). Az viszont talán még erősebb vállalásként jelentkezik, ha a járműipar főszereplői együttesen fogalmaznak meg irányelveket, célkitűzéseket. E körben egy ilyen dokumentumot idézek, az Automotive Industry Action Group (AIAG) keretében elfogadásra kerültek az *Autóipari*

irányelvek az ellátási lánc fenntarthatósági teljesítményének javítása érdekében [12] (*Automotive Sustainability Guiding Principles to Enhance Sustainability Performance in the Supply Chain*). Eme önkéntes, jogilag aligha kikényszeríthető vállalások alapján a beszállítóknak és a releváns piaci szereplőknek olyan környezetirányítási rendszert kell bevezetniük, amely figyelembe veszi a szén-dioxid csökkentés céljait, a víz-, talaj- és levegőminőség szempontjait, a felelős vegyianyag-kezelési módszereket, a körforgásos gazdálkodást, az állatok jólétét, a biodiverzitás és a földhasználat szempontjait, valamint a zajkibocsátás és a hulladék csökkentését. Az irányelvek kifejezetten bátorítják a járműipari szereplőket saját szabványok, kódexek és vállalati politikák, jó gyakorlatok kialakítására is e téren.

Annyi tehát bizonyos, hogy a szabályozás 4 szintje eltérő mértékben és jogi kötőerővel ugyan, de jelentős mértékben befolyásolja a közeljövőben (főleg az EU klímarendelet végrehajtását célzó tagállami jogalkotások) a járműipar fenntarthatósági elvárásait, standardjait.

4. Összegzés

Az bizonyára szembetűnő ma már, hogy a járműipari szereplőknek megéri fenntarthatónak lenni, vagy legalábbis – némileg pesszimista hangon szólva – annak mutatkozni, a versenyelőny (a vásárlói szokások és preferenciák változása miatt) és egyes szankcionálási lehetőségek elkerülése érdekében. Sajnos azonban még annak eshetősége is fennáll, hogy a papíron vállalt erős fenntarthatósági célkitűzések, önkéntes vállalások és környezettudatos üzleti politikák hangsúlyozása az ún. *greenwashing* kategóriájába esik, amikor is eme szereplők tényleges gyakorlata jelentősen eltér a vállaltaktól, a környezeti fenntarthatóság kárára. Ez egy valós és közismert félelem, egyébiránt nem kizárólag a járműipari szereplők vonatkozásában.

Véleményem szerint, összefoglalva a fentiekben leírtakat, a közeljövőben több várható trend is segítheti a járműipar ökológiai fenntarthatóságának erősödését. *Egyrészt* a nemzetközi és különösen az uniós kötelezettségek végrehajtása, kikényszerítése erősödni fog, *másrészt* az autóipari szereplők közös, egymás közötti vállalásai feltétlenül kikényszerítik az iparágon belüli komoly célok elérését, *harmadrészt* pedig a környezettudatosabb közbeszéd és a fenntarthatóságra jobban odafigyelő vásárlói réteg megnyerése kulcsfeladat lesz, *negyedrészt* pedig az egyre terjedő smart city-konceptiók és a közösségi közlekedés fejlődése is hosszabb

távon elősegíti eme pozitív globális célokat. Ezen kívül még a klímapierek számának stabil növekedése (államokon belül) minden bizonnyal azt fogja eredményezni, hogy bírósági eljárások segítségével kényszeríthetik ki az egyes környezetvédelmi kötelezettségeket, akár a járműipar szereplőin is.

Eme szempontok visszaköszönnék a Capgemini Kutatóintézet által 2020-ban indított jelentős ipari kutatásából is, amelynek egyik legfontosabb megállapítás szerint a fenntarthatóság ma már stratégiai prioritás a járműipar számára. [13] Egy olyan globális közhangulat kialakulását vélelmezhetjük tehát a járműiparban, ahol versenyhátrány lesz nem fenntarthatónak és nem környezettudatosnak mutatkozni/láttatni magát a piaci szereplőnek.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék, felhasznált források

- [1.] Johannesburg Declaration on Sustainable Development. A/CONF.199/20, Chapter 1, Resolution 1, Johannesburg, 2002.
https://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/POI_PD.htm.
- [2.] Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development, 2. fejezet, 1. szakasz. U.N. Doc. /A./42/427 (1987) 54. oldal.
- [3.] <https://www.un.org/millenniumgoals/bkgd.shtml>.
- [4.] Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. G.A. Res. 70/1, U.N. GAOR, 70th Sess., U.N. Doc. A/RES/70/1 (2015).
- [5.] Howard Learner (2016): Autonomous Vehicles: Can They Improve Safety and Accelerate Environmental Progress? ENO Transportation Weekly. August 2016, elpc.org/tag/driverless-cars/; Sharlene McEvoy (2015): A Brave New World: The Environmental and Economic Impact of Autonomous Cars. Modern Environmental Science

and Engineering, Vol. 1 (April 2015) No. 1, 1-7. o. DOI: 10.15341/mese(2333-2581)/01.01.2015/001; Wanja Wellbrock et al. (2020): Sustainability in the Automotive Industry, Importance of and Impact on Automobile Interior. Insights from an Empirical Survey. International Journal of Corporate Social Responsibility, Vol. 5 (2020), No. 10, <https://doi.org/10.1186/s40991-020-00057-z>; Jonathan Zasloff (2015): What Will Driverless Cars Do To The Climate? A Formidable Challenge for Policymakers and Modelers. Berkeley Law, Legal Planet, Insights and Analysis, <http://legal-planet.org/2015/05/07/what-will-driverless-cars-do-to-the-climate/>.

[6.] GAES 2022, KPMG International. 23rd Annual Global Automotive Executive Survey. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2022/12/kpmg-23rd-annual-global-automotive-executive-survey.pdf>.

[7.] 2015 Paris Agreement. Magyarországon kihirdetve: 2016. évi L. törvény.

[8.] 2021 Glasgow Climate Pact. <https://unfccc.int/documents/310475>.

[9.] Az 1968-as közúti közlekedési egyezmény (Magyarországon kihirdetve: 1980. évi 3. törvényerejű rendelet). Utóbbi norma azonban még nem szól kifejezetten a fenntarthatósági szempontokról.

[10.] Az európai zöld megállapodásról (EU Green Deal) ld. bővebben: <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/green-deal/>.

[11.] Technology Focus on Sustainability in the Automotive Industry in Europe. European Commission, June 2021. <https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-09/Technology%20Focus%20on%20Sustainability%20in%20the%20Automotive%20industry%20in%20Europe.pdf>.

[12.] <https://www.aiag.org/docs/default-source/corporate-responsibility/esg/automotive-sustainability-guiding-principles.pdf>.

[13.] The Automotive Industry in the Era of Sustainability. Capgemini Research Institute, 2020. <https://www.capgemini.com/au-en/wp-content/uploads/sites/9/2020/03/Report-The-automotive-industry-in-the-era-of-sustainability-4.pdf>.

Hogyan lehet fenntarthatóbbá tenni a mobiltelefon piacot? A termékcseré és a fordított logisztika lehetőségei

How to make the mobile phone market more sustainable? The potential of product substitution and reverse logistics

Koteczki Réka

Széchenyi István Egyetem – Digitális Fejlesztési Központ

koteczki.reka@ga.sze.hu

Absztrakt

A technológia fejlődése és a globális népesség növekedés következtében egyre több technológiai eszközt gyártanak, mint valaha. Ennek következtében az elektronikai hulladékok száma is napról napra növekszik. Az elmúlt években a gyártók nagy figyelmet fordítottak a fordított logisztikára, különösen a mobilpiacon. A fordított logisztika (Reverse Logistics) azt az ellátási láncban belüli folyamatot jelenti, amelynek során a termékek a végfelhasználóktól az ellátási láncban keresztül visszasikerülnek a kiskereskedőhöz vagy a gyártóhoz. Jelen tanulmányban a mobiltelefonokhoz kapcsolódóan fogom tanulmányozni a fenntarthatósági szempontokat. Megvizsgálom továbbá a termékcserevel kapcsolatos fogyasztói magatartást, illetve a helyettesítéssel kapcsolatos döntéshozatali folyamatot.

Kulcsszavak: elektronikai hulladék, fordított logisztika, fenntartható fogyasztói magatartás, mobiltelefon

Abstract

As technology advances and the global population grows, more technological devices are being produced than ever before. As a result, the amount of e-waste is also increasing day by day. In recent years, manufacturers have paid a lot of attention to reverse logistics, especially in the mobile market. Reverse logistics refers to the supply chain process whereby products are returned from the end user through the supply chain to the retailer or manufacturer. In this paper I will study the sustainability aspects related to mobile phones. I will also investigate consumer behaviour towards product substitution and the decision making process related to substitution.

Keywords: e-waste, reverse logistics, sustainable consumer behaviour, mobile phone

1. Bevezetés

Napjainkban a mobilitás minden formában és méretben létezik és a fogyasztók készülékeinek a száma napról napra növekszik. A Deloitte előrejelzése szerint 2021-ről 2025-re az okostelefonok elterjedtsége 79%-ról 83%-ra fog növekedni. Így tehát nem meglepő, hogy az eszközökkel rendelkező fogyasztók száma folyamatosan növekszik. A globális fogyasztók 78%-a rendelkezik okostelefonnal, közel 10%-uknak van viselhető eszköze, és több mint 50%-uknak van táblagépe. Azoknak a fogyasztóknak az aránya, akik mindhárom eszközzel rendelkeznek, 7% [1]. Ugyanakkor léteznek olyan fogyasztói csoportok, akik számára első sorban a környezettudatosság befolyásolja a vásárlási döntéshozatalt, és környezettudatos életstílust képviselnek. Ilyen fogyasztói csoport tipikusan a LOHAS-ok [2].

A készülékek kapcsán nem elhanyagolható a technológiai összetettség sem, mivel az a készülék eladásokra is hatással bír. Az 5G bevezetése továbbra is gyorsan növekszik az úttörő piacokon, és a kapcsolatok száma 2022-re elérte az 1 milliárdot. A lendületet számos tényező fokozza, mint, többek között a világjárványból való gazdasági fellendülés, az 5G készülékek növekvő eladásai, a hálózati lefedettség bővítése vagy a mobilszolgáltatók általános marketingtevékenységei. Az 5G bevezetésének új hulláma a szerényebb jövedelemmel rendelkező nagy piacokon (például Brazíliában, Indonéziában és Indiában) tovább ösztönözheti a megfizethetőbb 5G készülékek tömeges gyártását, ami viszont tovább erősítheti az előfizetők számát. 2025 végére az 5G az összes mobilkapcsolat mintegy negyedét teszi majd ki, és világszerte minden ötödik emberből több mint kettő 5G hálózat elérhetőséggel fog rendelkezni [3].

A jelen tanulmányban egy szakirodalmi áttekintést mutatok be a mobiltelefonok fenntarthatósági szempontjainak tekintetében. Az áttekintés során kitérek az elektronikus hulladékokra, a körkörös gazdaság fontosságára, illetve az ezekhez kapcsolódó fenntartható fogyasztói magatartásra a mobiltelefonok tekintetében. A jelen kutatás rávilágít arra, hogy a termékek teljes életciklusának figyelembevétele alapvető fontosságú a fenntartható fogyasztási modellek kialakításában [15].

2. Elméleti háttér

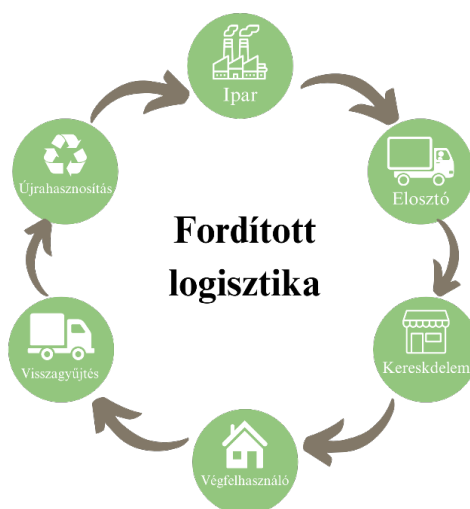
2.1 E-hulladék

A mobiltelefon- technológia gyors fejlődése arra készítette az érintett piacot, hogy a fogyasztók a fejlődéssel azonos sebességgel cseréljék le a régi készülékeiket. Köztudott tény, hogy a mobilpiacon nagyon magasak a forgási arányok. Bár a tipikus mobiltelefonok élettartama körülbelül 10 év, a legtöbb ügyfél időszakosan 12-24 havonta cseréli telefonját. Az elektromos hulladék globális fenyegetéssé vált, mivel egyre nagyobb mennyiségben fordul elő, és a helytelen kezelése súlyos környezeti és egészségügyi problémákat vethet fel [4]. Ennek oka az e-hulladékban található veszélyes anyagok sokfélesége, amelyek száma 1000-nél is több, és amelyek között mérgező fémek és tartósan megmaradó szerves szennyező anyagok is találhatóak [5]. Ezenkívül a különböző elektromos és elektronikus berendezésekből származó e-hulladékok lerakása negatív hatással van a környezetre. Például a számítógépes hulladékok lerakása a talajvíz szennyezéshez vezethet, a számítógépes chippek megolvadása pedig savakat és iszapot termel, amelyek talajsavasodáshoz vezetnek, ha a földre kerülnek. Például egyetlen mobiltelefon-akkumulátorban található kadmium anyag 600 000 liter víz szennyezéséhez elegendő. Az e-hulladék égetése mérgező gázok kibocsátását is eredményezheti, amelyek viszont szennyezik a levegőt. Emellett az e-hulladék illegális újrahasznosítása magas szintű légszennyezőanyag-koncentrációt eredményez, és a légszennyezésnek való krónikus kitettség komoly egészségügyi kockázatokat jelent mind az emberek, mind az állatok számára [6].

A Waste Electrical and Electronic Equipment Forum (WEEE) nemzetközi nonprofit szervezet becslése szerint 2022-ben több mint 5 milliárd mobiltelefonból vált elektronikai hulladék. Amennyiben ezeket a telefonokat egymásra halmoznánk, akkor egy 50 ezer kilométer magas tornyot kapnánk, ami a Holdig tartó útnak majdnem a nyolcadát teszi ki. Az ENSZ-en belül működő Nemzetközi Távközlési Szervezet is szoros figyelemmel kíséri az e-hulladék mennyiségét és kezelését. Legutóbbi globális jelentésében úgy becsülték, hogy 2019-ben Európában egy ember több mint 16 kilogramm elektronikus hulladékot termelt egy év alatt, így itt a világon a legmagasabb az egy főre jutó e-hulladék-termelés aránya [7].

2.2 Körkörös gazdaság és a fordított logisztika

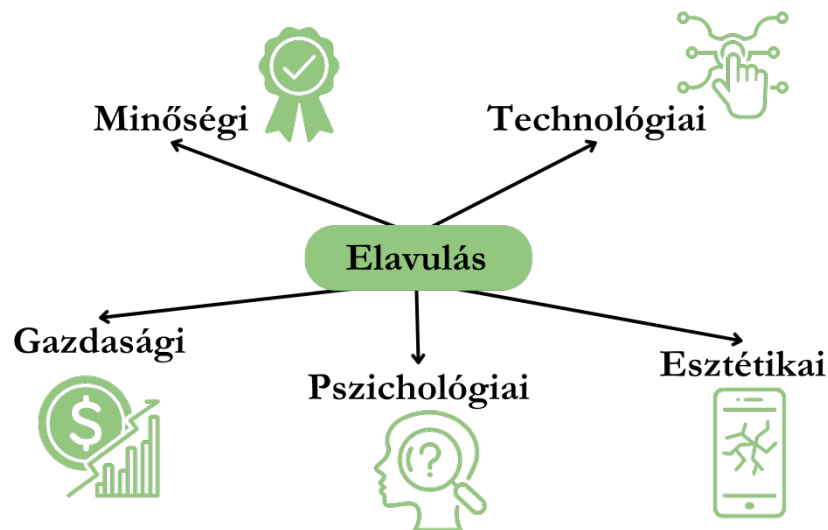
Az elektronikus eszközök alkatrészeinek újrafelhasználása és újrahasznosítása hatékony lépés lehet a hulladék csökkentése, valamint a termelés és a kapcsolódó költségek javítása terén. A körkörös gazdaság fogalma egy olyan gazdasági modellre utal, amely a gazdasági növekedést és a humán fejlődést el akarja különíteni a korlátozott erőforrás-felhasználástól [14]. Más szavakkal, egy fenntartható fogyasztási modellt kínál, amelyben az értékes erőforrásokat újrahasznosítják, és jelentősen csökkentik a hulladéktermelést. Ennek a koncepciónak az elektronikai termékekre való kiterjesztése különféle áruciklusokat biztosít, például felújítást, javítást, újraelosztást és újrahasznosítást. A körkörös gazdaság koncepciója szerint, a felújítás a termékek alapértékének megőrzésének egyik módja. A felújítási folyamat során a gyártók összegyűjtik a használt termékeket, és az eredeti alkatrészek visszanyerésével és rekonstrukciójával visszaállítják eredeti teljesítményüket. Ezeket a termékeket ismét népszerűsítik az új vásárlók körében. Egy másik definíció szerint a mobiltelefon felújítási folyamata az a folyamat, amely során egy használt mobiltelefont jó működőképes állapotba állítanak vissza a hibás, sérült vagy közeli fontosabb alkatrészek (pl. képernyő vagy akkumulátor) tisztításával, cseréjével vagy javításával. A folyamat magában foglalja az esetleges esztétikai hibák kijavítását is. A környezetvédelmi szempontokat és a gyártói preferenciákat figyelembe véve a rekonstrukciós folyamatok hatékonyabbak, mint az elektronikai termékek újrahasznosítási folyamatai. A teljes termék megsemmisítés és az energiatakarékosság lehetősége nélkül a rekonstrukciós folyamatok népszerűbbek a környezetvédők és az elektronikai ipar gyártói körében [8].



1. ábra: Fordított logisztika (forrás: saját szerkesztés)

Az első ábrán a fordított logisztika felépítése látható. A fordított logisztika már régóta létezik, de csak a közelmúltban vált népszerű ellátási lánc menedzsment módszerré. A szállítmányozási logisztikához képest számos előnnyel jár a vállalkozások számára, és értéket teremt az ügyfelek számára. A fordított logisztika magában foglalja a fogyasztótól visszakapott termékek, alkatrészek és anyagok értékének visszaszerzését annak érdekében, hogy a lehető leggyorsabban visszakerüljenek a piacra. Fordított logisztikai menedzsment általában visszaküldést, visszahívást, javítást és felújítást, újracsomagolást vagy újraértékesítést, újrahasznosítást és ártalmatlanítást foglal magában [9].

Összefoglalva, a fordított logisztika a körforgásos gazdaság szerves részét képezi, mivel lehetővé teszi a termékvisszavételek hatékony kezelését, az erőforrások hasznosítását és a hulladéksökkentést. Segít a kör bezárásában, meghosszabbítja a termékek életciklusát, és hozzájárul a körforgásos gazdaság keretében az erőforrások fenntartható és hatékony felhasználásához.



2. ábra: Termékek elavultságának 5 típusa (saját szerkesztés)

Összességében a termékek elavultságának 5 típusát határozzák meg (2. ábra). A minőségi elavulás a készülékek kopásából vagy az alkatrészek hibás működéséből fakad. A technológiai elavulás a jobb funkcionalitást kínáló fejlesztésekre utal, például olyan új okostelefonok megjelenése a piacon, amelyek jobb kamerával rendelkeznek. A gazdasági elavulásra egy példa lehet a környezetbarátabb mosógépek piacra dobása. Az esztétikai elavulás a termék

megjelenésében bekövetkezendő változásra utal, például a színpreferenciák változása. Esztétikai elavulásnak tekinthető továbbá, amikor valaki az okostelefonján lévő karcok miatt cserél készüléket. A pszichológiai elavulás a termékek szimbolikus értékére utal, ilyen lehet, amikor a fiatalok azért szeretnének új telefont, hogy a társaikkal szemben naprakészek maradjanak [10].

2.3 Fenntartható fogyasztói magatartás

A fogyasztóknak a fenntartható termékek iránti érdeklődése napjainkban jelentősnek számít. Egyes kutatások azt mutatják, hogy a fogyasztók hajlandóak magasabb árat fizetni a fenntarthatóság iránt elkötelezettebb cégek termékeiért. Más kutatások kimutatták, hogy a vásárlók nagyobb valószínűséggel vásárolnak olyan cégek termékeit, amelyek nagyobb társadalmi felelősségvállalásról tettek tanúbizonyságot [11]. A fogyasztók nem csak a fizikai termékekről, például a gyártásban és a csomagolásban használt anyagokról szeretnének tudni, hanem többet szeretnének tudni arról is, hogy hol gyártják és vásárolják a nyersanyagokat a vállalatok [13].

A termékek meghibásodása képes csökkenti annak funkcionális értékét, és cserét válthat ki. Azonban, ha visszanyeri a termék a funkcionális értékét, akkor az képes növelni az érzelmi értéket, mivel a sikeres javítás pozitív érzéseket, például büszkeséget válthat ki a fogyasztóból. Mindazonáltal a korábbi kutatások több olyan akadályt is feltártak, amelyek akadályozzák a fogyasztókat a javítási tevékenységek végrehajtásában, például a magas költségek. Az is érdekes lehet, hogy a fogyasztók gyakran túlbecsülik a javítási költségeket, ami megakadályozhatja őket abban, hogy a javítást, mint lehetőséget fontolóra vegyék. A javítás további akadályai a készségek hiánya, a pótalkatrészek alacsony elérhetősége és a kényelmetlen javítási infrastruktúra. A gyártók azért sem hajlamosak a javíthatóság növelésére, mert ez korlátozhatja az új eszközök értékesítését. A gyártók javíthatóság növelésére való ösztönzésére különböző kezdeményezések születtek, ennek ellenére úgy tűnik, hogy a fogyasztók nem keresik a termékek javíthatóságát. Az élettartam meghosszabbítása érdekében ezért fontos, hogy átfogó képet kapjunk a fogyasztók tétovaságának okairól [12].

Az ezüst generáció technológiai elfogadásának társadalmi és gazdasági hatásait Makkos-Káldi és szerzőtársai (2013) vizsgálják, kiemelve, hogy az idősebb korosztály aktívabb bevonása

jelentős előnyökkel járhat a társadalom egészére nézve. Kutatásuk szerint az idősebb generáció értékes hozzájárulást tehet a fenntarthatósági törekvésekhez, különösen a technológiai eszközök használatában és újrahasznosításában [16].

3. Következtetések

Az okostelefonok elterjedtsége és a fogyasztói igények növekedése miatt egyre több készülék válik elavulttá és kerül a szemétkukába. Az e-hulladék jelentős környezeti és egészségügyi problémákat okozhat, mivel tartalmaz veszélyes anyagokat, amelyek szennyezhetik a talajt, a vízkészleteket és a levegőt. A megoldás a körkörös gazdaság elveinek alkalmazása lehet. A körkörös gazdaság olyan gazdasági modellt jelent, amelyben az értékes erőforrásokat újrahasznosítják és minimalizálják a hulladéktermelést. Az elektronikai termékek esetében a felújítás, javítás, újraelosztás és újrahasznosítás lehetőségeit kell kihasználni. A felújítási folyamat során a használt termékeket gyűjtik össze, és az eredeti alkatrészek visszanyerésével és rekonstrukciójával újrahasznosítják őket. Sok esetben a rekonstrukciós folyamatok hatékonyabbak lehetnek, mint az elektronikai termékek újrahasznosítása.

A fordított logisztika is fontos szerepet játszhat a probléma megoldásában. A fordított logisztika magában foglalja a fogyasztótól visszakapott termékek, alkatrészek és anyagok újrahasznosítását vagy újraértékesítését. A termékek visszaszerzése és újbóli felhasználása lehetővé teszi, hogy értéket teremtsenek az ügyfelek számára, és csökkentsék a hulladék mennyiségét. A fogyasztóknak tudatosabban kell választaniuk és kezelniük az elektronikai eszközöket, például hosszabb ideig használni a készülékeiket, javíttatni vagy felújíttatni őket, és visszavinni a már nem használt termékeket a megfelelő gyűjtőpontokra az újrahasznosítás érdekében. Összességében a megoldás a mobiltelefonok okozta e-hulladék problémájára a körkörös gazdaság elveinek alkalmazása, a felújítás és az újrahasznosítás lehet.

4. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Deloitte (2022). Global mobile consumer trends: 1st Edition Mobile proves to be indispensable in an always-connected world. Elérhető online: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/technology-media-andtelecommunications/articles/global-mobile-consumer-trends.html> (Letöltve: 2023.06.23)
- [2.] Reicher, Regina Zsuzsánna; Rácz, Georgina (2012) LOHAS témák megjelenése az offline és online magazinokban Gazdaság és Társadalom 2012: 3-4 pp. 36-51., 16 p.
- [3.] GSMA (2022). The mobile economy. Elérhető online: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2022/02/280222-The-Mobile-Economy-2022.pdf> (Letöltve: 2023.06.23)
- [4.] Grant, K., Goldizen, F. C., Sly, P. D., Brune, M. N., Neira, M., van den Berg, M., & Norman, R. E. (2013). Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review. The lancet global health, 1(6), e350-e361.
- [5.] Ahirwar, R., & Tripathi, A. K. (2021). E-waste management: A review of recycling process, environmental and occupational health hazards, and potential solutions. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 15, 100409.
- [6.] Attia, Y., Soori, P. K., & Ghaith, F. (2021). Analysis of Households' E-Waste Awareness, Disposal Behavior, and Estimation of Potential Waste Mobile Phones towards an Effective E-Waste Management System in Dubai. Toxics, 9(10), 236.
- [7.] Euronews (2022). Ennyi hulladékot termelünk és hasznosítunk újra Európában. Elérhető online: <https://hu.euronews.com/next/2022/11/03/ennyi-e-hulladekot-termelunk-es-hasznositunk-ujra-europaban> (Letöltve: 2023.06.23)
- [8.] Long, E., Kokke, S., Lundie, D., Shaw, N., Ijomah, W., & Kao, C. C. (2016). Technical solutions to improve global sustainable management of waste electrical and electronic equipment (WEEE) in the EU and China. Journal of Remanufacturing, 6, 1-27.
- [9.] Wahjudi, D., San, G. S., Anggono, J., & Tanoto, Y. Y. (2018). Factors affecting purchase intention of remanufactured short life-cycle products (Doctoral dissertation, Petra Christian University).

- [10.] van den Berge, R., Magnier, L., & Mugge, R. (2023). Until death do us part? In-depth insights into Dutch consumers' considerations about product lifetimes and lifetime extension. *Journal of Industrial Ecology*.
- [11.] P.R. Kleindorfer, K. Singhal, L.N. Van Wassenhove, Kleindorfer 2005-
Production_and_Operations_Management Sustain. Oper.
Manag., 14 (4) (2005), 10.1007/978-3-319-14002-5
- [12.] Radi, S. A., & Shokouhyar, S. (2021). Toward consumer perception of cellphones sustainability: A social media analytics. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 217-233.
- [13.] Gyurián, N., Gyurián Nagy, N., Koczmann, K. (2021). Változó munkavégzés a Covid-19 világjárvány idején. *Vállalkozásfejlesztés a XXI. században 2021/1. kötet: Üzleti megoldások és gyakorlati tapasztalatok a menedzsment területén*.
- [14.] Gyurián, N., Gyurián Nagy, N. (2022). The evaluation of environmental taxes is Hungary and Slovakia. *Acta Oeconomica Universitatis Selye*. 11 (1).
- [15.] Eisinger, B., Németh, A., Major, Z., & Kegyes-Brassai, O. (2022). Comparative Life Cycle Analyses of Regular and Irregular Maintenance of Bridges with Different Support Systems and Construction Technologies. *Chemical Engineering Transactions*, 94, 571-576.
- [16.] Makkos-Káldi, Judit., Eisingerné, Balassa. Boglárka., & Kecskés, Petra. (2013). Aranyat ér-e az ezüstgeneráció? *TÉR-GAZDASÁG-EMBER* 1 : 1 pp. 119-134. , 16 p.

Személygépjármű valóságához közeli menetellenállásának szimulálása görgős teljesítménymérő padon

Simulating the rolling resistance of a passenger vehicle close to reality on a chassis dynamometer

Peszleg Richárd

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont ZalaZONE

peszleg.richard@sze.hu

Absztrakt

A görgős padi mérések kötelező elemei a személygépjárművek típusjóváahagyó méréseinek, mivel a fogyasztási adatokat és az emissióhatárokat betartását így lehet ellenőrizni. Napjainkban a labor körülmények között zajló görgős padi mérést kiegészíti a közúton történő emissziómérés, amikor a károsanyag kibocsájtási határokat ugyanúgy be kell tartani. A szigorodó teszteljárás oka a közúti és görgős padi mérések különbségében keresendő. A görgős padon végzett mérések azonban a fejlesztés során elengedhetetlenek, mivel csak itt lehet közel azonos körülmények között, jól megismételhető tesztek végzését. A közúti terhelések reprezentálása görgős padon kihívást jelent, mivel a járműre ható ellenállások különböznek. Jelen kutatásban kidolgozásra kerül egy olyan módszer, amivel a görgős padnak be lehet állítani a terhelését úgy, hogy az megegyezzen a valós úton lévő menetellenállással. A cél, hogy az úton kifejtett motorterhelés hatására, a görgős pad is ugyanolyan sebességgel és gyorsulással válaszoljon, mint amennyivel a jármű az aszfalton is haladt.

Kulcsszavak: Teljesítménymérő görgős pad, légellenállás, gördülési ellenállás

Abstract

Roller bench measurements are a mandatory element of type approval measurements of passenger vehicles, as consumption data and compliance with emission limits can be checked in this way. Nowadays, the roller bench measurement under laboratory conditions is complemented by the emission measurement on the road, when the emission limits of harmful substances must be observed in the same way. The reason for the stricter test procedure is to be found in the difference between road and roller pad measurements. However, measurements on a roller bench are essential during development, as only here can you perform well-repeatable tests under nearly identical conditions. Representing road loads on a roller dyno is challenging because the resistances acting on the vehicle are different. In this research, a method is developed that allows the load of the roller pad to be adjusted so that it matches the rolling resistance on the real road. The goal is that the roller pad responds to the engine load exerted on the road with the same speed and acceleration as the vehicle traveled on the asphalt.

Keywords: Chassis dynamometer, air resistance, rolling resistance

1. Bevezetés

Egy úton haladó járműre menetellenállások hatnak, melyek leküzdése szükséges az adott sebesség tartásához. A gördülési ellenállás közel lineárisan, a légellenállás exponenciálisan növekszik a sebesség emelkedésével. Teljesítménymérő görgős padon viszont nem jelentkezik a légellenállás, a gördülési ellenállás pedig más jellegű, mint úton. A mérőpadhoz viszont tartozik fékgép, mellyel lassítva a forgó görgőket, be lehet állítani, hogy milyen sebességnél, mekkora terheléssel hasson a járműre fékezőerő. [1, 2]

2. Ellenállás mérése a görgős padon

A rendelkezésre álló görgős pad örvényáramú fékgéppel, villanymotorral és lendkerékkel rendelkezik, mindkét tengelyen. A hátsó tengely mozgatható a megfelelő tengelytávolság beállításának érdekében. A villanymotor 30kW teljesítményű, így elsősorban nem a mérendő jármű teljesítményének elvezetésére szolgál, hanem a hajtáslánc veszteség mérésére.

A jármű motor teljesítményének mérése miatt került kialakításra az általunk is használt mérési ciklus, mely meg tudja határozni a jármű hajtáslánc veszteségét és a forgó rendszer tehetetlenségét. A hajtáslánc veszteség főként a gördülési ellenállásból, ami a gumiabroncs súrlódása és deformációja miatt van, és kisebb részben a jármű hajtáselemeinek veszteségéből épül fel. A sebesség függvényében, görgős padon, csak ez az ellenállás lassítja a járművet. A gyorsulás függvényében hat a járműre a forgó tömegelő, mely a mérőpad tengelyén lévő lendkerék, és ezzel együtt minden más, vele együtt forgó alkatrész miatt van jelen. Bele tartoznak a mérés alatt álló jármű részei is, emiatt van szükség minden járműnél új mérésre. A mérési ciklus egy gyorsító szakaszból és egy kigurulásból áll, miközben a járművet üres sebességfokozatban kell hagyni.

Legpontosabb eredményt akkor kapnánk, ha a teljesítményméréshez használt sebességfokozatban, de oldott állapotban lévő kuplunggal mérnénk. Viszont ez a lehetőség lényegesen kisebb hatással van a mérésre, mint például a megfelelően bemelegített csapágyazás, vagy a gumiabroncs nyomása. Emiatt még nem volt egy jármű sem, amit benyomott kuplunggal, a kinyomó csapágyat koptatva mértünk volna ezen a padon.

A veszteségmérési ciklus 50-től 120km/h-ig tart. 10km/h-ás lépcsőkben stabil sebességekre állítja a villanymotor a forgási sebességet, amíg a nyomaték stabilizálódik, majd ezután lép a következő sebességre. Az így felvett 8 munkapont alapján, másodfokú függvénnyel közelíti, hogy adott sebességen mekkora teljesítményt kell leadnia a villanymotornak a hajtáslánc mozgatásához, vagyis mennyi a veszteség. Ezután a pad felgyorsítja a járművet 137km/h-ra, és szabad kigurulással megméri a tehetetlenségi tömeget. Ebből számolható, hogy mekkora az a járműtömeg, amivel egyenértékű a padon mért inerciatömeg.

3. Terhelés felvétele úton

A tesztjárművünk egy 1998-as Suzuki Baleno típusú jármű volt, így a terhelési állapot rögzítése a fojtószelep szöghelyzetének mérésével történt. A szelep tengelyén gyárilag van potenciométer, aminek jelével dolgozik a motorvezérlő is. Ennek a vezetékeiről történt a feszültségmérés, ami alapján meg lehetett határozni a nyitottságának helyzetét. Az alapjárat helyzet jelentette a 0%-ot, a teljesen nyitott állapot pedig a 100%-ot.

A tesztpályán 4. sebességfokozatban 50km/h-tól 120km/h-ig tartó sebességeken haladva, 10km/h-ás lépcsőkben történt a mérés. A pálya útszakasza nem teljesen vízszintes, ezért mindkét irányban történt mérés, az eredményeknek pedig az átlagát vettük figyelembe. Az adott sebességeken mért fojtószelep állások átlagát az 1. táblázat tartalmazza.

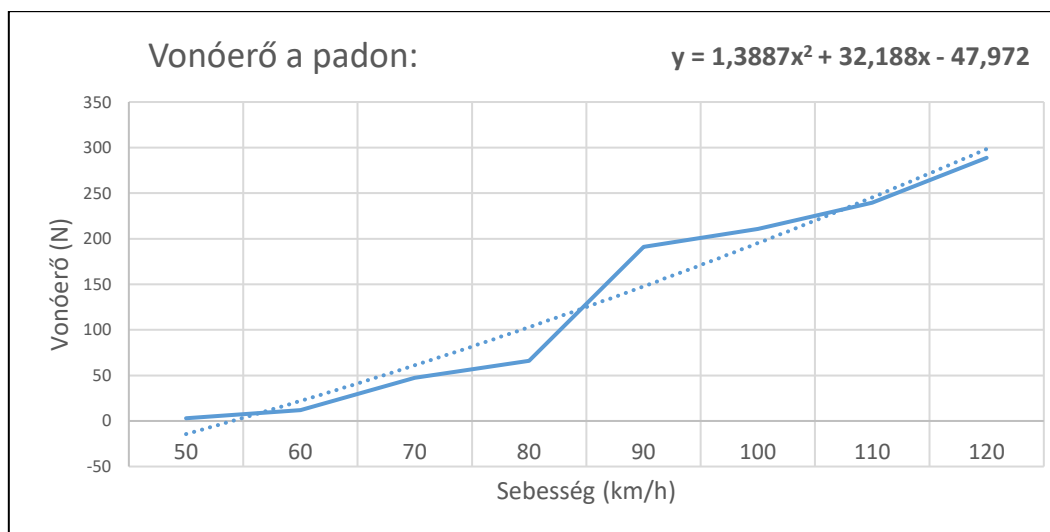
1. táblázat: Terhelési állapot úton (saját szerkesztés)

Sebesség (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120
Fojtószelep állás (%)	8	10	12	15	17	19	21	23

Ez a módszer nem a legpontosabb módja a terhelési állapot rögzítésének, viszont jelenleg elegendő, mivel a mérés célja a görgős padnak történő, valós terhelés beállítás módszerének kidolgozása, nem a részmerések pontos eredménymeghatározása.

4. Teljesítmény mérése a görgős padon

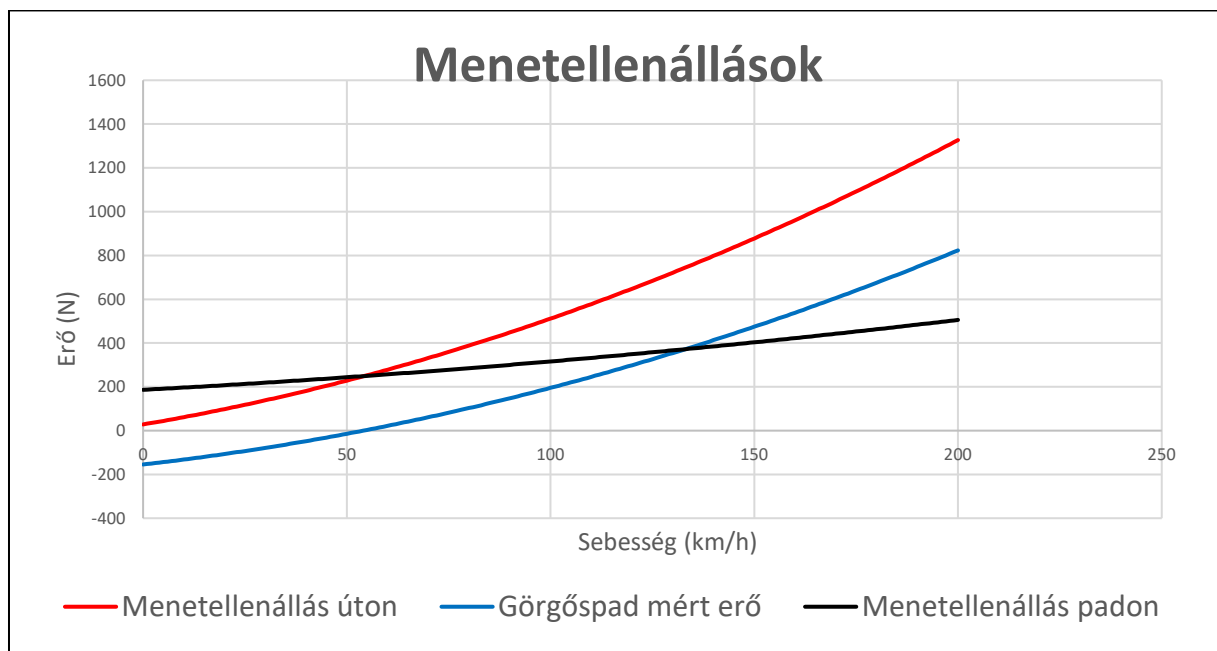
A tesztpályán megállapított terhelési állapotokat kellett reprezentálni görgős padon. Ehhez a mérőpad sebességkorlátozó ciklusát kellett elindítani, majd az eddigiekben is alkalmazott sebességeken haladva a járművel, az adott sebességhez tartozó fojtószelep állást beállítva került mérésre a leadott teljesítmény. Mivel előzőleg mérésre került a padon lévő ellenállás, ezért ismertté vált a keréken leadott teljesítmény mellett a motorteljesítmény is. A keréken mért vonóerőhöz hozzáadva a veszteséget, megkapjuk az úton lévő menetellenállást. Az 1. ábra mutatja az úton felvett terhelési állapotokban mért vonóerőt, folytonos vonallal összekötött pontok formájában. A pontokra másodfokú görbét illesztve, minden sebességre számolhatóvá válik az ellenállás.



1. ábra: Úton felvett terhelési állapotokban mért vonóerő (saját szerkesztés)

5. Görgős pad terhelésének beállítása

Az eddigi mérések alapján tehát meghatározható, hogy a görgős padon mekkora fékezőerőt kell beállítani. A sebesség függvényben szükséges erő a görgős padon mért ellenállás és az úton való menetellenállás különbsége. Ez egyenértékű azzal az erővel, amit akkor mértünk a padon, mikor az úton felvett terhelési állapotokban járatuk a görgős padon a járművet. A 2. ábra az úton és görgős padon mért ellenállásokat szemlélteti. A valós terhelési állapot létrehozásához, a mért vonóerőt kell beállítani ellenállásnak sebesség függvényében.



2. ábra: Úton és görgős padon mért ellenállások (saját szerkesztés)

Látható, hogy 52km/h-ig a görgős padon volt nagyobb az ellenállás, ezután pedig úton. Erre a magyarázat a mérőpad görgői, és a jármű gumiabroncsa közötti kapcsolatban keresendő. Mivel a görgők kis átmérőjűek, ezért a gördülési ellenállás lényegesen nagyobb lesz, mint a sík aszfalton. Az úton jelentkező menetellenállás pedig csak magasabb sebességen kezd el lényegesen növekedni, a légellenállás miatt. Ez azt jelenti, hogy az általunk használt görgős padon csak 52km/h-tól tudjuk reprezentálni a valódi sebességfüggő ellenállást az örvényáramú fékgépekkel, ez a sebesség alatt visszahajtásra lenne szükség a villanymotoroktól. Ez az érték járművenként különböző lehet, de minden esetben hasonló a tendencia, egy adott sebességig nagyobb értéket vesz fel az ellenállás görgős padon, mint úton.

6. Menetciklus mérése

Sok esetben a görgős padi mérés nem stacioner sebességállapotban történik. A gyorsulás függvényében fellépő erőkért úton a jármű tömege (és a forgó alkatrészek tömege) a felelős, görgős padon viszont ezeket a tömegeket a mérőpad forgó alkatrészeinek kell helyettesítenie. Ezt a célt szolgálja a mérőpad tengelyére szerelt lendkerék, ami nem változtatható tömegű, és 800kg-os járműtömeget tud helyettesíteni. Ha ennél nagyobb a jármű tömege, akkor a gyorsítás miatt fellépő többlet erőket így ugyancsak a fékgépekkel kell létrehozni. Ennek az erőnek a

meghatározása számolással történik, nem szükséges hozzá méréseket végezni, képlet alapján megkapjuk az erőt, ha ismerjük a gyorsulást és a tömeget. A lassításnál hasonló helyzet alakul ki, mint 52km/h alatt a sebességfüggő terhelésnél, vagyis visszahajtásra lenne szükség, ami szimulálja a mozgó tömegben tárolt energiát.

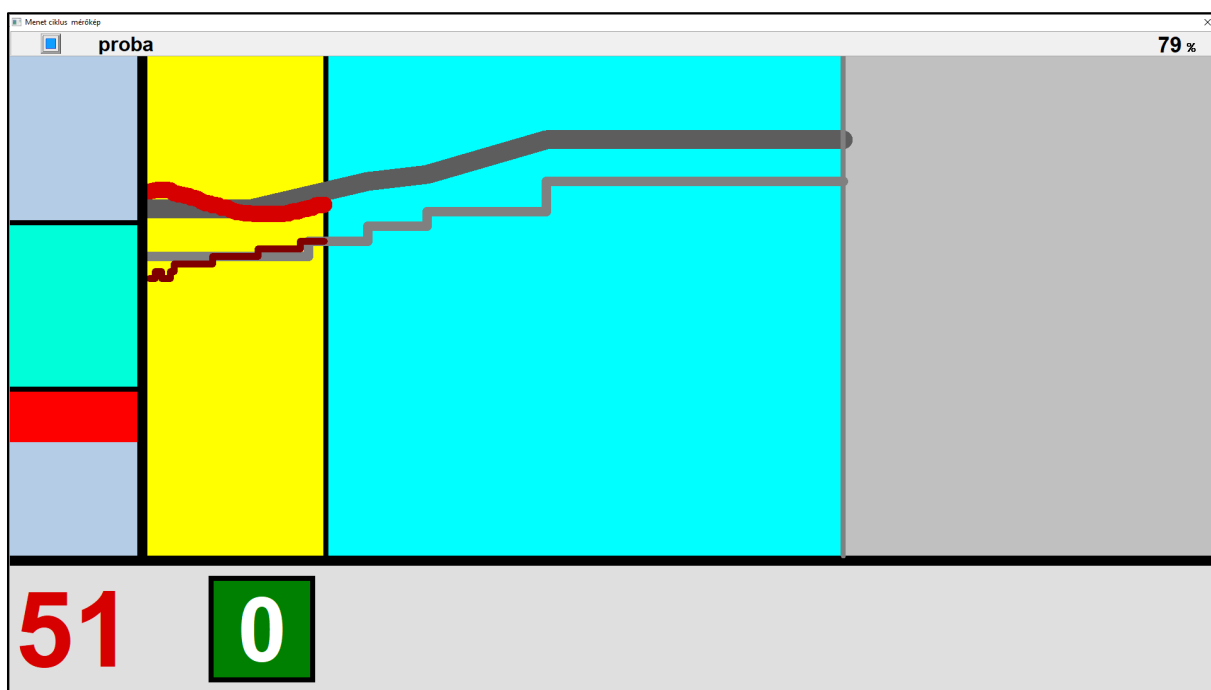
$$F(N) = m(kg) * a\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

Egy ismert menetciklus teljesítése ezek alapján kivitelezhető úgy, hogy a járműre közel azonos ellenállások hassanak, mint valós úton. A mérések alapján meghatározott értékek alapján való terhelő erő beállítása egy általunk készített excel táblázat kitöltésével kezdődik (3. ábra).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	row number	time (sec)	speed (km/h)	acceleration (m/s ²)	F-speed (N)	F-acceleration (N)	Force-SUM(N)	F_SUM (N) /no negative/
2	1	1	0	0	-154.51	0	-154.51	0
3	2	2	0	0	-154.51	0	-154.51	0
4	3	3	0	0	-154.51	0	-154.51	0
5	4	4	0	0	-154.51	0	-154.51	0
6	5	5	0	0	-154.51	0	-154.51	0
7	6	6	0	0	-154.51	0	-154.51	0
8	7	7	0	0	-154.51	0	-154.51	0
9	8	8	0	0	-154.51	0	-154.51	0
10	9	9	0	0	-154.51	0	-154.51	0
11	10	10	0	0	-154.51	0	-154.51	0
12	11	11	0	0	-154.51	0	-154.51	0
13	12	12	0	0	-154.51	0	-154.51	0
14	13	13	0	0	-154.51	0	-154.51	0
15	14	14	0	0.694444444	-154.51	38.88888889	-115.62	0
16	15	15	2.5	0.694444444	-149.153375	38.88888889	-110.26	0
17	16	16	5	0.694444444	-143.623	38.88888889	-104.73	0
18	17	17	7.5	0.694444444	-137.918875	38.88888889	-99.03	0
19	18	18	10	0.694444444	-132.041	38.88888889	-93.15	0
20	19	19	12.5	0.694444444	-125.989375	38.88888889	-87.1	0
21	20	20	15	0.505555556	-119.764	28.31111111	-91.45	0
22	21	21	16.82	0.505555556	-115.1226396	28.31111111	-86.81	0
23	22	22	18.64	0.502777778	-110.3891946	28.15555556	-82.23	0
24	23	23	20.45	0.505555556	-105.5904303	28.31111111	-77.28	0
25	24	24	22.27	0.505555556	-100.6733217	28.31111111	-72.36	0
26	25	25	24.09	0.505555556	-95.66412841	28.31111111	-67.35	0
27	26	26	25.91	0.505555556	-90.56285041	28.31111111	-62.25	0
28	27	27	27.73	0.505555556	-85.36948769	28.31111111	-57.06	0
29	28	28	29.55	0.502777778	-80.08404025	28.15555556	-51.93	0
30	29	29	31.36	0.505555556	-74.73630656	28.31111111	-46.43	0
31	30	30	33.18	0.505555556	-69.26719564	28.31111111	-40.96	0
32	31	31	35	0.416666667	-63.706	23.33333333	-40.37	0
33	32	32	36.5	0.416666667	-59.053375	23.33333333	-35.72	0
34	33	33	38	0.416666667	-54.3382	23.33333333	-31	0
35	34	34	39.5	0.416666667	-49.560475	23.33333333	-26.23	0
36	35	35	41	0.416666667	-44.7202	23.33333333	-21.39	0
37	36	36	42.5	0.416666667	-39.817375	23.33333333	-16.48	0
38	37	37	44	0.416666667	-34.852	23.33333333	-11.52	0
39	38	38	45.5	0.416666667	-29.824075	23.33333333	-6.49	0
40	39	39	47	0.416666667	-24.7336	23.33333333	-1.4	0
41	40	40	48.5	0.416666667	-19.580575	23.33333333	3.75	3.75
42	41	41	50	0.397222222	-14.365	22.24444444	7.88	7.88
43	42	42	51.43	0.397222222	-9.33457889	22.24444444	12.91	12.91
44	43	43	52.86	0.397222222	-4.24730956	22.24444444	18	18
45	44	44	54.29	0.394444444	0.89680799	22.08888889	22.99	22.99
46	45	45	55.71	0.397222222	6.06120599	22.24444444	28.31	28.31
47	46	46	57.14	0.397222222	11.31862244	22.24444444	33.56	33.56
48	47	47	58.57	0.397222222	16.63288711	22.24444444	38.88	38.88
49	48	48	60	0.397222222	22.004	22.24444444	44.25	44.25
50	49	49	61.43	0.397222222	27.43196111	22.24444444	49.68	49.68
51	50	50	62.86	0.397222222	32.91677044	22.24444444	55.16	55.16
52	51	51	64.29	0.394444444	38.45842799	22.08888889	60.55	60.55
53	52	52	65.71	0.397222222	44.01758599	22.24444444	66.26	66.26
54	53	53	67.14	0.397222222	49.67254244	22.24444444	71.92	71.92
55	54	54	68.57	0.397222222	55.38434711	22.24444444	77.63	77.63
56	55	55	70	0	61.153	0	61.15	61.15
57	56	56	70	0	61.153	0	61.15	61.15
58	57	57	70	0	61.153	0	61.15	61.15

3. ábra: Sebesség és gyorsulás miatt fellépő erők számolása (saját szerkesztés)

Meg kell adni idő függvényében a tervezett sebességet. Ebből, és az előzetesen teljesített mérések eredményeiből a program meghatározza az adott időpillanatokra az örvényáramú gépek által létrehozni kívánt fékezőerőt. Ezt olyan formába rendezi, amit kimásolva szövegfájlba, megkapunk egy olyan dokumentumot, amit meg lehet nyitni a görgős pad szoftverével. A pad rendszerében megnyitva a fájlt, kirajzolja a célsebességet, és a beállított fékezőerőt. A menetciklus indítás után négy paramétert láthatunk a kijelzőn, meghatározott célsebességet, a pillanatnyi járműsebességet, a beállított fékezőerőt és az örvényáramú géppel gerjesztett pillanatnyi fékező erőt (4. ábra).



4. ábra: Menetciklus mérés közben kijelzett adatok (saját szerkesztés)

A menetciklus lefutása után grafikusán és exportálható adatfájlban is látható a megvalósított sebességgörbe és az örvényáramú gép által teljesített erő. Emellett az adatfájl tartalmaz minden más információt is a pad működéséről, mint a teljesítmény vagy a leadott nyomaték.

7. Összegzés

A bemutatott mérésekkel és számolásokkal el lehet érni, hogy görgős teljesítménymérő padon, örvényáramú fékgépek segítségével, olyan terhelési állapotba kerüljön egy jármű, mint ami a valós használat közben is jelentkezik. A mérőpad szoftverének előre meg kell adni, hogy a fékgépek milyen terheléssel dolgozzanak, ezért megfelelő számolásokkal elő kell készíteni az adatokat, amit be tud olvasni a rendszer. Van egy határsebesség, ami alatt a görgős padon nagyobb a menetellenállás mint úton. Ezen sebesség felett tudjuk csak megfelelően szimulálni a valós körülményeket, alacsonyabb sebességgel haladva visszahajtásra lenne szükség.

8. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Járművek menetellenállása, Szűcs Tamás, 2016
<http://oktat.uw.hu/munka/szallit/szakszam/ellenallasok.pdf>
- [2.] Method of estimating the rolling resistance coefficient of vehicle tyre using the roller dynamometer, Adrian Soica, Adrian Budala, Vlad Monescu, Slawomir Sommer and Wojciech Owczarzak, 2020
- [3.] DP-Automotive: Teljesítménymérés I., A teljesítménymérő padokról általánosságban
http://www.dp-automotive.hu/dpa_teljesitmeny_1.html
- [4.] DP-Automotive: Teljesítménymérés II., A mérés fizikai háttere és a mérés végrehajtása
http://www.dp-automotive.hu/dpa_teljesitmeny_2.html

A golyósoros hajtómű modellezésének kiterjesztése különböző geometriai elrendezésű hajtóművek esetére

Extending the modeling of the roller gearing gearbox to the case of different geometric arrangements

Dr. Polák József

Széchenyi István University, 9026 Győr, Egyetem tér 1. Hungary

polakj@ga.sze.hu

Absztrakt

A témához kapcsolódó korábbi cikkekben a golyósoros hajtómű energetikai vizsgálata lett bemutatva a golyó- pálya kapcsolatánál kialakuló súrlódási jelenségek vizsgálatán keresztül. A téma azért újszerű, mert a vizsgált hajtómű egy olyan magyar találmány, amelynek az energetikai vizsgálatával még senki sem foglalkozott. A vizsgálat folyamán létrehozásra került egy analitikus elvek alapján felépített matematikai modell, amely segítségével elemezhetővé válik a hajtómű energetikai viselkedése. A matematikai modell felépítése folyamán a golyóscsapágyak és a golyósorsós hajtások esetén alkalmazott elvek és modellek lettek megfelelő módon átalakítva és alkalmazva.

Mivel a korábbi vizsgálatainknál többnyire a párhuzamos tengely elrendezésű hajtómű modellt alkalmaztunk és vizsgáltunk, ezért most olyan irányba szeretnénk a vizsgálatainkat folytatni, hogy más geometriával rendelkező golyósoros hajtóművek (pl. kitérőtengelyű hajtómű, metsződő tengelyű hajtómű stb.) esetén is alkalmazható-e ez a modellezési eljárás. Ez által megalkotható-e egy olyan analitikus fizikai és matematikai modell, amelynek a segítségével elvi síkon feltárhatóvá válik ezeknek a hajtóműveknek is a teljes határfok mezője a teljes működési tartományukon. Ezzel is közelebb kerülve ahhoz a távlati célunkhoz, hogy megalkotásra kerüljön egy olyan matematikai modell, amely segítségével a hajtómű modell implementálható lesz egy adott gépjármű, motor-hajtómű-jármű együttes energetikai optimalizálási algoritmusába.

Kulcsszavak: hajtómű, modell, energetika

Abstract

In the previous articles related to the topic, the energetic investigation of the roller gearing gearbox was presented through the investigation of the friction phenomena occurring at the ball-track connection. The topic is novel because the examined gear unit is a Hungarian invention whose energy analysis has not yet been studied. During the investigation, a mathematical model based on analytical principles was created, with the help of which the energetic behavior of the power unit can be analyzed. During the construction of the mathematical model, the principles and models used in the case of ball bearings and ball screw drives were appropriately transformed and applied.

Since in my previous tests I mostly used and tested the gear model with a parallel shaft layout, I would like to continue my tests in the direction of whether this model can also be used for ball-in-line gears with other geometries (e.g. gear with evasive shaft, gear with intersecting shaft, etc.) modeling procedure. Is it possible to create an analytical physical and mathematical model, with the help of which the field of the total efficiency of these gearbox can be explored on a theoretical level in their entire operating range. This also brings us closer to our long-term goal of creating a mathematical model, with the help of which the engine model can be implemented in the energy optimization algorithm of a specific vehicle, engine-gearbox-vehicle combination.

Keywords: gearbox, model, energetics

1. Bevezetés

Napjainkban a fenntartható közúti közlekedés egyik legjelentősebb kutatási iránya a villamos járművek fejlesztésének széleskörű kiterjesztése. Egy magyar szabadalomnak köszönhetően az elektromotorok és a járműkerekek fordulatszáma közötti különbség kompenzálására alkalmas, gördülőelemes hajtómű kutatására nyílt lehetőségünk [1]. Geometriai szempontból vizsgálva a gördülőelemes hajtómű tengelyelrendezése és áttétele nagy variabilitást mutat, tehát szinte bármilyen konstrukció (áttétel, geometriai elrendezés) megvalósítására alkalmas. A hajtómű energetikai vizsgálatát megelőzi a hajtómű szilárdsági méretezése, amelyet az előtervezés során már figyelembe kell venni, mivel hiába optimális energetikai szempontból egy hajtómű, hogy ha szilárdsági szempontból nem biztosítható annak megfelelő élettartama.

A szilárdsági méretezés első lépéseként olyan analitikus méretezési eljárásokat vizsgáltunk meg és alkalmaztunk, amelyek segítségével elfogadható pontosságú gyors szilárdsági méretezést tudunk elvégezni [2].

A cikkben arra teszünk kísérletet, hogy megpróbáljuk jó közelítéssel meghatározni, hogy a horony fala mekkora erővel terheli a kapcsolatban lévő golyókat. Megpróbáljuk megkeresni azokat a matematikai összefüggéseket, amelyek segítségével a geometriától függetlenül meg tudjuk határozni a golyók felületén kialakuló terhelő erőket.

A terhelő erők meghatározása, nem csak a szilárdsági méretezés miatt jelentős, hanem a hajtómű energetikai vizsgálata szempontjából is kulcs fontosságú.

2. A golyósoros hajtómű mozgásvizonyának általános vizsgálata

Ebben a fejezetben vizsgáljuk meg, hogy a hajtómű egyes elemei milyen kapcsolatban vannak egymással, és milyen az egymáshoz viszonyított mozgásvizonyuk.

A hajtó és a hajtott tárcsa között kapcsolatban lévő golyó egy tömegpontként kezelhető, amely a két tárcsán lévő hornyok által meghatározott kényszerpályán mozog. A kényszer ebben az esetben azt jelenti, hogy a golyó a megszabott pályán, vagy a megadott felületen kényszerül maradni és nem követheti szabadon a szabad erők hatásaként keletkező mozgás pályáját. A golyó szabad mozgásában rákényszerített változások alakulnak ki, amelyeknek az oka, hogy más testekkel, jelen esetben a tárcsákban lévő horony falával kerül érintkezésbe, illetve

kölcsönhatásba. Ezeken áthatolni, esetleg elszakadni nem képes, ezért ezeket az érintkezésből származó kölcsönhatásokat nevezzük kényszererőknek.

Mivel mechanikai szempontból vizsgáljuk a hajtóművet, ezért a golyóval érintkező horonyfalat a kényszererő (F_k) teljesen helyettesítheti a vizsgálataink során. Ha ez a kényszererő létezik és a golyóra ható erőkhöz csatoljuk, akkor az egyesített erőrendszer hatásra a golyó a meghatározott pályán úgy mozog, mintha szabadon mozogna [3].

A kényszererőnek általában van a meghatározott pályafalára merőleges síkba eső alkotója (F_N) és az érintő irányába eső (F_S) komponense. Az F_S a súrlódási erő, ami a következő módon határozható meg [3]:

$$F_S = \mu \cdot F_N \quad (1)$$

és ellentétes értelmű, mint a golyó pályához viszonyított sebessége:

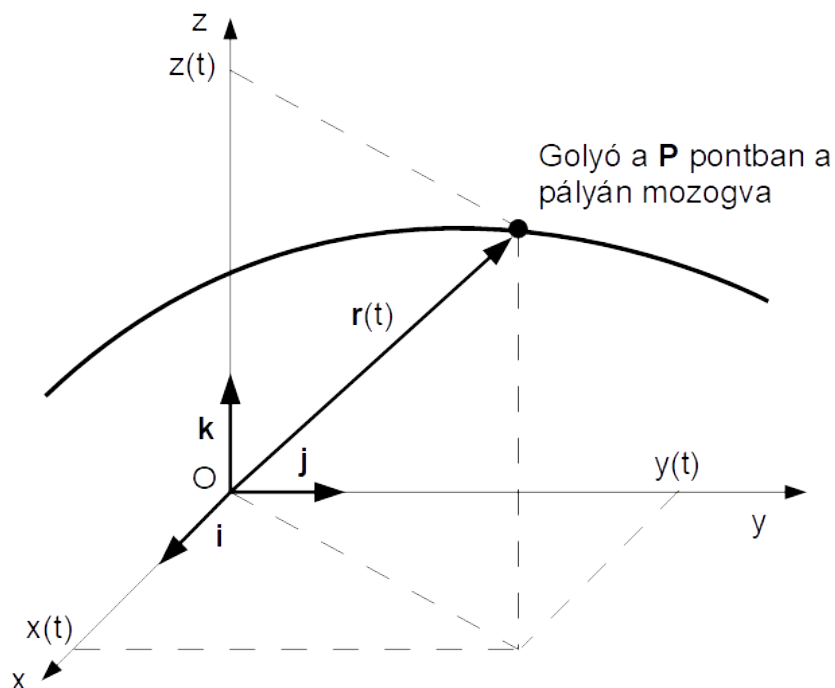
$$F_S = -\mu \cdot F_N \cdot \frac{\mathbf{v}}{v} \quad (2)$$

$\mathbf{v}$: sebesség vektor, $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$

v : pálya menti sebesség, $v = \frac{ds}{dt}$

$$\mathbf{v} = v \cdot \mathbf{e} \quad (3)$$

A 2. és 3. összefüggés alapján a golyó sebesség vektora mindig a pályagörbe ($\mathbf{e}$) érintőjének irányába mutat.



1. ábra: A pályán mozgó golyó mozgását leíró paraméterek [3]

Az ábra alapján a mozgásfüggvény a derékszögű koordináta- rendszerben [3]:

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (4)$$

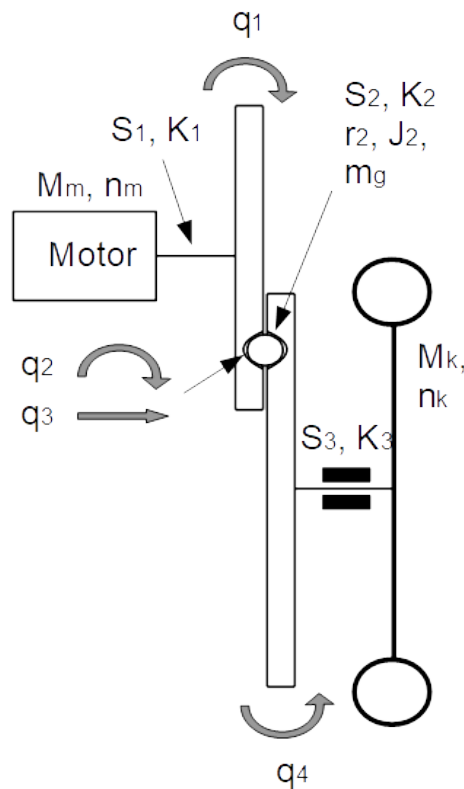
a sebességvektor pedig:

$$\mathbf{v}(t) = \dot{x}(t)\mathbf{i} + \dot{y}(t)\mathbf{j} + \dot{z}(t)\mathbf{k} = v_x(t)\mathbf{i} + v_y(t)\mathbf{j} + v_z(t)\mathbf{k} \quad (5)$$

3. A hajtómű fizikai modelljének felállítása

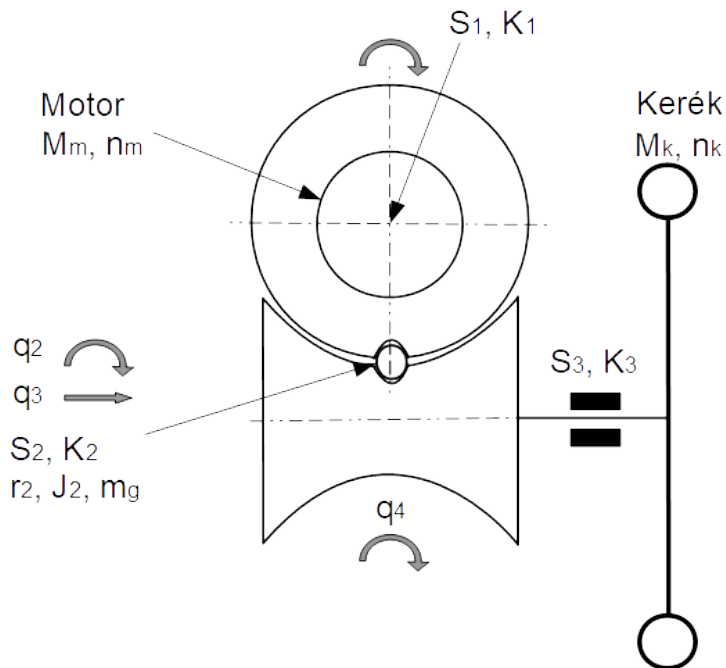
A fizikai modell létrehozásához részben meg kell határozni, hogy a modell mit és milyen feltételek mellett foglal magába, ezek paraméterek a következők [4]:

- a járművet hajtó villamosmotor nyomatékát (behajtó nyomaték) és fordulatszámát,
- a golyósoros hajtóművet: ideálisan merev golyó- pálya kapcsolattal (2. ábra), a golyó tömegével, a golyó rugalmas viselkedésével (mint közvetítő elem a két tárcsa között), rugalmas tengelyekkel és a veszteségforrásokkal,
- és a jármű vonóerő igényéből adódó terhelő nyomatékot (kihajtó nyomaték) és a kihajtótengely fordulátát.

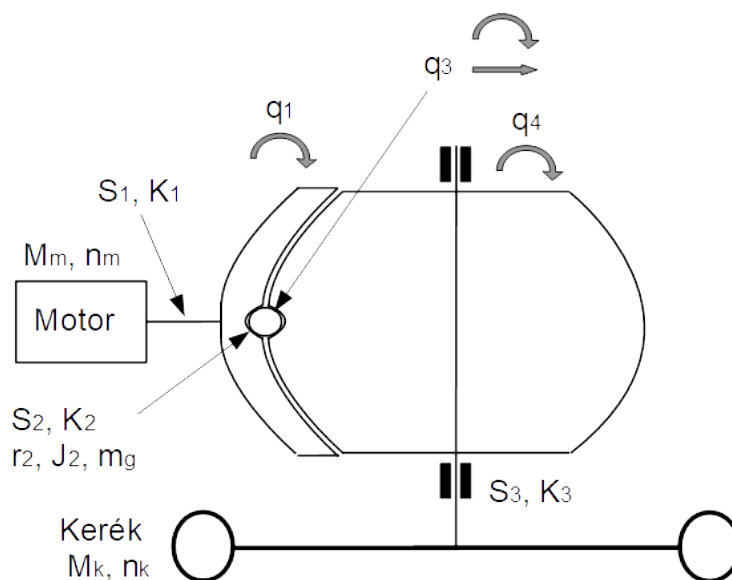


2. ábra: A párhuzamos tengely elrendezésű golyósoros hajtómű fizikai modellje [2]

A párhuzamos tengely elrendezésű hajtómű mintájára a modellalkotást tovább folytatva megalkotásra került a kitérő tengely elrendezésű (3. ábra) és a metsződő tengely elrendezésű (4. ábra) golyósoros hajtómű fizikai modellje is.



3. ábra: A kitérő tengely elrendezésű golyósoros hajtómű fizikai modellje (saját szerkesztés)



4. ábra: A metsződő tengely elrendezésű golyósoros hajtómű fizikai modellje (saját szerkesztés)

4. A hajtómű matematikai modelljének felépítése

Ahhoz, hogy a hajtómű Euler-Lagrange egyenletét fel lehessen állítani, meg kell határozni a hajtómű mozgási energiáját (E), potenciális energiáját (U) és disszipációs függvényét (D) leíró összefüggéseket [2, 5].

Mivel a hajtómű összes veszteségnyomatéka ($M_{\Sigma v}$) a disszipációs függvényben lett meghatározva, ezért a parciális deriváltja a következő formába hozható:

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{q}} = \frac{\partial f_D(\underline{\dot{\phi}}, \underline{Q}(t), \dot{x}, \underline{F}(t))}{\partial \dot{q}} = M_{\Sigma v} \quad (1)$$

Az összefüggésből látható, hogy a deriválás eredménye a hajtómű összes veszteségnyomatéka, amely a veszteségtagok összegeként adható meg a következő alakban:

$$M_{\Sigma v} = M_{csu_v} + M_{gv} + M_{csv} + M_{ov} + M_{lv} + M_{tv} \quad (2)$$

- $M_{\Sigma v}$: a hajtómű összes veszteségnyomatéka,
- M_{csu_v} : a golyó és a pálya csúszósúrlódási veszteségnyomatéka,
- M_{gv} : a golyó és a pálya gördülősúrlódási veszteségnyomatéka,
- M_{csv} : a csapágyszorítás veszteségnyomatéka,
- M_{ov} : az olajkavarás veszteségnyomatéka,
- M_{lv} : a légkavarás veszteségnyomatéka,
- M_{tv} : a tömítéssúrlódás veszteségnyomatéka.

A hajtómű mozgási egyenletének a teljes meghatározásához, bevezetésre került egy új paraméter, amely a belső áttétel. Ez megmutatja a behajtótárcsa és a golyó közötti kapcsolatot, ami a golyó mozgásának egyértelmű leírásához szükséges. A belső áttétel megmutatja, hogy a behajtó tárcsa egy fordulata a közvetítő golyó hány fordulatot tesz meg. A belső áttétel (i_{lg}) meghatározása elméletben a hajtótárcsa fordulatszámának (n_1) és a golyó fordulatszámának (n_g) a hányadosaként határozható meg [4]:

$$i_{1g} = \frac{n_1}{n_g} \quad (3)$$

A belső áttétel meghatározásával már pontosan meghatározhatjuk a golyó mozgásvizonyait a hajtómű mozgásegyenletében.

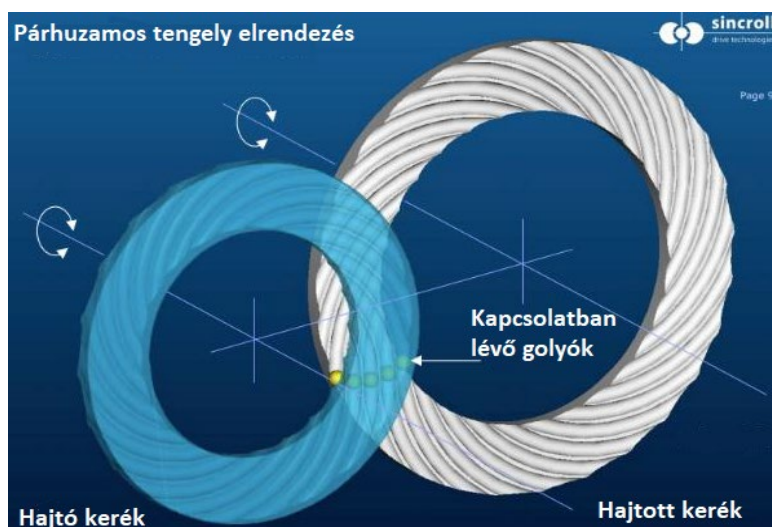
A kapott eredményeket összegezve határozható meg a hajtómű mozgásegyenlete, amely a következő formában adható meg [2]:

$$\underline{\underline{\ddot{\varphi} \cdot \left(J_1 + J_2 \cdot \frac{1}{i_{1g}^2} + J_3 \cdot \frac{1}{i^2} \right) + \ddot{x} \cdot m_g + M_{\Sigma v} + 0 = Q(t)}} \quad (4)$$

A mozgásegyenlet ismeretében a modell mind kvázistacioner esetekben (meghatározott munkapontokon), mind dinamikus (lassulási és gyorsulási szakaszokban) vizsgálhatóvá és elemezhetővé válik.

5. A párhuzamos tengely elrendezésű hajtómű mozgásvizonyának vizsgálata

Mivel a golyósoros hajtómű alkalmazása esetén nagyszámú elrendezési változat valósítható meg, ezért első körben nézzük meg a klasszikus párhuzamos tengely elrendezésű hajtómű mozgásvizonyait, a kiválasztott hajtómű 3D-s modellje a következő ábrán látható (5. ábra).



5. ábra: A fizikai modell alapjául szolgáló párhuzamos tengelyű elrendezés 3D-s modellje [1]

A kiválasztott hajtómű mozgásviszonyának a vizsgálatánál a következő ábrán (6. ábra) látható elrendezést választottuk, amely szerint a hajtó és a hajtott tárcsa is az x-y síkban forog és mind a két tárcsa forgás tengelye az x-z síkban helyezkedik el, adott esetben bármelyik tárcsa forgástengelye ez által kiválasztható z tengelynek. Az ábrát tovább vizsgálva megállapítható, hogy a kapcsolatban lévő golyók a tárcsákkal együtt az x-y síkban végzik a kényszermozgásukat. Ez alapján az előző fejezetben felvezetett mechanikai elvek alapján a golyó mozgásfüggvénye a derékszögű koordináta-rendszerben a következő alakra egyszerűsödik:

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} \quad (6)$$

a sebességvektor pedig:

$$\mathbf{v}(t) = \dot{x}(t)\mathbf{i} + \dot{y}(t)\mathbf{j} = v_x(t)\mathbf{i} + v_y(t)\mathbf{j} \quad (7)$$

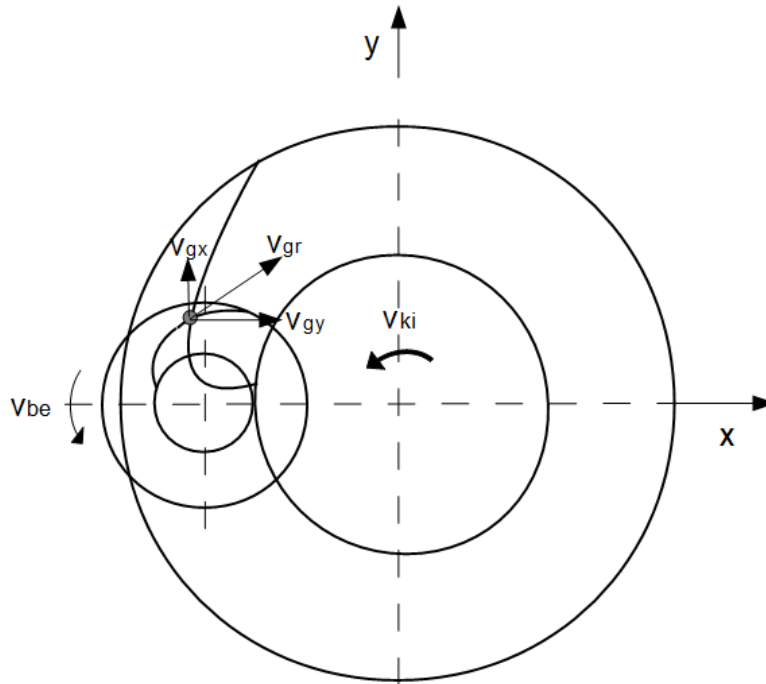
A golyók abszolút mozgásának a vizsgálatánál fontos azt megjegyezni, hogy az ábrán (6. ábra) felvázolt sebesség a kapcsolatban lévő golyónak csak a relatív mozgását írja le, ugyanis a két tárcsa forog, tehát a golyó szállítását végzi. Ezt a szállítási sebességet ($\mathbf{V}_{sz}$) a következő összefüggéssel lehet meghatározni:

$$\mathbf{V}_{sz} = \mathbf{V}_{\Omega} + \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\rho} \quad (8)$$

A 7. ábra alapján a $\mathbf{V}_{\Omega}$ a relatív rendszer kezdőpontjának a sebessége az abszolút rendszerben, $\boldsymbol{\omega}$ a relatív rendszer szögsebessége és a $\boldsymbol{\rho}$ pedig a golyó két pontja (P_1, P_2) közötti helyvektor.

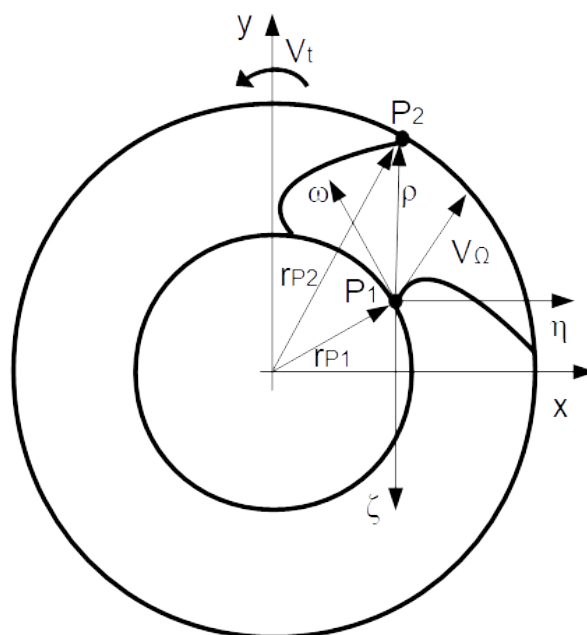
A szállítósebesség ismeretében, már meghatározható a kapcsolatban lévő golyók abszolút sebessége, ugyanis az a golyó relatív sebességének és szállító sebességének összegeként adható meg a következő összefüggéssel:

$$V_{ga} = V_{sz} + V_{gr} \quad (9)$$



6. ábra: A pályán mozgó golyó sebesség komponensei az x-y síkban (saját szerkesztés)

A golyó vizsgálata folyamán a rendszer abszolút (álló) koordináta rendszere az xy koordináta rendszer, a relatív (mozgó) koordináta rendszere pedig az $\eta\zeta$ koordináta rendszer (7. ábra).



7. ábra: A golyó mozgásának az ábrázolása az abszolút koordinátarendszerben (saját szerkesztés)

6. A golyóra ható erők meghatározása párhuzamos tengely elrendezésű hajtómű esetén

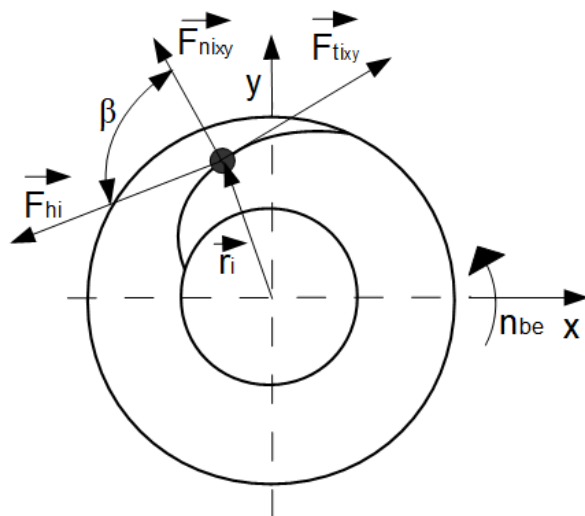
A 8. ábra mutatja meg a golyókra ható erőket az x-y síkban, és a 9. ábra pedig a x-z síkban ható erőket ábrázolja. A golyóra ható erőket vizsgálva a pálya i-ik pontján, jól látható, hogy a hajtó kistárcsa horonyfala és a golyó között a tárcsa hajtóereje (F_{hi}) miatt kialakul egy normál irányú erő (F_{ni}), amely a pálya falára merőleges, és egy tangenciális irányú erő (F_{ti}), amely pedig a pálya érintő irányába mutat. Az ábrák (8. ábra, 9. ábra) alapján a normálirányú térbeli erő tovább bontható síkbeli erőkké (F_{nixz} , F_{nixy}). A horonyfalon kialakuló hajtóerő meghatározható a hajtómotor nyomatékából (M_{mot}) és a golyó forgástengelytől mért távolságából (r_i).

$$F_{hi} = \frac{M_{mot}}{r_i} \quad (6)$$

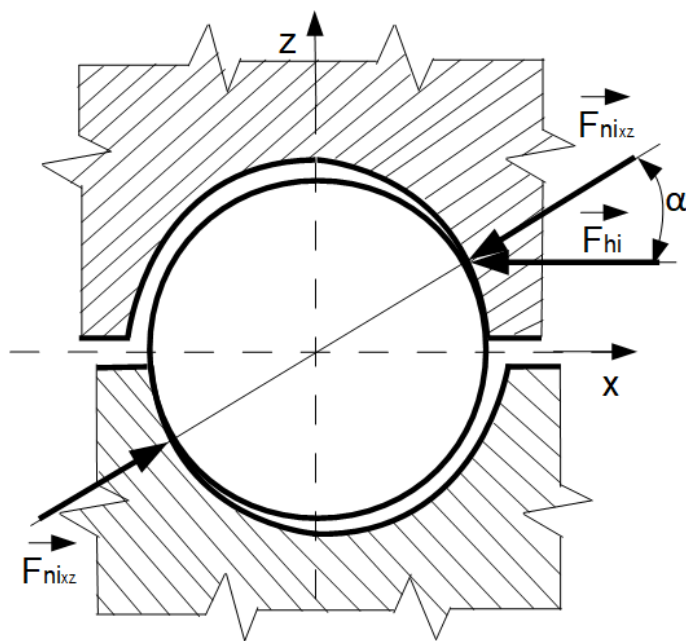
A hajtóerő ismeretében meghatározható a golyó- pálya között kialakuló normálerő a 10. ábra alapján a következő összefüggéssel:

$$F_{ni} = \frac{F_{hi}}{\cos \alpha \cdot \cos \beta} \quad (7)$$

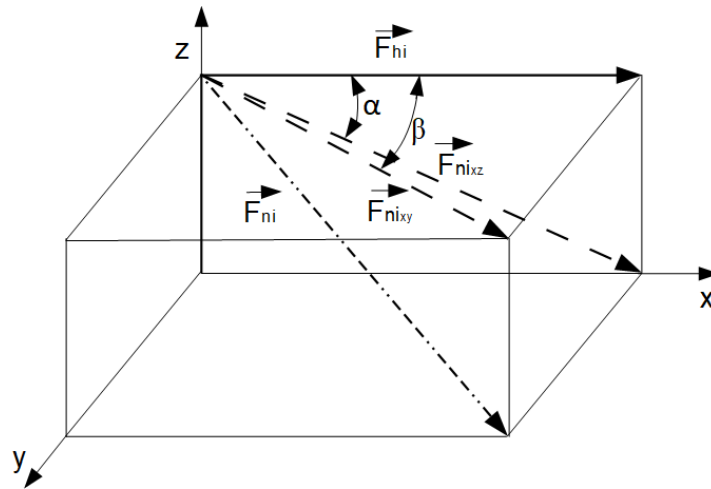
Az i indexelésre a pálya mentén azért van szükség, mert a hajtómű x-y síkban értelmezett sugarai, a forgási sugár (r_i) és a pálya görbületi sugara a golyó helyzetétől függ, tehát folyamatosan változik ellentétesen a gördülőcsapágyak, vagy a golyósorsók esetével, ahol a sugár a mozgás teljes pályáján azonos értékű.



8. ábra: A pályán mozgó golyóra ható erők az x-y síkban (saját szerkesztés)



9. ábra: A pályán mozgó golyóra ható erők az x-z síkban (saját szerkesztés)



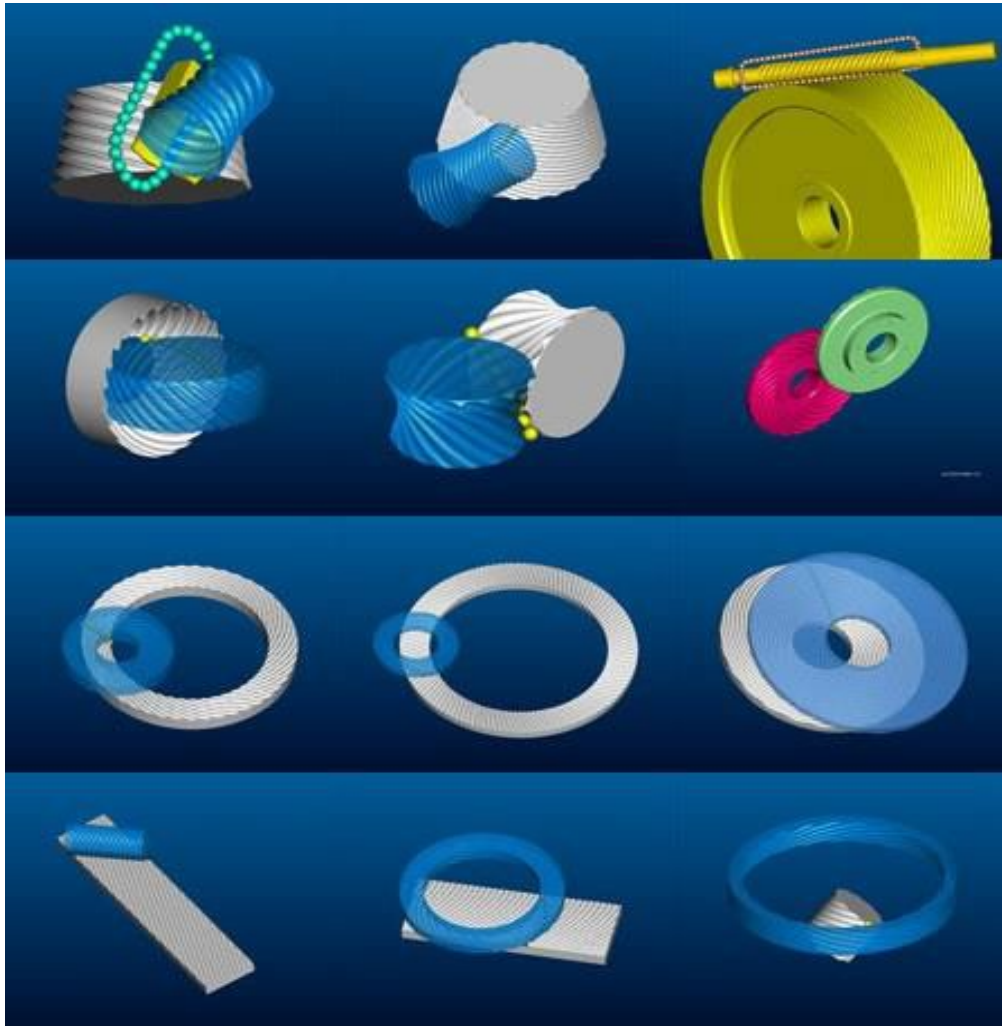
10. ábra: A golyóra ható térbeli normál erő (F_{ni}) meghatározása. (saját szerkesztés)

A hajtómű mozgási és erőviszonyait vizsgálva megállapítható, hogy habár a kapcsolatban lévő golyók síkbeli mozgást végeznek, a tárcsák által a golyókra ható erők minden esetben térbeli erőrendszert képeznek. Ezt az erőrendszert a golyó pálya kapcsolódási pontjai és a pálya görbülete a vizsgált pontban határozza meg.

7. A párhuzamos tengely elrendezéstől eltérő tengely elrendezésű hajtómű mozgásviszonyának vizsgálata

A golyósoros hajtóművek a hagyományos, jelenleg elterjedt hajtóművekkel ellentétben nem tisztán geometria megoldás eredményeként nyerik el végleges formájukat, ugyanis az igényelt áttételnek és tengelytávnak megfelelő geometria meghatározásához egy differenciál-egyenletrendszer megoldása vezet. A differenciál-egyenletrendszer egy adott problémára több megoldást is lehetővé tesz (11. ábra).

Szinte bármilyen tengelyelrendezés és tengelytáv megvalósítható a golyósoros hajtóművekkel, ráadásul az elméletben megvalósítható áttételek skálája végtelen [1].

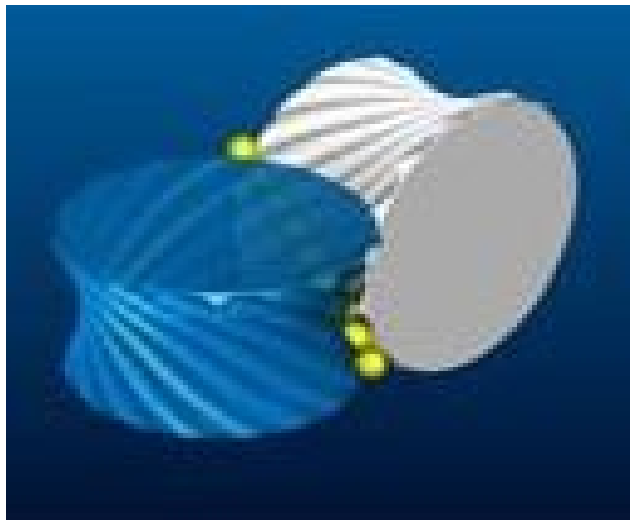


11. ábra: Néhány megvalósítható elrendezés és áttétel [1]

A nagy számú variációs lehetőség közül két hajtás elrendezést érdemes kiemelni, amely mint hajtómű valójában alkalmazható egy jármű hajtása esetén ezek pedig a:

- kitérő tengelyű hajtás (12. ábra),
- metsződő tengelyű hajtás (13. ábra).

A kitérő tengelyű hajtás leginkább a csigahajtásra hasonlít, általában a meghajtó tengely átmérője kisebb, a hajtott tengelyé pedig nagyobb. Minél nagyobb az átmérők közti különbség a hajtás szilárdságtani tulajdonságai annál rosszabbak, mivel az egyszerre kapcsolatban lévő golyók száma csökken, így az adott nyomatékhoz tartozó erő és a Hertz-feszültség pedig nő. Egy bizonyos átmérőkülönbségnél már a golyóátmérőket is csökkenteni kell, aminek a következménye képpen növekszik a Hertz-feszültség.



12. ábra: Kitérőtengelyű hajtás [1]

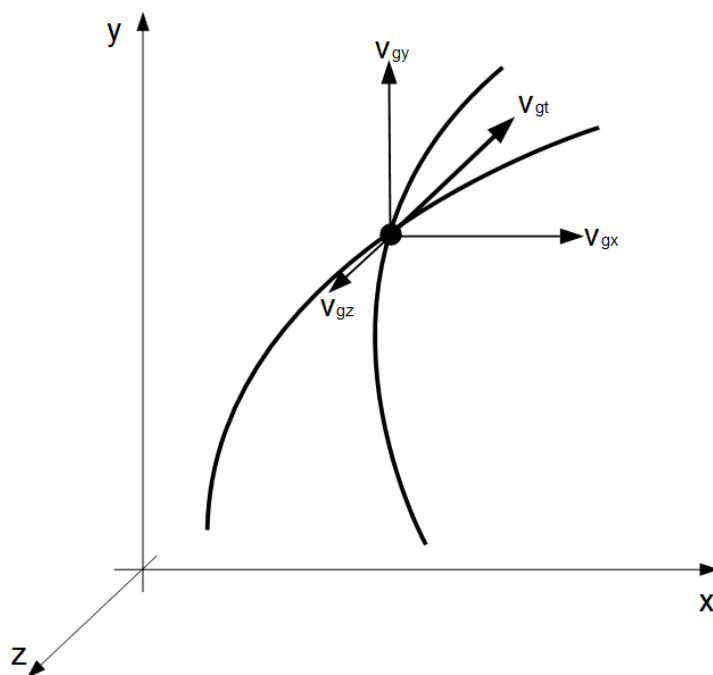
A metsződő tengelyű hajtás nagy előnye a kitérő tengelyű hajtáshoz képest, hogy a hajtó tárcsa átmérője növelhető, ami kedvezően hat a szilárdsági tulajdonságokra. A hajtótengely csak egyoldalról csapágyazható, a motor felől, viszont több kapcsolatban lévő golyóval és nagyobb golyóátmérővel valósítható meg a hajtás.



13. ábra: Metsződő tengelyű hajtás [1]

Míg a párhuzamos tengely elrendezésű hajtóművek esetén a vizsgáló koordináta rendszer z tengelye megfeleltethető volt valamelyik hajtótengelynek és a két tárcsa az x-y síkban forgott, addig a kitérő- és metsződő tengelyű hajtások esetén a golyók mozgása térben történik (14. ábra).

Mivel a mozgás a térben történik, ezért a kapcsolatban lévő golyók mozgásviszonyának a meghatározáshoz a korábban bemutatott 1-5, 8, 9 összefüggéseket tudjuk felhasználni.



14. ábra: A kapcsolatban lévő golyó mozgása tárcsák hornyaiban. (saját szerkesztés)

8. A golyóra ható erők meghatározása párhuzamos tengelytől eltérő tengely elrendezésű hajtómű esetén

Míg a párhuzamos tengely elrendezésű hajtómű esetében a golyókat terhelő erők az abszolút koordináta-rendszerben (x, y, z) leírhatók és meghatározhatók voltak, addig ezeknél a hajtóműveknél az abszolút koordináta-rendszer nem alkalmazható, mivel a golyó térbeli pályán mozog és ritkán fordul elő az az eset, hogy a vizsgálati pontban lévő golyó relatív koordináta-rendszere illeszkedik az abszolút koordináta-rendszerhez. Ezért a golyókra ható erők leírásához minden esetben a vizsgálati pontban lévő golyóhoz kapcsolódó relatív (mozgó) koordináta-rendszert (η, ζ, ξ) kell alkalmazni.

A 15. ábra és a 16. ábra mutatja meg a golyókra ható erőket az $\eta - \xi$ síkban. A golyóra ható erőket vizsgálva a pálya i -ik pontján, jól látható, hogy a hajtó kistárcsa horonyfala és a golyó között a tárcsa hajtóereje (F_{hi}) miatt kialakul egy normál irányú erő (F_{ni}), amely a pálya falára merőleges, és egy tangenciális irányú erő (F_{ti}), amely pedig a pálya érintő irányába mutat. A

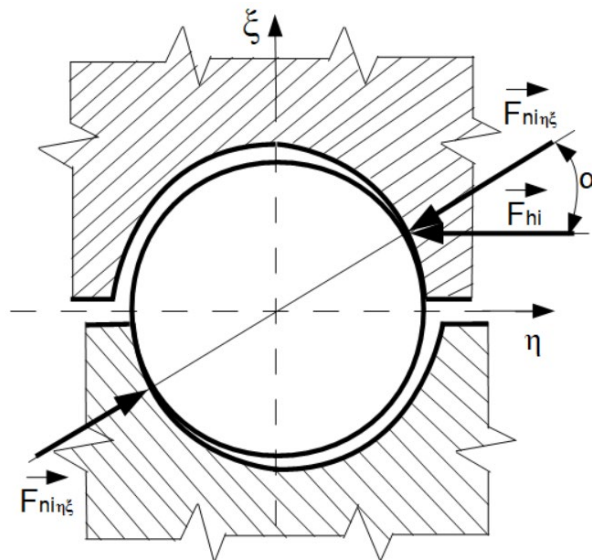
17. ábra alapján a normálirányú térbeli erő tovább bontható síkbeli erőkke a golyó relatív koordináta-rendszerében ($F_{ni\eta\xi}$, $F_{ni\eta\zeta}$). A horonyfalán kialakuló hajtóerő meghatározható a hajtómotor nyomatékából (M_{mot}) és a golyó forgástengelytől mért távolságából (r_i).

$$F_{hi} = \frac{M_{mot}}{r_i} \quad (8)$$

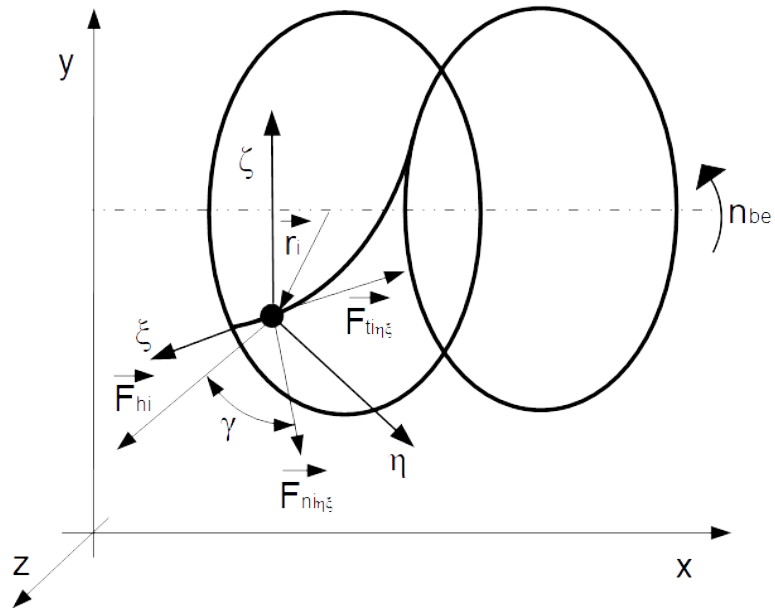
A hajtóerő ismeretében meghatározható a golyó- pálya között kialakuló normálerő a 15. ábra és a 16. ábra alapján a következő összefüggéssel:

$$F_{ni} = \frac{F_{hi}}{\cos \alpha \cdot \cos \gamma} \quad (9)$$

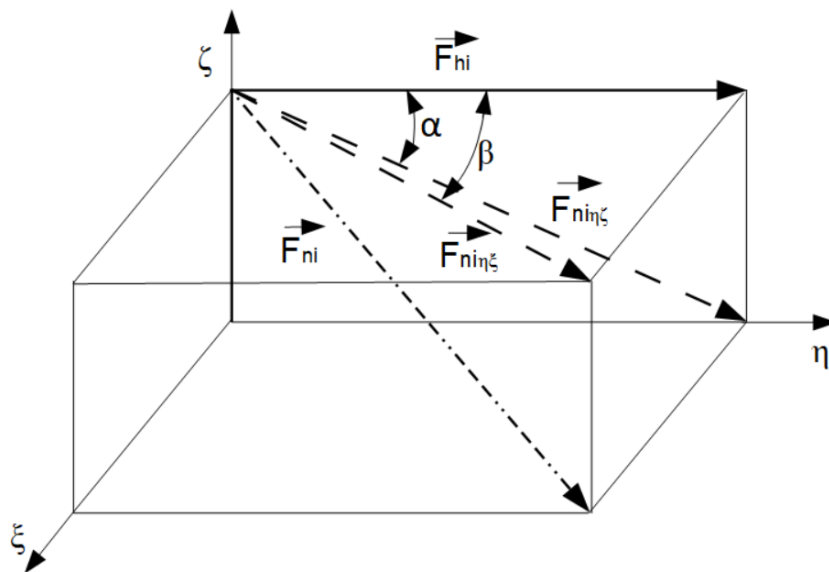
Az i indexelésre a pálya mentén azért van szükség, mert a hajtómű x - y - z koordináta-rendszerben értelmezett sugarai, a forgási sugár (r_i) és a pálya görbületi sugara a golyó helyzetétől függ, tehát folyamatosan változik ellentétesen a gördülőcsapágyak, vagy a golyósorsok esetével, ahol a sugár a mozgás teljes pályáján azonos értékű.



15. ábra: A pályán mozgó golyóra ható erők a relatív $\eta - \xi$ síkban (saját szerkesztés)



16. ábra: A kapcsolatban lévő golyóra ható térbeli erőrendszer a golyóval mozgó koordinátarendszerben (η, ζ, ξ) ábrázolva (saját szerkesztés)



17. ábra: A golyóra ható térbeli normál erő (F_{ni}) meghatározása. (saját szerkesztés)

9. Összegzés

A vizsgálat eredményeként megállapítható, hogy mivel a golyósoros hajtóművel nagyon sokféle geometriai elrendezésű és áttételű hajtás megvalósítható, ezért nem lehet kidolgozni egy általános uniformizált matematikai összefüggésrendszert a golyót érő erőhatások kiszámítására, ugyanis az mindig függ a tényleges hajtómű geometriai megvalósításától. A golyókra ható erőket mindig jelentősen befolyásolják a hornyok görbületei és az egymáshoz való hajlásszögük a kapcsolódási pontban, ezért minden egyes hajtómű kialakítás esetén, már a modell megalkotásakor a virtuális térben meghatározhatók azok a paraméterek, amelyek segítségével jó közelítéssel kiszámíthatók a kapcsolatban lévő golyókra ható terhelések.

10. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Dr. Pál Bogár. Bearings for Gearings presentation, International Conference on Gears, 2015
- [2.] Őri Péter, Dr. Polák József, A golyósoros hajtómű részegységeinek statikai és dinamikai sajátosságainak a kutatása a szilárdsági méretezés meghatározása érdekében, XIII. IFFK 2019, Budapest, 2019
- [3.] M. Csizmadia Béla, Nádori Ernő, Mechanika Mérnököknek, Mozcástan, Nemzeti Tankönyvkiadó Budapest, 1997, ISBN 9631884031
- [4.] Polák, József, Investigation of the ball-track connection of a roller gearing gearbox, I 12th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom 2021): Proceedings. (2021) ISBN:9781665424950; 9781665424943 pp. 551-556
- [5.] József Polák, István Lakatos EXAMINATION OF DRIVE LINE MATHEMATICAL MODEL MACHINE DESIGN 8:(1) pp. 33-36. (2016)

Autonóm járművek V2X kommunikációjának hatása az energiahatékonyságra releváns tudományos kutatások alapján

Impact of V2X communication in autonomous vehicles on energy efficiency based on relevant scientific research

Saly Gábor

Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék – Győr;

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont – Győr

saly.gabor@ga.sze.hu

Absztrakt

A környezetvédelem és a korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló nem megújuló energiaforrások csökkenő tartalékai miatt az utóbbi évtizedekben előtérbe került a közlekedés energiahatékonyságának témaköre. A modern járművekbe beépített vezetéstámogató rendszerek megjelenésével a humán vezető szerepe egyre csökken és lehetőség nyílt a gépjárművet programok segítségével irányítani bizonyos forgalmi körülmények között. Az autonóm járművekbe épített számítási kapacitásoknak köszönhetően a teljes járműirányítás vezérlő programok által történhet környezetüket felmérni képes érzékelő eszközök segítségével, a programok a beérkező adatok alapján tudnak a forgalmi helyzeteknek megfelelő döntést hozni. A járművek környezetében lévő más járművekkel, infrastruktúrával és egyéb, közlekedésben részt vevő személyekkel, eszközökkel való kommunikáció (V2X) lehetőséget ad a forgalmi szituációk előrejelzésére, ezáltal korábban az adott helyzethez igazíthatja menettulajdonságait a jármű. A kommunikációból nyert adatok és környezetérzékelő szenzorok segítségével az embernél több információt képesek begyűjteni az autonóm járművek és létrehozhatók együttműködések egyes járművek között, melyeket a veszteségek minimalizálására lehet hasznosítani, mint például a platooning, vagyis a járművek egy szakaszban haladása minimális követési távolságokkal, mely a légellenállásból származó veszteségeket minimalizálja.

Munkámban a tématerületen megírt legfontosabb, gyakran hivatkozott és a legfrissebb kutatási eredményeket feldolgozó cikkeket vizsgálom, elemzem az alkalmazott szimulációs módszereket, ezek szoftveres környezetét, melyek lehetővé teszik az valós tesztek eredményeinek előrejelzését. Ezt követően vizsgálom a valós körülmények között elvégzett mérések technológiáját, és eredményeit. A cikk végén az ismertetett kutatások és tesztek eredményei alapján meghatározom a kutatásom következő szakaszaiban elvégzendő szimulációkat és méréseket.

Kulcsszavak: V2X, autonóm jármű, energiahatékonyság, platooning, szimuláció, valós teszt

Abstract

Environmental protection and the limited reserves of non-renewable energy sources have brought the issue of energy efficiency in transportation to the focus of attention in recent decades. With the advent of driver assistance systems in modern vehicles, the role of the human driver has been reduced and it has become possible to control the vehicle under certain traffic conditions by means of programs. Thanks to the computational capabilities built into autonomous vehicles, full vehicle control can be performed by control programmes using sensing devices that can perceive their environment and make decisions based on the data received in the traffic situations. V2X communication with other vehicles, infrastructure and other traffic participants in the vicinity of the vehicle allows the vehicle to anticipate traffic situations and adapt its driving characteristics earlier to the given situation. With the help of data from communications and environmental sensors, autonomous vehicles can collect more information than humans and create collaborations between individual vehicles that can be used to minimise losses, such as platooning, where vehicles move in a platoon with minimum following distances to minimise losses from drag.

In my work, I review the most important, frequently cited articles in the field and the most recent research results, analyse the simulation methods used and their software environment, which allow the prediction of real test results. I will then examine the technology and results of measurements carried out under real conditions. At the end of the article, I will identify the simulations and measurements to be carried out in the next stages of my research, based on the results of the research and tests described.

Keywords: *V2X, autonomous vehicle, energy efficiency, platooning, simulation, road test*

1. Bevezetés

A közúti közlekedés a folyamatos technológiai fejlesztések hatására jelentős változások előtt áll, a gépkocsikba beépíthető számítási kapacitások lehetővé tették a kísérleti autonóm járművek megvalósítását, napjainkban a járműipari kutatások jelentős részét teszik ki ezeknek az új közlekedési eszközöknek, és az elterjedésük által létrejövő hatások vizsgálata. A két legfontosabb szempontja a fejlesztéseknek a közlekedési biztonság növelése és az energiafogyasztás minimalizálása. A jelen cikkemben az utóbbi témakörben végzett olyan kutatásokat vizsgáltam meg, melyekben az energiafogyasztás csökkentése érdekében felhasználják a járművek a környezetükben elhelyezkedő kommunikációra képes eszközöktől származó adatokat.

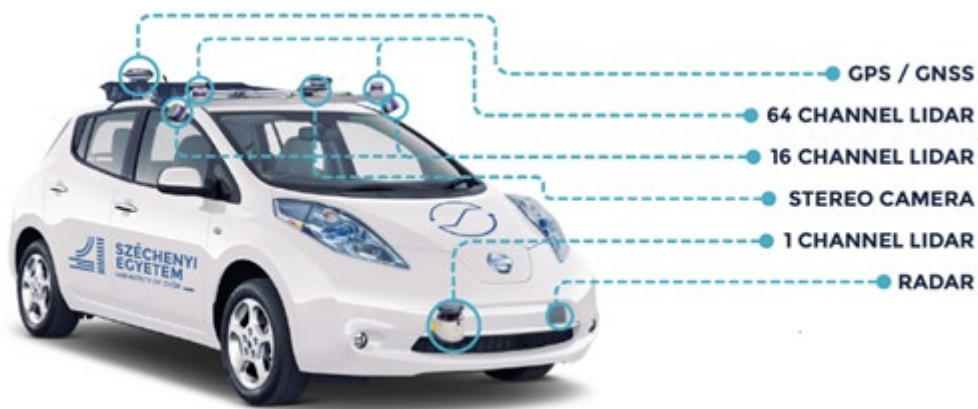
2. Autonóm járművek szenzorai

Az autonóm jármű irányításához a központi számítógépnek szüksége van a környezetében lévő tárgyak, közúti jelzések ismeretére. A járművezető ezeket az információknak a legnagyobb részét a látása segítségével gyűjti össze, Ezt a folyamatot az autonóm járművek esetén a szenzoroknak kell végrehajtaniuk. A környezet pontos felismerése és az irányítás robusztussága érdekében több, különböző működési elvvel rendelkező szenzorral szükséges felszerelni az autonóm járműveket. A szenzorok működésének összehangolása a szenzorfüzió. [1,4]

Az emberi szemhez leginkább hasonló adatgyűjtő szenzor a kamera, amely alkalmazásával a vezérlő egység felismeri a különböző színeket, formákat, ez azért is fontos, mivel a jelenleg alkalmazott közlekedési jelzések felismeréséhez ez szükséges, mivel az autonóm járművek várhatóan évekig együtt fognak közlekedni emberek vezette járművekkel, így a közúti jelzések az emberek igényeit figyelembe véve a jelenlegihez hasonlóak maradhatnak. [1]

A legmagasabb árú szenzor a LIDAR, amely a Light Detection and Ranging szavak rövidítése, a környező tárgyak távolságának megállapításához fénynyalábokat bocsát ki, ezek visszaérkezési idejét és hullámlátolódásait figyelembe véve képes meghatározni a tárgyak távolságát. Ez a szenzor adja a legpontosabb távolsági adatokat. [2]

A RADAR a radio detection and ranging szavak rövidítése, működésük alapja az elektromágneses hullámok visszaverődése a környező felületekről. Nagyobb hatótávolság eléréséhez nagyobb hullámhosszt kell alkalmazni, ez viszont rontja a felbontás részletességét. A RADAR működését az időjárás kevésbé befolyásolja. Az ultrahangos szenzorok működése a RADAR-hoz hasonló, viszont a felületek érzékeléséhez ezek hanghullámokat alkalmaznak, és kisebb hatótávolságot igénylő feladatokra alkalmazzák őket. [3]



1. ábra: A Széchenyi István Egyetem Nissan Leaf kísérleti járművének szenzorai⁹

3. V2X kommunikáció

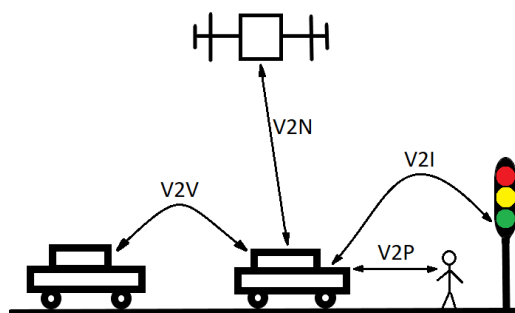
A következő fejezetekben bemutatom a V2X kommunikáció altípusait, ismertetem ezek jelentését és a belőlük nyerhető adatokat, majd a V2X kommunikáció által lehetővé tett technikai megoldásokra térek ki, melyek segítségével hatékonyabb energiafelhasználást érhet el egy autonóm jármű.

3.1. Járművek kommunikációs lehetőségei a környezetükkel

A V2X kommunikáció a Vehicle to Everything rövidítése, a jármű és a körülötte található kommunikációs lehetőségekkel rendelkező eszközök adatátvitelét jelenti. A V2X kommunikáció különböző altípusokkal rendelkezik, a V2V (Vehicle to Vehicle) kommunikáció a járművek közötti, a V2I (Vehicle to Infrastructure) a járművek és a közlekedési infrastruktúra,

⁹ Forrás: Széchenyi István Egyetem belső anyaga

a V2N (Vehicle to Network) a járművek és különböző hálózatok, a V2P (Vehicle to Person) pedig a járművek és személyek közötti kommunikációt jelentik. Ezek megvalósításához megfelelő adó-vevő egységeket kell beépíteni a járművekbe, a közlekedési infrastruktúrába, a személyekkel történő kommunikációt pedig lehetővé teheti az emberek által gyakran magukkal hordozott technikai eszközök, például a mobiltelefonok és járművek kommunikációjának megvalósítása. A V2X kommunikáció lehetővé teszi, hogy a járművek olyan információkhoz is hozzájussanak, melyeket szenzoraiuk segítségével nem tudnának összegyűjteni, mert azok kiesnek a szenzorok hatótávolságából, vagy holt térben helyezkednek el. Megkaphatják a környező járművek pontos helyét, mozgásállapotát és tervezett pályáját megadó adatokat. Az infrastruktúrától a közlekedési szabályokat és az útvonalukon létrejött forgalmi helyzetről kaphatnak információt, ezeket az autonóm járművek saját mozgásuk megtervezéséhez használhatják fel fel. [5,6]



2. ábra: A járművek kommunikációs lehetőségei környezetükkel¹⁰

3.2. A V2X kommunikáció alkalmazási lehetőségei

A V2X kommunikáció lehetőséget teremt a platooning megvalósítására. A platooning lényege, hogy az egymás mögött közlekedő gépkocsik közötti távolság minimális legyen, így a szakaszt vezető jármű kivételével a többi gépkocsi kisebb mértékű légellenállással szemben közlekedjen. Mivel az autonóm járművek döntéshozatala és az utasítások kiadása a hajtás és fékrendszer irányába kevesebb időt vesz igénybe, mint humán vezető esetén, így a járműszakaszokban a résztvevők szükséges távolsága is kisebb lehet, javítva ezzel a

¹⁰ Forrás: saját készítésű ábra

közlekedésük hatásfokát. Xie, Hu és társaik kutatásukban ilyen járműszakaszok vezérlésének fejlesztését vizsgálták a szakaszban lévő járműveket tömegekként, a közöttük lévő távolságokat rugós tagok hosszaként modellezték, az így kialakított CACC rendszerük a szimulációk során megfelelően stabilnak bizonyult. Vahidi és Sciarretta 2018-as kutatása szerint a CACC megközelítőleg 10%-os energiafelhasználás csökkenést tesz majd lehetővé. [5,7,8]

A V2I kommunikáció által biztosított lehetőségeket vizsgálták Michał Zawodny és Maciej Kruszyna lengyel kutatók. Az infrastruktúrával való kommunikáció lehetővé teszi intelligens közlekedési rendszerek (ITS) kialakítását, melyek a járművek és más közlekedők kereszteződésen való áthaladásának sorrendjét képesek rugalmas módon meghatározni, és a közeledő autonóm járműveknek előre jelezni, hogy meg kell-e majd állniuk az adott kereszteződésben, így a jármű nem lassít és fékez feleslegesen, tehát képes megtartani mozgási energiáját számára kedvező esetben, miközben a közúti biztonságot is garantálja a forgalomirányító rendszer. [9]

A V2X kommunikáció és az ITS rendszer kiépítéséhez, megfelelő működéséhez szükséges különböző kommunikációs hálózatok kiépítésére és működésére kedvezőtlen körülmények között is. A finnországi Oulu Egyetem kutatói 2022-ben az LTE és az 5G-TN hálózatokat vizsgálták sarkkörüli körülmények között. Az eredményeik alapján mindkét hálózat megfelelően működött zord körülmények között is, így ezen hálózatok alkalmazhatósága szélsőséges időjárási körülmények között is megoldható. [10]

4. Vizsgálati eljárások

A különböző járműipari problémák teszteléséhez az első lépés a fizikai elméleti háttér vizsgálata, itt célszerű különböző modelleket meghatározni, a járművek mozgásához ezek elsősorban a hosszirányú és keresztirányú járműdinamika elméleti hátterére támaszkodnak. A modellalkotás során fontos meghatározni, hogy a gépkocsi mely tulajdonságai fontosak számunkra, a többi jellemző esetén egyszerűsítéseket és elhanyagolásokat tehetünk az egyszerűbb és gyorsabb számítások lehetővé tételének érdekében. Mivel jelen kutatás az energiahatékonyság témakörében született, a járművek hajtásrendszerét, fékrendszerét, illetve veszteségeit mindenképpen figyelembe kell venni. [11]

4.1. Szimuláció

A matematikai modelleket meghatározása után ezeket különböző programok segítségével saját elvárásainknak megfelelő virtuális tesztkörnyezetekben vizsgálhatjuk meg, anélkül, hogy fizikai objektumokat kellene alkalmazni. A vizsgálatok ezen szakaszát szimulációknak nevezzük. Xie, Hu és társaik járműszakaszok vezérlését célzó kutatásukban MATLAB és Unreal Engine programokat használtak fel a szimulációik során. A MATLAB alkalmazása nagyon elterjedt a járműiparban, a program képes a valóságos teszteredményekkel közel azonos értékeket adni azok elvégzése előtt, az Unreal Engine-t a kutatók a kedvező megjelenítési lehetőségei miatt használták fel a vizsgálataikhoz. [7]

4.2. Mérések valós körülmények között

A károsanyagkibocsátás csökkentésének érdekében az elektromos járműhajtások egyre inkább előtérbe kerülnek, az Európai Unió területén 2035-től a hagyományos belsőégésű motorral szerelt gépkocsik árusítása betiltásra fog kerülni. Ezek ismeretében az autonóm járművek valós körülmények között végzett tesztjeit célszerű elektromos hajtású járművekkel végezni.

Mivel az autonóm járművek még fejlesztés alatt álló technológiákat használnak, emiatt a valós körülmények közötti méréseket először célszerű tesztpályákon, felügyelt környezetben végezni. A teszteseteket a kutatással összhangban kell kialakítani, és a tesztpályán olyan kialakítású területeket, szakaszokat kell keresni, ahol ezek megvalósíthatóak, valamint biztosítani kell a végrehajtáshoz szükséges megfelelő számú és tulajdonságú járműveket, kommunikációs eszközöket a V2X kommunikáció megvalósításához, illetve személyzetet is. Ezen tesztek során lehetőség van CAN kapcsolaton keresztül vizsgálni az autonóm járművet vezérlő program által az aktuátoroknak kiadott jeleket, illetve a kormány, fék és hajtásrendszerben fellépő nyomatókat. Célszerű GNSS rendszer alkalmazása is, hogy pontos földrajzi és magassági pozíciókat lehessen rendelni a járműtől érkező adatokhoz. [12]



3. ábra: ZalaZONE Járműipari Tesztpálya¹¹

5. Összegzés

A cikkem megírásához felhasznált dokumentumok alapján megállapítottam, hogy az autonóm járművekkel történő kutatások felépítése minden esetben az elméleti háttér megismerésével kezdődnek, ez után a modellalkotás következik, ahol meg kell határozni a járművek a vizsgálat szempontjából fontos és elhanyagolható tulajdonságait. A modellalkotás után a szimulációs fázis következik, melynek során számításokat kell végezni, melyek megmutatják, hogy célszerű-e folytatni a kutatást, és milyen eredmények várhatóak egy valós környezetben történő alkalmazás esetén. A kutatási feltételezések legfontosabb tesztelési eljárása a valós körülmények között elvégzett mérés, ennek elvégzése első körben tesztpályán célszerű, a Széchenyi István Egyetemen a ZalaZONE tesztpályával való együttműködése miatt az intézményben dolgozó kutatóknak lehetősége van ezek megvalósítására. A tesztpályához való hozzáférés által más egyetemek, kutatóintézetek és ipari szereplők által kifejlesztett megoldások tesztelése kapcsán lehetséges közös kutatási projekteket megvalósítani hazai és nemzetközi kutatókkal is a jövőben. [13]

A saját kutatásaimmal kapcsolatban az előbbi folyamat megismerése nagyon hasznos volt, mivel így képessé váltam előre meghatározni a folyamatok sorrendjét és átlátni az egymásra épülésüket. A kutatásom során célom az időjárás hatásainak megvizsgálása az autonóm járművek energiafogyasztására. A modellalkotáshoz a járműdinamika tudományágának elméleti háttérét fogom alkalmazni, így le fogom tudni írni a jármű fizikai jellemzőit a

¹¹ Forrás: Széchenyi István Egyetemért Alapítvány – ZalaZONE Járműipari Tesztpálya belső anyaga

matematika segítségével. A szimuláció során MATLAB és Simulink programokat tervezek használni, mivel az általam tanulmányozott irodalomban ezeknek a szoftvereknek a használata a legelterjedtebb. A szimuláció során pontos tesztet kell majd meghatároznom, melyet valós körülmények között is el lehet végezni. A szimulációk eredményei után meg kell majd szerveznem a tesztpályán történő tesztelést, melyet a zalaegerszegi ZalaZONE Járműipari Tesztpályán tervezek végrehajtani.

A kutatásom során tett megállapításokat, elért eredményeket tudományos cikkek formájában tervezem megjelentetni.

6. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] De Jong Yeong, Gustavo Velasco-Hernandez, John Barry, Joseph Walsh: Sensor and Sensor Fusion Technology in Autonomous Vehicles: A Review
- [2.] Sensors Volume 21, Issue 6, Pages 1 - 372 2021
- [3.] M. Nadeem Ahangar, Qasim Z. Ahmed, Fahd A. Khan and Maryam Hafeez: A Survey of Autonomous Vehicles: Enabling Communication, Sensors, 2020
- [4.] Martin Holder, Philipp Rosenberger, Vamsi Prakash Makkapati, Michael Maier, Helmut Schreiber, Zoltan Magosi, Thomas D'hondt, Zora Slavik, Oliver Bringmann, Wolfgang Rosenstiel: Measurements revealing Challenges in Radar Sensor Modeling for Virtual Validation of Autonomous Driving, 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2018
- [5.] Lindenmaier László, Aradi Szilárd, Bécsi Tamás: Szenzorfüziós algoritmusok paramétereinek hatása a járműipari környezetérzékelés megbízhatóságára és a számításkapacitás igényre, „XV. IFFK 2021” konferencia, Budapest, 2021. október 27-29.

- [6.] Petkovics Ármin, Szabó Csaba Attila, Wippelhauser András, Varga Norbert, Bokor László: A V2X járműkommunikáció alapjai, DOI: 10.36246/UL.2020.2.01
- [7.] Piyush Dhawankar, Prashant Agrawal, Bilal Abderezzak, Omprakash Kaiwartya, Krishna Busawon, Maria Simona Raboacă: Design and Numerical Implementation of V2X Control Architecture for Autonomous Driving Vehicles, Mathematics 2021, 9(14), 1696; <https://doi.org/10.3390/math9141696>
- [8.] Songtao Xie, Junyan Hu, Zhengtao Ding, Farshad Arvin: Cooperative Adaptive Cruise Control for Connected Autonomous Vehicles Using Spring Damping Energy Model, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 72, no. 3, pp. 2974-2987, March 2023, doi: 10.1109/TVT.2022.3218575
- [9.] Ardalan Vahidi, Antonio Sciarretta: Energy saving potentials of connected and automated vehicles, 2018, Transportation Research Part C 95 (2018) 822–843
- [10.] Michał Zawodny and Maciej Kruszyna: Proposals for Using the Advanced Tools of Communication between Autonomous Vehicles and Infrastructure in Selected Cases Energies 2022, 15, 6579
- [11.] Muhammad Naeem Tahir, Pekka Leviäkangas, Marcos Katz: Connected Vehicles: V2V and V2I Road Weather and Traffic Communication Using Cellular Technologies, Sensors 2022, 22, 1142
- [12.] Dr. Bereczky Ákos, Dr. Varga Zoltán: Motor és erőátviteli rendszerek mechatronikája, 2014, BME MOGI, ISBN 978-963-313-172-5
- [13.] Alia Chebly, Reine Talj, Ali Charara: Coupled longitudinal/lateral controllers for autonomous vehicles navigation, with experimental validation, Control Engineering Practice 88 (2019) 79–96
- [14.] Lengyel Henrietta, Szalay Zsolt: Környezetérzékelők tesztelésének jelentősége magasan automatizált és autonóm járművek számára, „XIII. IFFK 2019” konferencia, Budapest, 2019. augusztus 26-29.

Digitális Ikerrel támogatott gyártás

Digital Twin supported manufacturing

Korpai Richárd^a, Tomor Máté Ernő^b, Szántó Norbert^c

^a Széchenyi István Egyetem

korpai.richard@sze.hu

^b Széchenyi István Egyetem

^c Széchenyi István Egyetem

szanto@sze.hu

Absztrakt

Napjainkban a digitális transzformáció korát éljük, gyártókörnyezetben ennek egyik koncepciója a digitális iker megvalósítása. A cikk egy esettanulmányt mutat be, ami a Széchenyi István Egyetem Kiber-Fizikai Gyártórendszerek Laboratóriumában valósult meg, egy automata oktatási gyártócella és a Visual Components szoftver segítségével. A fejlesztés célja az automata fizikai folyamatok digitális ikerrel való leképezése, az adatok valós idejű feldolgozásán túl a fizikai folyamatokba való beavatkozás lehetőségének biztosításával.

Kulcsszavak: digitális iker, digitális gyártás, CPS

Abstract

Nowadays, we live in the age of digital transformation, one of the concepts in a production environment is the realization of a digital twin. The article presents a case study that was realized in the Cyber-Physical Manufacturing Systems Laboratory of Széchenyi István University, using an automatic educational production cell and the Visual Components software. The goal of the development is to map automatic physical processes with a digital twin, by providing the possibility of intervention in physical processes in addition to real-time data processing.

Keywords: digital twin, digital manufacturing, CPS

1. Bevezetés

Az ipar 4.0 kezdeményezés számos megfogalmazása ismert már más-más koncepciók mentén. Abban azonban mindenki egyetért, hogy a kezdeményezés egyik alappillére a digitalizáció. A digitalizáció térnyerésével a kiber-fizikai rendszerek kialakulásával egyre nagyobb hangsúly kerül a digitális iker szerepére. De mi is az a digitális iker? A digitális ikerpár egy olyan informatikai rendszer, amely két vagy több, a valós világban és a virtuális világban létező, azonos információkat tartalmazó modellt hoz létre. A kifejezést gyakran használják a digitalizációról, az okos gyártásról és az Ipar 4.0-ról szóló vitákban.

2. Irodalmi áttekintés

A tématerület első terminológia leírása Grieves, M.W.-től származik 2005-ből Mirrored Space Model (MSM) kifejezéssel, amelyet a NASA követett 2010-ben már a Digital Twin kifejezést használva és első definícióját megfogalmazva. A tudomány fejlődése már túlmutat a repülőgépiparon, az intelligens gyártó környezet elérése a cél, amelyben már új technológiák, felhasználási módok és a gépi tanulás módszerei is szerepet játszanak. A digitális iker kiber-fizikai rendszerben betöltött szerepe, alkalmazási módjainak szakirodalmi összefoglalása három csoportra bontható: monitorozás, életciklus elemzés és döntéshozatal. [1, 2]

Ezekből következik, hogy a korábbi felhasználási módok egyértelműen a fizikai rendszer üzemeltetésének támogatását szolgálták. Liu et. al. 2021-es digitális iker koncepció, technológia, ipari alkalmazási összefoglaló cikke alapján is alátámasztásra kerültek ezek az alkalmazási módok, az irodalomban található előfordulásuk mértékének bemutatásával kiegészítve. Ezt a szerző a Concept, Technolgy, Paradigm and Framework, Application témakökre osztja, ahol az alkalmazás alapú cikkek mennyisége a másik három kategória összességénél is nagyobb. A Digitális iker megoldások az élettartamuk alapján is csoportosításra kerültek, a Design, Manufacturing, Service, Retire, Full Lifecycle kategóriákban. Ennek konklúziója, hogy a szakirodalomban a legtöbb digitális iker megoldás csak egy életciklus fázisra összpontosít, a teljes életciklust csupán 5%-a veszi figyelembe. A leggyakoribb szakasz a gyártás és a szolgáltatás. [3]

Kitzinger et. al. 2018-as cikkében javaslatot tesz a digitális iker három alkategóriába való bontására, a tagolás kifejezetten a fizikai és a digitális rendszer közötti kommunikációs kapcsolat alapján kerül meghatározásra. A digitális modellre, a digitális árnyékra és a digitális ikerre. A digitális modellt egy már létező vagy tervezett fizikai objektum digitális változataként írható le, a digitális modell helyes meghatározásához nincs szükség automatikus adatcserére a fizikai modell és a digitális modell között. A digitális árnyék a rendszer virtuális reprezentációjaként értelmezhető. A működése a fizikai rendszer adatai alapján történik, viszont a folyamatokba nem képes beavatkozni, csak követni azt. Ebben az esetben egyirányú kommunikációról beszélünk. Gyakran az ilyen rendszereket is már hibásan digitális ikerként értelmezik. A digitális iker esetén a kommunikáció már kétirányú és adatcsere is van a rendszerek között, tehát képes beavatkozni a fizikai rendszer működésébe. Ez a beavatkozás történhet a virtuális térben bekövetkezett folyamatok eredményeként vagy akár a historikus adatokból származó predikció eredményeként is. Viszont egy ilyen beavatkozás nem történhet akárhol. A gyártó folyamatot elemezni kell és meg kell határozni azokat a pontokat, ahol a digitális iker beavatkozhat. A beavatkozásnak meg kell felelnie a biztonsági követelményeknek, tehát csakis olyan helyen alkalmazható, ahol nem veszélyezteti a dolgozó testi épségét és a rendszer üzembiztonságát. [4]

A digitális ikerhez kapcsolódó szimulációk segítségével megjósolható, hogy a fizikai ikertől milyen potenciális teljesítmény várható el a valós világban. Ezzel szemben a tervezési folyamat során jellemzően alkalmazott ideális és vélt legrosszabb esetekre kell hagyatkozni. A tényleges rendszerteljesítmény-adatok összehasonlíthatók a digitális iker adataival, így olyan öntéseket lehet hozni, amelyek hozzájárulhatnak a sikeres eredményekhez. Ezenkívül a fizikai iker adatainak a digitális ikerbe való beépítésével a mérnökök javíthatják a rendszermodelleket és ezt követően felhasználhatják a digitális iker elemzésének eredményeit a fizikai rendszer valós működésének javítására. [5]

A tématerületen számos szerző végez kutatásokat, hogy megmutassa a bennük rejlő lehetőségeket és a különböző módszereket. Padovano et. al. 2018-as cikkében a fizikai rendszerben a „virtuális szemek és kezek” kezelőinek dinamikus rendszerét mutatja be, ahol minden rendszer szolgáltatásokat állít elő és vesz igénybe az átjárhatóság érdekében, azaz heterogén és távolról elérhető webes szolgáltatásokkal rendelkezik, valamint egy köztes

szoftverrel is rendelkezik, amely lehetővé teszi a már meglévő rendszerekkel (SCADA, ERP) való interakciót. [6]

Kunath és társa 2018-ban bemutatta a gyártási rendszerek digitális iker modelljének a döntéstámogató rendszerbe való integrálásának koncepcióját és annak szerepét a rendeléskezelési folyamat támogatásában. [7].

Jeon és társa 2020-as cikkében egy olyan architektúra megvalósítását mutatja be, amely négy gyártási szakaszt foglal magába: tervezés, működés, optimalizálás és validálás, megvalósítás, ahol egy modellt hoznak létre a fizikai rendszer viselkedésének szimulálására, majd később kétirányú kommunikációt hoznak létre a valós világ (PLC) és a virtuális modell között. [8] Sierla et. al. 2020-ban egy félautomata módszert javasolnak egy ipari folyamat digitális ikrének létrehozására, amely abból áll, hogy a diagramokból információt vonnak ki és az információt grafikus formátumba konvertálják egy szimulációs modell létrehozásához, majd a folyamatadatoknak megfelelően konfigurálják és parametrizálják a szimulációs modellt, hogy egy digitális ikert kapjanak. [9]

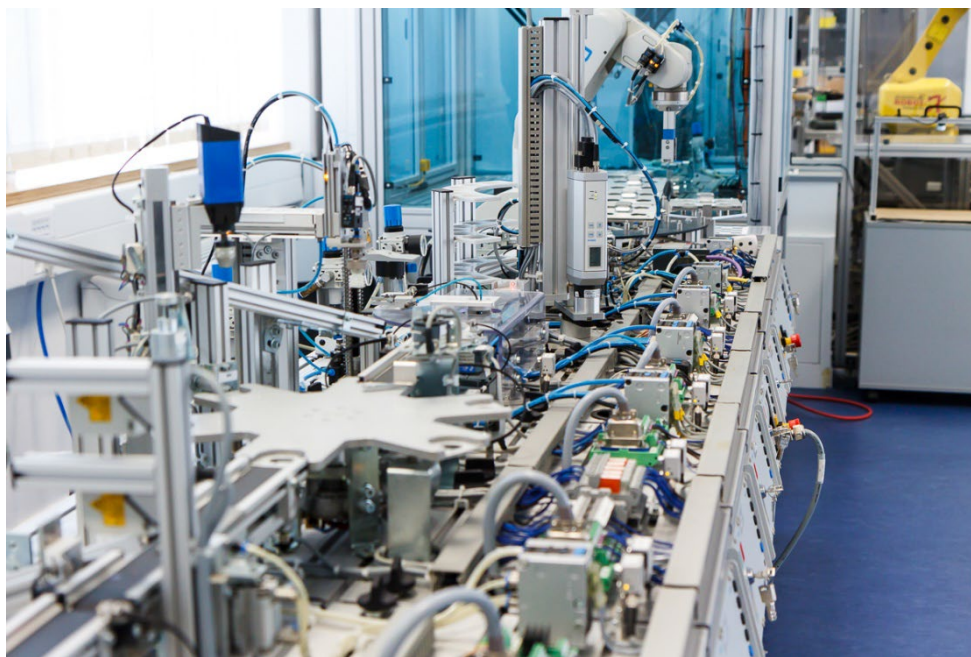
Xia et al. 2021-ben egy gyártási cella digitális ikrét javasolta az intelligens gyártás dinamikus ütemezőjének optimalizálására. Egy intelligens ütemező ágens, egy úgynevezett digitális motort fejlesztettek ki és képezték ki az optimalizálásra mély megerősítő tanulási algoritmusok (deep reinforcement learning – DRL) segítségével. [10]

A tervezés és gyártás fizikai termék ikerként Schleich et. al. 2017-es cikkében a felületmodell-forma gondolatán alapuló referenciamodellt adtak. Definiálták a modell koncepcióját, ábrázolását, megvalósítását és alkalmazását a termék teljes élettartama során. [11]

Konstantinov et. al. 2023-as cikkében az Ipari Internet Konzorcium (IIC) digitális iker szabványának jellemzőit összehasonlította a digitális iker létrehozásának jelenlegi megközelítéseivel, majd a piacon lévő digitális iker létrehozására alkalmas szoftvereket a létrehozásukhoz szükséges jellemzők alapján értékelte. [12]

3. Esettanulmány

Az esettanulmány a Széchenyi István Egyetem Kiber-Fizikai Gyártórendszerek Laboratóriumában (1. ábra) valósult meg, egy automata oktatási gyártócella és a Visual Components szoftver segítségével. A fejlesztés célja az automata fizikai folyamatok digitális ikerrel való leképezése, az adatok valós idejű feldolgozásán túl a fizikai folyamatokba való beavatkozás lehetőségének biztosításával.

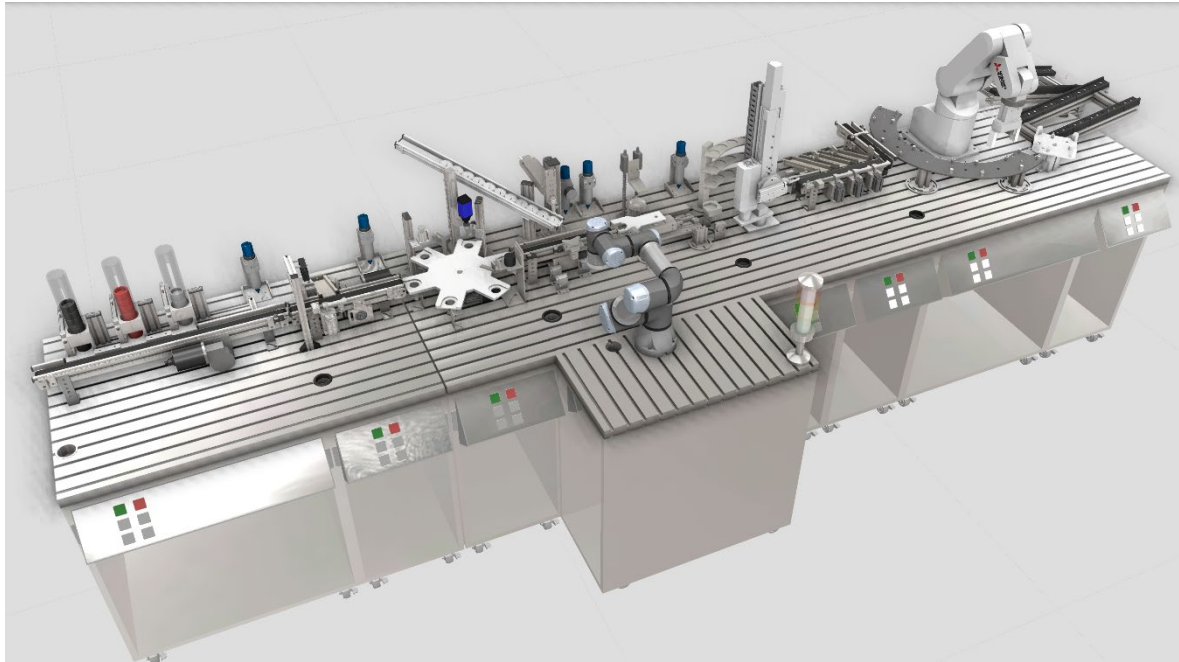


1. ábra: Automata oktatási gyártócella (saját szerkesztés)

A fizikai rendszerbe való beavatkozás lehetséges pontjainak meghatározása során elsődleges szempont a munkavédelmi előírásoknak való megfelelés és a rendszer üzembiztonságának fenntartása. Mivel egy PLC-vel vezérelt automata rendszerbe szándékozunk kívülről beavatkozni, meg kell vizsgálni, hogy az adott beavatkozás milyen reakciót vált ki a PLC-ből, így a legfontosabb feladat az irányító jelek összehangolása, a rendszer felkészítése a digitális ikerből jövő parancsok fogadására.

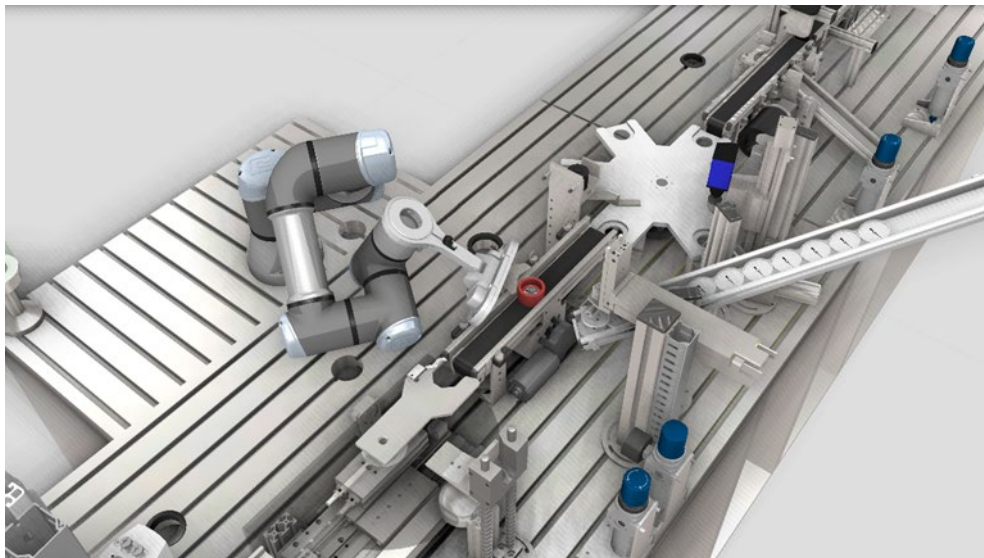
A digitális iker létrehozása során első lépés a rendszer 3D-s modelljének kialakítása, amit a Visual Componentsben egyszerűen a meglévő modellek importálásával hajtunk végre (2. ábra). Következő lépésben a modellt a fizikai rendszer működési logikája szerint kell parametrizálni, amihez elengedhetetlen az automata gyártócella működésének széleskörű ismerete. A gyártócella a digitális ikerrel OPC UA protokollon keresztül kommunikál, ahol a PLC az OPC

UA szerver, a Visual Components a kliens. A kommunikáció során a szerver elérhetővé teszi az összes szenzoradatot és olyan előre specifikált rendszerleíró paramétert, ami feltétele a valós idejű működésének. Abban az esetben, amikor a szerverből jövő adatok alapján üzemel a virtuális rendszer, azt csak digitális árnyéknak nevezzük, mert a kétirányú adatküldés nem valósul meg.



2. ábra: Digitális modell a Visual Componentsben (saját szerkesztés)

Az automata rendszerben meghatározott beavatkozási pont egy pick&place munkahely, ahol a mozgatás feltétele a termék és a beépülő alkatrész megléte. Ez a feltételrendszer került kiegészítésre egy digitális folyamattal, így a PLC csak akkor hajtja végre a tevékenységet, amikor minden feltétel adott, viszont ebből az egyik a digitális folyamatok eredményeként jön létre. Ez a folyamat 3. ábrán látható, amint az UR robot a szállítószalagon lévő piros termék állapotát (szerelhető/nem szerelhető) és a beépülő alkatrész (óralap) meglétét ellenőrzi a rá szerelt kamerával. Az ellenőrzés befejeztével a digitális iker jelet küld a PLC-nek, a kiegészített feltétel teljesüléséről. A digitális folyamat eredménye lehet egy egyszerű időzítő, vagy akár egy komplex folyamat is. Komplex folyamatok esetén akár egy virtuálisan megjelenő munkahellyel való kiegészítés is lehetséges, ami a későbbi gyártócella fejlesztést, munkahelyek folyamatba illesztését támogatja, egyszerűsíti.



3. ábra: Virtuális robotos munkahely a Visual Componentsben (saját szerkesztés)

Ezáltal megvalósul a rendszerek közötti kétirányú kapcsolat, így tényleges digitális iker jön létre, ahol a virtuális rendszer nemcsak követi és leképezi a folyamatokat, hanem a fizikai rendszer működésébe be is avatkozik. Fontos kiemelni, ha digitális iker üzemzerű létrehozásáról beszélünk, akkor annak kialakítása során nemcsak a virtuális oldali folyamatokat kell megvalósítani, hanem az egész rendszerre kiterjedő komplex elképzeléssel és ismerettel kell rendelkezünk és elengedhetetlen, hogy egy ilyen együttműködésre a fizikai rendszerünket is felkészítsük.

4. Összegzés

Az esettanulmányban leírtak szerint egy közel valós idejű szabványos protokollon alapuló, kétirányú kommunikációval rendelkező digitális iker került megvalósításra olyan szoftverkörnyezetben, ahol a digitális szinten meghozott döntések a fizikai rendszerbe való valós beavatkozásokkal járnak.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP221-NKTA-48 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP221-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] M. W. Grieves: “Product Lifecycle Management: The New Paradigm for Enterprises,” International Journal of Product Development, vol. 2, no. 1-2, pp. 71–84, 2005.
- [2.] E. Glaessgen and D. Stargel, “The Digital Twin Paradigm for Future NASA and US Air Force Vehicles,” in 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference 14th AIAA, p. 1818, 2012.
- [3.] M. Liu, S. Fang, H. Dong, and C. Xu, “Review of Digital Twin About Concepts, Technologies, and Industrial Applications,” Journal of Manufacturing Systems, vol. 58, pp. 346–361, 2021.
- [4.] W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes, and W. Sihn, “Digital Twin in Manufacturing: A Categorical Literature Review and Classification,” IFAC PapersOnLine, vol. 51, no. 11, pp. 1016–1022, 2018.
- [5.] A. M. Madni, C. C. Madni, and S. D. Lucero, “Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering,” Systems, vol. 7, no. 7, 2019.
- [6.] Padovano, A.; Longo, F.; Nicoletti, L.; Mirabelli, G. A Digital Twin based Service Oriented Application for a 4.0 Knowledge Navigation in the Smart Factory. IFAC-Pap. 2018, 51, 631–636.
- [7.] M. Kunath, H. Winkler, “Integrating the digital twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process,” Procedia CIRP vol.72, pp.225-231, 2018.
- [8.] Jeon, S.M.; Schuesslbauer, S. Digital twin application for production optimization. In Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Singapore, 14–17 December 2020; pp. 542–545.
- [9.] Sierla, S.; Sorsamäki, L.; Azangoo, M.; Villberg, A.; Hytönen, E.; Vyatkin, V. Towards semi-automatic generation of a steady state digital twin of a brownfield process plant. Appl. Sci. 2020, 10, 6959.

- [10.] K. Xia, C. Sacco, M. Kirkpatrick, C. Saidy, L. Nguyen, A. Kircaliali, R. Harik, A digital twin to train deep reinforcement learning agent for smart manufacturing plants: Environment, interfaces and intelligence, J. Manuf. Syst. 58 (2021) 210–230.
- [11.] Schleich, B.; Anwer, N.; Mathieu, L.; Wartzack, S. Shaping the digital twin for design and production engineering. CIRP Ann. 2017, 66, 141–144.
- [12.] Konstantinov, Sergey, Hansen, Jesper de Oliveira, Assad, Fadi, Ahmad, Bilal, Vera, Danial A. and Harrison, Robert (2023) An analysis of the available virtual engineering tools for building manufacturing systems digital twin. In: 30th CIRP Life Cycle Engineering Conference, New Brunswick, New Jersey, 15-17 May 2023. Published in: Procedia CIRP (116). pp. 570-575

Az autonóm járművek hálózat optimalizálási szempontjai: Kihívások és jövőbeli irányok

Future challenges and directions of Autonomous Vehicles in the aspect of network optimization

Unger Miklós

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

unger.miklos@ga.sze.hu

Absztrakt

Az olyan globális megatrendek, mint az urbanizáció, a népességnövekedés és a kialakulóban lévő hálózati megoldások felgyorsítják a hálózatba kapcsolt és autonóm járművek (CAV) iparágának fejlődését. A CAV-okkal kapcsolatban sok igazság, néhány tévhit, őszintén szólva, még nagy a felhajtás is mivel ez egy divatos felkapott téma.

A jelen tanulmány fő célja, hogy átfogó áttekintést adjon, kiküszöbölje a tévhiteket és felvázolja az autonóm járművek hálózatoptimalizálási szempontjainak jövőjét, a különböző multidiszciplináris módszerek, a kooperatív észlelés bemutatásával. Tekintettel a CAV-okkal kapcsolatos kiterjedt tapasztalatainkra, az a célunk, hogy megosszunk néhányat az általunk szerzett megfigyelésekből és ismeretekből, valamint releváns felhasználási eseteket és kísérleti eredményeket.

Kulcsszavak: Hálózat optimalizálás, autonóm járművek, CAV

Abstract

Current global trends like the rapid growth of cities, increasing population, and the emergence of advanced network solutions are driving the progress of the Connected and Autonomous Vehicles (CAVs) industry. However, public perception about CAVs is mixed, with both accurate information and misunderstandings, and sometimes exaggerated claims.

The main purpose of this paper is to offer a thorough assessment of the CAVs domain, rectify any misconceptions, and envision the future of network optimization in autonomous vehicles. This will be achieved by presenting a range of interdisciplinary approaches, such as cooperative perception. Leveraging our extensive expertise in the field of CAVs, our aim is to share valuable insights and knowledge we have acquired. This includes relevant use-cases and experimental results to support our findings.

Keywords: Network optimization, autonomous vehicles, CAV

1. Bevezetés

A kooperatív érzékelés számos módon képes jelentősen javítani az autonóm járművek teljesítményét. Először is, a környezetre vonatkozó információk megosztásával az autonóm járművek teljesebb és pontosabb képet kaphatnak a környezetükről. Másodszor, a kooperatív érzékelés segíthet csökkenteni az egyes érzékelők korlátait, például a zajt, vagy segítheti a környezetében lévő objektumok érzékelését a több forrásból származó információk egyesítésével, azaz a szenzor fúzióval. Ez a tanulmány a CAV-ok hálózatoptimalizálásának kihívásait és jövőbeli irányait kívánja megvitatni, főleg az olyan alkalmazásokra koncentrálva, amelyek a több jármű vagy eszköz közös együttműködését teszik lehetővé. A hálózatoptimalizáció különféle technikákat, megközelítéseket és optimális gyakorlatokat foglal magában a hálózat teljesítményének felügyeletére, kezelésére és javítására. A hálózatoptimalizáció hagyományos kérdései közé tartozik a megbízhatóság, sávszélesség, kihasználtság és teljesítmény [1].

2. A jelenlegi kutatások áttekintése

a. Autonóm járművek

Az autonóm járművekkel foglalkozó közösség egyetért abban, hogy manapság egy autonóm jármű körülbelül 10 GB adatot szolgáltat percenként. Ez az adatmennyiség gyors tárolást és átvitelt igényel. A jelenlegi adatvezérelt korszakban a nagyméretű adathalmazok ösztönzik a kutatást és fejlesztést ezen a területen. Számos elérhető adatkészlet létezik, például a KITTI adatkészlet, Oxford RobotCar, Waymo Open Dataset, Argoverse, Boreas Dataset, USyd Dataset és így tovább. Ezek kizárólag egyjárműves adathalmazok, de vannak többjárműves mérések is, amelyek esetében az eredmények általában szimuláltak, mint például a Cooperative Driving Dataset esetében.



1. ábra: Az autonóm járművek fajtái (saját szerkesztés)

A 2010-es években, az autonóm járművek kezdeti időszakában a forgó 16-64 csatornás LiDAR-ok jelentették a legkorszerűbb távolságérzékelési megoldást. Az elmúlt 10 évben a LiDAR-érzékelőkkel kapcsolatos szabadalmak száma megháromszorozódott. Ugyanebben az időszakban a LiDAR technológia ára is jelentősen csökkent. Bár az értékesítési volumenek nőttek, ez az árcsökkenés nem a tömegtermelés eredménye volt. Ennek valószínűbb oka, hogy maga a technológia fejlődött, a gyártási technológia változott. A szilárdtest LiDAR ennek a technológiai váltásnak az egyik legkiemelkedőbb eredménye. A szilárdtest LiDAR-nak nincsenek mozgó alkatrészei, de a látómezője rögzített. A szilárdtest LiDAR-ok bevezetése jelentősen megnövelte ezen érzékelők élettartamát is. Mivel nincsenek mozgó alkatrészek, a szilárdtest LiDAR várhatóan 100 000 órát is kibír. Ezzel szemben egy forgó LiDAR jellemzően 1000-2000 órát fut [2].

Az autonóm járművek fejlesztésének egyik legújabb trendje a célzottan épített járművek. Ez azt jelenti, hogy léteznek olyan járművek, amelyeket úgy terveztek, hogy autonómok legyenek, és amelyeknek még kormánykerékük sincs, ahogy az az 1. ábrán látható. Ez bizonyos esetekben szimmetrikus kialakítást is lehetővé tesz (pl. Zoox, Cruise). A szimmetrikus kialakítás azt jelenti, hogy nincs elülső rész, a jármű kéttengelyes kormányzással mindkét irányba képes haladni. Ez azt is jelenti, hogy kevesebb különböző alkatrészt kell tervezni vagy gyártani.

b. Gépi tanulás a CAV-oknál

Az elmúlt évtized technológiai fejlődése új távlatokat nyitott az autonóm vezetés lehetőségei tekintetében. A számítási teljesítmény drámai növekedése és néhány régóta létező ötlet újszerű alkalmazása új kutatási hullámot indított el a mesterséges intelligencia területén, és természetes következménye volt, hogy az összekapcsolt járművek meglévő problémái is profitáltak ebből a mesterséges intelligencia-boomból. Ahhoz, hogy megértsük, hogyan járulhat hozzá a mesterséges intelligencia a cél eléréséhez, tisztázni kell a kapcsolódó fogalmakat. A robotnavigáció alapvetően geometriai és szemantikai környezetérzékelést igényel a valós világgal való sikeres interakcióhoz és navigációhoz. Ez elvezet bennünket a 3D-s megjelenítés nagyobb gondolatához, ami az oka annak, hogy a járműveket érzékelőkkel szerelik fel. Egyetlen robot esetében ez a feladat sokkal egyszerűbb a szenzorok közötti ismert statikus transzformációk és a szenzorbeállítások miatt. Több jármű esetén a probléma több rétegű bonyolultságot jelent, mivel azok egymáshoz képest mozognak, és a más járművekre szerelt érzékelőktől kapott információk nem mindig hasznosak, mivel azok pontossága az információ típusától függhet a távolságtól és a szögtől. Itt jön a képbe a mesterséges intelligencia, pontosabban a szemantikus helyszíntkiegészítés. A szemantikus jelenetkiegészítés (SSC) a rekonstrukció egy olyan típusa, ahol a geometria mellett a szemantikára is következtetni kell, és ez mind a látott, mind a nem látott régiók esetében megtörténik. Mivel a mélytanulás képes tárolni a tanult előzményeket, ezek hihetetlenül hasznosnak bizonyulnak az említett emberi képesség megismétlésében, amely képes az elfedett területekből következtetni [5].

c. Keretrendszer a CAV-okhoz

Az autonóm és összekapcsolt járművek esetében az összekapcsolhatósági keretrendszer olyan szabványos kommunikációs protokollként definiálható, amely lehetővé teszi az infrastruktúra és a járművek új elemeinek zökkenőmentes integrációját. Az összekapcsolt járművek elterjedése szükségessé tette a különböző összekapcsolt elemek közötti szabványos kapcsolódási keretrendszerek kialakítását. Mivel nincs általánosan elfogadott, szabványos csatlakoztathatósági keretrendszer, számos nyitott kutatási téma van ezen a területen. A legtöbb ilyen megközelítés kiindulópontként az adatelosztási szolgáltatást (DDS) használja. A DDS egy publish-subscribe típusú adatelosztó rendszer specifikációja. A rendszer célja egy

platformfüggetlen modell létrehozása az adatkezeléshez. Ezek az adatkezelési megoldások publishereket és feliratkozókat alkalmaznak az adatkezeléshez. A Publisher felelős az adatok közzétételéért. A publisher ugyanígy felelős a megfelelő időközönkénti helyes adatértékek kiadásáért. Az subscriber vagy a feliratkozó fogadja az eredetileg közzétett adatokat, és a felhasználó által kért formátumban teszi azokat elérhetővé. A publisher és a subscriber különböző, akár távoli rendszereken is megvalósítható. A DDS alkalmazására jó példa a Robot Operating System 2 (ROS 2). A ROS 2 alapértelmezés szerint a DDS-t használja middleware-ként. A ROS 2 egy széles körben elfogadott és alkalmazott szoftver a robotok fejlesztéséhez, és az autonóm járművek fejlesztésének, de facto szabványává vált. Nyílt forráskódú szoftverkönyvtárakból áll, amelyek az önvezető járművek területén gyakori problémákra és feladatokra kínálnak sokféle eszközt és megoldást. A ROS-rendszer a ROS-csomópontok közötti adatmegosztáshoz TCP és UDP átvitelt is használhat, de a hálózati használat optimalizálása érdekében az UDP protokollt széles körben használják a ROS-felhasználók.

A DDS-en alapuló alkalmazások feltörekvő tendenciát mutatnak, és bár, mint korábban említettük, nem hivatalos szabvány, de a kutatás-fejlesztés esetében a hálózatba kapcsolt önvezető járművek területén általános megoldásként elfogadott [8].

3. A nyitott kutatási kérdések

d. A v2x és az 5g technológia párhuzamos használata

A V2X (Vehicle-to-Everything) kifejezés a különböző kommunikációs technológiákra utal, amelyek lehetővé teszik, hogy a járművek kommunikáljanak egymással és környezetükkel. Ide tartoznak az olyan technológiák, mint a jármű-jármű (V2V), a jármű-infrastruktúra (V2I) és a jármű-gyalogos (V2P) kommunikáció. A DSRC (Dedicated Short-Range Communication) a V2X (Vehicle-to-Everything) technológia egy típusa, amely lehetővé teszi, hogy a járművek egymással és környezetükkel rövid hatótávolságú vezeték nélküli kommunikáció segítségével kommunikáljanak. A DSRC a rádióspektrum egy dedikált részét (5,9 GHz-es sáv) használja a kommunikációhoz, és elsősorban olyan biztonságkritikus alkalmazásokhoz tervezték, mint az ütközésselkerülés és a sávváltást segítő rendszerek [3].

e. Technikai problémák megoldása a CAV-ok fejlesztéséhez

Az idősinkronizálás a kommunikációs rendszerek fontos szempontja, mivel lehetővé teszi a különböző eszközök számára, hogy összehangolt módon koordinálják tevékenységüket és információt cseréljenek. Az 5G (ötödik generációs) mobilhálózatokban az idősinkronizálás hardveres és szoftveres megoldások kombinációjával valósul meg.

Az 5G hálózatokban az idősinkronizálással kapcsolatos egyik lehetséges probléma az, hogy az 5G magas adatátviteli sebessége és alacsony késleltetési követelményei miatt kihívást jelenthet a pontos idősinkronizálás fenntartása. Ennek oka, hogy az 5G hálózatokban a kommunikációs események időzítését gyakran a nagy sebességű adatok küldése és fogadása határozza meg, amelyet különböző tényezők, például zaj és interferencia befolyásolhatnak [4].

f. Automatikus Ad-hoc hálózat és az adatok relevanciája

Munkánk során a bemutatott forgatókönyvek (pl. CAV, drón, közlekedési lámpák) valamennyi résztvevője közötti kommunikációs útvonalakat a hálózati berendezések kézi konfigurálásával hoztuk létre. Mivel a forgatókönyv előre meghatározott volt, a résztvevők számáról és a szükséges kommunikációs útvonalakról előre rendelkezésre állt az információ, ezért egyszerű volt olyan hálózati topológiát kialakítani, amely minden követelménynek megfelel, és a különböző kommunikációs technológiák kihasználása szempontjából is optimális [6].

Amikor a V2X-rendszerek telepítésre kerülnek, és az utakon zajló élő forgalom segítésére fogják használni, ezek az információk nem állnak majd rendelkezésre, mivel a kialakuló forgalmi helyzet szereplői és a szükséges kapcsolati útvonalak nem ismertek előre. A hálózati topológiát és ezeket az útvonalakat automatizált módon, gyakran nagyon rövid időn belül kell létrehozni, amint a szóban forgó forgalmi helyzet kibontakozik, és amint a helyzet megoldódik, azonnal le kell bontani [7].

4. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Y. Han, H. Zhang, H. Li, Y. Jin, C. Lang and Y. Li, “Collaborative Perception in Autonomous Driving: Methods, Datasets and Challenges,” arXiv, 2023.
- [2.] R. Qian, X. Lai and X. Li, “3D Object Detection for Autonomous Driving: A Survey,” Pattern Recognition, vol. 130.
- [3.] W. Zhou, J. S. Berrio, C. De Alvis, M. Shan, S. Worrall, J. Ward and E. Nebot, “Developing and Testing Robust Autonomy: The University of Sydney Campus Data Set,” IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 12, no. 4, pp. 23-40, 2020.
- [4.] E. Arnold, S. Mozaffari and M. Dianati, “Fast and Robust Registration of Partially Overlapping Point Clouds,” IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 7, pp. 1502-1509, 2021.
- [5.] L. Roldão, R. de Charette and A. Verroust-Blondet, “3D Semantic Scene Completion: A Survey,” International Journal of Computer Vision, vol. 130, no. 8, pp. 1978-2005, 2022.
- [6.] Q. Chen, X. Ma, S. Tang, J. Guo, Q. Yang and S. Fu, "F-Cooper: Feature Based Cooperative Perception for Autonomous Vehicle Edge Computing System Using 3D Point Clouds," in Proceedings of the 4th ACM/IEEE Symposium on Edge Computing, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, 2019, pp. 88-100.
- [7.] D. Kim and J. Kim, “Analysis of Several Sparse Formats for Matrices used in Sparse-Matrix Dense-Matrix Multiplication for Machine Learning on GPUs,” in 2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju Island, Korea, Republic of, 2022.
- [8.] W. Woodall, “ROS on DDS,” 2022. [Online]. Available: https://design.ros2.org/articles/ros_on_dds.html. [Accessed 12 December 2022].

Nemzetközi kitekintés az 5G technológia terjedésével kapcsolatban

International outlook in terms of the spread of 5G technology

Vastag Tímea

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

vastag.timea@ga.sze.hu

Absztrakt

A technológia fejlődése a szolgáltatók és gyártók szemszögéből sokszor nem egyezik a felhasználók elképzeléseivel vagy elvárásaival. A fogyasztók technológia elfogadása nagyon sok tényezőtől függhet, amelyekkel a piaci szereplőknek számolni kell egy-egy bevezetés során. Jelen tanulmány röviden összefoglalja a mobilpiac és 5G technológia terjedésével kapcsolatban publikált piackutató elemzések nemzetközi eredményeit. A mobilhálózatok egyes fejlődési szakaszainak bemutatásával kezdődik, ahol az egyre inkább megjelenő felhasználói igényekkel párhuzamba állítja a technológiát. Ezt követően a mobil hálózatok terjedésének globális előrejelzését mutatja be. Végül pedig a fogyasztók mobileszközökre vonatkozó preferenciára hoz példát.

Kulcsszavak: 5G, mobileszköz, fogyasztói preferenciák

Abstract

From the point of view of service providers and manufacturers, technology development often needs to match the ideas or expectations of users. Consumers' acceptance of technology can depend on many factors, which market players must consider during each implementation. This study briefly summarizes the international results of market research analyses published concerning the spread of the mobile market and 5G technology. It begins with the presentation of certain stages of development of mobile networks, where it draws a parallel between the technology and the increasingly emerging user needs. It then presents global predictions of the spread of mobile networks. Finally, it gives examples of consumers' preferences for mobile devices.

Keywords: 5G, mobile devices, consumer's preferences

1. Bevezetés

Az innovatív szolgáltatások és eszközök nélkülözhetetlenek a fejlődéshez. A telekommunikációs szektorban dolgozó szolgáltatók és gyártók nagy reményeket fűznek az olyan trendekhez, mint a virtuális valóság, a mesterséges intelligencia vagy a tárgyak internete.

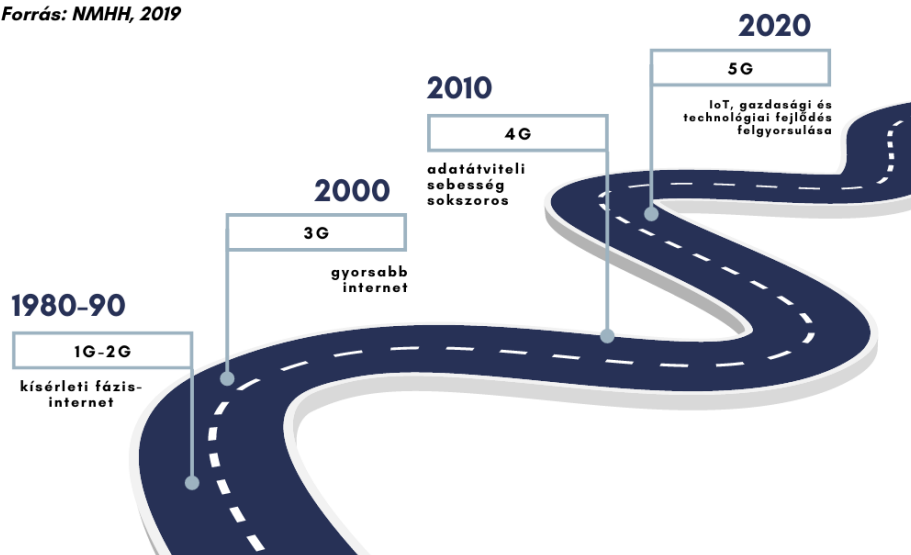
A fejlesztések és azok előnyei vajon eljutottak már a fogyasztókhoz? Tisztában vannak azzal, hogy milyen előnyöket tudnak kovácsolni az 5G technológia használatából? Többek között ezekre a kérdésekre ad választ ez a rövid tanulmány. A mobilhálózatok fejlődésének történetétől kezdve, a rendelkezésre álló piackutatói tanulmányok felhasználásával bemutatja az 5G nemzetközi terjedésének előrejelzését, valamint a felhasználók preferenciát a mobileszközökre vonatkozóan.

2. A mobilhálózatok terjedése

Az NMHH 2019-ben közzétett tanulmányában részletesen leírja a mobilhálózatok fejlődésének különböző állomásait (lásd 1. ábra). A mobil kommunikáció az 1980-as években, amikor még csak 1G és 2G volt ismert hangközpontú volt. Ekkor az internet még nem volt elterjedt, többnyire kísérleti fázisban volt. A 3G a 2000-es évek elején került bevezetésre, ekkor már az internet is elérhető volt a háztartásokban. Sajnos a 3G adatátviteli képessége nem tudta tartani a lépést a növekvő igényekkel, ezért 2010 körül megjelent a 4G, ami már a sokszorosára növelte az adatátvitelt. A 2020-ban berobbanó 5G ehhez képest még gyorsabb sebességet biztosít, lehetővé téve nem csak a zavartalan internetezés, de a korábban elképzelhetetlen streamelés és egyéb vizuális szórakoztató funkciók elérését [1]. A különböző nagyobb eseményeknél is elengedhetetlen a magas szintű technológiai fejlettség és a gyors mobilhálózat így fokozva a fogyasztói élményt [5]. A technológia terjedésének és elfogadásának nem csak a fogyasztói oldal, hanem az oktatásban alkalmazott módszerek is meghatározó szerepet játszanak [6].

Mobil hálózatok fejlődése

Forrás: NMHH, 2019



1. ábra: Mobilhálózatok fejlődése [1]. Készült a canva szoftver segítségével.

2021 végére 5,3 milliárd ember fizetett elő mobilszolgáltatásra, ami megközelítőleg a világ populációjának 67%-át teszi ki. A legtöbb felnőtt korú lakos már rendelkezik mobiltelefonnal, ami azt jelenti, hogy a jövőbeni növekedést a fiatalabb korosztályokból kikerülő felhasználók fogják biztosítani. A GSMA 2022-ben közzétett előrejelzése szerint a 2025-ig tartó időszakban 400 millió új előfizető várható.

2021-ben a telekommunikációs szektor 4,5 billió dollárt termelt, ami globálisan a GDP 5%-át jelenti. 2025-re a predikciók szerint ez a szám közel 5 billió dollár lesz, ahogy az országok egyre inkább felismerik majd a fejlesztésekből származó előnyöket. Az 5G várhatóan valamennyi gazdasági ágazat hasznára válik majd és a globális gazdaság ebben az időszakban, a szolgáltatásokkal és gyártással tapasztalják majd a legnagyobb hozzáadott értéket [2].

A 2. és 3. ábrán a különböző hálózatok terjedésének előrejelzése látható földrészenként 2025-re vonatkozóan. A 2G teljesen eltűnik, míg a 3G már alig lesz jelen Európában, csak a 4G és 5G lesznek elérhetőek. Az Ázsiai régióban a 4G fog dominálni, akárcsak Latin-Amerikában. Észak-Amerikában pedig az 5G lesz a legtöbb területen elérhető. Afrikában várhatóan a 3G mellett még a 2G is jelen lesz [2].



2. ábra: A mobilhálózatok terjedésének előrejelzése 2025-re [2]

	<i>Európa</i>	<i>Ázsia</i>	<i>Észak-Amerika</i>	<i>Latin-Amerika</i>	<i>Afrika</i>
2G	0%	8 %	2%	3%	10%
3G	5%	9%	4%	18%	57%
4G	51%	69%	31%	68%	29%
5G	44%	14%	63%	11%	4%

3. ábra: Mobilhálózatok megoszlása 2025-re [2]

3. Fogyasztói preferenciák mobil eszközökre vonatkozóan

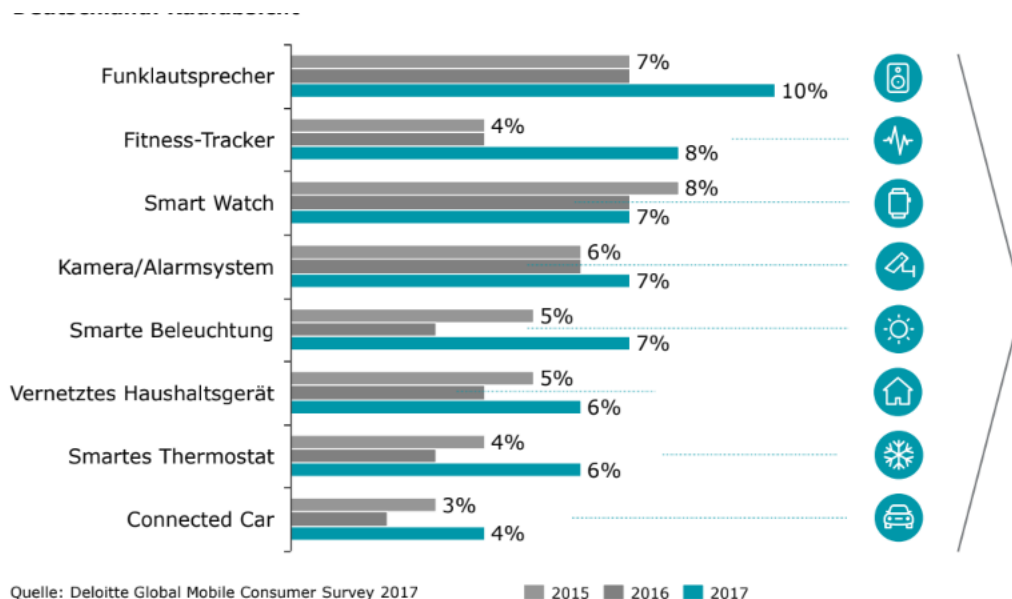
A Global Mobile Consumer Survey [3]. megvizsgálta a mobiltelefonhasználók használati szokásait, háztartási felszereléseiket és nyitottságukat az újabb technológiákra.

Csak Németországban több mint kétezer fogyasztót kérdeztek meg, világszerte pedig több mint ötvenháromezeret.

A tanulmány eredményei azt mutatták, hogy az 5G-re fogadtatása nagyon eltérő a felhasználók körében. A hangasszisztent, mint beépített funkciót ritkán használják, és a mesterséges intelligencia mobilalkalmazásai gyakran még mindig ismeretlenek. A negatív trend azonban megtört a fogyasztói IoT eszközök megjelenésével. Ezt mutatja az is, hogy az e-mail versenyez a WhatsApp & Co. -val, és az okostelefon videoeszközzé fejlődik. Az elemzés során világossá vált, hogy a mobilkommunikációs iparág fejlődési dinamikája továbbra is magas, de már nem éri el a korábbi évek szintjét. A fogyasztók már nem fogadnak el azonnal minden trendet és megkérdőjelezik a kínált hozzáadott értéket. Ez egy állandó evolúciós folyamat a bevált szolgáltatások között. Ez különösen egyértelművé válik az okostelefon példáján, amely egyre inkább a központi fogyasztói eszköznek minősül azáltal, hogy mindenki számára elérhető. A csatlakoztatott és hordható okoseszközök száma észrevehetően növekedni fog a következő években.

Az intelligens otthonra való igény is jelentősen emelkedni fog az előrejelzések szerint.

A jövőben a platformok közötti átjárhatóság további hozzáadott értéket és biztonságot fog jelenteni a felhasználó számára. A 4. ábrán néhány hordható és csatlakoztatható okoseszközök iránti kereslet növekedését mutatja [3].



4. ábra: Okoseszközök iránti kereslet változása 2015-2017 között

2022 júniusában került publikációra egy riport [4], amiben az angol piacon az okostelefon használók fogyasztói magatartását vizsgálták abból a szempontból, hogy váltanak-e operációs rendszert készülékváltáskor. Általánosságban elmondható Angliában is, Írországhoz hasonlóan az Apple és a Samsung a két legnépszerűbb márka. Az adatgyűjtés kérdőíves lekérdezéseken keresztül valósult meg, 2244 fő részvételével. Ezen kívül 20 mélyinterjút folytattak le a kutatók annak érdekében, hogy megértsék a motivációkat a váltások esetén.

Az eredmények az Apple felhasználók körében azt mutatták, hogy vásárlás során számukra a legfontosabb a brand (66%), valamint a kijelző mérete és minősége (47%). Ezzel szemben az Androidot választóknak fontosabb volt a kijelző mérete és minősége, 56%-uk tette az első helyre ezt a két tulajdonságot. Szorosan utána az ár (54%), kamera minősége (51%) és az akkumulátor minősége (50%) következett, mint döntéshozásnál fontos szempont. Az Iphone felhasználók 90%-ának volt korábban is Iphone-ja, míg 8%-uknak volt csak Android telefonja. Az Android felhasználók 91%-ának volt korábban is Android telefonja, és csak 5%-ának Iphone-ja. Az Iphone tulajdonosok 83%-ának van legalább egy másik Apple terméke. Ezzel

szemben az Android birtokosok 75%-ának semmilyen iOS alapú terméke nincs. Azok a felhasználók, akik fontolóra vették a váltást, de végül maradtak az eredeti operációs rendszerénél azért nem váltanak, mert több eszközük is van, ami ugyanazzal az operációs rendszerrel működik. Összességében, akik a váltás mellett döntöttek, elégedettek voltak, mind a két irányban történő csere esetén.

4. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Péter, Kollár: 3G kivezetés. Egy újabb lépés a mobil hálózatok modernizációja felé. Nemzeti Média - és Hírközlési Hatóság (2019).
- [2.] GSMA: The Mobile Economy, (2022).
- [3.] Deloitte: Global Mobile Consumer Survey 2017 – Mobile Evolution Ausgewählte Ergebnisse für den deutschen Mobilfunkmarkt (2017).
- [4.] Accent: Consumer purchasing behaviour in the UK smartphone market for the CMA's Mobile Ecosystems Market Study, The Final Report (2022).
- [5.] Eisinger-Balassa, B., & Gábora, B. (2014). Az EYOF 2017-ben rejlő potenciál kiaknázása. Nemzetek turizmusa, 228-250.
- [6.] Eisingerné, B., & Rámháp, Szabolcs. (2019). Projektalapú oktatás a Széchenyi Egyetem Menedzsment Campusán a Lean Service Creation (LSC) módszer adaptálásával, In: Koltai, László (szerk.) Hazai és külföldi modellek a projektoktatásban. Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar pp. 384-397. , 14 p.



TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2021

Nemzetvédelem, nemzetbiztonság alprogram – Katonai rendszerek tűrőképességének kutatása a Széchenyi István Egyetemen

TKP2021-NVA-23

Támogatási összeg: 1 600 000 000 Ft

Támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2022.01.01. – 2025.12.31.

Projektismertető:

A Tématerületi Kiválósági Program 2021 projekt célkitűzése a Katonai rendszerek tűrőképességének Kutatása az alábbi területeken:

1. Katonai rendszerek tűrőképességének/állóképességének (resilience) meghatározása, elméleti kutatása
2. 3D Digitális hadszíntér
3. 3D technikák alkalmazása védelmi rendszerekben
4. Hibrid-elektromos meghajtású könnyű páncélozott földi és pilóta nélküli légi járművek elektromos meghajtás tűrőképességének kutatása

A tervezett kutatás alapján olyan módszer kidolgozására kerül sor, amely meghatározza egy létező rendszer tűrőképességét. A tűrőképesség indicator meghatározásánál figyelembe veszi mind a belső, mind a külső körülmények nem megjósolható (unpredictable) változásának a lehetőségét. Létrejön a rendszerek tűrőképességi (resilience) tulajdonságának modellje és módszertana, amely támpontot ad olyan fejlesztésekhez, amelyek csökkentik a rendszer kiszolgáltatottságát. A 3D Digitális hadszíntér koncepcióba illeszkedve olyan alternatív valóság (VR/AR) rendszerek jönnek létre, amelyek lehetővé teszik a távoli hadszíntér előzetes felmérését. A 3D Digitális hadszíntér koncepcióhoz illeszkedve kiválasztásra kerülnek és elkészülnek a vizualizációs humán interfészek. A digitális tartalmak térbeli és időbeli összehangolásának biztosításával előáll a digitális harctéri információmenedzsment és kollaboráció, amely megvalósított verzióját széles körben bemutatjuk. A 3D technológiák

alkalmazása védelmi rendszerekben kutatási területen belül különböző fegyverek, védelmi eszközök elemeinek konstrukciós és rekonstrukciós optimalizálása kerül kidolgozásra, korszerű 3D technikák előnyeinek kihasználása céljából. A 3D technikákon alapuló védelmi rendszerekhez kapcsolódóan új védelmi eszközök prototípusai jönnek létre, amelyek alkalmasak ipari alkalmazására. Új, 3D rekonstrukción alapuló diagnosztikai és vizsgálati módszertan jön létre, amely védőburkolatok és fegyverek esetében is alkalmazható. Az elektromos hajtások tűrőképességénél létrejön a kiterjesztett laboratóriumi eszközpark és vizsgálati módszertan, amely a kutatás céljainak megfelelően támogatja a specifikált túlterhelések vizsgálatát és szimulációját. A villamos hajtások esetében létrejön a rendszerek tűrőképességének, adatszimulációs, prediktív elemzésére alkalmas laboratóriumi rendszer és módszertan, amelyet több valós hajtás esetén is bemutatunk.

Energiahatékony versenyjármű ablaktörlő berendezése

Energy-efficient race car wiper equipment

Basa András

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

basa.andras@ga.sze.hu

Absztrakt

A Járműipari Kutatóközpontban eltöltött gyakornokságom alatt egy energiahatékony versenyjármű fontos kiegészítő berendezésével foglalkoztam, nevezetesen az ablaktörlőjével. Mivel ez egy városi koncepció versenyjármű, ezért fontos részegysége ez a berendezés, hiszen a valódi élet körülményeit reprezentálva, itt is kulcsfontosságú a megfelelő látás biztosítása. Az előző megoldás hátrányait és előnyeit mérlegelve haladtam a fejlesztés során, törekedve a tökéletes végeredmény eléréséhez. Fő célkitűzés a törlési felület megnövelése volt, különböző lapát és ablaktörlő kar alkatrészekkel. Magát a munkafolyamatot gyakorlati szemszögből közelítettem meg, az elméleti részeket kiváltottam a koncepciók élesben való tesztelésével. A kész eredményt követően arra jutottam, hogy szükségessé vált az ablaktörlő motor újbóli megválasztása, tekintettel a megnövekedett forgatónyomatékra. A fejlesztést a Járműipari Kutatóközpont munkatársai körében végeztem.

Kulcsszavak: verseny, ablaktörlő lapát, motor, insert

Abstract

During my internship at the Vehicle Industry Research Center, I dealt with the important additional equipment of an energy-efficient racing vehicle, namely its windshield wiper. Since this is an urban concept racing vehicle, this equipment is an important part of it, as it represents the conditions of real life, ensuring proper vision is crucial here as well. I progressed during development by considering the advantages and disadvantages of the previous solution, striving to achieve the perfect end result. The main objective was to increase the wiping surface with different blade and wiper arm parts. I approached the work process itself from a practical point of view, replacing the theoretical parts with live testing of the concepts. After the finished result, I came to the conclusion that it became necessary to choose the wiper motor again, considering the increased torque. The development was carried out with the help by the staff of the Vehicle Industry Research Center.

Keywords: race, wiper blade, motor, insert

1. Bevezetés

Az elektromos járművek fejlődése és elterjedése a fenntartható mobilitás egyik fontos lépése a környezetvédelem és az energiahatékonyság terén. Az energiahatékony versenyjárművek tervezése és fejlesztése kiemelkedő jelentőséggel bír, hiszen céljuk, hogy minél nagyobb távolságot tudjanak megtenni a rendelkezésre álló energia mennyiségével.

Az egyik kulcsfontosságú terület lehet az elektromos járművek energiafelhasználásának csökkentése az ablaktörlő berendezés fejlesztésével. Az ablaktörlő rendszer optimális kialakítása és működése kiemelten fontos a járművek hatékonysága szempontjából.

2. A versenyről

A Shell Eco-maraton egy nemzetközi verseny, amelyben a résztvevő csapatoknak az a céljuk, hogy a lehető legnagyobb távolságot tegyék meg a legkevesebb üzemanyaggal vagy energiával. A versenyen elektromos, belsőégésű, hidrogénhajtású és más energiatakarékos járművek vesznek részt. A versenyre nevező csapatok saját járműveket építenek és optimalizálnak, hogy a lehető legjobb hatékonyságot ériék el. A verseny két fő kategóriában zajlik: Prototype és UrbanConcept. A Prototype kategóriában a csapatok ultra-könnyű és áramvonalas járműveket terveznek, míg az UrbanConcept kategóriában valós közúti autókat alakítanak át energiatakarékos és környezetbarát járművekké. [1.]

A versenynek az az alapelve, hogy a csapatoknak nagyon kevés energiafelhasználással kell megtennie a lehető legnagyobb távolságot. A versenyzők stratégiákat alkalmaznak, hogy optimalizálják a sebességet, a motor teljesítményét és a jármű aerodinamikáját, hogy minél hatékonyabb legyen az energiafelhasználás.



1. ábra: A 2023-as verseny egyik győztes csapata, a SZEnergy Team (saját szerkesztés)

A Shell Eco-maraton nemcsak a versenyzésről szól, hanem az energiatudatosság és a fenntartható közlekedés népszerűsítéséről is. A versenyen résztvevő csapatok fiatal mérnökökből és diákokból állnak, akik új technológiákat és innovatív megoldásokat hoznak létre az energiahatékonyság terén. A verseny törekvései hozzájárulnak az energiahatékony közlekedési megoldások és fenntartható mobilitás előmozdításához. A verseny inspiráló platformot kínál a fiatal tehetségeknek, hogy fejleszthessék kreativitásukat és mérnöki készségeiket a fenntartható közlekedés területén.

3. A fejlesztés menete

A SZEnergy Team SZEmission nevű versenyjárművének ablaktörlő berendezés fejlesztését az előző konstrukció szemügyre vételezésével kezdtem. Igyekeztem minden hátrányt fellelni és kiküszöbölni, amíg az előnyöket a lehető legjobban megtartsam. Miután sikerült meghatározni a fontosabb lépéseket, kezdett a munka körvonalazódni, konkretizálódott a terv.



2. ábra: Egyedi formával – domborúsággal – rendelkező szélvédő (saját szerkesztés)

4. A megfelelő lapát megválasztása

A domború szélvédővel rendelkező versenyjármű ablaktörlő lapát választásánál számos tényezőre kellett figyelni annak érdekében, hogy megfelelően működjön és hatékonyan törölje le az esőt vagy az esetlegesen rákerülő egyéb szennyeződések.

A domború szélvédő miatt a lapát mérete és alakja különösen fontos. Olyan lapátot kell választani, amely illeszkedik a szélvédő domborulatához, hogy egyenletes nyomást gyakoroljon az egész felületre a teljes lapáthosszon. A lapát hossza is megfelelő kell legyen, hogy lefedje a szélvédő lehetőleg minél nagyobb területét.

A lapát anyagának kellően rugalmasnak kell lennie ahhoz, hogy kövesse a szélvédő görbületeit és tökéletesen érintkezzen vele. Ez segít elkerülni a csíkokat vagy hagyományos lapátoknál jelentkező "ujjnyom" hatást. Az ablaktörlő lapát anyagának tartósnak és időjárásállónak kell lennie. A lapátnak ellenállnia kell az UV-sugárzásnak, az esőnek, a hónak és más környezeti hatásoknak, hogy hosszú élettartamot és megbízható működést biztosítson.

A kiválasztás során fontos volt több lehetőséget megvizsgálni annak érdekében, hogy a lehető legjobb megoldást tudjam kiválasztani. A HELLA lapátok esetében az optimális hossz és szerkezeti felépítés hiánya aggodalomra adott okot. A rövid lapátok hatékonysági hiányosságokat okozhatnak, míg a szerkezeti kialakítás nem garantálja az optimális érintkezést és nyomást a szélvédő felületén.



3. ábra: Hella ablaktörlő lapát (saját szerkesztés)

Hasonló volt a helyzet a VALEO lapátok esetében is, de ezeknél a törlő-gumi anyagminősége sem volt megfelelő, túlságosan tapadt a szélvédőhöz, meggátolva azt, hogy az ablaktörlő motor törlést tudjon vele végezni. Elmondható, hogy ezeknél a lapátoknál a számunkra rossz szerkezeti kialakítás abban valósult meg, mikor az optimális törlési felület elérése érdekében túlságosan odaszorított lapát nem tudott funkcionálni, beragadt a törlő mozgás, hiszen a motor felé túl nagy forgatónyomaték-igény lépett fel.

Ezek után a BOSCH Aerotwin lapát kiemelkedett az optimális hossz és a kiváló minőségű szerkezeti felépítés révén. A lapátok precíz illeszkedése a szélvédőhöz biztosította a megfelelő törlési felületet, a csíkok elkerülését, továbbá kisebb zajterhelést produkált. Az ár-érték arány versenyképes, amely erősíti választásom ésszerűségét.



4. ábra: A választott lapát (BOSCH AEROTWIN) (saját szerkesztés)

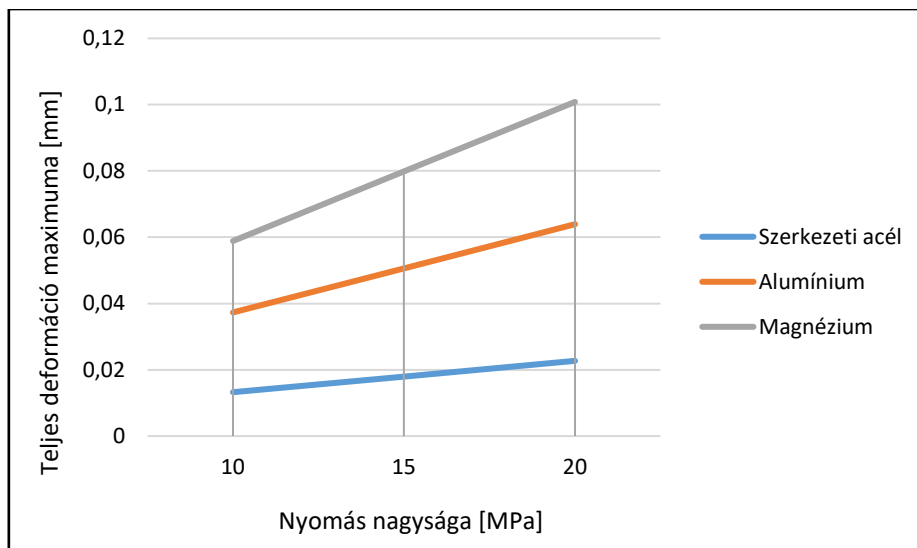
A BOSCH lapát kiválasztása tehát alátámasztott döntés hatékonyság, tartósság és ár összefüggésében. Fontos továbbá megbízható és minőségi lapátot választani egy ismert/elismert gyártótól. Ez segít abban, hogy olyan terméket kapjunk, amely hosszú távon is kiváló teljesítményt nyújt.

5. Veszélyes keresztmetszet

A lapát szélvédőhöz való szorítása nagy erő kifejtést igényel, ami az ablaktörlő kar és a mozgató tengely találkozásánál lép fel. Az előző, összenyomott rúdvég sajnos a nem tervezett hajlítás melege volt, hiszen a kedvezőbb kör keresztmetszetet felváltotta az elhajlásnak kedvező irányítottaságú téglalap alakzat.

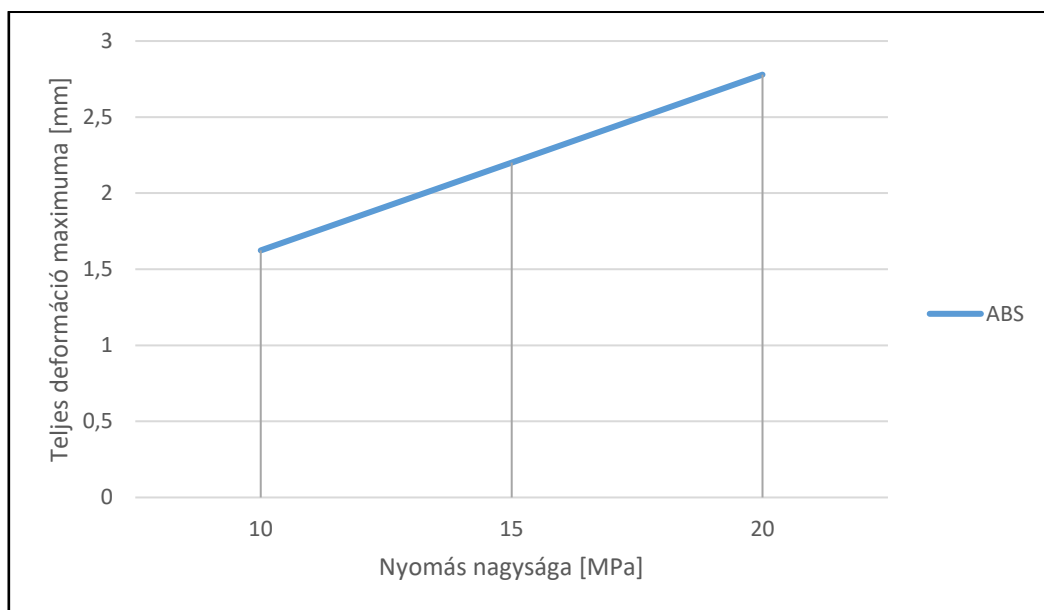
Az insert tervezésénél szükséges volt különböző anyagok viselkedésének vizsgálata, szimulálása. A szimuláció során 4 féle anyagot futtattam le, különböző szempontokat figyelembe véve, mint például a tartósság, merevség, ár.

A szimuláció eredményeit diagramon ábrázoltam:

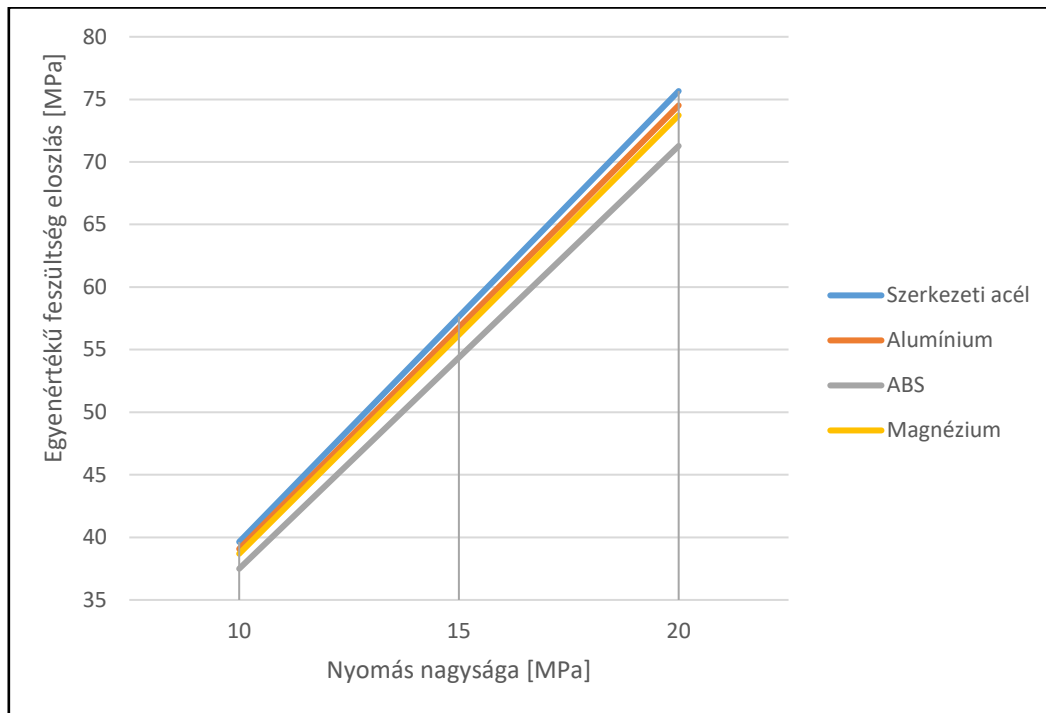


5. ábra: Deformáció-nyomás diagram (saját szerkesztés)

Mivel az ABS az eredményeivel a fenti diagramot túlságosan eltorzította volna, így ezt külön volt szükséges ábrázolni.



6. ábra: Deformáció-nyomás diagram (ABS) (saját szerkesztés)



7. ábra: Egyenértékű feszültség eloszlás-nyomás diagram (saját szerkesztés)



8. ábra: A legyártott acél insert (saját szerkesztés)

Fontosnak tartottam ezt a veszélyes keresztmetszetet kiküszöbölni egy acél inserttel, mely ellenáll a rázkódásoknak és alakváltozása is nagyságrenddel kisebb. Az alumínium egy lehetséges megoldásnak bizonyulhat, hiszen könnyebb és a tömeg kritikus szempont, de a használat során fellépő erőhatásoknak kevésbé állna ellen, mint az acél. Az ABS is pont emiatt került ki a lehetőségek közül. Végeredményben pedig az árat vettem figyelembe, ahol szintén az acél bizonyult megfelelő választásnak, kiváló ár-érték aránnyal.

Ahogy a 8. ábrán is látható, az alkatrésznek két fő része van. Az egyik a lapolt hengervég, ahol a főmozgást nyújtó tengelyvéghez csatlakozik csavarkötéssel. A másik a hornyokkal ellátott, könnyítő furatot magába foglaló rúdvég, amire ragasztásos kötéssel csatlakozik fel az ablaktörlő kar. (9. ábra)



9. ábra: Insert - könnyítő furattal (saját szerkesztés)

6. További fejlesztési irány

Miután sikerült egy, a versenybíráknak is elfogadhatónak mondható szélvédő törlést kialakítani, be kellett látni, hogy a megnövekedett lapáthossz nagyobb törlési nyomatókot igényel, hiszen e nélkül nem lehet tökéletes a törlési folyamat. Rendkívül nagy a motorválasztási paletta, így nem lesz nehéz feladat ezt a részt is javítani. Fontos, hogy alacsony fogyasztással rendelkezzen, illetve integrálható legyen a jármű elektromos hálózatába.

7. Összegzés

Ennek a projektnek a során nyilvánvalóvá vált, hogy egy aprónak tűnő alkatrész milyen nagy jelentőséggel bír: hibás működése esetén a jármű - mondhatni - mozgásképtelenné válik a verseny szabályainak köszönhetően. Az energiahatékony versenyjármű ablaktörlő rendszerének fejlesztése rendkívül fontos az elektromos járművek hatékonysága szempontjából. A Shell Eco-maraton is inspirációt nyújt az ilyen típusú fejlesztésekhez, ahol csapatok versengenek az energiahatékonyság terén. A megfelelő ablaktörlő lapát és motor kiválasztása az ablaktörlő rendszer hatékonyságának maximalizálásában és az energiafelhasználás minimalizálásában kulcsfontosságú tényezők.

8. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Hancz Gábor: Világcsúcs és két arany: tarolt a Széchenyi-egyetem Európa legnagyobb energiahatékonysági versenyén.

Energiahatékony versenyautó elektronikai szerelőpaneljének tervezése

Engineering of a service panel for electronics in an energy efficient race car

Für Balázs^a, Gulyás Péter^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

fur.balazs@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

gulyas.peter@ga.sze.hu

Absztrakt

A SZEenergy Team Szemission energiahatékony versenyjármű elektronikai szerelőpaneljének tervezésekor, a 2023-as Shell Eco-marathon szabályzatnak való megfelelés volt a legfontosabb szempont. Emellett a panel fejlesztése is előtérbe került, mely a tömeg, a merevség és a szerelhetőség optimalizálására fókuszált. A tervezésben az Autodesk Inventor 2023-as program beépített, végelem módszerrel használó moduljai nélkülözhetetlenek bizonyultak, ugyanis ezek segítségével sikerült egy, a korábbi konstrukciónál kisebb tömegű és könnyebben szerelhető terméket létrehozni.

Kulcsszavak: szerelőpanel, végelem módszer, energiahatékony

Abstract

The main consideration during the engineering of a service panel for electronics for the energy efficient race car of SZEenergy Team, SZEmission, were it's compliance with the 2023 rules and regulations of Shell Eco-marathon. Furthermore the development of the service panel was also in focus, which meant the optimization of it's weight, stiffness and serviceability. During the development of design of the service panel, the integrated finite element moduls of Autodesk Inventor 2023 were irreplaceable, as they helped achieve an all around improvement, compared to the previous version.

Keywords: service panel, finite element method, energy efficient

1. Bevezetés

Az elektronikai szerelőpanel amiatt valósult meg a SZEnergy Team SZEmission nevezetű versenyjárművében, mert az elektronikai komponensek szerelése időigényes feladat volt, és a versenyképesség növelése miatt szükségessé vált a szervízidők csökkentése. A szerelőpanelen található a jármű elektronikai rendszerének több mint 80 %-a. A rendszer kompaktága miatt a szerelés teljessége elvégezhető a járművön kívül, azaz a kedvezőtlen szerelési pozíciók mellőzhetők, ezzel csökkentve a munkálatok időigényét. Azonban, a 2023-as évre szóló Shell Eco-marathon szabályok szerint az addigi konstrukció nem lett volna a szabályoknak megfelelő (Shell Eco-Marathon 2023 Official Rules Chapter I). Ezért a szerelőpanel revíziójánál elsősorban a szabályoknak való megfelelés volt a cél, azonban a fejlesztésre is nagy hangsúly került. A fejlesztések célja a tömeg, a merevség, és a szerelhetőség paramétereinek javítása. Az új konstrukció miatt egy új vízzáró burkolatot is kellett tervezni a panelhez, mivel a vízhatlanság szintén szükséges a szabályoknak való megfeleléshez (*Shell Eco-Marathon 2023 Official Rules Chapter I*).

2. Általános tervezés

A szabályváltozás szerelőpanelt is érintő cikkelyei szerint, az akkumulátornak zárt tálcában kell elhelyezkednie, mely nem alumíniumból, vagy félfémes anyagból készült. Továbbá az akkumulátor tűzfalhoz való rögzítése nem lehet gyúlékony anyagból, és kifejezetten tiltva van a tépőzárás felfogatás. Az akkumulátor a korábbi konstrukcióban az alumínium lemezből készült szerelőpanelen helyezkedett el, és tépőzárral volt a tűzfalhoz rögzítve, vagyis nem felelt meg az új szabályozásnak. (*Shell Eco-Marathon 2023 Official Rules Chapter I*) Az eltérő anyagválasztási feltételek miatt az eddigi egy lemez helyett az új koncepció két lemezt használ. Az egyik lemez az elektronikát rögzíti, míg a másik az akkumulátor megfelelő tárolásáért felelős. Ez a megoldás kisebb tömegű, ráadásul a szerelhetőséget is elősegíti, mivel nem szükséges az akkumulátor kiemelése az elektronika szervízeléséhez.

Az akkumulátor rögzítésére több opció is megvalósult, a szabályzat bizonytalan fogalmazása miatt. Az első módszer egy alumínium ragasztószalaggal körbetekert heveder, míg a második egy acélsodrony, mely kötéskapoccsal került összehúzásra, a harmadik pedig egy fém gyorskötöző volt. A három módszer közül a sodronyos megoldás lett megvalósítva, mivel

könnyen oldhatónak és megfelelően szorosnak bizonyult. Ezen megoldások a tűzfalhoz rögzítik az akkumulátorokat, így kell a kapcsolat a tűzfalhoz. Ennek megoldásaként egy pár szemescsavar jó megoldásnak ígérkezett, ugyanis mindhárom opció alkalmazható volt vele.

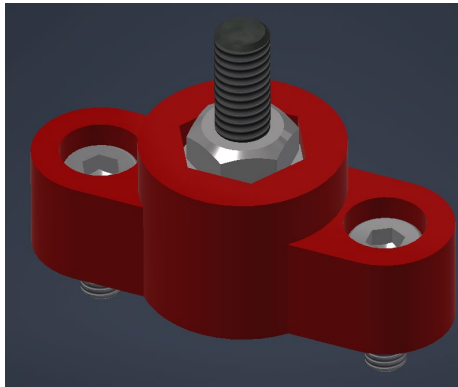


1. ábra: Az akkumulátor acélsodronnyal és kötélkapoccsal rögzítve (saját szerkesztés)

A szervizelési idő csökkentése, és a szerelőpanel geometriájának jelentős változtatása révén a panel felfogatását is újra kellett gondolni. A tűzfalhoz való rögzítés a tűzfalba helyezett menetes betétekbe csavart, hatlapú apa-apa távtartókkal lett megoldva, míg magának a panelnek a rögzítése szárnyas anyákkal történt. Mivel a tervezés megkezdésekor tudni lehetett, hogy kelleni fog egy új vízzáró burok is, ezért a felfogatási pontokból kettő úgy lett kialakítva, hogy alkalmas legyen a vízzáró burkolat rögzítésére is. A közös rögzítési pontoknak, a távtartóknak és a szárnyasanyáknak köszönhetően mind a szerelőpanel, mind a vízzáró burok kiemelése szignifikánsan kevesebb időt vesz igénybe.

A szerelőpanel geometriájának kialakításához elsősorban az elektronikai komponensek pozíciójának meghatározására volt szükség. A korábbi konstrukcióhoz képest, egy jóval kompaktabb elrendezést sikerült kialakítani. Ez annak is köszönhető, hogy elektronikai stud-ok lettek alkalmazva a vezetékek csatlakoztatásához, melyek kis helyigénnyel és tömeggel rendelkeznek, valamint szerelhetőség szempontjából is előnyösek. Szükséges volt még a kábelvezetés megtervezése, melynek köszönhetően a kábelrögzítők furatait lehetett meghatározni.

A studok kialakításánál is fontos szerepet játszott a szerelhetőség, ezért a studok legfontosabb eleme, a csavar, amelyre a kábeleket rögzítik, oldható, és ennek okán cserélhető. Érintésvédelmi megfontolásból a rögzítő csavarok furatai süllyesztve kerültek kialakításra, ezáltal csökkentve a rövidzárlat kockázatát. Továbbá a csavar elemelkedik a panel felületétől, ezzel szigetelést biztosítva.



2. ábra: A stud modellje (saját szerkesztés)

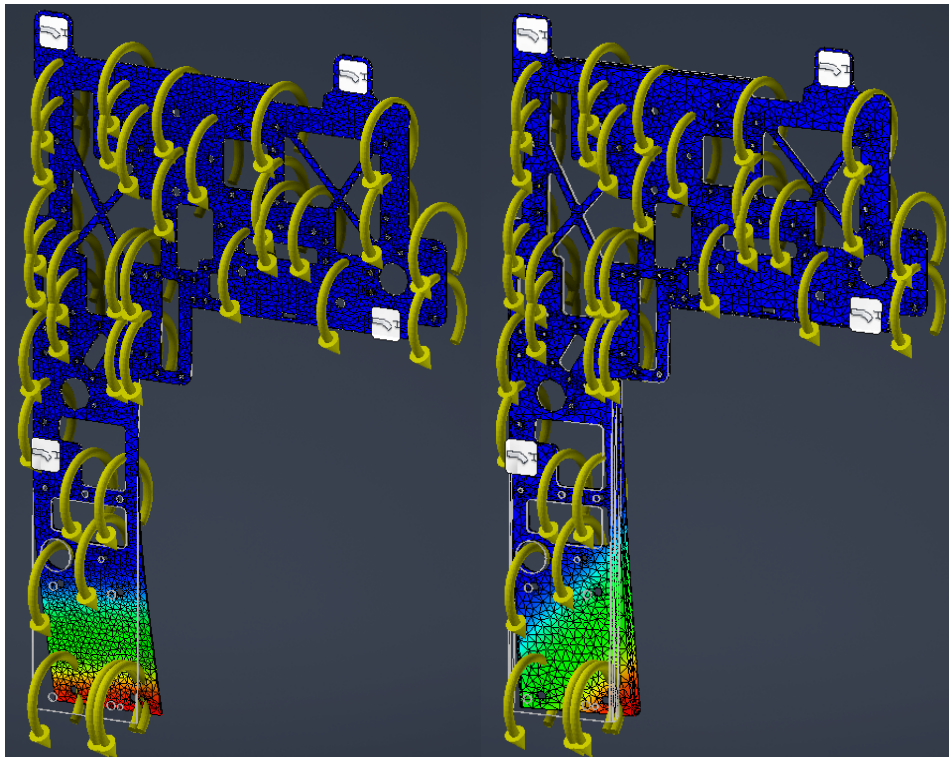
A szerelőpanel tömegének csökkentését nem lehetett topológiai optimalizálással megvalósítani, a komplex geometria miatt, mely túlzottan korlátozó peremfeltételek bevezetését okozta volna. Ezen okból kifolyólag a tömegcsökkentést manuálisan kellett elvégezni. A kivágások elsősorban a kisebb igénybevételű zónákban helyezkednek el. A korábban említett tervezési szempontok, valamint a tömegcsökkentés eredménye a 3. ábrán látható geometria.



3. ábra: A szerelőpanel kialakítása a komponensek elrendezése, és a tömegcsökkentés után (saját szerkesztés)

3. Végeselem módszerrel történő tervezés

A szerelőpanel lemezvastagsága végeselem módszeres szimulációval került meghatározásra. A szimulációk eredményéből adódóan az 1 mm-es lemezvastagság optimális választás tömeg és merevség szempontjából. A végleges geometria kialakítását követően a merevség növelése érdekében két koncepció került mérlegelésre. Az első koncepció keretében a lézervágott lemez vizsgálatára került sor, míg a második esetben a lemez hosszabb, folytonos élei 90°-ban lehajtásra kerültek. (Cipto et al., 2019)



4. ábra: A lehajtás nélküli (balra), és lehajtással ellátott (jobbra) panel végeselem vizsgálatának elmozdulásai (saját szerkesztés)

A lehajtás nélküli panelnek a legnagyobb elmozdulása kicsivel több mint 5 mm, míg a lehajtással ellátott panel maximális elmozdulása mindössze 0,4 mm. Az elmozdulások drasztikus különbsége miatt a másodjára vizsgált geometria került megvalósításra.

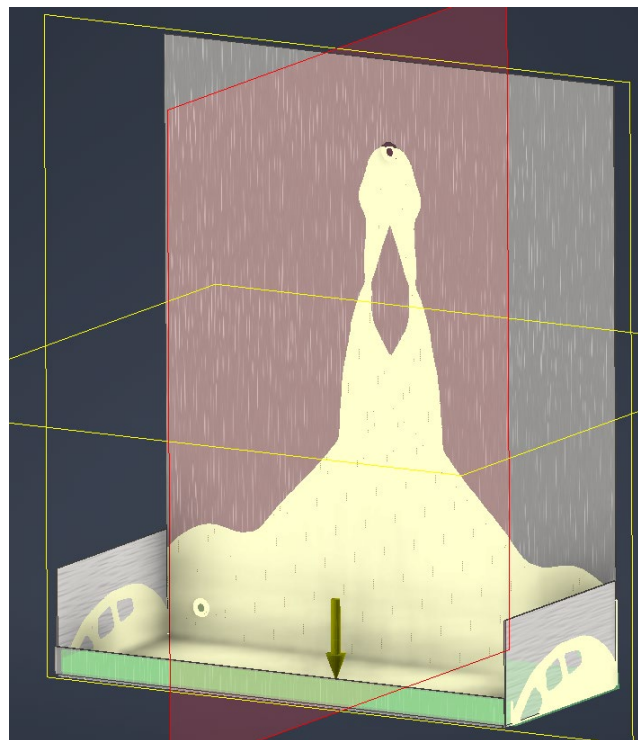
Az akkumulátor tálca vastagsága szintén végeselemes szilárdsági vizsgálatok által lett meghatározva. Ezen vizsgálatok eredménye alapján, 1 mm-es lemezvastagság lett meghatározva. A szabályzatban foglaltak szerint, a tálca anyaga acél, tömegének csökkentése érdekében nagyrészt topológiai optimalizálással lett kialakítva az alakja (*Shell Eco-Marathon*

2023 Official Rules Chapter I). Az optimalizálás kiindulópontja, egy elnagyolt, 3 felfogatási ponttal rendelkező modell volt. (Oleksii Lopakov et al., 2021)



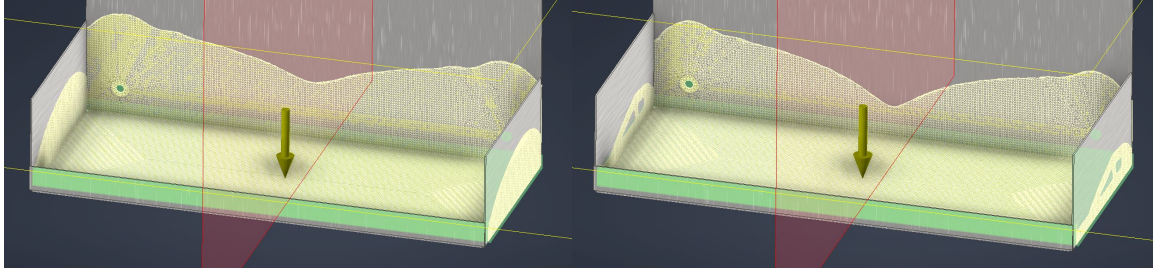
5. ábra: A topológiai optimalizálás kezdeti modellje (saját szerkesztés)

Az elnagyolás elsősorban az optimalizálás könnyítése végett volt szükséges, a 3 felfogatási pont pedig a biztosabb rögzítés okán. Az első optimalizálás 50 %-os tömegcsökkentéssel, és 3-as hálózási felbontással készült. Az eredményből már látszott, hogy a legfelső furat elhanyagolható mértékben hat az alkatrész merevségére, tehát nélkülözhető.



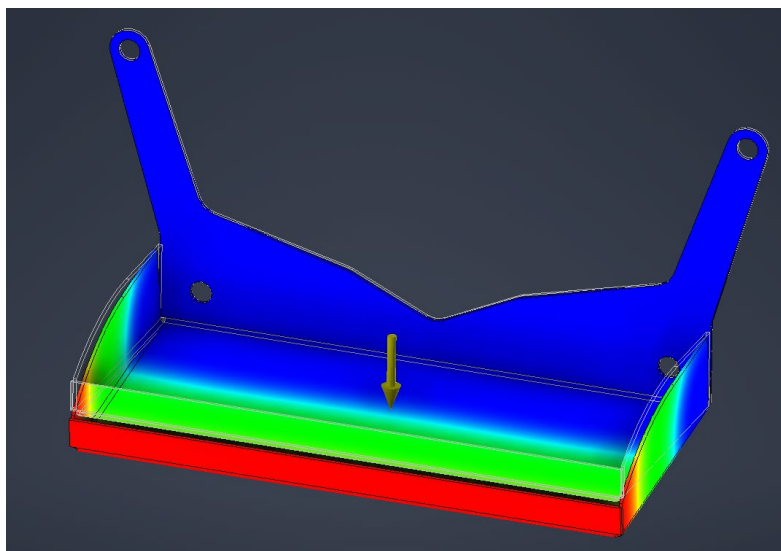
6. ábra: Az első topológiai optimalizálás eredménye (saját szerkesztés)

Emiatt a további szimulációk a felső rögzítési pont nélkül készültek. A következő szimuláció 60 %-os tömegcsökkentéssel és változatlan hálózasi felbontással készült. Ezt követően még egy 65 %-os tömegcsökkentéssel is készült optimalizálás.



7. ábra: A második szimuláció (balra), és a harmadik szimuláció (jobbra) eredménye (saját szerkesztés)

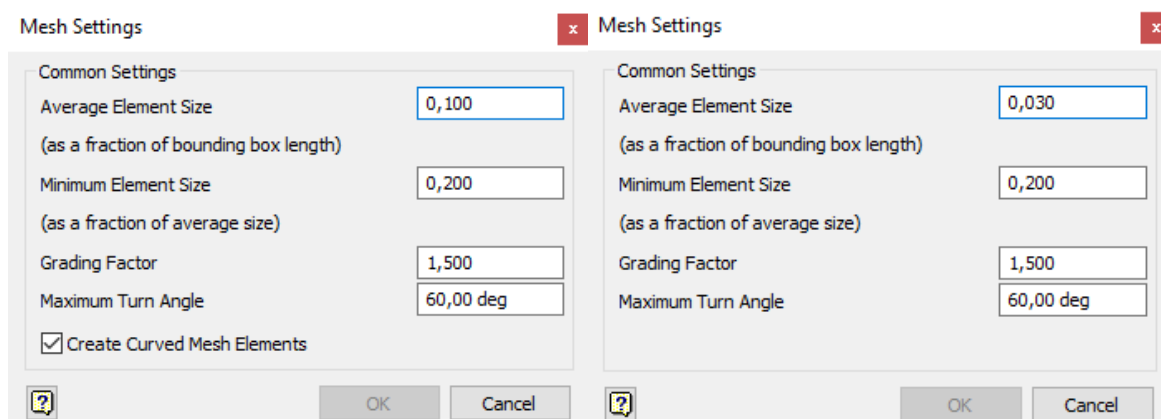
Az akkumulátor tálca formája végül ezen két szimuláció eredményének keveréke lett. A hátsó panel alakja a 65 %-os tömegcsökkentéssel készült szimuláció alapján lett kialakítva, míg oldalfalai a 60 %-os tömegcsökkentéssel készült alak alapján lettek meghatározva. Az oldalfalak amiatt lettek nagyobbra hagyva, hogy amennyiben nem elég merev a tálca, lehessen hegesztani, vagy ragasztani, illetve azért, hogy biztosan megfeleljen a szabályzatban megfogalmazottaknak (*Shell Eco-Marathon 2023 Official Rules Chapter I*). A végleges geometria még kiegészült két nyúlvánnyal, melyeken egy-egy furat helyezkedik el. Ezeknek a furatoknak rögzítési funkciója nincs, pusztán a korábban említett akkumulátor rögzítéshez szükséges szemescsavarok tájoló furatai. A tálca méretei úgy lettek kialakítva, hogy az elérhető legnagyobb akkumulátor is beférjen. A végleges geometria kialakítása után, egy ellenőrző szilárdsági vizsgálat is készült. (Oleksii Lopakov et al., 2021)



8. ábra: A szilárdságtani ellenőrzés szerinti elmozdulás

Az ellenőrzés alapján a maximális elmozdulás $\sim 2,5$ mm. Annak figyelembevételével, hogy a terhelés értéke háromszorosa a legnagyobb akkumulátor tömegének, az alkatrész szilárdságilag megfelel.

A végelem módszerrel történő szilárdságtani vizsgálatok és topológiai optimalizálások az Autodesk Inventor 2023 program beépített végelem moduljával készültek. A hálózások beállításai a szimulációk során ugyanazok maradtak, a részletes beállítások a 9. ábrán láthatóak.



9. ábra: A szilárdságtani ellenőrzések (balra), és a topológiai optimalizálás (jobbra) hálózási beállításai (saját szerkesztés)

4. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Oleksii Lopakov, Volodymyr Tigariiev, Volodymyr Tonkonogyi, & Volodymyr Kosmachevskiy. (2021). Shape Optimization of an Object Using the Information Model. In Advanced manufacturing Processes III (o. 88–97). Springer Cham. https://books.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=TFJPEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA88&dq=%22autodesk+inventor%22+%22shape+generator%22&ots=Wma4t00G6I&sig=LHKaFB31G8xddfjeD6DQYRbi7mM&redir_esc=y#v=onepage&q=%22autodesk%20inventor%22%20%22shape%20generator%22&f=false

- [2.] Cipto, Rahangmetan, K. A., Sariman, F., Hariyanto, Bahar, S. B., & Sapsal, M. T. (2019). Stress analysis on the frame of peanut skin peeler using autodesk inventor software. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 343(1), 012164. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/343/1/012164>
- [3.] Shell Eco-marathon 2023 Official Rules Chapter I. (n.d.). Letöltve: 2023.10.17., https://www.shell.com.cn/zh_cn/make-the-future/shell-eco-marathon/_jcr_content/par/grid/p0/toptasks.stream/1662027801183/b5b27d2ce8f79231ddf0327776191b58ff5bfc22/shell-eco-marathon-2023-official-rules-chapter-i.pdf

Komplex elektronikai szerelő panel fejlesztése kísérleti járműhöz

Development of a complex electronic assembly panel for an experimental vehicle

Gulyás Péter^a, Für Balázs^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont - Győr

gulyas.peter@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont - Győr

fur.balazs@ga.sze.hu

Absztrakt

Manapság minden közúti jármű több elektronikai vezérlő egységet tartalmaz a biztonságos és kényelmes közlekedés biztosításának érdekében, melyek összehangolt kommunikációja elengedhetetlen az üzembiztos működéshez. A Széchenyi István Egyetemen fejlesztett energiahatékony járműben alkalmazott elektronikai egységek között is kiemelt fontosságú a hibamentes kommunikáció, főként a szenzorokkal kiegészített önvezető rendszerrel felszerelt jármű esetében. Ennek megvalósítás az autóiparban is alkalmazott CAN busz segítségével történik. Ez az elosztott kommunikációs rendszer egyszerre biztosítja a megbízhatóságot és a skálázhatóságot, valamint csökkenti a vezetékek mennyiségét és súlyát a járműben. A fejlesztett panel tervezése során elsődleges szempont volt a szerelhetőség és a tömeg minimalizálása, míg az összeszerelés során a panel alegységeinek és a kábelrendszerének precíz összeállításán volt a hangsúly, hogy a jármű maximális hatékonysággal és megbízhatósággal működhessen mind a statikus, mind a dinamikus járműteszt alkalmával. A korábbi 2022-ben is alkalmazott összetett szerelőpanel idén, 2023-ban felbontásra került két részegységre, melynek hatásvizsgálata a továbbiakban részletezésre kerül. A két részre bontott szerelő panel lehetőséget biztosít a tömegoptimalizálásra, valamint, a korábbi csatlakozó rendszer egyszerűsítésére.

Kulcsszavak: elektronikai tervezés, energiahatékony, CAN-busz

Abstract

Nowadays, every road vehicle contains several electronic control units in order to ensure safe and comfortable transport, whose coordinated communication is essential for reliable operation. Among the electronic units used in the energy-efficient vehicle developed at Istvan Szechenyi University, error-free communication is also of particular importance, especially in the case of a vehicle equipped with a self-driving system supplemented with sensors. This is implemented using the CAN bus, which is also used in the automotive industry. This distributed communication system provides both reliability and scalability, as well as reducing the amount of wiring and weight in the vehicle. During the design of the developed panel, installationability

and minimization of weight were primary considerations, while during assembly, the focus was on the precise assembly of the panel's sub-units and the cable system, so that the vehicle could operate with maximum efficiency and reliability during both static and dynamic vehicle tests. This year, in 2023, the complex assembly panel used in 2022 was split into two sub-units, the impact assessment of which will be detailed below. The mounting panel, divided into two parts, provides an opportunity to optimize mass and to simplify the previous connection system.

Keywords: *electrical design, energy efficiency, CAN-bus*

1. Bevezetés

A SZEmission versenyautó a győri Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpontjának segítségével kifejlesztett különleges jármű, amely a fenntartható és környezetbarát mobilitás népszerű versenysorozatában, a Shell Eco-marathonban vesz részt. Az autó (lásd 1. ábra) az egyetem tehetséges hallgatóinak és oktatóinak elhivatott csapata által tervezett és épített innovatív jármű, amely a hatékonyság, az energiateljesítmény minimalizálása és a környezetvédelem szempontjából kitűnő megoldásokat kínál.



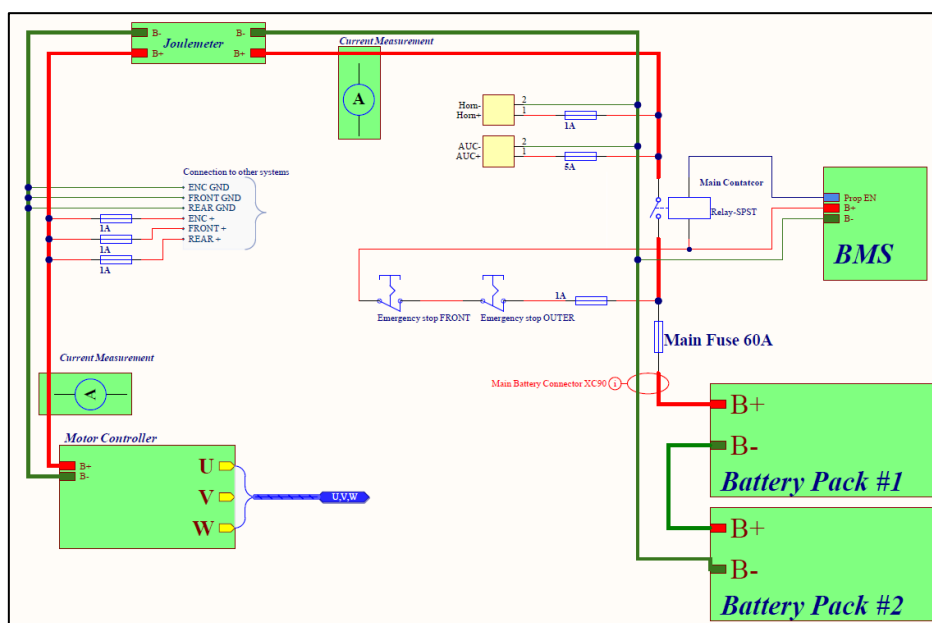
1. ábra: Versenypályán a SZEmission kísérleti jármű. (saját szerkesztés)

A SZEmission jármű célja az ultra-alacsony üzemanyag-fogyasztás elérése és a lehető legnagyobb hatótávolság elérése a Shell Eco-marathon versenyeken. Az autó tervezésekor és építésekor kiemelt figyelmet fordítottak a könnyűsúlyú és aerodinamikus kialakításra, az energiateljesítmény elektromos hajtás rendszerre, valamint a biztonságos energiamenedzsmentre. Az autó az elektromos meghajtású, akkumulátoros kategóriában versenyez és törekszik a fenntartható mobilitás előmozdítására, valamint az alternatív energiahordozók széleskörű alkalmazására a közúti közlekedésben.

Ezen bevezetőt követően a cikk további részeiben részletesen tárgyalom a SZEmission versenyautó elektromos rendszerének felépítését és tervezését, az autó kulcsfontosságú elemeit és az elért eredményeket a Shell Eco-marathon versenyeken való szereplés során.

2. Rendszerleírás

A SZEmission versenyjármű nagyteljesítményű energiaellátó rendszerét egy 12 cellás lítium-polimer akkumulátor csomag szolgálja ki, melyet egy beágyazott rendszeren alapuló, biztonságkritikus menedzsment rendszer felügyel. Az energiaelosztási rendszer áttekintő kapcsolási rajza alább látható (lásd 2. ábra). A jármű minden elektromos perifériája közvetlenül a 48V-os tápfeszültségről működik, egyedi nyomtatott áramköri lapokon megvalósított DC/DC konverterek segítségével, melyről 3,3V vagy 5V kerül előállításra, az adott mikrovezérlőnek megfelelően. A perifériák közti kommunikáció kizárólag CAN hálózaton valósul meg. A CAN-busz, melyet 1986-ban szabadalmaztatott a Bosch, olyan zavartűrő digitális kommunikáció, mely megfelel a járműipari elvárásoknak. [1]



2. ábra: A SZEmission versenyautó elektronikai rendszerterve. (saját szerkesztés)

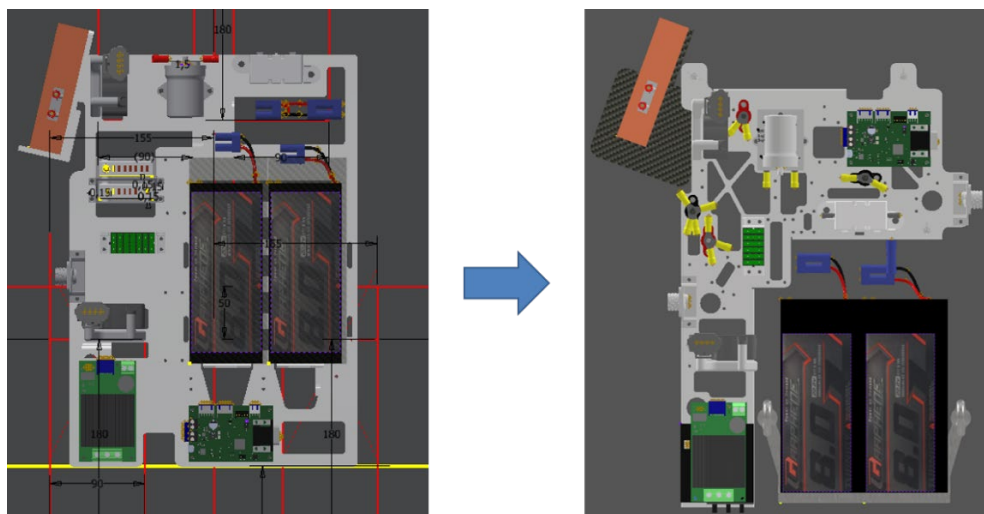
3. Fejlesztés

A fejlesztés során előre meghatározott peremfeltételek mentén került átalakításra a szerelő panel. A szerelő panel első verziójának használata során szerzett tapasztalatok alapján kitűzött módosítási célok, valamint a peremfeltételek az alábbi listában olvashatók:

- Peremfeltétel:
 - Fizikai méret: monocoque karosszéria és futómű bekötési pontok

- Versenyszabályzat:
 - Fő biztosíték távolsága az akkumulátortól $\leq 300\text{mm}$
 - Akkumulátor alatt acéllemez szükséges
- Módosítási igények:
 - Szerelőpanel merevítése: potenciálisan a lemez élének hajlításával
 - Elkülönített akkumulátor tálca és szerelő lemez
 - Csatlakozók kombinálása: a tömeg csökkentésének és a szerelhetőség növelésének érdekében

A fejlesztés során több iterációban kerültek áthelyezésre a villamos alkatrészek, figyelembe véve a nagyáramú és a kommunikációs vezeték rendszer kompatibilitását. Az analóg mérések zavarsszűrése és az analóg-digitális átalakítás [2] a felügyeleti rendszer mikrovezérlőjében valósul meg, de a jelkondicionálás fontos szerepet játszik, már a kábelek elhelyezése során is. A korábbi CAN-busz csatlakozói közösítésre kerültek, valamint a tápellátási körök szétválasztott és biztosítókkal leválasztott kimenetei is egy közös csatlakozóban kerültek egyesítésre, így több mint 100g tömeget sikerült lefaragni a kábelekből és csatlakozókból. A tömegcsökkentésen felül ez a módosítás a szerelhetőséget is megkönnyíti. A szerelőpanel átalakítása (lásd 3. ábra) összességében 236 gramm tömegcsökkentést eredményezett. Az átalakított és átkábelezett elektronikai rendszer segítségével a versenyautó alapfogyasztását sikerült tovább csökkenteni, mely kiemelkedően fontos az optimalizált járműirányítási stratégiánk [3] kigurulási szakaszaiban.



3. ábra: Balra: 2022-es szerelőpanel. Jobbra: Fejlesztett, 2023-as szerelőpanel (saját szerkesztés)

4. Összegzés

Sikerült a tapasztalati igényeknek és a peremfeltételeknek megfelelő egységet fejleszteni, mely önmagában 236g tömegcsökkentést eredményezett. A cikkben megvalósított fejlesztés fizikai valójában is bizonyított és hozzájárult a 2023-as Shell Eco-marathon energiahatékonysági versenyen elért sikerekhez. A SZEenergy Team csapata 291 km/kWh eredménnyel megnyerte a versenyt és világrekordot döntött kategóriájában.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Boland, Hannah; Burgett, Morgan; Etienne, Aaron; III, Robert: An Overview of CAN-BUS Development, Utilization, and Future Potential in Serial Network Messaging for Off-Road Mobile Equipment. *Technology in Agriculture* 2021, DOI:10.5772/intechopen.98444
- [2.] Eugene R. Hnatek: A User's Handbook of D/A and A/D Converters, John Wiley, New York, 1976, ISBN 0-471-40109-9. pp 842-845
- [3.] Z. Pusztai, P. Kőrös, F. Szauter, és F. Friedler: Vehicle Model-Based Driving Strategy Optimization for Lightweight Vehicle, *Energies*, köt. 15, o. 3631, máj. 2022, doi: 10.3390/en15103631

Jármű telemetria rendszer fejlesztése elektromos versenyjárműhöz

Vehicle telemetry system development for electric racing vehicle

Kecskeméti István^a, Ország András^b

^aSzéchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont

kecskemeti.isvan@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont

orszag.andras@ga.sze.hu

Absztrakt

A projekt célja egy jármű telemetria rendszer fejlesztése egy energiahatékony versenyjárműhöz, melynek segítségével a versenymérnökök valós időben láthatják az autó különböző paramétereit: akkumulátor feszültség, sebesség, elfogyasztott energia, illetve a pilóta viselkedését, vezetési stílusát. A rögzített adatok segítségével nem csak a jármű beállításait lehet optimalizálni, hanem a pilótának is lehet tanácsokat adni a jobb eredmény elérésének céljából.

A versenyjármű egy olyan egységgel lett felszerelve, amely képes a CAN hálózaton található összes szenzor adatot összegyűjteni és ezt vezeték nélküli kapcsolaton keresztül elküldeni egy számítógépen futó szoftvernek. A grafikus felületen a legfontosabb információk találhatóak meg: jármű pozíciója, aktuális kör adatai, hajtás állapota. A valós idejű adatközlés mellett a járműben adatmentés is zajlik, melynek segítségével további optimalizálásra nyílik lehetőség.

Kulcsszavak: telemetria, optimalizálás

Abstract

The aim of the project is to develop a vehicle telemetry system for an energy-efficient race car, which will allow the race engineers to see in real time the various parameters of the car: battery voltage, speed, energy consumption, as well as the driver's behaviour and driving style. The recorded data can not only be used to optimise the vehicle settings, but also to give advice to the driver to achieve a better result.

The racing vehicle is equipped with a unit that can collect all the sensor data on the CAN network and send it to a software running on a computer via a wireless connection. The graphic interface provides the most important information: vehicle position, current lap data, drive status. In addition to real-time data communication, the vehicle also performs data backup, allowing further optimisation.

Keywords: telemetry, optimisation

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben az alternatív energiaforrások iránti növekvő igény és az autóipar folyamatos fejlődése felgyorsította az elektromos járművek terjedését [1]. Az elektromos autók már nem csupán a környezetbarát közlekedés jelképei, hanem egyre inkább elismerést nyernek a teljesítményükben is. Ezzel együtt a motorsportban is egyre jelentősebb szerephez jutnak az elektromos versenyjárművek, melyek egyedülálló lehetőséget nyújtanak az innovációra és a technológiai fejlődésre.

Az elektromos versenyjárművek világában a győzelem elérése érdekében nem csupán az autók teljesítményét és hatékonyságát kell maximalizálni, hanem a versenyzőknek és csapatoknak valós idejű adatokkal kell rendelkezniük ahhoz, hogy a leghatékosabb döntéseket hozhassák meg a verseny alatt [2]. A telemetria rendszerek kulcsfontosságú eszközök ezen adatok gyűjtésében és elemzésében. A telemetria lehetővé teszi a jármű teljesítményének, energiafelhasználásának és más releváns paramétereinek monitorozását, és lehetővé teszi a versenyzők és csapatok számára, hogy pontosan megértsék az autók viselkedését a pályán [3].

Ebben a cikkben részletesen bemutatjuk egy Shell Eco-Marathon elektromos versenyjármű számára (lásd 1. ábra) fejlesztett telemetria rendszer kidolgozását. A cél az, hogy egy olyan hatékony és megbízható telemetria platformot hozzunk létre, amely segíti a versenyzőket és csapatokat az autók teljesítményének optimalizálásában, valamint a versenystratégiák kidolgozásában.



1. ábra: SZEmission Shell Eco-Marathon versenyjármű (saját szerkesztés)

2. Hardveres környezet

2.1 Jármű adatok

A SZEmission versenyjármű elektronikai rendszere az energiahatékonyság és a súlycsökkentés jegyében készült el. Minden eszköz egyedi tervezésű, a specifikációnak megfelelő funkciókat látja el, mindezt a lehető legkevesebb energia elfogyasztásával. A járművön belül a kommunikáció CAN buszon történik, amely az autóiipari standardoknak megfelelően lett kialakítva.

A CAN protokoll felépítésének köszönhetően az egységek az összes kiküldött üzenetet fogadják [4]. Ez a kommunikációs forma ideális egy telemetria egység számára, amely a jármű összes adatát összegyűjti, majd ezt a csomagot valamilyen vezeték nélküli csatornán keresztül tovább küldi a vevőegység felé. A jármű általános esetben egy épített versenypályán mozog, ezért elegendő a pár kilométeres hatótávolság az adatátvitelhez. A nagyobb gondot a pályán található épületek jelentik, amelyek miatt az antennák takarásban lehetnek, ilyenkor adatvesztés léphet fel.

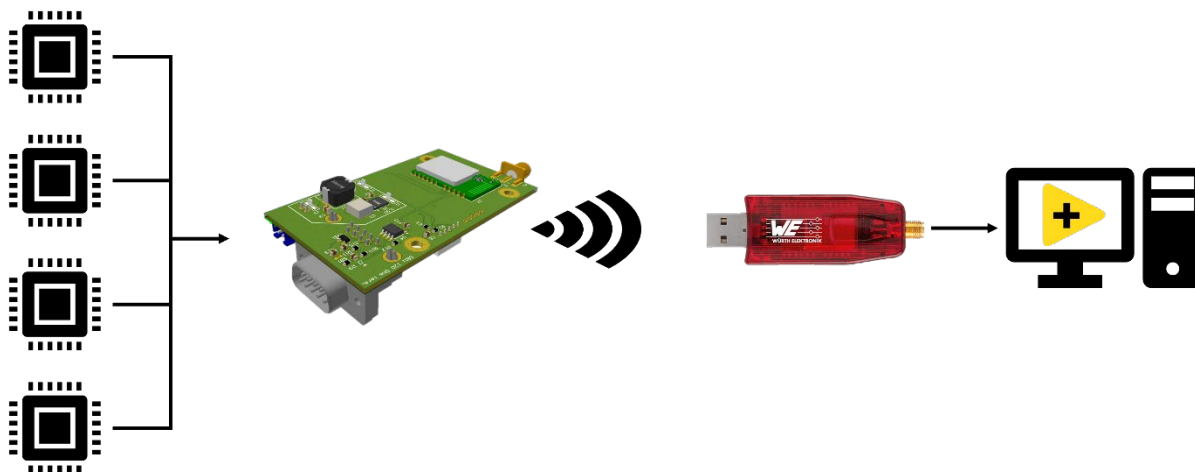
A piackutatás során a következő szempontok szerint kerestünk kommunikációs modulokat:

- Elegendő hatótávolság (2-3 kilométer),
- Alacsony fogyasztás (pár száz mW maximum),
- Hibatűrő kommunikáció,
- Gyors paraméterezhetőség,
- Alacsony beszerzési költség.

Ezen kritériumoknak megfelelően a Würth Elektronik Tarvos-III [5] modulja lett kiválasztva, amely 868MHz frekvencián képes akár 10 km távolságra is üzeneteket szórni, mindezt alacsony fogyasztással [6].

A modul önmagában nem képes CAN üzenetek fogadására, ezért egy egyedi eszközt kellett megtervezni, amely a buszról bejövő adatokat UART üzenetekké alakítja, majd tovább küldi a

modulnak. A vevőegység a bejövő adatokat egy USB kapcsolaton keresztül továbbítja a számítógép felé, amelyen a telemetria szoftvere fut. A teljes kommunikáció a 2. ábrán látható.



2. ábra: Telemetria rendszer kommunikációs felépítése (saját szerkesztés)

2.2 Időjárás állomás

A versenyjármű karosszériája kifejezetten alacsony sebességekre lett megtervezve. Mivel a maximális sebessége 40km/h, az átlag meg 25km/h, ezért a közepesen erős szelek nagy mértékben tudják befolyásolni a menet ellenállást, ezért lényeges, hogy verseny közben erről is tudjunk valamilyen információt adni a pilóta számára. Ha például az egyik egyenesben a szélirány szembe fúj a menetiránnyal, akkor a járművel tovább kell gyorsítani, hogy a menetidőt

A probléma megoldására egy mobil időjárás állomást készítettünk el, amely képes a szél irányát és sebességét mérni, majd az adatokat továbbítani vezeték nélküli kapcsolaton keresztül. A szenzorok akkumulátorról vannak működtetve, ezért a mérő állomást bárhova ki lehet telepíteni. Versenyen mindig a hosszú egyenesek mellé helyeztük ki, ugyanis a mért adatoknak itt vettük legnagyobb hasznát.

Az állomáson egy egyedi áramkör található meg, amely tartalmazza a következőket:

Az adó és vevő mind egyedi gyártású áramkörök. Az adó tartalmazza a szenzor adatok feldolgozásához szükséges mikrovezérlőt, az akkumulátort és a kommunikációs modult. A vevő a bejövő adatokat továbbítja a számítógép felé USB kapcsolaton keresztül.

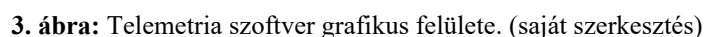
3. Telemetria szoftver

A telemetria szoftver LabVIEW-ban lett megírva, nagy előnye ennek a programozási környezetnek, hogy egyszerűen lehet több interfészt egy kódban kezelni és grafikus felületet készíteni hozzá.

A szoftvernek két soros porton csatlakoztatott eszközzel kell kommunikálnia egyszerre. Ezt párhuzamosan futó ciklusokban valósítja meg a kód, ahol a kommunikáció különböző sebességeken valósul meg. A biztos működés érdekében hibakezelés is történik, ha bármelyik szálon megállás történne, dinamikusán kezelje a kód. Ilyen eset lehet például a telemetria jelének elvesztése (adódhat abból, hogy az adó hatótávolságon kívül van egy pillanatra), ilyenkor a vevőt kell újraindítani egy üzenet segítségével.

A grafikus felületen találhatóak a kezelőszervek és a megjelenítendő adatok (lásd 3. ábra). Felül látható a két legfontosabb adat: a járműsebesség és az akkumulátor feszültség, valamint a soros port kezelése. Lejjebb három fül található: Main, Charts és Diagnostics. A fő fül látható a lenti ábrán, ahol a versenyhez szükséges adatok láthatóak: köridők, hajtás állapota, fogyasztás és egy pályatérkép. A program képes a megtett távolság alapján közelítőleg megmondani, hogy a jármű jelenleg hol helyezkedik el a pályán.

A Charts fülön a felhasználó által kiválasztott adathalmazt lehet megjeleníteni egy diagrammon, melynek segítségével különböző eseményeket lehet vizsgálni. A diagnosztika fül tartalmazza azokat az adatokat, amelyek közvetlenül nem szükségesek a jármű felügyeletéhez, de a különböző komponensek állapotát jeleníti meg. Az időjárás állomás által mért értékek is itt jelennek meg.



A tesztek és a verseny során már aktívan használtuk a kialakított rendszert, melynek segítségével folyamatosan tudtuk monitorozni a pilóta teljesítményét és a versenykörülményeket.

A versenyen már drasztikusan változott a helyzet, a gyakorlásra és mért körökre limitált számú lehetőség van, és a verseny irányítás akár tizenöt járművet is felengedhet a pályára. A megnövekedett forgalom és a csapatok eltérő stratégiái miatt szinte elkerülhetetlen volt, hogy

a pályán az ideális ívről le kellett térni, szükséges volt az előzés, gyorsítás. Ilyen esetekben jól látszódt az adatokból, hogy az aktuális kör mennyire tér el az optimálistól, ennek megfelelően tájékoztattuk a pilótát, hol kell változtatni.

A verseny során az időjárási körülmények is folyamatosan változtak. A mérőállomást az egyik egyenes mellé telepítettük le, ahol pontos képet kaptunk a szél irányáról és sebességéről. A mérések alapján pontosan tudtuk, hogy lehet-e számítani szembe vagy hátszélre, a gyorsítási ütemeket ez alapján pedig módosította a pilóta.

5. Összegzés

A cikkben egy Shell Eco-Marathon versenyjármű telemetria rendszerének felépítése került bemutatásra. A 2023-as szezonban az európai fordulón a SZEmission jármű már ezzel a rendszerrel vett részt, a változó verseny és időjárási körülmények miatt kulcsfontosságú szerepet töltött be. A csapat a tavalyi eredményt is felül múlva 291 km/kWh-ás energiamérleggel zárta a versenyt, amellyel nem csak az első helyet, hanem kategórián belül világrekordot is jelentett.

6. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] I. Husain és mtsai., „Electric Drive Technology Trends, Challenges, and Opportunities for Future Electric Vehicles”, *Proceedings of the IEEE*, köt. 109, sz. 6, o. 1039–1059, jún. 2021, doi: 10.1109/JPROC.2020.3046112.
- [2.] T. Gechev és P. Punov, „Driving strategy for minimal energy consumption of an ultra-energy-efficient vehicle in Shell Eco-marathon competition”, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, köt. 1002, o. 012018, 0 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1002/1/012018.

- [3.] Z. Pusztai, P. Kőrös, F. Szauter, és F. Friedler, „Vehicle Model-Based Driving Strategy Optimization for Lightweight Vehicle”, *Energies*, köt. 15, o. 3631, máj. 2022, doi: 10.3390/en15103631.
- [4.] S. Corrigan, „Introduction to the Controller Area Network (CAN)”, o. 17.
- [5.] „2609026281001_Tarvos-III Stick 2609026281001 Manual_rev1.4.pdf”. Elérés: 2023. július 31. [Online]. Elérhető: https://www.web-online.com/components/products/manual/2609026281001_Tarvos-III%20Stick%202609026281001%20Manual_rev1.4.pdf
- [6.] B. V. der Doorn, W. Kavelaars, és K. Langendoen, „A prototype low-cost wakeup radio for the 868 MHz band”, *International Journal of Sensor Networks*, febr. 2009, Elérés: 2023. július 31. [Online]. Elérhető: <https://www.inderscienceonline.com/doi/10.1504/IJSNet.2009.023313>

Pilóta nélküli földi járművek rezilienciavizsgálata a fenntartható bevethetőség érdekében

Resilience Assessment of Unmanned Ground Vehicles for Sustainable Deployability

Krecht Rudolf^a, Ballagi Áron^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Automatizálási és Mechatronikai Tanszék; Járműipari Kutatóközpont

krecht.rudolf@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Automatizálási és Mechatronikai Tanszék

ballagi@ga.sze.hu

Absztrakt

A reziliencia számos tudományterületen fontos tulajdonságnak számít. A pilóta nélküli földi járművek (UGV-k) esetében a reziliencia gazdasági, környezetvédelmi és különösen a küldetáskritikus kérdésekben is fontos szerepet játszik. Az alacsony reziliencia eredményeként megghiúsuló küldetés esetén az UGV elvesztése és esetleges járulékos károkozás nagy jelentőséggel bír a hosszútávú fenntarthatóság szempontjából. Jelen kutatás célja az ilyen járművek rezilienciájának tanulmányozása, ideértve a definíciók meghatározását, valamint kapcsolat kialakítása az UGV-k számszerűsített rezilienciavizsgálata és fenntarthatósági kérdései között. A kutatás különböző módszerek tanulmányozásával foglalkozik, és azonosítja azokat, amelyek könnyen kezelhetők, és lehetőséget nyújtanak a kitűzött cél elérésére.

Kulcsszavak: pilóta nélküli földi jármű, reziliencia, bevethetőség

Abstract

Resilience is considered an important attribute in many scientific fields. In the case of unmanned ground vehicles (UGVs), resilience plays a significant role in economic, environmental, and particularly mission-critical issues. A mission failure due to low resilience, resulting in the loss of a UGV and potential collateral damage, is highly significant for long-term sustainability. The aim of this research is to study the resilience of such vehicles, including defining relevant terms and establishing a connection between the quantified resilience testing of UGVs and sustainability issues. The research examines various methods and identifies those that are easy to manage and provide opportunities to achieve the set objectives.

Keywords: unmanned ground vehicle, resilience, deployability

1. Bevezető

Az elmúlt időszakban a távolról irányított, részben autonóm és teljesen autonóm, ember nélküli földi járművek (UGV-k) használata folyamatosan nőtt mind a civil, mind a katonai területen. Mindkét esetben az UGV-k alkalmazásának fő célja az emberi munkaerő felszabadítása volt a koszos, monoton és veszélyes (3D – dirty, dull, dangerous) feladatok alól. Ezek a felhasználási esetek magukban foglalják azt, hogy az UGV-k gyakran részlegesen vagy teljesen megsérülnek a küldetéseik során, ami miatt alkatrészek, komponensek vagy akár teljes UGV-rendszerek a küldetés helyszínén maradhatnak. Az elveszett vagy nem működő UGV-k három fő problémát vetnek fel. Először is, az elveszett UGV megghiúsult küldetést eredményezhet részben vagy teljesen. Másodszor, az UGV-k olyan alkatrészeket tartalmaznak, amelyek speciális hulladékkezelést igényelnek, és ismeretlen helyen történő elvesztésük súlyos környezeti problémákat okozhat. Harmadszor, az UGV-k kis szériában készülnek és drága, egyedi alkatrészeket tartalmaznak, így gazdasági szempontból is fontos a veszteségük értékelése. Az autonóm rendszerek széles körű alkalmazásának előmozdítása érdekében kiemelt fontosságú, hogy az UGV-k magas túlélőképességgel rendelkezzenek. Ezeknek a rendszereknek minimális emberi beavatkozással és hosszú élettartammal kell rendelkezniük ahhoz, hogy képesek legyenek megbirkózni a váratlan veszélyekkel és helyzetekkel, és fenntarthatassák az autonóm működés előnyeit [1]. Az UGV-k általánosan elfogadott definíciója szerint olyan járművekről van szó, amelyek a talajjal állandó érintkezésben vannak, és nem igényelnek fedélzeti operátort a működésükhöz. Ez azt jelenti, hogy az UGV-k távoli irányítással vezérelhetők, és akár embereket is szállíthatnak, akik utasokként utaznak, anélkül, hogy ők maguk vezethetnék vagy irányíthatnák a járművet. Ennek alapján az UGV-k három fő kategóriába sorolhatók: távvezérlésű UGV-k, amelyek egy alacsony szintű vezérlőegységgel és egy távvezérlőegységgel rendelkeznek, néhány további fedélzeti érzékelővel kiegészítve; félautonóm UGV-k, amelyeknél a vezetés szinte önállóan is végezhető, de emberi felügyelőre van szükség, valamint teljesen autonóm UGV-k, melyek esetében az emberi operátor teljesen kizárható. Az érzékelést, észlelést, lokalizációt és útvonaltervezést számítási modulok végzik. Jelen cikk az off-road, közúti forgalomban történő részvételre nem képes autonóm UGV-k rezilienciavizsgálatára összpontosít a fenntartható bevethetőséget szem előtt tartva, anélkül, hogy figyelembe venné más UGV-típusok esetében érvényes tényezőket, releváns kérdéseket.

2. UGV-k rezilienciájának definíciója

A reziliencia kérdése kiemelkedő jelentőséggel bír a rendszerértékelés és -tervezés során. Ennek a fontosságának köszönhetően a reziliencia fogalmát számos tudományágban meghatározták, beleértve a komplex műszaki rendszerek területét is. A globálisan alkalmazható, széles körben elfogadott definíciók alapján olyan általános meghatározást állítottunk fel, amely több tudományterületen hatékonyan adaptálható. Ennek megfelelően az önvezető földi járművek (UGV-k) rezilienciájának meghatározásához is az általános definíciót használtuk, mely szerint a reziliencia egy rendszer, berendezés azon képessége, hogy képes alkalmazkodni és helyreállni váratlan zavarok vagy változó környezeti feltételek hatására, ugyanakkor megtartva alapvető funkcióit és szerepét. Ezen helyreállítás lehetősége magában foglalhatja a váratlan esemény előtti állapot teljes visszaállítását, vagy pedig az adaptációt és újraszerveződést. A reziliencia általános definíciójának mellett, a komplex műszaki rendszerek rezilienciája is kiemelten meghatározásra került. Tekintettel arra, hogy az önvezető földi járművek gyakran több komponensből álló, összetett műszaki rendszerekként jelennek meg, az erre vonatkozó definíció is különösen releváns. E szerint a reziliencia egy komplex rendszer képességét takarja, hogy egy váratlan esemény bekövetkezése után eredeti funkcionalitását visszaállítsa, legyen szó akár a váratlan hatás előtti állapot teljes helyreállításáról, akár az adaptációról és újraszerveződésről.

A reziliencia definíciójának alkalmazása előtt komplex rendszerek esetén felmerül az a kérdés, hogy rendszerszintű vagy alkatrészszintű, részleges vagy teljes javítások esetlegesen megengedettek lehetnek-e a váratlan esemény bekövetkezése után. Azon küldetések, amelyek UGV-k alkalmazását igénylik, többnyire olyan körülmények között zajlanak, ahol javítás nem lehetséges. Az UGV-k alkalmazásának elsődleges célja az, hogy olyan munkavégzési területekre hatoljanak be, ahol emberi munkavégzés nem lehetséges, vagy nem ajánlott. Ebből adódóan a váratlan hiba fellépését követően javítások eszközölését nem tekintem lehetségesnek a definíciók felállításakor.

- Az UGV akkor tekinthető működőképesnek, ha:
 - képes teljes mértékben fenntartani képességeit, tehát képes a küldetések teljesítésére?
 - Képes fenntartani autonóm mozgási képességét?
 - Képes részben fenntartani autonóm képességeit, hogy vészhelyzeti feladatokat (hazatérés) hajtson végre?

A rendszer és a komponensek javíthatóságát illetően elméleti küldetésformulákat és valós példákat vettem figyelembe. Az UGV-k meghibásodásainak 80%-a terminális, ami azt jelenti, hogy ezekben az esetekben az UGV nem képes folytatni a küldetését [1]. Fontos megemlíteni, hogy ezt az értéket távműködtetett, nem autonóm UGV-ket használó esettanulmányok és helyszíni jelentések alapján határozták meg. Mivel azonban a fő fizikai összetevők hasonlóak a távműködtetett és az autonóm UGV-k esetében, csak a fedélzeti szoftver különbözik jelentősen, ez az eredmény a végső döntés veszélyeztetése nélkül alkalmazható. Mivel az autonóm UGV-k használatával rövid, nagy kockázatú küldetéseket vizsgálunk, egy terminális meghibásodás nem hagy teret a javításnak, és nagy valószínűséggel az UGV elvesztéséhez vezet. Mivel kiemelten fontos cél az UGV-k elvesztésének elkerülése, a rezilienciavizsgálat során elegendő feltétel az autonóm mozgási képesség fenntartása. Ezek alapján összefoglalható az autonóm UGV-kre vonatkozó reziliencia definíciója: a reziliencia egy autonóm UGV azon képessége, amely által váratlan események bekövetkezte után autonóm mozgási képességüket megőrzi, egyes funkcióinak esetleges részleges, vagy teljes elvesztése mellett.

3. A reziliencia és a fenntarthatóság kapcsolata

Az off-road járművek területén a reziliencia és a fenntarthatóság szoros kapcsolatban állnak, és mindkét tényező kulcsfontosságú a járművek hatékony és hosszú távú működése szempontjából. Az off-road környezet kihívásaiból adódóan az itt alkalmazott járművek esetében elvárt a jó alkalmazkodóképesség. Az off-road járművek tervezése és üzemeltetése során a fenntarthatóság olyan tervezési kritérium, amely hozzájárul a hosszútávú és hatékony működéshez.

Az off-road járművek rezilienciájának és fenntarthatóságának előmozdítása érdekében az iparág folyamatosan kutat és fejleszt. Innovatív anyagok, fejlett technológiák és tartósabb komponensek lehetővé teszik olyan járművek tervezését, amelyek ellenállnak a változó környezeti feltételeknek és részleges meghibásodásoknak. Ezen kívül az önvezető vagy részben autonóm funkciók integrálása is növelheti az off-road járművek rezilienciáját és hatékonyságát, lehetővé téve számukra indokolt esetekben a misszió módosítását a jármű védelme érdekében (pl. lokális útvonaltervezés módosítása jobb terepkörülmények biztosítása érdekében).

A reziliencia UGV-specifikus megfogalmazását követően olyan módszer kidolgozása szükséges, amely lehetővé teszi az UGV reziliencia számszerűsítését. A definíció meghatározása során leírt szempontok alapján egy olyan értékelési rendszert vezetünk be, amely az UGV autonóm módon történő mozgására irányul, tehát az autonóm képességeit vizsgálja. A megközelítést komponensenként, majd rendszerszinten végeztem, figyelve a redundáns alkatrészek és szenzorfüziók esetleges hatásaira. Ezek kapcsán fontos megjegyezni, hogy az autonóm rendszerek komponensei nem minden esetben veszítik el teljes funkcionalitásukat, tehát nem modellezhető egyértelműen úgy egy komponens, hogy meghibásodott, vagy sem. Ennek megfelelően az autonóm képesség megmaradása is lehet részleges. Az ilyen jellegű különbségek számszerűsítése érdekében bevezettem a q változót. A q értéke határozza meg az autonómia adott szintjeit [2]. Ahogy az 1. táblázat is szemlélteti, ezen értékelési rendszer alapján a jármű teljesen elveszíti autonóm képességét, ha a q értéke 0,2 alá csökken.

1. táblázat: Autonóm UGV-k számszerűsített autonóm képessége (saját szerkesztés)

q	Autonóm képesség
$q < 0,2$	Nem autonóm
$0,2 \leq q < 0,6$	Csak vészfunkciók
$0,6 \leq q < 0,8$	Hazatérés
$0,8 \leq q < 1$	Csökkentett funkciók
1	Teljes autonómia

Az UGV viselkedésének a hibaállapotok alapján történő számszerűsítése után lehetőség nyílik a reziliencia értékelésére szolgáló struktúra kialakítására. Az általam alkalmazott módszer a P-gráfok alkalmazásán alapul. A P-gráf (Process Graph) egy jellegzetes kétrészes gráf, amely egy folyamatrendszer szerkezetét szemlélteti. A gráf a működési egységeket vízszintes élekként, azok bemeneti és kimeneti anyagait pedig tömör körökként ábrázolja. Ez a gráf irányított, az élek az anyagáramlás irányát jelzik a hálózatban. Konkrétan az élek a bemeneti anyagokból egy műveleti egységhez, illetve a műveleti egységből a kimeneti anyagokhoz vezetnek. A P-gráfot sikeresen alkalmazták a termelési rendszerek rezilienciájának értékelésére, főként a vegyipar területén. Így a P-gráfokon alapuló reziliencia értékelésre széles körben alkalmazott és tesztelt módszertan áll rendelkezésre.

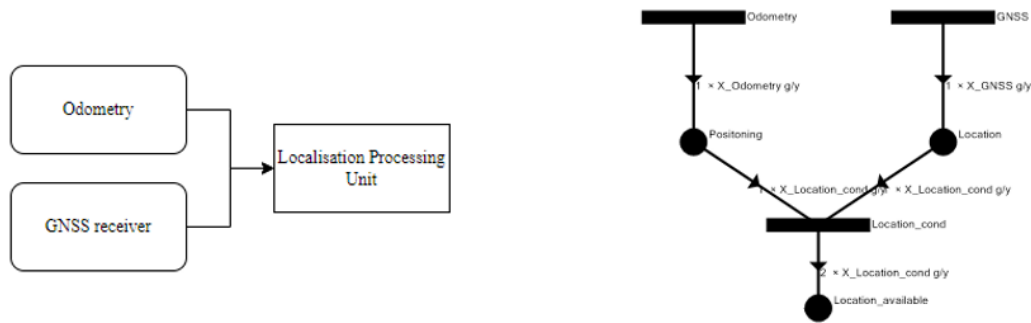
A feldolgozórendszerek rezilienciája általános módon megadható. A kezdeti megfogalmazás a bináris esetre összpontosít, ahol a feldolgozórendszerek két állapottal rendelkeznek: teljesen működőképes és nem működőképes (teljes meghibásodás) [3]. Később ezt az elképzelést kibővítették az összetettebb esetek figyelembevételével, ahol a működő egységek a teljesen működőképes és a teljes meghibásodás állapotokon kívül különböző szintű részleges működést is mutathatnak [4]. Ezen tanulmány eredményeképpen egy rendszer rezilienciájának meghatározásához a rendszer elemei esetében felmerülő meghibásodások minden lehetséges kombinációját figyelembe kell venni.

Az UGV-k rezilienciájának értékelése esetén a P-gráf felépítése a rendszer várható autonóm képességére vonatkozó szükséges eredmények logikáját követi. Ezen megközelítés alapján a rendszer állapotának elvárt eredményei (a P-gráf terminológiájában terméknek nevezve) összhangban vannak a rendszer lehetséges autonóm képességi szintjeivel. A gráf bemenetei az UGV érzékelői alapján határozhatók meg. A rendelkezésre álló bemenetek és a várható kimeneti viselkedés közötti kapcsolatokat a robotplatform fedélzeti adatáramlása alapján lehet létrehozni. Összefoglalva, az UGV fedélzeti rendszere és várható viselkedése alapján a P-gráf létrehozása a következő lépésekkel végezhető el:

- Az UGV várható viselkedésének meghatározása különböző rendszerkomponens-hibaállapotok esetén. Ezek a várható viselkedések alkotják a P-gráf termékeit.
- Az UGV külső érzékelőinek felsorolása. Ezek a szenzorok adnak bemenetet a környezeti érzékeléshez.

- Azon fedélzeti eszközök kiválasztása, amelyek pozícióinformációt szolgáltatnak az UGV számára. Ezek általában az odometria és a GNSS-vevő egy számítási modullal együtt.
- A további funkciókat biztosító eszközök, például a látásérzékelő modulokkal ellátott mélységkamerák hozzáadása.
- Az alacsony szintű vezérlő és a hajtás elemeinek hozzáadása. A reziliencia értékelése szempontjából a hajtás elemei csoportosíthatók, mivel e csoportból bármelyik komponens meghibásodása a helyváltoztatás elvesztéséhez vezet.
- A fedélzeti eszközök adott csoportjainak megfelelő működéséből eredő belső képességek meghatározása. Ezek a belső képességek az UGV általános működéséhez vezetnek. E képességek eredményeit a végső várható viselkedés szempontjából feltételeknek nevezzük. Ezek a feltételek a P-gráf köztes információiként ábrázolhatók.

Egy szemléltető példa látható az 1. ábrán. Az UGV lokalizációs modulja két bemeneti forrásra támaszkodik, nevezetesen a GNSS-vevőre és az odometriára, amelyek közül az egyik egy exteroceptív érzékelő kimenetén, a másik pedig proprioceptív adatokon alapuló információ. A GNSS-vevő és az odometriai adatokat szolgáltató modul a P-gráfon végrehajtó egységként jelenik meg. Kimeneteik köztes információként, nevezetesen lokális és globális helymeghatározásként ábrázolhatók. Ezután be kell vezetni egy virtuális komponenst annak szimbolizálására, hogy a helymeghatározás megfelelő működéséhez mind a lokális, mind a globális helymeghatározás szükséges. A hozzáadott virtuális komponens nem kerülhet hibás állapotba az autonómia fenntartása érdekében. Ebben a példában a végső kimenet a nem sérült, tervezett formájában rendelkezésre álló helymeghatározási információ.



1. ábra: P-gráf struktúra létrehozása blokkdiagram alapján (saját szerkesztés)

A P-gráf felállítását követően az autonóm UGV rezilienciája (1) alapján határozható meg. R rezilienciaindex ($0 \leq R \leq 1$) módon normalizált érték, q a korábban tárgyalt autonómiára vonatkozó képességi szint, valamint M az autonóm rendszert alkotó komponensek darabszáma.

$$R(q) = \frac{C(q)}{2^{|M|}}, C \in |M|, M \in \mathbb{N}^*, 0 \leq R \leq 1 \quad (1)$$

4. Összegzés

A pilóta nélküli földi járművek rezilienciavizsgálata fontos kérdés a sikeres küldetések számának növelése, egyúttal az elvesztett UGV-k számának csökkentése érdekében is. További fontos tényező a fenntarthatóság, amely az esetlegesen elvesztett, hátrahagyott UGV-k miatt szorosan kapcsolódik a reziliencia kérdéséhez. Jelen cikk rávilágít az UGV reziliencia és fenntarthatóság szoros kapcsolatára, valamint bemutat egy lehetséges módszert UGV-k rezilienciájának számszerűsítésére. Ez a módszer a fenntarthatóságra vonatkozó predikciók szempontjából is releváns lehet, hiszen a rendszerjellemzők alapján reziliensnek minősülő UGV fenntarthatóság szempontjából is előnyösebbnek bizonyul.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] J. Carlson and R. R. Murphy, "How UGVs physically fail in the field," IEEE Transactions on Robotics, vol. 21, no. 3, pp. 423-437, 2005.
- [2.] R. Krecht, Á. Ballagi, Tóth Árpád and F. Friedler, "Resilience Modelling of Unmanned Ground Vehicles' Control Systems," in The 6th Sustainable Process Intergration Laboratory (SPIL), Brno, Czech Republic, 2022.
- [3.] Á. Orosz, J. Pimentel and F. Friedler, "General formulation for the resilience of processing systems," Chemical Engineering Transactions, vol. 81, pp. 859-864, 2020.
- [4.] Á. Orosz, J. Pimentel and F. Friedler, "Processing systems design considering resilience," Computer Aided Chemical Engineering, vol. 50, pp. 807-812, 2021.
- [5.] B.-K. Quek, j. Ibañez-Guzmán and K.-W. Lim, "Attaining operational survivability in an autonomous unmanned ground surveillance vehicle," in IECON Proc. - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, Paris, 2006.

Energiahatékony elektromos versenyjármű fényszóró búrájának szkennelése és visszamodellezése

Scanning and designing of an energy-efficient electric racing vehicle headlamp beam

Krecz Dávid

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

krecz.david@ga.sze.hu

Absztrakt

Az energiahatékony elektromos versenyjármű fényszóró búrájának szkennelése és visszamodellezése egy innovatív technológiai folyamat, amely forradalmasítja a járműtervezést. A búra fizikai formájának digitalizálása és a virtuális 3D modell létrehozása lehetővé teszi, hogy rendkívül precízen és részletgazdagon dolgozzanak a jármű kialakításakor, így biztosítva, hogy a fényszóró búra tökéletesen illeszkedjen az autó egyedi stílusához és aerodinamikai jellemzőihez. A szkennelés és visszamodellezés folyamatának kiemelkedő előnye, hogy időt és pénzt takarít meg a tervezőknek. A hagyományos módszerekhez képest, ahol több fizikai prototípust kellett létrehozni és tesztelni, ez a technika lehetővé teszi a prototípusok számának jelentős csökkentését. Így a tervezési folyamat hatékonyabb és segíti létrehozni a búra formatervét anélkül, hogy szükség lenne több fizikai prototípusra. Emellett a szkennelés és visszamodellezés lehetővé teszi a potenciális hibák korai felismerését és javítását. A virtuális 3D modell alapos tesztelése révén a már a fizikai prototípus elkészítése előtt felismerhető és orvosolható a fényszóró búrával kapcsolatos problémákat. Ez nemcsak költséghatékonyabbá teszi a tervezési folyamatot, hanem biztosítja, hogy a jármű végső változata tökéletesen megfeleljen a kívánt elvárásoknak és előírásoknak

Kulcsszavak: lámpabúra, 3D szkennelés, felületmodellezés, additív technológia

Abstract

Scanning and reverse engineering the headlamp beam of an energy-efficient electric racing car is an innovative technological process that is revolutionising vehicle design. Digitizing the physical shape of the beam and creating a virtual 3D model allows to work with extreme precision and detail when designing the vehicle, ensuring that the headlight beam perfectly matches the car's unique styling and aerodynamic body. An outstanding benefit of the scanning and remodelling process is that it saves designers time and money. Compared to traditional methods, where multiple physical prototypes had to be created and tested, this technique allows the number of prototypes to be drastically reduced. This makes the design process more efficient and helps to create the design of the beam without the need for multiple physical prototypes. In addition, scanning and back-modelling allows early detection and correction of potential defects. By thoroughly testing the virtual 3D model, problems with the headlight beam can be identified and corrected before the physical prototype is built. Not only does this make the design process more cost-effective, it also ensures that the final vehicle perfectly meets the desired requirements and specifications

Keywords: headlight beam, 3D scanning, surface modelling, additive technology

1. Bevezetés

Az energiahatékony elektromos versenyjármű fényszóró búrájának szkennelése és visszamodellezése egy olyan folyamat, amely során a búra fizikai formája digitalizálásra kerül, majd a digitális modell alapján egy virtuális 3D modell készül. Ez lehetővé teszi a tervezők számára, hogy precízen és pontosan dolgozzanak a jármű megtervezésekor, és biztosítsák, hogy a fényszóró búra pontosan illeszkedjen az autó kialakításához. A szkennelés és visszamodellezés folyamatának előnye, hogy időt és pénzt takarít meg a tervezőknek, mivel lehetővé teszi a prototípusok számának csökkentését és az esetleges hibák korai felismerését, még azelőtt, hogy a jármű fizikai prototípusa elkészülne.

2. Célkitűzések

Az energiahatékony elektromos versenyjármű fényszóró búra szkennelése és visszamodellezése során az alábbi célkitűzések fogalmazódtak meg:

- Fényszóró búra digitális 3D modelljének létrehozása: A cél az, hogy a tervezett fényszóró búrát először digitális formában hozható létre, így könnyen elérhetővé és módosíthatóvá válik. Ez lehetővé teszi a vizsgálatot és a búra kialakításának finomítását, valamint ellenőrizhető, hogy az megfelel-e a tervezett specifikációknak.
- Atűrések és pontos méretek meghatározása: A 3D modell segítségével meghatározható a búra pontos méreteit és améretek tűréseit. Ez fontos a gyártási folyamat során, mivel a kész búrának pontosan illeszkednie kell a karosszériába.
- Változtatások és módosítások tesztelése: A 3D modell segítségével a különböző változtatásokat és módosításokat tesztelhetők a búrán, még a végleges gyártás előtt. Ez lehetővé teszi az előrejelzését annak, hogy milyen hatással lesznek ezek a változtatások a búra teljesítményére és megjelenésére.

3. Célkitűzések megvalósítása

Az energiahatékony elektromos versenyjármű fényszóró búra szkennelése és visszamodellezése célkitűzéseinek megvalósítása számos lépésből állhat, amelyek a következők lehetnek:

- A fényszóró búra helyének szkennelése: Az első lépés a fényszóró búra helyének szkennelése, amely során a kivágást digitális formában rögzíthető. Ehhez szkennelőberendezést használnak, amely a karosszéria felületéről pontos adatokat gyűjt össze.
- 3D modell készítése: A szkennelés után az adatokat 3D modellként dolgozhatók fel, amely lehetővé teszi a búra digitális módosítását és a különböző tervezési változtatások tesztelését. Ehhez 3D modellkészítő szoftvert használata szükséges.
- Tűrések és pontos méretek meghatározása: A 3D modell segítségével meghatározhatók a búra pontos méretei és toleranciái, amelyek szükségesek a kész búra pontos illeszkedéséhez a karosszériába. Ehhez szintén 3D szoftver szükséges.
- Változtatások és módosítások tesztelése: A 3D modell segítségével különböző változtatásokat és módosításokat tesztelhetők a búrán, hogy előre lássuk, hogyan befolyásolják ezek a változtatások a búra teljesítményét és megjelenését. Ez lehetővé teszi, hogy finomítsuk a tervezést és javítsuk a termék minőségét.
- Prototípus elkészítése: 3D modell segítségével prototípus készíthető a tervezett fényszóró búrából, amely lehetővé teszi a tesztelést és javítások elvégzését. Ehhez 3D nyomtató szükséges.
- Végleges konstrukció elkészítése: Miután a prototípus elkészült és teszteltük, a végleges fényszóró búrát legyártjuk. A tervezési adatokat a gyártási folyamatban használjuk fel, hogy pontosan előállítsuk a kívánt terméket.

4. Problémafelvetés

A SZEenergy team által épített és fejlesztett energiahatékony elektromos versenyjármű 2019-ben készült el. Az évek során több részegysége is átesett módosításon. Azonban vannak olyan elemei, amik nem kerültek áttervezésre, ilyen az első fényszóró is. Az évek során a búra veszített áttetszőségén, ami a kezdetektől nem volt túl jó, ezért a csapat az fényszóró újra tervezése mellett döntött. Az áttetszőség javítása mellett célkitűzés volt, hogy az új fényszóró könnyebben szerelhető legyen.

5. Technológiák meghatározása

A jármű, mely a fényszórót tartalmazza aerodinamikus karosszériával rendelkezik. Ez azt jelenti, hogy a felület, amibe a fényszórónak kell illeszkednie komplex formájú. Ez alapján kell megválasztani a helyes mérési és gyártástechnológiát. A tervezés során felületmodellezést kell alkalmazni.

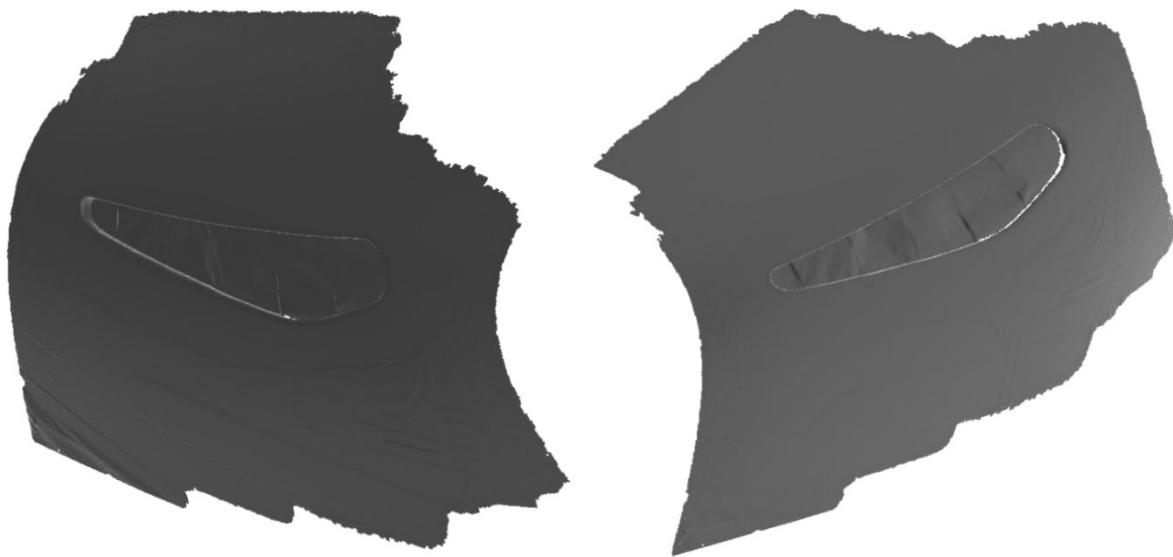
A felület bonyolultsága miatt a mérést fényszkennerrel végeztük. Ennek eredménye egy 3D-s pontfelhő, melyet a modellezés során felhasználhatók.

Mivel a kész termékek szintén komplex geometriával rendelkeznek, így gyártásukat 3D nyomtatókkal végeztük. A búra megfelelő illeszkedésének vizsgálatára először egy próbatest készült FDM technológiával, mely megfelelő pontosság mellett viszonylag gyorsan végzett a munkadarabbal. A geometria ellenőrzése után a végleges búrát SLA nyomtatóval készült, melynél biztosított a megfelelő átlátszóság, illetve pontosság.

6. 3D szkennelés

A 3D szkennelés megkezdése előtt előbb el kellett távolítani a régi fényszórót, hogy az eszköz megfelelően fel tudja mérni a kivágást. A jármű karosszériája 6 mm vastag karbon szendvicsszerkezetből készült, ehhez kell megfelelően illeszkednie az új lámpatestnek.

Az alkalmazott szkennerek a látható fény tartományába eső elektromágneses hullám segítségével tapogatja le a felületet és alkotja meg annak 3D-s pontfelhőjét. Az alábbi ábrán (1. ábra) a jármű bal oldali fényszórókivágásának pontfelhője látható.

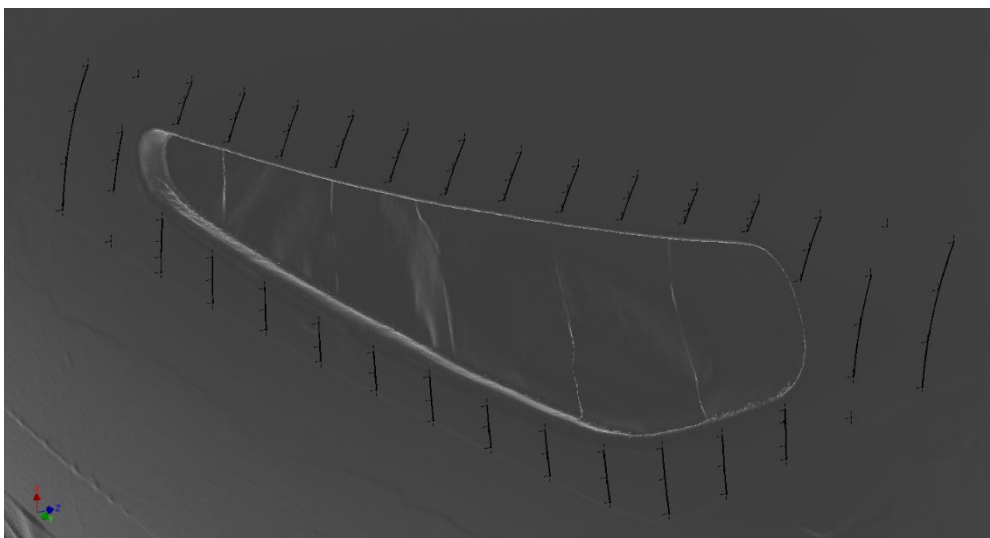


1. ábra: SZEmission bal oldali fényszórókivágásának pontfelhője (saját szerkesztés)

7. Pontfelhő feldolgozása, felületi modellezés

A karosszériáról kapott pontfelhő segítségével meg lehet alkotni a lámpa búráját. A lehető legkisebb légellenállás érdekében a búra külső felületének pontosan követnie kell a karosszéria felületét. Az új fényszóró megalkotásának első lépése a búra külső felületének létrehozása volt.

Először kontrakciós vonalakat hoztunk létre, amelyek a meglévő szkennelt felületre a lehető legjobban illeszkednek. Ezek a vonalak az alábbi képen (2. ábra) láthatók fekete színnel.



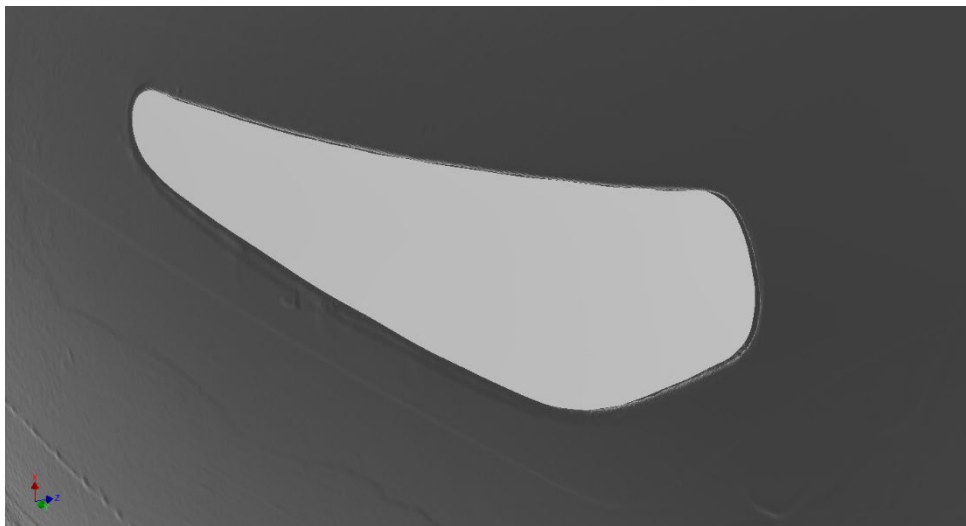
2. ábra: Felületre illesztett konstrukciós vonalak (saját szerkesztés)

A konstrukciós vonalak segítségével a 3D-s modellező szoftver képes megalkotni azt a felületet, ami leköveti a karosszéria vonalait, emellett befedi a kivágást. Ez a felület lesz a búra külső felülete, mely nyers modellje az alábbi képen (3. ábra) látható.



3. ábra: Búra külső felületének nyers modellje (saját szerkesztés)

A nyers felület megalkotása után a következő lépés a felület körbevágása úgy, hogy a végleges búra megfelelően illeszkedjen a kivágásba. A körbevágott felület az alábbi képen (4. ábra) látható.



4. ábra: Körbevágott felület (saját szerkesztés)

A búra külső felületének megalkotása után szükséges volt egy próbanyomtatás elvégzése a megfelelő illeszkedés megvizsgálása érdekében. Mivel a kiinduló modell egy felület, melynek nincs vastagsága ezért először valamilyen vastagságot kellett adni ennek a felületnek, hogy gyártható legyen.

A próbatest FDM nyomtatóval készült, mely megfelelő minőséggel és sebességgel képes dolgozni. A próbatest az alábbi ábrán (5. ábra) látható.



5. ábra: 3D nyomtatott próbatest (saját szerkesztés)

Az elkészült próbatestet elhelyezésre került a karosszériába, hogy ellenőrizhető legyen a megfelelő illeszkedés a kivágásba, illetve megfelelően követése a karosszéria vonalának. A teszt szerint a próbatest megfelelt, így tovább folytatódhatott a tervezési folyamat. A próbatest illeszkedése az alábbi ábrán (6. ábra) látható.



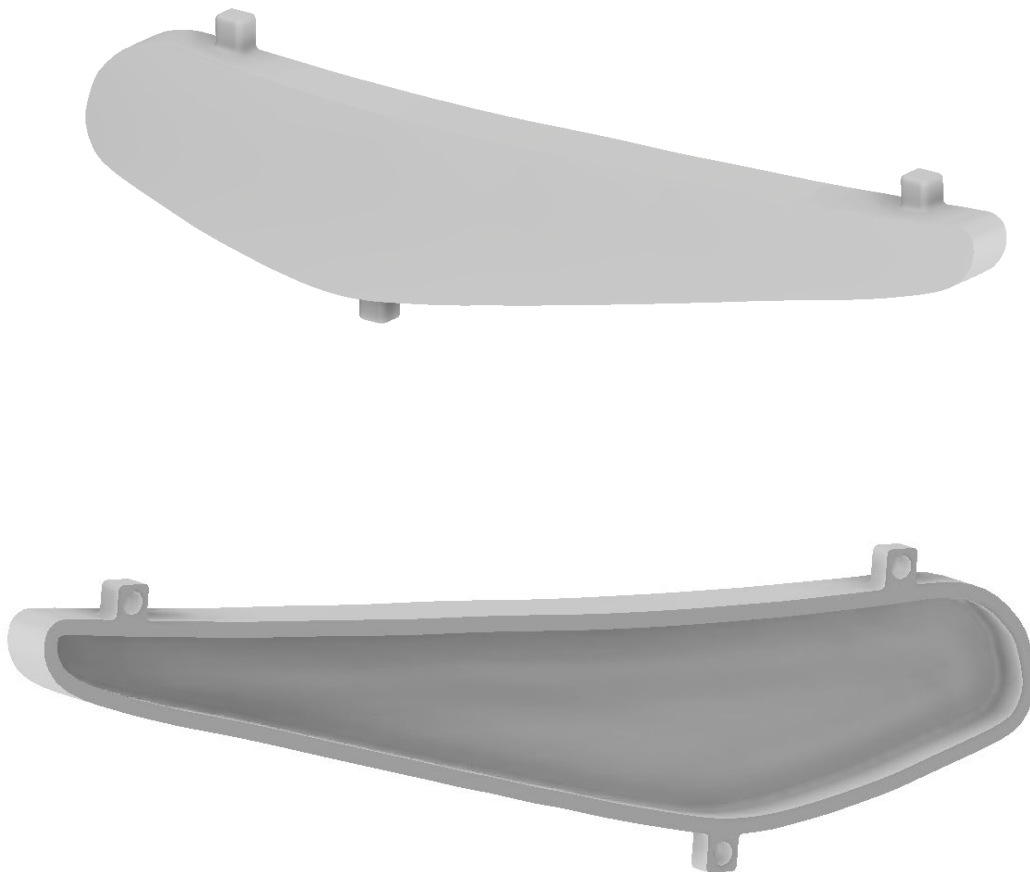
6. ábra: 3D nyomtatott próbatest illeszkedése a karosszériába (saját szerkesztés)

8. 3D modell véglegesítése

A próbadarab a teszten megfelelőnek bizonyult, így a 3D-s modell véglegesítésével folytatódott a tervezés. A búra tömör modelljét úgy módosult, hogy a feladatát képes legyen ellátni, azaz a fényszóró elektromos paneljét beburkolni és megvédeni a külső behatásoktól. Így a tömör formán egy besülyesztés kapott helyet, amibe belefér ez a panel.

Emellett a búra kapott 3 fület, melyek segítségével pozícionálni és rögzíteni lehet a helyén. Továbbá a fülekben elhelyezett furat és a később beletekért menetes betét fog szolgálni a lámpatest szerelhetőségéért.

A végleges búra modellje az alábbi ábrán (7. ábra) látható.



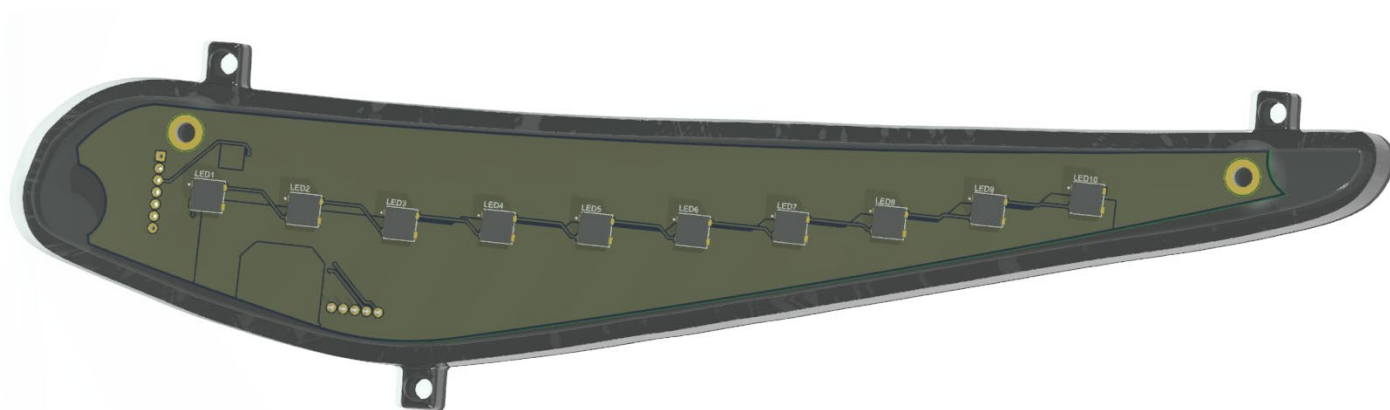
7. ábra: Lámpabúra (saját szerkesztés)

A végleges lámpabúra modelljét felhasználva meg lehetett alkotni annak ellendarabját, ami az elektromos panel hordozásáért felel. Emellett lezárja a lámpatestet a belső oldalról. Ennek az alkatrésznek a 3D-s modellje az alábbi ábrán (8. ábra) látható.



8. ábra: Elektromos panel tartó (saját szerkesztés)

A lámpatest a búrából, az elektromos panel tartóból, illetve magából az elektromos panelből épül fel. A két burkolóelemet csavarkötés rögzíti egymáshoz, így biztosított az egység szerelhetősége. A lámpatest összeállítása az alábbi ábrán látható.



9. ábra: Első fényszóró (saját szerkesztés)

9. Gyártás

A 3D-s modellek véglegesítése után a gyártás következett. A két fő elemet, tehát a búrát, illetve az elektromos panel tartót egyaránt 3D nyomtatással kellett legyártani, azonban eltérő technológiával.

A búrának teljesen átlátszónak kell lennie, így az SLA technológiára esett a választás, mivel az ezzel a technológiával könnyebben kivitelezhető. A nyomtatás elkészülte után a búra felületét átsziszolták, így egy teljesen átlátszó felületet lehetett elérni.

Az elektromos panel tartónak nem volt különösebb követelménye, ezért a gyártás során az FDM technológiára esett a választásunk a gyorsasága és egyszerűsége miatt.

10. Beszerelés

A lámpatest összeállítása után megkezdjük a beszerelését a járműbe. A fényszóróknak szükséges kivágások a karosszérián, amit a fényszóró behelyezése után megfelelően le kell tömíteni, hogy a víz ne tudjon bejutni a jármű belsejébe. Emiatt a fényszóró szilikon tömítővel történő beragasztása volt szükséges. Ezzel rögzíthető a fényszórók a megfelelő pozícióban és a tömítés is megoldottá válik.

11. Az elért eredmények

A projekt eredményeként létrejött a SZEnergy team elektromos versenyautójának új, jobb átlátszósággal bíró és könnyebben szerelhető első fényszórója. A járműbe szerelt kész lámpatest az alábbi ábrán látható.



10. ábra: Kész lámpatest a járműben (saját szerkesztés)

12. Összegzés

Az energiahatékony elektromos versenyjármű fényszóró búra szkennelése és visszamodellzése a fényszóró búra geometriájának digitális formába öntése céljából történt. A szkennelés során a technológia látható fényt használt a pontos 3D modell elkészítéséhez a búráról, majd az objektumot visszamodellztük a számítógépes tervezőprogramban. Ez lehetővé teszi a számunkra, hogy a búra pontos formáját felhasználjuk az autó tervezéséhez és optimalizálásához. A fényszóró búra szkennelése és visszamodellzése fontos projekt, mivel segít javítani az autók biztonságát, hatékonyságát és megjelenését.

13. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Energiahatékony versenyautóhoz tervezett tengelykapcsoló mechanizmus aktuálása

**Actuating a clutch mechanism designed for an energy-efficient
racing car**

Lubinszki Zsombor

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

lubinszki.zsombor@ga.sze.hu

Absztrakt

Energiahatékony versenyautó további fejlesztési feladata között szerepelt egy egyedi méretezésű kuplung szerkezet tervezése. Első tesztek a villamos fékpadon mennek végbe, ehhez azonban szükséges egy aktuáló eszköz, amely segítségével kézi működtetéssel megvalósítható a tengelykapcsoló két állapota közötti váltás. (Nyitott és zárt állapotok) A kuplung alkalmazásával teljesen megszüntethető a fizikális kapcsolat a hajtómotor és a kerék között. Ezzel nullára lehet csökkenteni a szabadonfutás közben is fellépő veszteségeket, tovább növelve ezzel a jármű energiahatékonyágát.

Kulcsszavak: tengelykapcsoló, munkahenger, veszteségek

Abstract

Further development work on the energy-efficient racing car included the design of a custom-designed clutch mechanism. Initial tests will be carried out on the electric brake bench, but this will require an actuator to manually switch between two clutch states (open and closed positions) By using the clutch, the physical connection between the drive motor and the wheel can be completely eliminated. This reduces losses to zero, even during free-running, further increasing the energy efficiency of the vehicle.

Keywords: clutch, caliper, losses

1. Az időszak célkitűzései

Energiahatékony versenyautó további fejlesztési feladata között szerepelt egy egyedi méretezésű kuplung szerkezet tervezése. Első tesztek a villamos fékpadon mennek végbe, ehhez azonban szükséges egy aktuáló eszköz, amely segítségével kézi működtetéssel megvalósítható a tengelykapcsoló két állapota közötti váltás. (Nyitott és zárt állapotok)

2. Az elért eredmények

A tengelykapcsoló méretezése és legyártása fontos mérföldkő volt számunkra. Célja, hogy az autó gurulása közben (vitorlázás) a hajtás szétválasztása a motortól (1.ábra) megtörténhessen, ezzel csökkentve a szabadonfutás veszteségeit.

A beépítés előtt minden esetben fékpadi tesztek szükségesek, amely során valós üzemi körülmények között alkalmazható az elkészített kuplung-rendszer.

Az erő létrehozásához, amely a kuplungot működtető, szükséges egy hidraulikus munkahenger közbeépítése, amely segítségével kézi erővel könnyedén kivezérelhező a számunkra szükséges erő, amely erővel aktuálni tudjuk a tengelykapcsolót.



1. ábra: SZEVol motor (saját szerkesztés)

Elvárások közé tartozik a tervezés alatt, hogy egy kézzel vezérelhető legyen, így mindenképpen karos állításban kell a továbbiakban gondolkozni, amely ergonomikus működtetést tesz lehetővé a pilóta számára. Továbbá fontos szempont, hogy az oldott és zárt állapotok közti dugattyú által megtett út, az állító/rögzítő mechanizmusban fokozatmentesen állítható legyen.

Első feladat egy megfelelő hidraulikus dugattyúrendszer kiválasztása a cél. Az üzemi paraméterek során a rövid dugattyú-úttal rendelkező típusok voltak előnyben, a komfortos aktuálás érdekében.

Ezen szempontok mentén kiválasztásra került az APRacing által gyártott CP7855 típusú egykörös hidraulikus munkahenger, amely számos előnyén felül kompakt kialakítású, és alumínium testtel rendelkezik. (2.ábra)

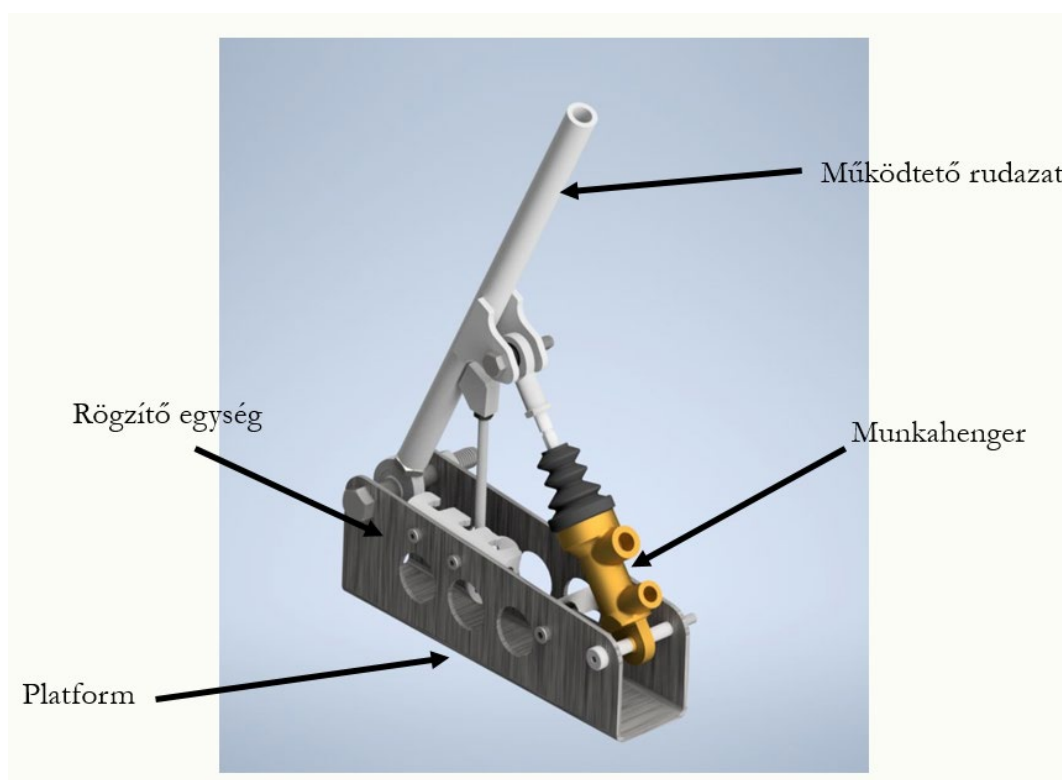


2. ábra: APRacing CP7855 (saját szerkesztés)

Rövid keresés után sikerült is ezt a fent részletezett terméket beszerezni. Továbbiakban ennek a darabnak a CAD modelljével is végeztem a tervezés többi részét.

A keret, amely a működtető rendszer alapjául szolgál 3 mm vastag alumínium lemezből készült, rajta kör alakú kikönnnyítések. Az alján furatok kerültek elhelyezésre a villamos padhoz való rögzíthetőség érdekében.

Erre a keretre gömbcsuklók és csapok segítségével csatlakozik be a működtető kar, amely egy 220 mm hosszú alumínium alapanyagú cső 2 mm falvastagsággal. Erre hegesztve kerül fel a két tartó fül, amelyek szintén azért felelősek, hogy a gömbcsuklók segítségével összeköttetést biztosítsanak a működtető rudazat, valamint a hidraulikus munkahenger között. Lényegében ezen keresztül jut el az kéz által kifejtett erő a munkahenger felé, amely pedig hidraulikus nyomás formájában továbbítja azt a kinyomócsapágyynak a kuplungszerkezet felé. Az elkészült szerkezetet az alábbi ábra mutatja be.



3. ábra: Aktuáló szerkezet magyarázó ábrája (saját szerkesztés)

A végállások kérdése kifejezetten fontos megoldandó probléma. A nyomás kivezérése után a pilótának ne kelljen kézi erővel tartania a tengely oldás ideje alatt a kart, így fontos, hogy legyen egy olyan állapota, amikor rögzíthető a munkahengernek az „összenyomott állapota”.

Erre hivatott megoldásul egy fogazott, derékszögben meghajlított 2 mm vastagságú alumínium lemez, amely a platformhoz van rögzítve.

Ezekbe a fogakba ül bele a karon elhelyezett „tüske”, amely így megakadályozza annak a „visszamoszdulását”, azaz, hogy a hidraulikus munkahenger felvegye az eredeti állapotát, ezzel

elérve, hogy folyamatos üzemben lehet tartani az oldott állapotot, anélkül, hogy a pilótának foglalkoznia kelljen ezzel a feladattal.

A rögzített állapot oldása pedig csak a kar hátra-jobbra mozdulatával érhető el, akkor a munkahenger „igyekszik” az eredeti hosszúságát felvenni.

Így kijelenthető, hogy mind az oldás és a zárás művelet egy-egy kézmozdulattal kivitelezhető és nem figyelemelterelő hatású a pilótára nézve.

A fokozatmentes állítás pedig azért nélkülözhetetlen, mert az egyedi kuplungszerkezet és a kinyomócsapágó pontos működési paramétereit még nem ismerjük, így ezt tapasztalati úton fogjuk meghatározni, hogy pontosan mekkora dugattyú-úthossz szükséges ahhoz, hogy a tengely kapcsolás/zárás megvalósuljon. Ezért a fogazott lemezt a platformban elhelyezett horonyban tudjuk 40 mm távolságban mindkét irányban fokozatmentesen állítani, ezzel közel végtelen állítási lehetőséget biztosítva.

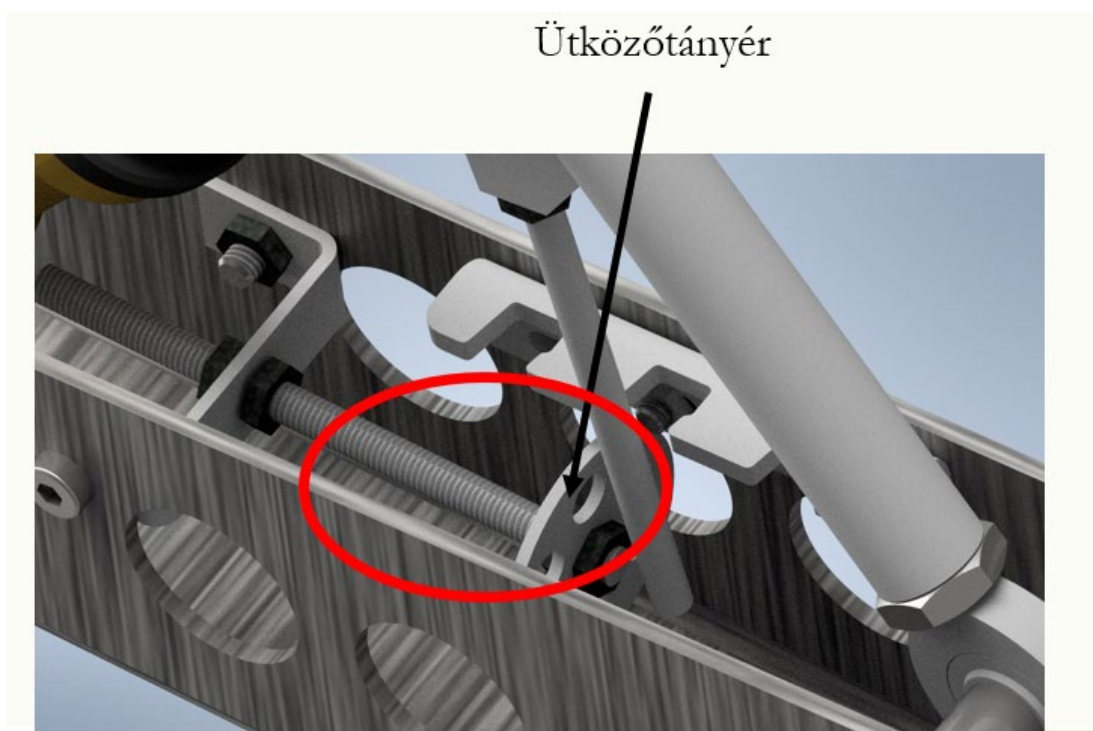


4. ábra: Fokozatmentes állítás (saját szerkesztés)

A fokozatok beállítása mellett lényeges szempont, hogy a pilóta egy esetleges kézmozdulat-hiba folytán ne tudja a kart olyan mértékben kitéríteni, hogy az a kinyomócsapágóban esetlegesen kárt okozzék, vagy a túl nagy kivezérelt nyomás hatására „szétugrik” a kuplung szerkezet.

Ezt hivatott elkerülni, egy úgynevezett végállás ütköző, amely a platformon került elhelyezésre és egy csavarorsó van rá rögzítve. Az orsó hosszúságán keresztül lehet szabályozni, hogy az ütközőtányér hol foglaljon helyet, azaz, hogy a rögzítő tüskét legfeljebb milyen mértékben engedjük kitérni.

Az ütközőtányér orsón való rögzítéséért kontraanya felel. (5.ábra)



5. ábra: Ütközőtányér (saját szerkesztés)

3. Összegzés

A megtervezett komponensek legyártásával, összeszerelésével egy jól működtethető kuplung aktuáló rendszer jöhet létre. A versenyautóba tervezett modell elve ugyanez, azonban a mérete és a felhasznált anyagok tekintetében változik, tömegoptimalizált modell készül belőle-

3.1. Kockázatok, problémák

A kutatás nem tartalmaz kockázatokat és problémákat, a célok világosak és tiszták. Az esetlegesen megjelenő problémák könnyen kezelhető kategóriába sorolhatók.

3.2. A következő időszak célkitűzései

A legfontosabb feladat a lemezalkatrészek vízvágása majd hajlítása. Ezt követően összeszerelés, majd pedig a villamos fékpadon való installáció. Tesztek után revízió, majd a versenyautóba építhető modell elkészítése.

4. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] József Polák, István Lakatos, ANALYSIS OF PROPULSION UNIT MATHEMATICAL MODEL, MACHINE DESIGN (1821-1259 2406-0666): 7 3 pp 137-140 (2015)
- [2.] József Polák, István Lakatos, EFFICIENCY OPTIMIZATION OF ELECTRIC PERMANENT MAGNET MOTOR DRIVEN VEHICLE, MACHINE DESIGN (1821-1259 2406-0666): 7 3 pp 11-14 (2015)

Nagy pontosságú navigációs rendszer vizsgálata és összehasonlítása földi RTK-bázisállomással, illetve műhold alapú RTK pontosítással önvezető jármű szempontjából

Testing and comparison of a high-precision navigation system with a ground RTK base station and satellite-based RTK correction for a self-driving vehicle

Somogyi Huba

Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont

somogyi.huba@sze.hu

Absztrakt

Az önvezető járműves kutatások egyik alappillére még mindig a járműre szerelendő szenzorkészlet és azok együttes használata, fúziója. Mivel tömeggyártásban is egyre fejlettebb és komplexebb eszközök jelennek meg így időről időre érdemes e szenzor összeállítások felülvizsgálata, vagyis egyes fő szenzorelemek szerepének megvizsgálása az újabb funkcionálisaitak függvényében. Ebben a cikkben mérések alapján vizsgálom a jelenleg alkalmazott földi RTK bázisállomástól kapott korrekción alapuló pontosítási eljárással működő navigációt, illetve az eddig még általunk nem használt műholdas RTK alapú korrekciós eljárással működő navigációt. Ezeket pedig összehasonlítom az alapján, hogy mire lehet szüksége egy önvezető járműnek egy navigációs rendszertől.

Kulcsszavak: nagypontosságú navigáció, RTK, önvezető jármű

Abstract

One of the pillars of self-driving vehicle research is still the set of sensors to be mounted on the vehicle and their combined use or sensor fusion. As more advanced and complex devices are mass-produced, it is worthwhile to review these sensor assemblies from time to time, i.e. to examine the role of some of the main sensor elements in the light of their newer functionalities. In this paper, I will analyse, on the basis of measurements navigation based on correction from a ground RTK base station and satellite RTK-based navigation, which has not yet been used. I will compare them in terms of what a self-driving vehicle might need from a navigation system.

Keywords: high-precision navigation, RTK, self-driving car

1. Bevezetés

Az autonóm vezetés alapja a jármű helyzetének, sebességének, irányának és környezetének mérése. Ez az összetett feladat érzékelők széles és változatos skáláját, valamint a méréseiket kiaknázó algoritmusokat igényel. Ennek egyik fő eleme az abszolút helymeghatározás [1]. Az abszolút pozíció meghatározásához különösen két technológiára támaszkodnak: A GNSS-re (Global Navigation Satellite System) és az inerciális mérőegységre (IMU). A jelenlegi sorozatgyártású járművek már tartalmaznak GNSS- és IMU szenzorokat is, de ezeket olyan funkciókhoz használják (és ezért specifikálják), mint az infotainment és a stabilitásszabályozás. Az ezekhez a funkciókhoz szükséges teljesítmény jelentősen elmarad a biztonságos sávszintű navigációhoz szükséges teljesítménytől. Ez azt jelenti, hogy a jelenlegi érzékelők, és így a helymeghatározási képességek nem képesek kielégíteni az autonómiához szükséges szigorúbb követelményeket. A jövőbeli járműveknek mindkét érzékelő fejlettebb változatait kell tartalmazniuk, korrekciókkal és fejlett fúziós technikákkal együtt, mindezt olyan költségszinten, hogy a tömeggyártás is lehetővé váljon. Ez jelentős kihívást jelent a tömegpiaci autonóm vezetés előtt. Az utakon már számos autonóm kísérleti jármű közlekedik, bár ezek többnyire 4. szintű vagy annál alacsonyabb szintű autonómiát biztosítanak [2], ami azt jelenti, hogy még mindig szükség van emberi vezető jelenlétére, és csak bizonyos körülmények között működnek. Ráadásul ezek a tesztjárművek jellemzően olyan érzékelőket használnak, amelyek nagyobbak és drágábbak, mint ami a tömeggyártásban elfogadható. Ezeknek a tesztjárműveknek az a feladata, hogy bizonyítsák a technológiát, és megszerezzék annak elfogadottságát a nyilvánosság számára, amíg a tömeges forgalomba hozatalra alkalmas változatokat kifejlesztik [3]. A Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpontjában is egy ilyen tesztjármű segítségével végezzük az önvezető funkciók tesztelését és fejlesztését.

2. Teszteszközök és tesztelési környezet

A mérések elvégzéséhez egy darab nagy pontosságú GNSS vevő került felhasználásra, egy SwiftNav Duro Inertial eszköz, illetve egy Wifi router, melyek Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpontjának Lexus autonóm funkciók tesztelésére alkalmas járművében került összeszerelésre (1. ábra).



1. ábra: Mérési összeállítás járműre/járműbe szerelve (saját szerkesztés)

A Duro Inertial a Bosch BMI160 IMU nyers inerciális szenzorméréseit a SwiftNav Starling pozicionáló motorjának pozíció, sebesség és idő (PVT) megoldásával kombinálja, hogy folyamatos és robusztus pozicionáló rendszert biztosítson a legkülönbözőbb alkalmazásokhoz. Az inerciális navigációs rendszer (INS) integráció biztosítja a helymeghatározást a GNSS kiesések és olyan időszakok alatt, amikor a GNSS nem, vagy csak kevésbé látható. A technológiák e kombinációja lehetővé teszi, hogy a Duro Inertial robusztusabb legyen az anomáliákkal szemben, és nagyobb rendelkezésre állású és egyenletesebb útvonalú pozicionálási megoldásokat nyújtson. A mindenhol és mindenkor pontos helymeghatározást igénylő alkalmazások - különösen azok, amelyek kritikus funkciókat látnak el - a Duro Inertial-ra támaszkodhatnak, amely az RTK technológiát a szabványos GNSS-szel együtt használja, hogy a csak GNSS-re épülő szabványos megoldásoknál sokkal pontosabb megoldást nyújtson. Ezek az RTK pontosítási eljárások különböző forrásból származhatnak különböző előnyök és hátrányok mellett.

A mérések helyszíne az egyetemi kampusz körüli, illetve a kampuszon belüli út, az alábbi térképen (2. ábra) láthatóak. A nagyobb kör, melynek során többnyire teljesen nyílt égbolt alatt haladhattam a tesztjárművel. A kisebb kör az egyetemi kampusz területén található, ahol magas épületek között kell elhaladni és több helyen fák lombjai is benyúlnak az út fölé, ezzel biztosítva a navigációs rendszernek bonyolult helyzetet.



2. ábra: Teszt útvonal (saját szerkesztés)

3. GNSS mérések és eredmények

A módszer teszteléséhez egy olyan mérési tervet állítottam össze, hogy a két már említett útvonalon különböző pontosítási eljárásokkal (köztük a tesztelendő felhő alapú RTK) vezetem végig a tesztjárművet és rögzítem az útvonalon az RTK állapotot (amely lehet fixpontos RTK – 2-5 cm pontossággal, illetve lebegőpontos RTK – 10-30 cm pontossággal).

A műholdak számát melyekkel a vevő kapcsolatot létesít helymeghatározás során és a vevő által becsült horizontális hibát. A következő fejezetekben egy-egy ábrán mutatom be a mentett adatokból generált grafikonokat. A nagy körön 3 tesztet rögzítettem, egyet a magyarországi GNSS Szolgáltató Központ által teljes magyarországi lefedettséget biztosító szolgáltatással, egyet a vizsgálandó felhő alapú szolgáltatással és egyet egy az Eufip ingyenes RTK szolgáltatásával (Európa szerte rendelkeznek bázisállomásokkal, de nem nincs teljes RTK lefedettség Magyarországon).

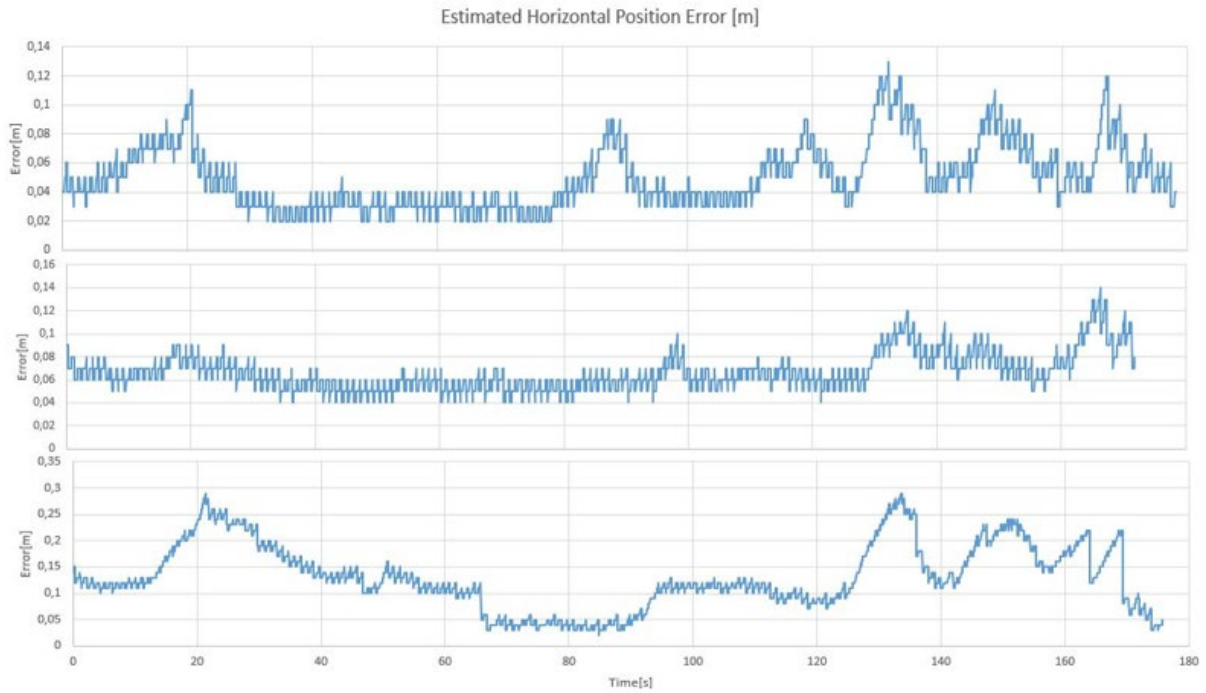
A kis körön szintén az említett hármon kívül még egy további esetet is rögzítettem, amikor teljesen kikapcsoltam az RTK pontosítást és az internetet nem igénylő SBAS (Satelit Based Augmentation System – 50-100 cm pontossággal) módszert alkalmaztam.

a. Nagykörös teszteredmények

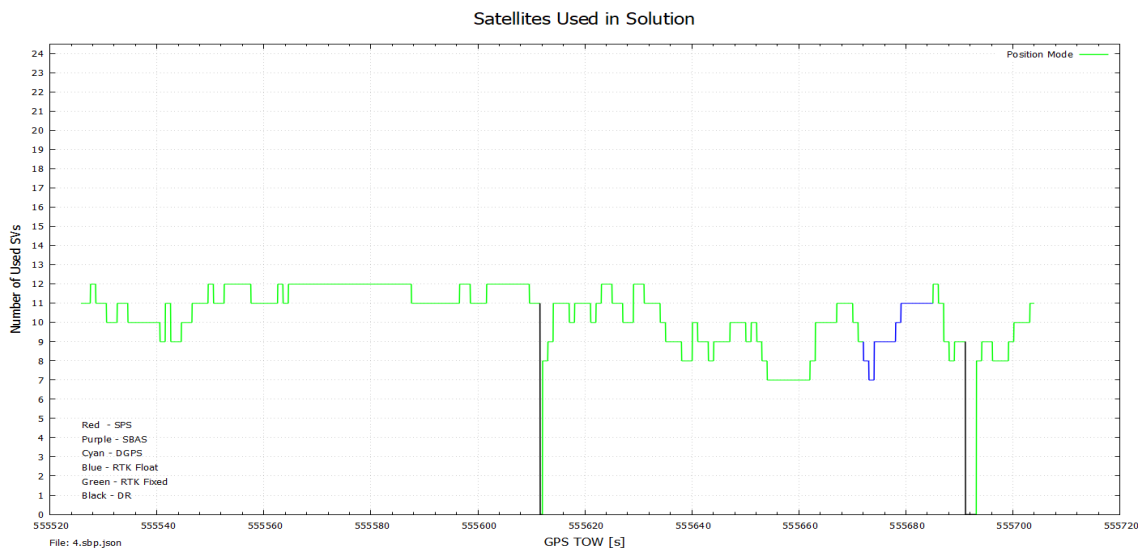
A nagy körös tesztek során először a magyarországi teljes lefedettséget biztosító RTK hálózatra (FÖMI) csatlakoztam rá, amely alapvetően egy fizetős szolgáltatás, de cserébe garantáltan magas fokú a lefedettsége. A második tesztkör során az EufmIp szolgáltatást használtam, a harmadik során pedig SwiftNav által szolgáltatott műholdas alapú szolgáltatást. Az első képen (3. ábra) e három teszt, vevő által becsült horizontális pozícióhibái kerültek megjelenítésre az említett sorrendben fentről lefelé. A következő három ábra (4. ábra, 5. ábra, 6. ábra) pedig azt mutatja, hogy a vevő milyen pozíció módban dolgozott, illetve mennyi műholddal volt aktív kapcsolata, ez grafikon színéből olvasható le.

Az értékeket elemezve arra lehet következtetni, hogy az első két megoldás, 15 cm-es maximális becsült hibával, átlagban pár centiméterrel a FÖMI RTK javára szolgáltatott pozíció adatokat. Ezzel szemben a harmadik vizsgált esetben, amikor a SwiftNav műholdalapú RT szolgáltatás volt aktív a becsült hiba mind maximumban, mind átlagban megduplázódott, illetve jól látható, hogy a pálya különböző pontjain nagyom eltérő értékek jelentkeztek. Erre a jelenségre a válaszok a műholdkapcsolatokban jól látható módon jelentkeznek. Először a FÖMI RTK teszt adatait elemezve látható, hogy a teszt nagy részében RTK fix pozíció módban volt a vevő (zöld színnel jelölt állapot) viszont két esetben is egy kis időpillanatra Dead Reckoning (teljes jelvesztési állapot) lépet fel (feketével jelölt állapot). Összevetve a becsült hiba grafikonnal látható, hogy ezek a rövid kiesések nem jelentenek jelentős problémát köszönhetően az inerciális navigációnak. Az EufmIp RTK – nál végig RTK float pozíció állapot állt fenn viszont nem volt ilyen kiesés és megfigyelhető, hogy az aktívan használt műholdak száma 30-40 százalékkal magasabb, ha tovább megyünk ezen a megfigyelési vonalon és elemezzük műholdalapú RTK szolgáltatást jól látható miért is volt annyira nagy a hiba szórás, mivel ennél az esetről volt a legalacsonyabb az aktívan kommunikáló műhold. Továbbá a harmadik esetben megjelenik olyan állapot is, amikor RTK helyett csak SBAS pozíció állapot áll fenn, ami megmagyarázza a helyenként 30 cm-es becsült pozícióhibát is. Természetesen a műholdalapú

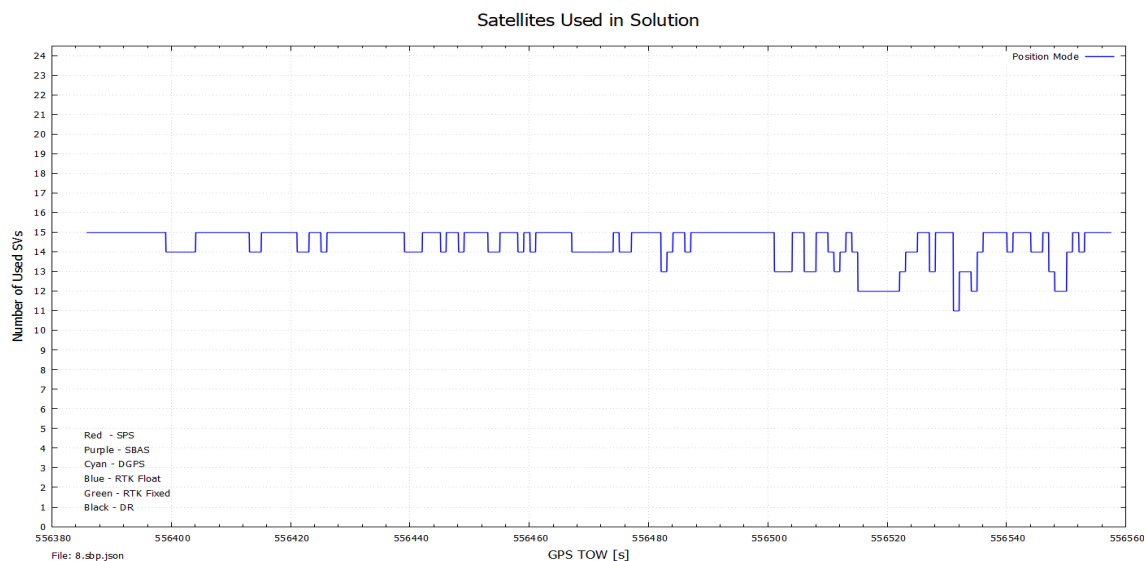
RTK megoldásnál a hektikus viselkedés magtárazható azzal is, hogy ez a technológia még annyira új, hogy nincs teljesen kiforrott állapotban a másik kettővel ellentétben.



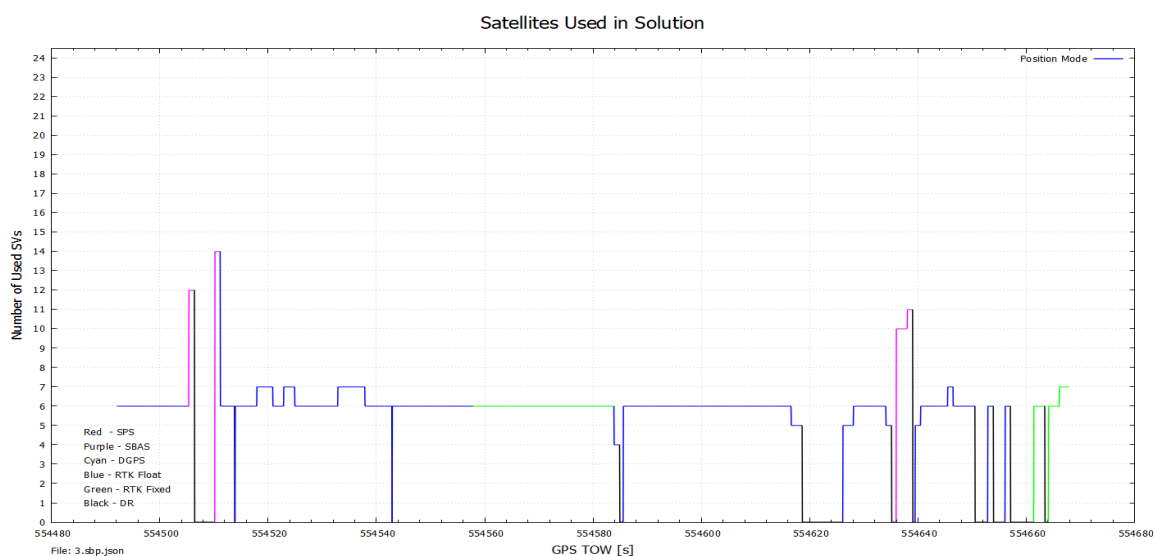
3. ábra: Vevő által becsült horizontális pozíció hiba méterben kifejezve – nagy kör (saját szerkesztés)



4. ábra: FÖMI RTK (saját szerkesztés)



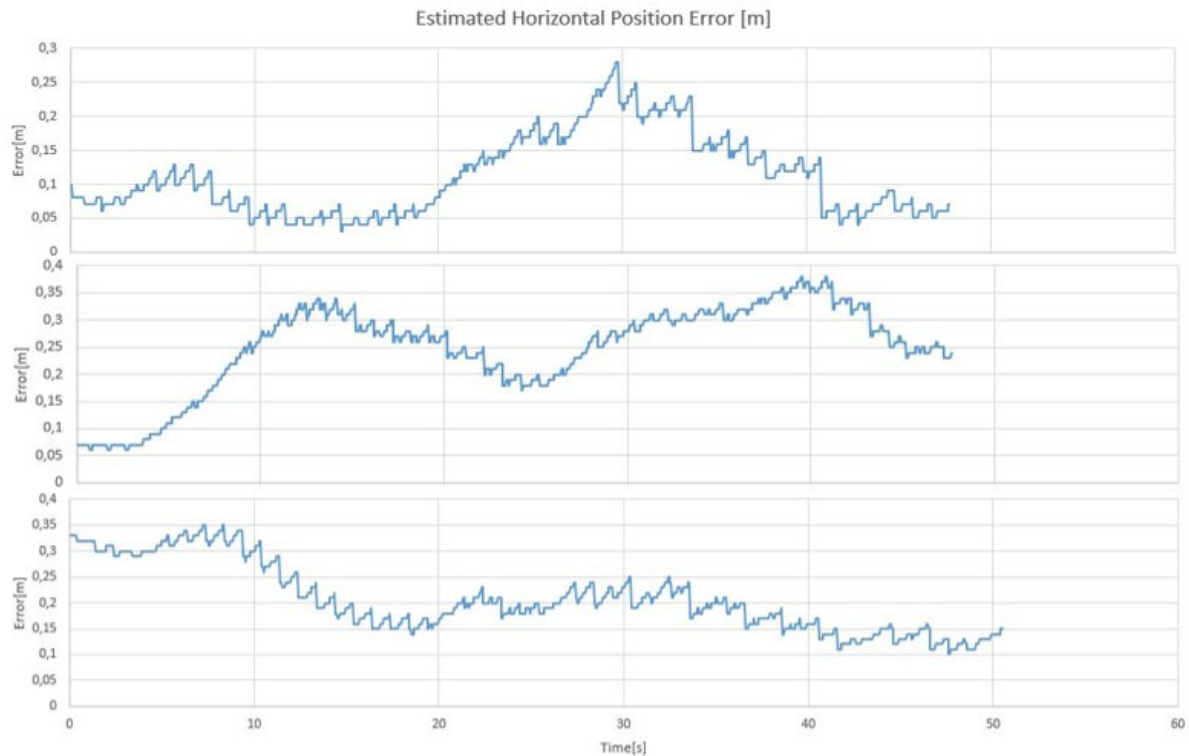
5. ábra: Eufel RTK szolgáltatás (saját szerkesztés)



6. ábra: SwiftNav műholdalapú RTK pontosítás (saját szerkesztés)

b. Kiskörös teszteredmények

A kiskörös teszteknel is ugyanabban sorrendben végeztem el a méréseimet, ha a becsült pozícióhiba grafikonokat elemezzük, akkor azt láthatjuk, hogy itt nincs már olyan jellegű eltérés a maximális és az átlag hiba értékében. Mindez azzal magyarázható azzal, hogy GNSS-nek kihívást jelentő környezetben nem jelentkeznek olyan nagy intenzitással a stabil RTK előnyei, bár a FÖMI RTK itt is a legjobb eredményt hozta, a műholdalapú RTK egy kicsivel jobban teljesített, mint az Eufel RTK. Az aktív műholdkapcsolatok terén ugyanaz a helyzet, mint az előző nagykörös méréseknél, így ezzel ebben az esetben nem kerül külön tárgyalásra.



7. ábra: Vevő által becsült horizontális pozíció hiba méterben kifejezve – kicsi kör (saját szerkesztés)

4. Összegzés

Összegezve a cikkben tárgyalt méréseket, az újonnan kipróbált módszerrel nem tapasztaltam javulást a pozicionálás területén. Ennek ellenére hasznosnak bizonyultak a mérések, mert a tervezett összehasonlítási módszer rávilágított egy érdekes problémára, mégpedig, hogy a pozíció-meghatározás során aktív műholdkapcsolatok száma mennyire összefüggésben van az adott módszerrel történő pozíció-meghatározás stabilitásával. Ennek hatására a következőben erre a területre szeretnék nagyobb hangsúlyt fektetni.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP221-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP221-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Somogyi Huba "Autonóm járművekhez fejlesztett navigációs rendszer mérési adatainak elemzése" In: Digitális Járműipari Kutatások a Széchenyi István Egyetemen - Konferenciakiadvány 2021.
- [2.] SAE International Surface Vehicle Information Report, "Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems," SAE Standard J3016, Rev. Jan. 2014.
- [3.] de Groot, L., Jokinen, A., Kruger, B., Norman, L., "Precise Positioning for Automotive with Mass Market GNSS Receivers," International Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018), Miami, FL, September 2018, pp. TBD.

Gyalogos tesztbábu tervezése és tesztelése

Design and testing of a Pedestrian Dummy

**Tóth Gábor^a, Simon Norbert^b, Magai Róbert^c,
Pekk Letícia^d, Dr. Háy András^e**

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, ZalaZONE

toth.gabor.laszlo@sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, ZalaZONE

simon.norbert@sze.hu

^cSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, ZalaZONE

magai.robert@sze.hu

^dZalaegerszegi Technológiai Centrum

leticia.pekk@tc.org.hu

^eZalaZONE Ipari Park Zrt.

andras.hary@apnb.hu

Absztrakt

A járművek autonóm- és vezetőtámogató rendszereikkel kapcsolatos kutatások és fejlesztésének elengedhetetlen része, az adott forgalmi helyzeteket modellező tesztesetek során végzett megelőző mérések, valamint a működő funkció folyamatos tesztelése. Ilyen tesztesetek kiindulópontjának jellemzően a forgalom legveszélyeztetettebb szereplőjére, a gyalogosokra, irányuló szituációkat vehetjük. Az e szerint kialakított, zárt tesztesetek során pedig a valódi gyalogost szimuláló tesztbábukat használhatunk. Célunk egy a vonatkozó előírásoknak megfelelő, a piacon kapható eszközökkel összemérhető tulajdonságú, de a tesztek során szabadabban használható, költséghatékonyabb megoldás prototípusának létrehozása.

Kulcsszavak: ADAS tesztelés, autonóm jármű tesztkörnyezet, teszteszközök

Abstract

An essential part in the research and development of the vehicles' autonomous and driver assistance systems is the preventive measurements carried out during test cases modeling specific traffic situations, as well as the continuous testing of the working function. As the starting point of such test cases, we can typically take situations aimed at the traffic's the most endangered participants, pedestrians. During the closed test scenarios based on this,, we can use test dummies to simulate real pedestrians. Our goal is to create a prototype of a more cost-effective solution that complies with the relevant regulations, with properties comparable to equipments available on the market, but can be used more freely during tests.

Keywords: ADAS testing, autonomous vehicle test environment, test equipment

1. Motiváció

Autonóm és vezetőtámogató rendszerek alkalmazásával kapcsolatos kutatásainkhoz kapcsolódóan tesztjárműveinkkel napi rendszerességgel végzünk különböző tesztek a ZalaZONE Járműipari Tesztpályán (1.ábra). Ilyen mérések alkalmávalgrehajtunk statikus, illetve dinamikus teszteseteket egyaránt, melyek során általában a tesztjárműre szerelt szenzorokkal vizsgáljuk annak környezetét, valamint az ebben található objektumokat, akadályokat. Forgalmi szituációk szimulálásának megvalósításához különleges eszközökre, úgynevezett „Soft Target”-ekre van szükség. Ezek jellemzően szivacsból és egyéb könnyű anyagokból készült gyalogost, személygépjárművet, vagy a forgalom egyéb részvevőjét formázó bábuk, azaz Dummy-k. [1] A Dummy-k használatának lényege vezetéstámogató rendszer (ADAS) és autonóm tesztek során, hogy biztonságosan tudjuk a tesztjárművet körülvevő forgalmat szimulálni, mivel ilyen teszteknek két kimenete is lehet. Pozitív esetben az akadály sértetlen marad, ha a jármű rendszere helyesen végezte feladatát az adott szituációban és elkerül bármiféle kontaktot. Negatív végkimenetel esetén az akadályt képző tárgyat a jármű elütheti, ekkor biztosítani kell, hogy se járműben ne essen kár, valamint az a targetként használt teszteszköz is alkalmas legyen további tesztek elvégzésére. Ezért az ilyen eszközöket szivacsból és egyéb könnyű anyagokból célszerű kialakítani úgy, hogy becsapódás esetén meghatározott darabokra essenek szét, ezzel is csökkentve a sérülések esélyét.



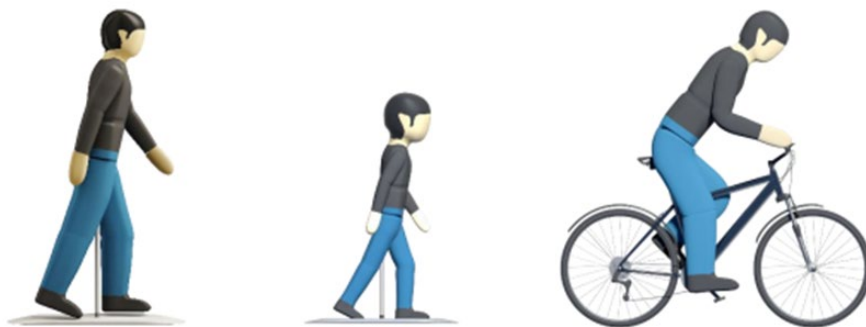
1. ábra: ZalaZONE Tesztpálya, valamint a Kutatási és Technológiai Központ látképe (saját szerkesztés)

A piacon jelenleg is megtalálhatóak ilyen próbabábuk, azonban ezek rendkívül költségesek a degradációjukhoz és az alkalmazható spektrumukhoz képest. Professzionális, tanúsított bábuk elengedhetetlenek vezetőtámogató rendszerek működésének validálásához, azonban ilyen rendszerek fejlesztésének kezdeti méréseihez, illetve kutatási célú tesztek során nem szükséges minden esetben tanúsított eszköz, az elsődleges szempont, hogy a különböző szenzorok szemszögéből a valós megfelelőjüket reálisan helyettesítve. Ebből kifolyólag felmerült részünkről az igény egy olyan Dummy bábu tervezésére, amely költséghatékonyabb kivitelű, de a vonatkozó szabványokon/előírásokon alapul, szenzorok szempontjából a professzionálissal egyenértékű, valamint a későbbiekben akár piacképes is lehet. Célunk volt egy professzionális eszköznél egyszerűbb konstrukció, amely könnyebben javítható, illetve elemei cserélhetőek esetleges sérülések esetén, ezáltal szabadabban alkalmazható tesztek során. A tervezési folyamat alatt szempont volt minél több alternatíva megoldás kipróbálása, illetve adott esetben több prototípust megalkotni, amíg a megfelelő funkció és design olyan fúzióba nem kerül, amely megfelel a magunkkal szemben támasztott elvárásoknak.

2. Gyalogos tesztbábú

A közúti fogalom legveszélyeztetettebb, védtelenebb résztvevői a gyalogosok, ezért vezetőtámogató, vagy önvezető rendszerek fejlesztése során kiemelten fontos a biztonsági funkciók velük kapcsolatos működésének hangolása. A gyalogos (Pedestrian) Dummy lényegében egy valódi embert helyettesítő teszteszköz, melyeket gyalogosokat is érintő forgalmi helyzeteket modellező tesztek során alkalmazhatunk biztonságosan. Ilyen eszközökkel (2.ábra) tudjuk szimulálni a szituációkban szereplő gyalogosokat, így kiküszöbölésre kerül a személyi sérülés lehetősége a tesztek végrehajtása során.

Az új járműtípusok biztonságának minősítése során a hagyományos törésteszteken kívül már az egyéb biztonsági funkciókat is pontoznak. A különböző vezetőtámogató rendszerek tesztelésére is létrehoztak előírásokat [2], mellyel biztosíthatja az Euro NCAP szervezet, hogy minden így elvégzett teszt egyenértékű és összehasonlítható. Az ilyen leírásokban a tesztszituációk és körülményeik mellett a tesztek során használt eszközökre is saját maguk által meghatározott szabványok vonatkoznak, le vannak definiálva a használt eszközök kinézete kialakítása és minden egyéb lényeges paraméterük.



2. ábra: Gyalogos felnőtt, gyerek és kerékpáros Dummy modellje (saját szerkesztés)

Dummy bábu esetébe a kinézetük és méreteik úgy lett specifikálva, hogy a valódi megfelelőjüknek a legátlagosabb változatát mintázzák, gyalogos esetén ez egy átlagos ~1,7 m magas embert jelent fekete felsővel, kék nadrággal, valamint sötét hajjal és cipővel. Kamera szempontjából lényeges a kinézete és a formája, de emellett a többi szenzor tekintetében is olyan értékeket kell visszaadnia, mint egy valódi embernek. [1] Jelenleg a kamerák mellett a járművek környezetének érzékelésére leggyakrabban használt szenzorok Radarok, melyek olyan biztonsági funkciók alapjai, mint az automata vészfékező/figyelmeztető rendszerek, vagy az Adaptive Cruise Control (ACC), köznyelvben „Távolságtartó Tempomat”. Radarokkal az objektumok radarreflexiós értékét mérhetjük, amely függ az érzékelő és az objektum távolságától, pozíciójuktól, valamint az objektum alakjától, anyagától, akár színétől. Tehát az ilyen szenzorokra épülő rendszerekkel végzett mérések, tesztek során akadályként használt célpontok fő szempontja, hogy a Radar által kapott értékei is megjegyezzenek azoknak a valódi szereplőknek, tárgyaknak az értékeivel, amit ezekkel szimulálunk. Hiszen nekünk a végső rendszerekkel például az valódi gyalogost kell megfelelően detektálnunk és felismernünk, azért a fejlesztéshez használt Gyalogos bábuknak minden szempontból a lehető legközelebb kell hozzá állni. Ez igaz az össze többi ilyen eszközre is, akár gyerek-, kerékpáros-, motorkerékpáros-, szarvas-, személygépjármű báburól beszélünk, azonban első kiinduló pontként jellemzően a standard gyalogost tekintjük.

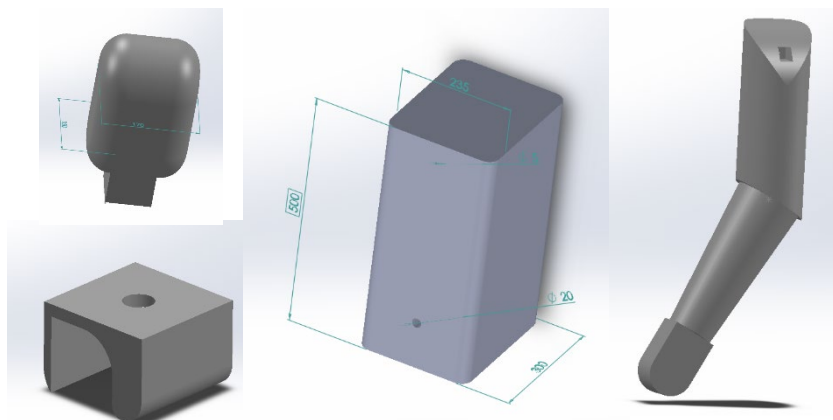
3. Gyalogos tesztbábú prototípus tervezése

A gyalogos Dummy tervezési folyamata 3 fő részre bontható, aminek oka a széleskörű kompetenciaterület lefedése. A korábbi irodalom-, valamint szabványkutatások eredményeképpen megismertük azokat a kritikus részeket, amelyeket nagyobb fajsúllyal

szükséges kezelni. Ez alapján lett felépítve egy tervezési lépcső, amely az alábbi elemekből épül fel: Bábu „testének” felépítése, Elektronika tervezése, 3D nyomtatott alkatrészek tervezése. A tervezés során figyelembe vettük a vonatkozó előírásokat, egy professzionális, piacon is kapható, bábút és egy korábbi hallgatói feladat során készültet is.

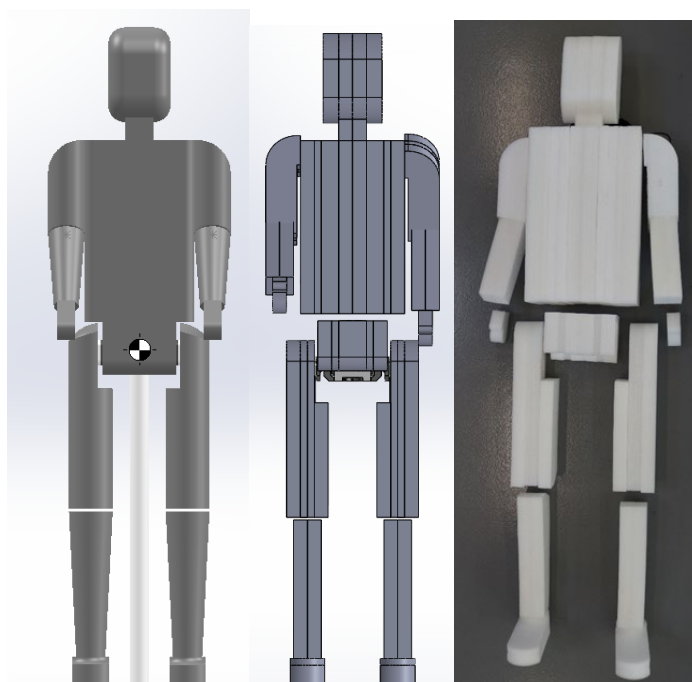
a. Bábu „testének” felépítése

A gyalogos és egyéb tesztbábuk alapkövetelménye, hogy aránylag könnyű, rugalmas, és puha anyagokból épüljenek fel, vagy legyenek burkolva, mivel gyakran fennál a tesztjárművel való ütközés esélye. Az ilyen eszközök használatának lényege, hogy még a tesztelések során kiszűrjünk minden hibát a vezetőtámogató rendszerek működésében során, majd ezeket javítva biztosítani, hogy valós szituációkban már megfelelően ellátják feladatukat és adott esetben ütközéseket is segítenek elkerülni. Ebből kifolyólag viszont fejlesztés során igen is bekövetkeznek kisebb nagyobb kontaktok a bábuk és a tesztjárművek között, ezért kell ezeket az eszközöket úgy kialakítani, hogy ilyen esetben a tesztjárműben ne keletkezzen kár, illetve magában az eszközben is minimális legyen a sérülés esélye. A főbb elemeket jellemzően egy könnyű szivacsból készült váz alkotja, testrészeket, így ennek kialakításával kezdődött a tervezési munkánk. Figyelembe vettük a vonatkozó szabványokat, előírásokat a kialakításra és geometriai paraméterekre vonatkozóan, de ezekkel együtt a gyárthatóságot szemelőt tartva. A befoglaló méretek alapján egyben megrajzolt testrészek modelljei külön-külön készültek.



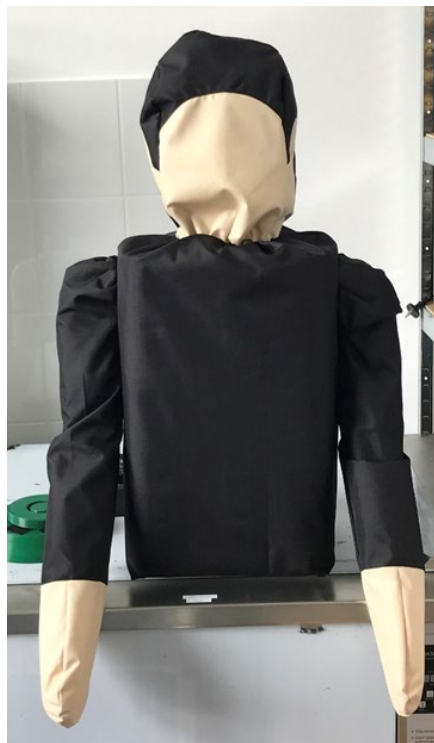
3. ábra: A fej, csípő, törzs és kar 3D modellje (saját szerkesztés)

A fej, törzs, csípő, karok (3.ábra) és lábak összeállításával elkészült a bábú alakjának háromdimenziós változata. A tömör modellekben további lépések során lettek kialakítva a további alkatrészeket és csatlakozókat befoglaló részek. A testrészmodellek elkészültével a gyártás előkészítés következett, mely során a szivacsok elkészítését vállaló külső partnerrel történt egyeztetéseink alapján optimalizáltuk a terveket. A referenciatermékeken végzett előzetes mérések alapján kiválasztottuk a kapott minták közül a megfelelő anyagminőségű darabokat. Ezek a szivacs anyagok jellemzően síktábla formában vannak a piacon a beszállító partner pedig vállalta, adott technológiai határokon belül, a számunkra szükséges formájú darabok kivágását. A választott minőségű szivacsok 20, 40, 50 és 80 mm vastagságú táblákban érhetőek el, ezek alapján osztottuk síkokra a modelljeinket, melyekből elkészíthettük az egyes rétegek vágási sablonjait. Mivel a gépi vágás egy dimenzióban történik, az élek lekerekítését utólag, kézzel megmunkálva kellett végezni. A végleges bábú (4.ábra) összesen 39 darab szivacsdarabból épül fel, amiket speciális, szivacsokhoz használatos, hő hatására térhálósodó ragasztót használtunk.



4. ábra: Dummy teljes 3D, majd rétegekre bontott modellje és a legyártott szivacs test (saját szerkesztés)

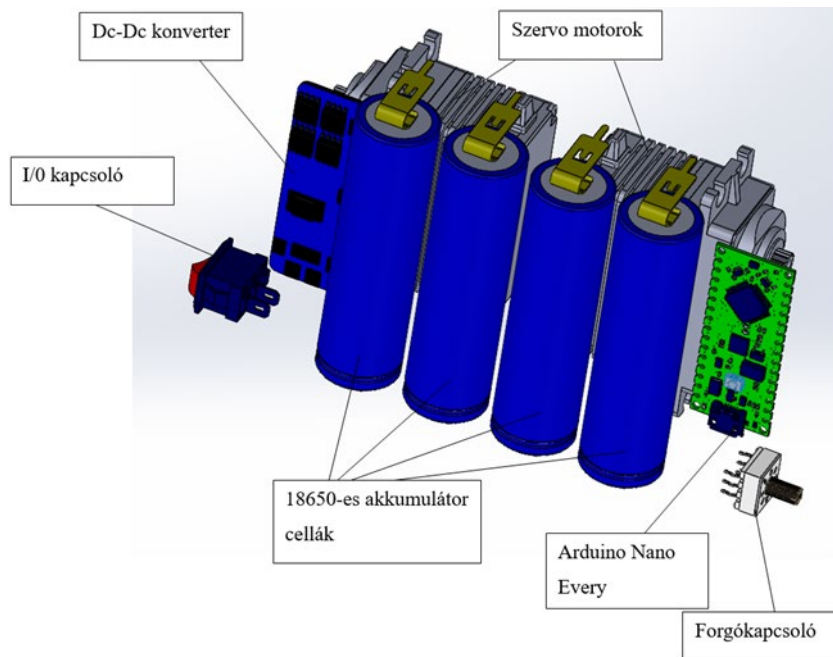
A megfelelő vizuális paramétereket és a külső védelmet a szivacsdarabok beburkolásával kaptuk. A testet és az egyes végtagokat megfelelő színű kopásálló, motoros ruháznál is használt, textilanyaggal borítottuk. A ruhaanyag sablon szerinti vágását és varrását szintén külső partnerrel készítettük el. A kialakításnál a formára igazítás mellett a cserélhetőség volt az elsődleges szempont, ezért több helyen tépőzáras megoldást alkalmaztunk, ezáltal leszedhető marad a borítás, így a szivacs, vagy a textil esetleges sérülése esetén az könnyedén cserélhető csak a tényleges darab. Az ilyen megoldásokkal szeretnénk a könnyű és költséghatékony javíthatóságot biztosítani, hiszen, ha ezek az eszközök folyamatos használatban lesznek, bármikor bekövetkezhet valamelyik részének sérülése és a tesztek folyamatosságának fenntartása érdekében lényeges a sérült részek gyors cseréje. A textil borításnak a lábak esetében például összekötő funkciója is van, a lábszár és a comb egy közös borításban van, de egymáshoz nincsenek rögzítve, ezért ruhának köszönhetően a térd hajlítható. A karok testhez való rögzítésénél is az egyszerűsége törekedtünk a szerelhetőség és a rugalmasság megtartása mellett, ezek alapján a karokat egy a testen átfűzött, nagyteherbírású zsineggel rögzítettük, mely könnyen oldható és rugalmas kötést eredményez (5.ábra). A lábak testhez való rögzítése kicsit komplexebb, mivel a mozgatott Dummy esetén a „járást” a lábak mozgásával szimuláljuk, ezért itt fontos a pozíció szerinti, stabil rögzítése.



5. ábra: Felső test és a karok borítása (saját szerkesztés)

b. Elektronika tervezése

A „járás” szimulálásához szükséges a lábakat adott sebességgel mozgatni, ezt általában a csípőrészben elhelyezett villanymotorokkal valósítják meg, mi is ezt a koncepciót követtük a tervezés során. A szükséges motorok méretének kiválasztásához, ismernünk kell a várható terhelés mértékét. Szabvány szerint a lábak mozgásának a normál haladási sebességet kell utánozni, a szükséges maximális mozgási sebesség a 3 m/s, ez az ingamozgás maximális sebessége. Számítások szerint a láb legnagyobb sebességű mozgásához 0,67Nm nyomatékra van szükség, villanymotor keresés szempontjából ezt érdemes átváltani Ncm-re, ami 67 Ncm. Ezen kívül fontos, hogy minél kisebb legyen a motor fizikailag, ugyanis a borítás alatt csupán korlátozott hely áll rendelkezésre és nem csak a meghajtásnak, hanem annak vezérlésének és tápellátásának is helyet kell biztosítani. A meghajtás tekintetében a HD1235MG szervomotorra esett a választás. Ugyanis ez a motor megfelel a nyomaték követelményeknek. Ennek megtáplálására 3,7 V-ra van szükségünk, viszont olyan akkumulátort kell bele tenni, amely képes leadni a szükséges anyagmennyiséget, mégis egyszerű tölteni vagy gyorsan ki lehet cserélni. Ezért itt megoldásnak 4db 18650-es cella került kiválasztásra. Ezek kivétele és töltése egyszerű, valamint üzem közben akár több ilyen pakkot is elő lehet készíteni, ezáltal gyorsan és egyszerűen cserélhető az áramforrás. A lábak mozgását több különböző fokozatban terveztük, a különböző sebességű gyaloglás szimulálására. Annak érdekében, hogy a rendszer vezérelhető legyen, egy vezérlő egység is beépítésre került, mivel a feldolgozó egységnek csupán értelmeznie kell egy bemenő jelet, amiből tudja, hogy éppen melyik fokozatban van és milyen sebességgel kell mozgatnia a lábakat, a választás az Arduino Nano Everyre esett. Ennek viszont állandó 5 V feszültségre van szüksége, amit egy DC-DC konverter beiktatásával segítségével tudjuk megoldani. Felügyeleti és biztonsági szempontból egy kijelzővel rendelkező konverter kerül használatba, ami 3-47 V között képes operálni. Kerül a rendszerbe (6.ábra) egy biztonsági I/O kapcsoló, hogy szükség esetén megszakítható legyen az áramforrás, valamint egy sebességi fokozat választására szolgáló kapcsoló is.

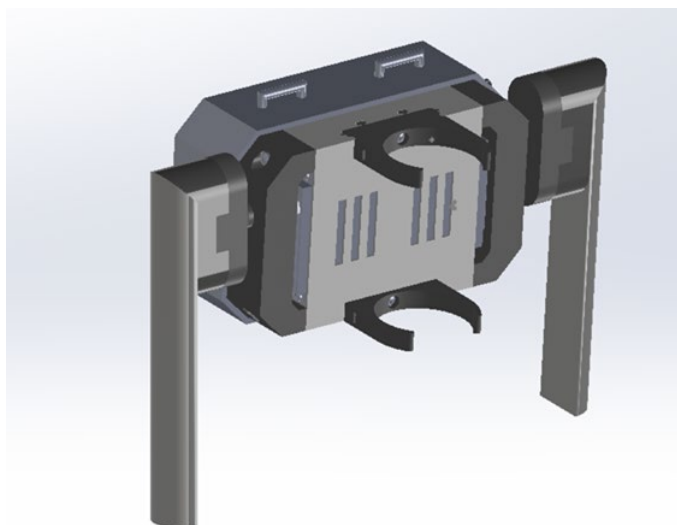


6. ábra: Láb mozgató elektronika digitális modellje (saját szerkesztés)

Az elektronikai egység megvalósítása közben kisebb-nagyobb változtatások jöttek létre. Ilyen például a 130 W-os step-down DC-DC konverter, amely a 18650-es cellák feszültségét redukálja le és a DC-DC konverterbe közvetlenül került bekötésre az I/O kapcsoló. A későbbi alkatrész cserék meggyorsítása érdekében a nyomtatott műanyagváz tépőzárral lett ellátva, amin keresztül a különböző elektronikai komponensek csatlakoznak majd. A tesztelések során felmerült a probléma, hogy az analóg elven működő potenciométer külső, mechanikai behatás esetén relatív nagy ugrással, de pillanatnyilag eltérő jelet ad, mint a beállított, ennek következményében a bábu szervo motorja hirtelen nagy fordulatot tesz. A hirtelen nyomatékváltozások akár nem várt károkat is okozhatnak, ezért egy alternatív vezérlés kifejlesztése vált szükségessé. A forgó kapcsoló helyett egy felfelé és egy lefelé léptető gomb került integrálásra, mellyel az előre programozott sebesség fokozatok közt választhatunk, kiegészítve egy fokozat kijelző digitális panellel. A kijelzőn a 0;1;2;3;4 kijelzés szintek jelölik a lábak aktuális sebességét km/h-ban kifejezve. A „0” szint az alap pozíció felvételét, a lábak párhuzamos állását jelenti.

c. 3D nyomtatott alkatrészek tervezése

Az elektronikai rendszer funkciója a két láb ellentétes irányú mozgatása. Legegyszerűbb elrendezésben egy-egy láb van felszerelve a két különálló szervomotorra, áttételek nem szükségesek, a motor vezérlésének programozásával érjük el a kívánt forgási sebességeket. A lábakat stabilan a motorok kihajtó tengelyeire kell rögzíteni, de úgy, hogy a lábak esetleges járművel való ütközés esetén leváljanak. Az eszköz sérülését azzal tudjuk csökkenteni, ha az egyes komponensek külső behatás esetén leválnak egymásról, különben, ha egybe lenne fixen rögzítve maga az anyag szakadhatna, törhetne. Például, ha eldől a bábú és a jármű alá kerül a láb, ha az leválik a testről akkor nem feltétlenül hajt át az egész szerkezeten a jármű, így, ha sérül is, csak az adott szegmens. Emellett a villanymotorok szempontjából is jó, ha behatás, vagy nagyobb terhelés esetén leválnak a lábal, ezáltal feltehetően a többlet terhelés is megszűnik. Ebből kifolyólag olyan rögzítést kellett terveznünk, hogy a lábak stabilan a villanymotorhoz legyenek rögzítve, pozíciójuk megfelelő precizitással biztosítható legyen, de behatás esetén oldódjon a rögzítés.



7. ábra A csípőbe tervezett egyedi alkatrészek összeállítási modellje (saját szerkesztés)

A tömeg, a megmunkálhatóság, valamint biztonsági szempontból is műanyag alkatrészek használata az indokolt. Magához a rögzítés megvalósításához egy olyan alkatrészt terveztünk, amely két félből áll és ezek egymáshoz mágnesekkel kapcsolódnak. A külső, láb felőli, rész egy hosszabb alkatrész a felső végében oldalról beragasztott mágnesekkel, ez az elem a comb szivacsvázába kialakított horonyba kerül beragasztásra, ezáltal a forgatónyomaték az egész hosszán eloszlik. A másik egy kisebb darab amelyik egyik oldalán a mágnesek párpai vannak

elhelyezve kettő pozícionáló ékkel, ezek biztosítják, hogy a két fél ne csavarodhasson el egymáshoz képest, a másik oldalán pedig a motor tengelyére való rögzítéshez szükséges furattal ellátva. A motorok rögzítésére is egy több darabból álló házat terveztünk, amiben az elektronikai rendszer további részei és az akkumulátorok is helyet kapnak. Az alkatrészek prototípusait 3D nyomtatással készítettük és így kerültek a prototípus bábuba beépítésre (7.ábra).

4. Dummy prototípus (Gen2) tesztelése

Tesztjárműre szerelt radar, valamint egy mikroszámítógép segítségével rögzítjük a target, keresztmetszeti adatait, és azt vizsgáljuk, hogy a miként ismeri fel azt. A mérést úgy végezzük el, hogy adott távolságból lassan (10 km/h) megközelítjük a statikus dummy-t (8.ábra), s ez alatt a radarból érkező adatokat rögzítjük. Ezt a mérést többször is elvégezzük, a radar keresztmetszeti (Radar Cross-Section, RCS) [3] adatok alapján így kitudunk alakítani egy felső és egy alsó trend vonalat, amely alapján összetudjuk hasonlítani az European Automobile Manufacturers Association – ACEA által készített specifikációs dokumentáció [4] alapján. A mérés célja, hogy validáljuk a saját készítésű Dummy bábunkat radar, majd később kamera szenzorokkal is, oly módon, hogy radar keresztmetszeti mérést és objektum felismerést végzünk rajta. Valamint referenciaként használnánk a tesztjárművünk rendszerébe frissen integrált radar szenzor beállításainak finomhangolására is.



8. ábra: A kész prototípus Dummy (saját szerkesztés)

d. Mérés során használt eszközök

A mérés során egy Continental ARS 408-21 radart és egy Jetson Xavier NX mikroszámítógépet (9.ábra) használunk az adatok rögzítésére és feldolgozására. A mérő műszereket a Nissan Leaf tesztjárműre szereltük fel, valamint a mérést a saját fejlesztésű Dummy-n végezzük el.



9. ábra: Continental ARS 408-21 radar, Jetson Xavier NX mikroszámítógép (saját szerkesztés)

e. A mérés menete

A mérést minden esetben legalább 25 méter távolságból rögzítettük. Mivel ezek a mérések alapvetően elég hosszúak ezért oda vissza végeztük el azokat. Ez azt jelenti, hogy a target-től viszonyítva 25 méter távolságból indultunk el a dummy felé, majd körülbelül 1 méter távolságra megálltunk előtte. Ez volt egy mérés (10.ábra). Ezt követően nem álltunk vissza a kezdő pozícióba, hanem tolatva megismételtük a mérést, majd 25 m távolságra megálltunk a dummy-től. A méréseket minden esetben legfeljebb 10 km/h sebességgel végeztük el.



10. ábra: A mérést végző tesztjármű és a Dummy target (saját szerkesztés)

A mérést tehát így két szegmensre oszthatjuk, egy előre és egy hátra menetire. A mérés kiértékelésben ezen adatokat külön színnel fogjuk jelölni, annak érdekében, hogy megtudjuk, hogy a fordított szakasz van-e bármilyen hatással a mérésre. Ennek függvényében a rögzített rosbag-eket megkülönböztetjük egymástól, egy „f” és egy „r” jelzővel, ezek jelölik a mérés irányát: „forward”, illetve „reverse”

f. Első mérési eredmények

Az első, kezdeti méréseket a JKK ZalaZONE Laborépületének parkolójában végeztük, elsősorban a mérőrendszer finomhangolására, ahol a szenzor látómezőjének beállításán és az érzékelt objektumok szűrésének pontosításán volt a hangsúly. Ezek után elvégeztünk 5 db próbamérést:

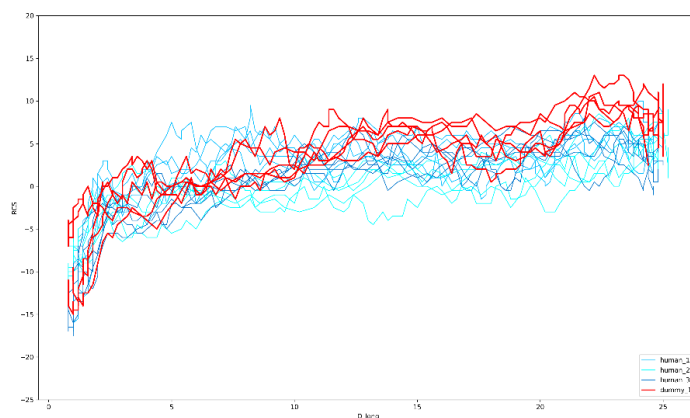


11. ábra: 5 db statikus Dummy teszt (25 m forward+reverse) (saját szerkesztés)

A 11. ábrán látható grafikonon az egyes görbék az 5 db mérés során rögzített radarkeresztmetszeti értékeket ábrázolja a távolság függvényében. Ebből a néhány kezdeti mérésből látszik, hogy a bábu értékeinek karakterisztikája közelít leírások szerint elvárthoz, de 15 és 20 méter között egy kis beesés tapasztalható az értékekben. Feltehetően ez a nem megfelelő platformnak köszönhető, ennek azonosítása további méréseket igényel, tervezzük a bábút platform nélkül, egy karóra állítva, illetve különböző kialakítású platformok vizsgálatát is, valamint egy saját fejlesztésű platform készítését is a közeljövőben.

g. Összehasonlító mérések

Az előírások mellett az ilyen teszteszközöknek természetesen a legfontosabb tulajdonsága, hogy a valós megfelelőjüket megfelelően és pontosan helyettesítse, a szenzorok szempontjából is. Hiszen, ha a fejlesztéshez használt bábuk értékei különböznek a valós megfelelőiktől, akkor az ezek alapján fejlesztett vezetőtámogató és autonóm rendszerek működhetnek akár milyen jól bábukkal, adott esetben egy valódi gyalogosra nem reagálnak. Ebből kifolyólag elkezdtünk összehasonlító méréseket is végezni, hogy ne csak elméleti adatokhoz és előírásokhoz viszonyítsuk a saját Dummy bábunk tulajdonságait, de valódi mérések alapján összevethessük a valódi emberek esetén mért értékekkel. Így az előzőekben leírt tesztszituációt elvégeztük valódi emberrel is.



12. ábra: Dummy (piros) és Ember (kék) RCS összehasonlítása (saját szerkesztés)

A kiértékelés során kapott diagrammon (12.ábra) jól látszik, hogy azonos körülmények között az általunk készített tesztbábu értékei nagyságrendileg egybeesnek egy valódi ember esetén mért értékekkel. Ügyeltünk rá, hogy a Dummy és résztvevő ember minél jobban hasonlítsanak dimenzióikban, mérés alatti pozícióikban és ruházatukban.

5. Összegzés

A közeljövőben még több radar, illetve kamera alapú mérés elvégzésével szeretnénk ennek, a Gen2-e Dummy tesztbábunak a paraméterei validálni, valamint meghatározni a szükséges változtatásokat fejlesztéseket. Már most is tervezett változtatás a gyorsulásmérő integrálása, amely ütközés esetén az érzékelt gyorsulás hatására lekapcsolja az elektronikai rendszer főkapcsolóját, ezzel kímélve a villanymotorokat és a csípőben található műanyag alkatrészeket.

A külső-belső design véglegesítésével elkészíthetők a végleges gyártási dokumentációk, műhelyrajzok összeállítási utasítások. A dokumentumok elkészítésével pedig elindulhat egy kisebb széria legyártása, amellyel létrejönne egy a vezetőtámogató és autonóm rendszerek fejlesztéséhez széleskörűen használható tesztbábu flotta. Viszont ehhez szükségesek a bábukat hordozó platformok is, amik jelenleg még nagyon kezdetleges formában állnak csak rendelkezésre számunkra, ezért feladatként ennek a tervezése és gyártása is elengedhetetlen.

6. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] P. Lemmen, J. Stoll, U. Bergelt, P. Seiniger, M. Wisch, O. Bartels, E. Schubert, M. Kunert, I. Knight, D. Brookes, M. Ranovona, T. Okawa, C. Domsch és T. Schaller, „EVALUATION OF PEDESTRIAN TARGETS FOR USE IN AUTOMOMOUS EMERGENCY BRAKE SYSTEM TESTING - A REPORT FROM THE HARMONISTION PLATFORM 2 DEALING WITH TEST EQUIPMENT”.
- [2.] E. N. C. A. PROGRAMME, TEST PROTOCOL – AEB/LSS VRU systems (Version 4.5.1), Euro NCAP, 2024.
- [3.] Hsueh-Jyh Li és Yean-Woei Kiang, Radar and Inverse Scattering, The Electrical Engineering Handbook, 2005.
- [4.] T. Wimmer, M. Fritz és F. Baumann, Articulated Pedestrian Target Specifications , Version 1.0, ACEA-Group, 2015.

