

LXXIII. ÉVFOLYAM 1. SZÁM
2023. FEBRUÁR

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVÁ 1951-BEN

TUDOMÁNYOS ELISMERÉSEK, DÍJAK ÁTADÁSA A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIAÁN

2022. november 3.

A Hídvégi Gróf Mikó Imre díjak átadása

A Kuratórium a magyar tudomány ünnepén, a magyar vasút fejlesztése területén végzett kiemelkedő eredmények elismerésére, a Magyar Tudományos Akadémia által, a MÁV ZRt kötelezettségvállalása mellett létrehozott Hídvégi Gróf Mikó Imre díjat, valamint a díj mellé, a Magyar Közlekedési Közművelődéséért alapítvány Hídvégi Gróf Mikó Imre emlékplakettjét adományozza.

Életmű kategóriában, megosztva:

Fenyves Lászlónak, a műszaki tudományok doktorának, nyugalmazott MÁV forgalmi szakértőnek, a Nemzetközi Vasútegylet szolgálati hely adatbázisának fejlesztésében nyújtott sikeres MÁV képviselőtért, a szállítás irányítási információs rendszert fejlesztő projektben való aktív és kiemelkedő tevékenységéért, a rendszer üzemeltetésének koordinálásáért, a forgalmi informatikai fejlesztések irányításáért, valamint kiemelkedő egyetemi oktató munkájáért;

Komoróczy Istvánnak, a műszaki tudományok doktorának, nyugalmazott MÁV főtanácsosnak, MÁV Kft igazgatónak, az 1970-es években beszerzett MÁV vontatott járművek szerkesztésében és a vontatott járműparkot érintő nagyobb korszerűsítések kivitelezésében végzett kiemelkedő munkájáért, az Y25 típusú forgóvázak honosításáért, több mint 96-féle jármű tervezéséért, a felújított M3 metró szerelvények, a TramTrain hibrid motorvonat és a hazai gyártású IC+ nagysebességű vasúti személykocsi tanúsításában való részvételéért, valamint színvonalas szakirodalmi tevékenysége elismeréseként.

Aktív szakember kategóriában:

Farkas Gyula PhD-nak, okleveles közlekedésmérnöknek, okleveles mérnök-közgazdásznak, a Rail Cargo Hungária ZRt fősztályvezetőjének, a pályavasúti értékesítés keretrendszerének megteremtéséért, a magyarországi nyílt hozzáférésű vasúti pályahálózat használatának szerződéses és gazdasági feltételeinek kialakításáért, a tudományos élet és az utánpótlás képzés területén végzett munkájáért, valamint a vasúti árufuvarozás megújításában játszott kiemelkedő szerepéért, amellyel közvetlenül hozzájárul hazánk klímavédelmi céljainak eléréséhez.

A kitüntetetteknek gratulál és további eredményes munkát kíván a

Közlekedéstudományi Szemle Szerkesztőbizottsága

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE

A közlekedési szakterület tudományos lapja
VERKEHRSWISSENSCHAFTLICHE RÜNDSCHAU
Zeitschrift des Ungarischen Verein für Verkehrswissenschaft
REVUE DE LA SCIENCE DES TRANSPORTS
Revue de la Société Scientifique Hongroise des Transports
SCIENTIFIC REVIEW OF TRANSPORT
Publication of the Hungarian Society for Transport Sciences

Megjelenik kéthavonta
www.ktenet.hu

ALAPÍTOTTA:
a Közlekedéstudományi Egyesület

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG:
Kövesné Dr. Gilicze Éva elnök
Dr. Katona András főszerkesztő
Barlog Károly
Dr. Békési István
Berta Tamás
Bretz Gyula
Horváth Lajos
Mészáros Tibor
Dr. Prileszky István
Somogyi Marcell
Szűcs Lajos
Dr. Tánzos Lászlóné
Dr. Tóth János
Dr. Tóth László

SZERKESZTŐSÉGI TITKÁR:
Ráczné dr. Kovács Ágnes
Tel./Fax: 353-2005, 353-0562
E-mail: szemle@ktenet.hu
DOI szerkesztő: dr. Török Ádám

SZERKESZTŐSÉG:
1066 Budapest, Teréz krt. 38. II. 235.

FELELŐS KIADÓ:
Dr. Tóth János,
a Közlekedéstudományi Egyesület főtítkára

KIADJA:
Közlekedéstudományi Egyesület
1066 Budapest, Teréz krt. 38. II. 235.
www.ktenet.hu

MEGBÍZOTT KIADÓ:
Press GT Kft.
1139 Budapest, Úteg u. 49.
Tel.: 349-6135
E-mail: info@pressgt.hu

NYOMDAI KIVITELEZÉS:
Informax Millenium kft.
Felelős nyomdavezető: Bocskay Endre

TERJESZTŐ:
Magyar Posta Zrt. Központi Hírlap Iroda
1089 Budapest Orczy tér 1., Telefon: 36-1-4776300

ELŐFIZETÉS:
Előfizethető a Közlekedéstudományi Egyesület
szerkesztőségében
Éves előfizetés (6 szám): 9000 Ft
KTE egyéni tagoknak: 4500 Ft

ISSN 0023 4362

A folyóiratunkban megjelenő cikkek egy év embargót követően nyíltan hozzáférhető digitális irodalomnak tekinthetők. A cikkeket a szerkesztőség az EPA-ban és a REAL-ban online elérhetővé teszi.



A cikkek tartalma nem minden esetben egyezik a szerkesztőség véleményével.
Kéziratot nem őrzünk meg.

TARTALOM

Kövesdi István

Zöldebb gépjárműadózás Magyarországon 4

Rosta Szabolcs – dr. habil. Gáspár László

Útépítési bitumen és visszanyert bitumen
elegyének dinamikai viszkozitás számítása
és előrebecslési lehetősége 21

Szilassy Péter Ákos – Földes Dávid

Akkumulátoros elektromos autóbuszok
fogyasztásának becslése vonali jellemzők és
hőmérséklet figyelembevételével 38

Emlékeztető

az MTA Közlekedés- és Járműtudományi
Bizottságának üléséről 57

Melléklet

*Közlekedésbiztonság -
Közlekedési környezetvédelem*

Barna Éva

Automata vezetéstámogató rendszerekhez
kapcsolódó kockázatok és a kezelésükre való
felkészítés a gépjárművezető képzésben 62

A digitális változat megrendelése csak egyéni előfizetőknek lehetséges a Közlekedéstudományi Szemle szerkesztőségénél (szemle@ktenet.hu).

A digitális változat előfizetési díja évente 6600 Ft, KTE egyéni tagnak 4500 Ft. Az aktuális lapszámokat már a nyomtatott változat megjelenése előtt elküldjük előfizetőink e-mail címére pdf formátumban.

Zöldebb gépjárműadózás Magyarországon

A gépjárműhasználatához kapcsolódó főbb adónemeket és egyéb állami díjakat, illetve mindezek EU-s és hazai szabályozását áttekintve készültek olyan javaslatok a magyar gépjármű-adórendszer fejlesztésére, amelyek lehetővé teszik a klímacélok hatékonyabb érvényesítését a költségvetési bevételek megtartása mellett. Mindezek együttesen olyan aktuális kérdéskört dolgoznak fel, amely a részeredmények mellett átfogó javaslatot is tartalmaz. Miután a Közlekedéstudományi Szemle napi aktualitásokkal viszonylag ritkán foglalkozik így napjaink egyik legfontosabb kérdéskörének gazdaságpolitikai feldolgoása különös jelentőséggel bír.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.1.1>

Kövesdi István

Ph.D. hallgató
Széchenyi István Egyetem
e-mail: kovesdi.istvan@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A környezetvédelem a közlekedésben gyakran hangoztatott és nemes cél, de nagyon költséges. Jelenleg a személyautózás terén az (akkumulátoros) elektromobilitás látszik a környezetet kevésbé terhelő megoldásnak, de ez messze nem tökéletes, mivel az égésből származó emisszió leginkább csak a helyszínt illetően változik (a mozgó járműtől távolabb kerül), a teljes kibocsátott mennyiség azonban csak kevésbé csökken. A kifutónak remélt, de várhatóan még évtizedekig velünk maradó belső égésű motoroknál vagy éppen a hibrid technológiáknál is vannak olyan lehetőségek, amelyek a károsanyag-kibocsátás csökkentését eredményezhetik, és amelyek pénzügyi ösztönzőkkel támogathatók. Magyarországon és a hasonló közepes jövedelmű országok esetében azonban az adózás rendszerébe való környezetvédelmi célú be-

avatkozás nem tud akkora szerepet játszani, mint a fejlettebb országokban, mivel a gazdasági növekedést vethetné vissza. Fontos azonban, hogy a gazdasági növekedés ne a szennyezés növekedése árán történjen, sőt, lehetőleg csökkenő szennyezés mellett. Ehhez az adóztatásban elmozdulás szükséges a környezetvédelem felé, jelezve a piaci szereplők számára a kívánatos irányt.

2. A GÉPJÁRMŰADÓZÁS KÖRNYEZETE

A cél olyan kiinduló javaslatok megfogalmazása az adórendszerben, amelyek a környezetbarátabb energiaforrásokra történő átállást segítik elő a költségvetési bevételi célok jelentősebb sérelme nélkül. Nem mindegy azonban, milyen gazdasági-társadalmi közegben próbálunk a cél érdekében hatékonyabban adóztatni. Az önmagában leg-

jobb, leginkább célravezető, leghatékonyabb, leginkább arányos adórendszer is működés-képtelenné válhat, ha a gazdasági-társadalmi tényezők (pl. teherviselő-képesség, politikai szempontok, importfüggés mértéke, árváltozások) nem kerülnek megfelelő módon figyelembevételre.

2.1. Finanszírozandó célok

Az adóztatás definíció szerint ellenérték nélkül történik, ugyanakkor kijelenthető, hogy a gépjármű-adóztatás jellemzően a következő költségek finanszírozását hivatott biztosítani [1].

- infrastruktúra költségek
- externális költségek
- adminisztrációs, intézményi, ellenőrzési költségek
- egyéb közvetlen költségek
- egyéb állami költségek

Az egyes gépjárműadók kimondva vagy kimondatlanul ezen költségek finanszírozását szolgálják. Fenti jellemző költségek közül kiemelendő a közlekedési infrastruktúra kiépítésének és fenntartásának költsége, mivel a további költségek közvetlenebbül kapcsolódnak az infrastruktúra tényleges használatához, ideértve az externális költségeket is, amelyek a közlekedés károkozását hivatottak fedezni, ugyanakkor tényleges kiadást kevésbé jelentenek. Az infrastruktúra állandó jellegű költségeit viszont elsősorban a rajta közlekedőknek, másodsorban az egész társadalomnak kell kitermelni. A társadalom által fizetendő költség jelentős része is a közlekedőkre terhelhető, és így a társadalomnak nem kell adó formájában külön fizetni az utakért, eleendő, ha megveszi azokat a termékeket és szolgáltatásokat, amelyek után a fuvarozásért kifizették az infrastruktúra költségeit, és ezzel az beépült a fogyasztói árakba. Kijelenthető az is, hogy a vasúti infrastruktúra célja – különösen az EU közlekedéspolitikája [2] fényében – elsősorban az, hogy terhet vegyen le a közúti infrastruktúráról, közúti beruházásokat, illetve – mivel fajlagos externális költsége töredéke a közúténak – externális költséget takarítson

meg. Ez igazolja a vasútra költött állami támogatásokat, azonban annak mértékét már kevésbé [1].

2.2. A méltányos adóztatás elvei

Az adóztatásban a méltányosság elvének kell érvényesülnie. Az Alaptörvény XXX. cikk (1) bekezdése úgy fogalmaz, hogy „teherbíró képességének, illetve a gazdaságban való részvételének megfelelően mindenki hozzájárul a közös szükségletek fedezéséhez”. Ebből is következően a közlekedés zöldítésének célját az adópolitikában úgy kell elérni, hogy

- az okozott állami, környezeti költséget fedeznie kell, biztosítani kell a szükséges adóbevételt,
- az adóztatott tevékenységgel, fogyasztással arányosnak kell lennie,
- méltányosnak, megfizethetőnek kell lennie az alacsony jövedelmű réteg számára is (kivéve, ha a kvázi tiltás az el-érendő cél),
- tekintettel kell lennie a gazdasági, társadalmi, környezeti szempontokra egyaránt,
- és mindez a fordított adózás, azaz a támogatások vonatkozásában is fennálljon.

Mindezen követelmények ugyan korlátokat szabnak a közlekedés zöldítésének, azonban teret is hagynak a cél elérésének. Fenti elvek betartása nemcsak a társadalmi elfogadottságot segíti elő, hanem ezzel összefüggésben a gazdaság is könnyebben, nagyobb károk nélkül tud alkalmazkodni.

2.3. Energiapiaci és szabályozási környezet

A gépjárműhasználat hajtóanyagára kivetett adók rendszere nem lehet teljesen független a világpiaci ártól, amelytől egy importfüggő országban – mint Magyarország – a hatósági ár sem képes teljes védelmet nyújtani. A végső fogyasztót ugyan egy bizonyos ideig védetté lehet tenni, de ha a kereskedő világpiaci áron jut hozzá az energiához, a veszteséget a végső fogyasztó helyett az állam, azaz az egész társadalom, az emberek közössége fizeti meg.

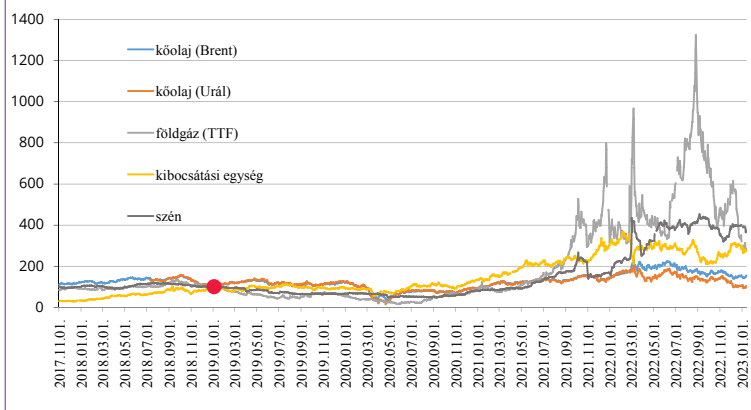
2021 tavasza óta eltelt időben az energiahordozók világszerte emelkedett, amelynek fő okai a következők:

- a COVID-válság utáni kereslet növekedése,
- az EU klíma- és energiapolitikája, a fosszilis energiahordozók kivezetése, a nukleáris energia szerepének csökkentése,
- az orosz-ukrán háborús feszültségek, majd háború.

1. ábra: A főbb energiahordozók irányadó termékeinek indexei (2019. 01. 02. USD ár = 100%)

2019. 01. 02-i záró tőzsdei árak: Brent kőolaj: 54,91 USD/hordó, Ural kőolaj: 54,11 USD/hordó, földgáz (Dutch TTF c1): 22,48 EUR/MWh, kibocsátási egység: 26,57 EUR/tonna CO₂, szén (Newcastle): 101,1USD/tonna, EUR/USD árfolyam: 1,134

Forrás: investing.com



Mindhárom hatás tartósan ígérkezik, ezért várható, hogy a korábbi árak nem térnek vissza. A kérdés, hogy milyen szinten stabilizálódnak.

Az 1. ábrán a főbb energiahordozók irányadó termékeinek árindexei utóbbi néhány évre vonatkozó alakulása látható.

A földgáz szabadpiaci ára 2021 márciusától rohamosan növekedni kezdett, és még 2022. év végén is közel négyszeres volt az ára, mint két évvel korábban, úgy hogy jóval magasabb szinteket is megjárt (1. ábra). Ennek fő oka a COVID-válság utáni keresletlénkülés mellett az EU (és azon belül különösen néhány ország) klíma- és energiapolitikája, amely egyszerre kíván minél hamarabb kivezetni több fontos fosszilis energiahordozót és akár a nukleáris energiát is. Mivel a fosszilis energiahordozók közül a földgáznak a legalacsonyabb a fajlagos CO₂ kibocsátása, ezért a hosszú átmeneti időszakban igen nagy kereslet várható a földgáz iránt. A kínálatot előbb mesterségesen szűkítő Gazprom, majd 2022. február 24-től az orosz-ukrán háború tovább növelte a földgáz szabadpiaci árát (TTF). A háborús helyzet és a vezetékes földgázellá-

táshoz szükséges kölcsönös bizalom tartósan tűnő megszűnése miatt – azaz az energiaellátás biztonsága érdekében – viszont jelentősen csökken az orosz földgáz szerepe, és ezt csak részben tudja kiváltani más földgáztermelő ország (Katar, USA, Norvégia, Algéria). A földgáz egyre globalizálódó világpiacáról elmondható, hogy költségesen működik, mivel tartályhajókban extrém hidegen, -162 Celsius fokon lehet folyékony halmazállapotban (Liquid natural gas, LNG) szállítani, és speciális LNG-terminálokon keresztül lehet érkeztetni a tengeri kikötőkbe.

A jelentős energiaár-emelkedés minden energiahordozót érint. A szén szabadpiaci árát – ahol a nagy ázsiai importőrök részére az ausztráliai Newcastle exportkikötőjébe szállított feketeszen az egyik legfőbb referencia termék – a földgázhoz (LNG) hasonlóan keresleti oldalról a nagy ázsiai piacok határozzák meg elsősorban, és az ábrán nem jelzett urán piaci ára is több mint a duplájára növekedett. Az elektromos áram árspektruma területéről, napszaktól függően rendkívül változó, a szabadpiaci forgalom ugyanakkor döntő mértékben földgáz eredetű, így az áram ára a földgáz piaci ármozgását szorosan követi,

ezért az elektromos áram esetén is hasonló mértékű a piaci ár növekedése, mint a földgáz esetében.

Az energiahordozók közül a kőolaj helyzet tűnik a legkevésbé súlyosnak. Az olajnak van a leghatékonyabb piaca és a szállíthatóság is könnyebb, az ára is „csak” bő másfélszeresére emelkedett két év alatt dollárban számítva, ilyenre pedig már korábban is volt bőven példa. A jelentős mértékű, de fix összegű jövedéki adó változatlansága is mérsékeli a fogyasztói árak változásának százalékos mértékét a termelői ár változásához képest.

Magyarországnak további könnyebbséget jelent – mindaddig, amíg nincs EU szankció a vezetékes orosz kőolajra –, hogy a MOL által vásárolt Urál típusú orosz kőolaj ára – amely a háború előtt kb. egy árban volt, és teljesen együtt mozgott az irányadó Brenttel – jelentősen, mintegy 15-25%-kal elmaradt a Brenttől, elsősorban a szankciók miatt. Sőt a hordónkénti 60 dolláros uniós ársapka 2022. december 5-i bevezetése¹ után pár héttel már 30%-kal olcsóbb az orosz olaj – feltéve, hogy szállítanak. Döntés született uniós gázársapka bevezetéséről, ami 180 EUR/MWh tőzsdei ár – azaz a válság előtti ár kb. nyolcszorosa – lett lép életbe 2023. február 15-től². Magyarország a vezetékes orosz energiahordozóktól való erős függés miatt mindkét esetben mentességet kapott, így az orosz ellenszankció kevésbé érintheti.

Az energiaválság megmutatta, hogy nem tartható fenn mindenki számára a kedvezményes energiaár, ahogy azt is, hogy egy bizonyos szint feletti ár jelentős rétegek számára nem megfizethető. A kompenzáció rendszerét tehát fenn kell tartani, de célszerű erősen racionalizálni, hogy hosszú távon is fenntartható maradjon. Ez a gyakorlatban a kedvezmények rendszerének jövedelemhez és fogyasztáshoz kötését jelentené. Egy ilyen rendszer jelentős admi-

nisztratív, illetve ellenőrzési költséggel jár, de úgy tűnik az energiaárak – az EU energiapolitikája és az orosz viszony miatt – tartósan magasak lesznek, ezért szükséges ezzel a kérdéssel foglalkozni. A többletköltségeket valamelyest csökkentheti az energiatakarékossági beruházások felgyorsítása, ez azonban szintén jelentős kiadással jár, ugyanakkor egybeesik az EU prioritásokkal, ezért az EU támogatást nyújthat ezen kiadásokra.

Olyan zöldebb adórendszerre lenne tehát szükség, ahol az adók reálértékének megőrzése folyamatosan biztosított, ugyanakkor a világpiacon jelentős és tartós emelkedése esetén is működőképes. Ebből következően viszonylag magasan, de elviselhető szinten érdemes tartani az adót, ezáltal ösztönözni a takarékos-ságot, és alapot képezni nehezebb időkre, hogy drasztikus áremelkedés esetén az így képzett alap visszafordítható legyen az ár támogatására, hogy kímélje a gazdaságot és a lakosságot – különösen az alacsonyabb jövedelműeket –, tompítsa az üzemenyagárból fakadó gazdasági kockázatot.

A gáz és a gázártól függő áram esetében hazánk jóval kiszolgáltatottabb, mivel a világpiacon az ár drasztikus emelkedése azonnal begyűrűzne a piaci árba, illetve elhelyett a támogatás költségsorába. Mindemellett az áraknak az egymáshoz viszonyított hatékonyságot és környezetterhelést is arányosan kellene tükrözniük, hogy ne történjen energiapiazarlás, illetve felesleges környezetterhelés az egyoldalúan eltorzított árrendszer miatt.

Az optimális adómérték megválasztásának kérdése elválaszthatatlan az ár kérdésétől, különösen akkor, ha a piaci ár nagy kilengéseket mutat. Egyszerűbb a helyzet kezelése, amikor rendkívül alacsony a piaci ár, ez esetben az ár-csökkenést adóemeléssel lehet kompenzálni, hogy a zöld átmenetre és a magas ár esetére pénzügyi alapot képezzen. Amikor viszont túl magas az ár, akkor – feltéve hogy várható némi enyhülés középtávon – érdemes tompítani annak hatását állami ártámogatással, különösen a lakossági felhasználók esetében. Drasztikus áremelkedés esetén az adócsökkentés túl kevésnek bizonyulhat az árak nor-

1 <https://index.hu/gazdasag/2022/12/03/szijasarto-peter-kulugyminiszter-olajarsapka-magyarorszag-mentesseg-europai-unio-brusszel/>

2 <https://index.hu/gazdasag/2022/12/19/gazarsapka-europai-unio-arflapon-europai-bizottsag/>

1. táblázat: Gépjárműadók és -díjak rendszere *Forrás: [3], [4]*

adó tárgya	energia	gépjármű	infrastruktúra
gépjármű-vásárlás		<ul style="list-style-type: none"> • többletkibocsátási díj • regisztrációs adó • gépjármű átírási illeték • általános forgalmi adó 	
gépjármű-birtoklás		<ul style="list-style-type: none"> • gépjárműadó • cégautóadó 	
gépjármű-használat	<ul style="list-style-type: none"> • jövedéki adó • egyéb üzemanyagadók (készletezési díj, CO₂ adók, környezetvédelmi adók, energiaadók, ETS, energiahatékonysági díj, kiskereskedelmi adó, egyéb közvetett adók üzemanyagon) • általános forgalmi adó 	<ul style="list-style-type: none"> • biztosítási adó • termékdíjak • általános forgalmi adó 	<ul style="list-style-type: none"> • útdíjak (távolság alapú, idő alapú / matricás, városi / "dugódíj") • parkolási díj

mál mederben tartásához, és az ár ideiglenes támogatására, azaz hatósági árra van szükség.

A megoldás a következő elemekből állhat össze:

- energiatámogatási rendszer megőrzése, ugyanakkor jelentős racionalizálása: lakossági energia esetében: jövedelem, lakók száma, egy lakóra jutó terület alapján; üzleti felhasználóknak piacibb ár,
- igazságos, de a reálértékét folyamatosan megőrző adórendszer, ami önmagában nem tartható fenn minden esetben, mert nem választható el az igazságos ártól, ami viszont ki van téve a világpiacon erős kilengéseinek,
- megújuló energiatermelési beruházások (nap-, szélenergia) támogatása,
- beruházások jelentős növelése az energia-megtakarítás területén a kibocsátás és az importfüggőség csökkentése érdekében.

3. GÉPJÁRMŰADÓK ÉS -DÍJAK

A következőkben a klímacélok védelme érdekében leginkább megmozgatható gépjárműadók rendszerei kerülnek bemutatásra.

A gépjármű-közlekedés közterhei a következőképp rendszerezhetők (1. táblázat, félkövérrel szedve a klímacélok elősegítésének eszközeül leginkább bevethető gépjárműadókat).

Az adókedvezményekkel előmozdítandó elektromobilitás környezeti hatékonysága számos oldalról vitatott; a kritikákat illetően abban van egyetértés, hogy önmagában a tisztán elektromos gépjármű előállítása – elsősorban az akkumulátor nehézfém tartalma miatt – jelentősebb környezeti terhelést jelent. Kijelenthető azonban, hogy míg a belső égésű technológia már nehezen tud tovább tisztulni, addig az elektromobilitás esetében a technológia környezeti hatékonysága – elsősorban az akkumulátor előállítása, újrahasznosítása terén – folyamatos fejlődésben van, továbbá a gépjármű-előállítás technológiájának fejlődése nélkül is javul a környezeti hatékonyság a villamos energia forrása szerinti összetételének folyamatos tisztulásával. A teljes életciklus során a tiszta elektromos meghajtás technológiájának környezeti terhelése valószínűsíthetően érdemben kedvezőbb a belső égésű járművéknél [5], [6].

Az egyes gépjárműadókat szabályozó főbb uniós és hazai jogszabályok az alábbiak (2. táblázat):

2. táblázat: Gépjárműadózás uniós és hazai jogszabályi környezete

szabályozás	EU szabályozás		hazai szabályozás
	adó/díj	jelenlegi	
jövedéki adó	2003/96/EK irányelv az energiatermékek és a villamos energia közösségi adóztatási keretéről	COM(2021) 563 final	2016. évi LXVIII. törvény a jövedéki adóról (Jöt.)
egyéb üzemanyagadók			<ul style="list-style-type: none"> • 2013. évi XXIII. törvény • a behozott kőolaj és kőolajtermékek biztonsági készletezéséről • 2015. évi LVII. törvény az energiahatékonyságról • 2020. évi XLV. törvény a kiskereskedelmi adóról
útdíjak	1999/62/EK irányelv a nehéz tehergépjárművekre egyes infrastruktúrák használatáért kivetett díjakról	2022/362 irányelv	<ul style="list-style-type: none"> • 2013. évi LXVII. törvény az autópályák, autótutak és főutak használatáért fizetendő, megtett úttal arányos díjról • 209/2013. (VI. 18.) Korm. rendelet az autópályák, autótutak és főutak használatáért fizetendő megtett úttal arányos díjról szóló 2013. évi LXVII. törvény végrehajtásáról • 25/2013. (V. 31.) NFM rendelet az útdíj mértékéről és az útdíjköteles utakról • 45/2020. (XI. 28.) ITM rendelet a használati díj megfizetése ellenében használható autópályákról, autótutakról, főutakról és azok díjáról
gépjárműadó		COM(2017) 276 final	1991. évi LXXXII. törvény a gépjárműadóról (Gjt.)
többletkibocsátási díj	2019/631/EU rendelet az új személygépkocsikra és az új könnyű haszongépjárművekre vonatkozó szén-dioxid-kibocsátási előírásokról	COM(2021) 556 final	
regisztrációs adó			2003. évi CX. törvény a regisztrációs adóról
általános forgalmi adó	2006/112/EK irányelv a közös hozzáadottértékadó-rendszerről	COM(2018) 329 final	2007. évi CXXVII. törvény az általános forgalmi adóról (Áfa tv.)

Felmerül a kérdés, hogy ha több adónemben is mentességet vagy jelentős mértékű kedvezményt kapnak a tisztán elektromos (BEV), illetve üzemanyagcellás járművek (FCEV), és ennek nyomán (is) jelentősen megnő a részarányuk, akkor miből finanszírozzuk majd a közútjainkat? A válasz viszonylag egyértelmű, az útdíjból és – jóval kisebb arányban – a gépjárműadóból. A jövedékiadó-bevétel teljes elektromos átállás esetén gyakorlatilag megszűnik, a regisztrációs adó összege pedig nem jelentős, emiatt, – ha a használatarányosság fennmarad – csak a jelenlegi díjköteles hálózathál kiterjedtebb útdíjrendszer és – az ezt kiegészítő – a gépjárműadó képes finanszírozni a közúthálózatot.

3.1. Többletkibocsátási díj

A többletkibocsátási díjat közvetlenül az EU veti ki a járműgyártókra. Összege 2020-tól 95 EUR/(g CO₂/km)/új jármű a gyártói átlag 95 g CO₂/km (2025-2029: 80,8, 2030-tól 59,4 g CO₂/km) feletti részére (könnyű haszongépjárművek esetén 147 g CO₂/km a határ 2020-ban). Számos kezdeti kedvezmény, leírási lehetőség van az első években, amelyek idővel kivezetésre kerülnek. Egyelőre a legtöbb gyártó az adót ténylegesen ugyan el tudja kerülni olcsóbb megoldással (pl.: plugin hibrid járművekkel, PHEV), azonban ezek ára beépül az új autók árába. Mindez már most is

nagymértékű áremelkedést eredményezett az új és a használt autók piacán is.

A követelményeket tovább szigorítaná a rendelet módosítási javaslata, amely 2030-ra 55%-os (illetve 50%-os) csökkentést, 2035-re pedig 100%-os csökkenést irányoz elő. Mindez azt jelenti, hogy 2035-től nem lehet belső égésű vagy hibrid új személygépkocsit, illetve kisteherautót forgalomba helyezni.

3.2. Energiaadó

Az EU 2003/96/EK irányelve [7] értelmében az áfa kivételével minden adó, ami az energia-termék árát terheli energiaadónak tekintendő. A jövedéki adó mellett ilyen adó a készletezési díj, de ilyen adó az energiahatékonysági járulék, és az újra bevezetett kiskereskedelmi adó is. Ezek együttes összegének kell megfelelnie az irányelv által előírt minimumnak. Az irányelvet módosító javaslat [8] a „Fit for 55”/ „Irány az 55%!” jogszabálysomag része [9] (European Green Deal), amely szerint 2030-ra 55%-os üvegházhatású gázkibocsátás-csökkentést kell elérni 1990-hez képest, 2050-re pedig „klímasemlegességet”. A cél érdekében az üvegházhatású gázkibocsátást csökkenteni, az energiahatékonyságot javítani kell, a villamos energia és az alternatív üzemanyagok (hidrogén, szin-

tetikus üzemanyagok, fejtett bioüzemanyagok stb.) elterjedésének biztosítása mellett.

Az irányelv módosítási javaslata [8] szerint az energiaadó a jövedéki adó mellett továbbra is magába foglal minden más közvetlen és közvetett adót (az áfa kivételével). A közlekedési célú üzemagnál jóval mérsékeltőbb a tüzelő-fűtőanyag célú felhasználás adóztatása. Megszűnik a kereskedelmi gázolajkedvezmény, – ami az utóbbi időben csak 3,50 Ft/liter volt –, valamint a villamos energia üzleti és nem üzleti felhasználás közötti különbség.

A javaslat szerint a motorbenzin jelenlegi EU minimumadójához – 0,359 EUR/liter, ami 18 év alatt nem emelkedett – van igazítva az új minimumadó alapösszegének mértéke, ami 10,75 EUR/GJ lesz 2023-tól, 2033-ig inflációval indexálva (fűtési céllal 0,9 EUR/GJ). Nem fenntartható gázüzemanyagok esetén az alapösszeg 2/3-a a minimumadó, azaz 7,17 EUR/GJ, amely 2033-ig lineárisan emelkedik 10,75 EUR/GJ-ra (2023-as árszinten számítva). Bioüzemanyagok esetén a minimumadó mértéke az alapösszeg fele. Amennyiben „fenntartható” a bioüzemanyag előállítás, akkor a villamos energia 0,15 EUR/GJ (0,54 EUR/MWh) összegű, rendkívül kedvezményes minimumadójával egyezik az adózása (3. táblázat).

3. táblázat: EU által előírt minimális energiaadó és a magyar energiaadó összegei (EUR/GJ)
Forrás: [7], [8]

üzemanyag	EU minimumadó				Magyarország*	
	2004 - 2009	2010 - 2022	2023	2033**	2022	töltőállomások száma (db)
motorbenzin	10,75	10,75	10,75	10,75	10,38	2000
gázolaj	8,32	9,09	10,75	10,75	8,78	2000
LPG	5,92	5,92	7,17	10,75	12,67	600
CNG	2,60	2,60	7,17	10,75	2,39	16
LNG	2,60	2,60	7,17	10,75	2,39	1
hidrogén (nem tiszta)	0,00	0,00	0,15	5,38	0,00	1
hidrogén (tiszta)	0,00	0,00	0,15	0,15	0,00	0
villamos energia (üzleti)	0,14	0,14	0,15	0,15	1,43	1800
villamos energia (nem üzleti)	0,14	0,28	0,15	0,15	0,00	

* energiahatékonysági járulék és kiskereskedelmi adó nélkül, a 2022. évről vonatkozó 2021. október 1-i referencia 358,16 HUF/EUR EKB-árfolyam mellett

** nem indexált

4. táblázat: A 480 Ft-os hazai üzemanyag ársapka története

változás időpontja	tárgyi hatály						gázolaj (Ft/l)				motorbenzin (Ft/l)				
	nagykereskedelmi ár (kivéve saját fogy.)	7,5 t feletti tégk. (3,5 t feletti külf.)	külföldi személygépkocsi	céges autó	lakossági szgk., taxi, mezőgazdaság		jövedéki adó	készletezési díj	kiskereskedelmi piaci átlagár *	áremelkedés kivezetéskor	piaci áru kiskereskedelmi forgalom aránya	jövedéki adó	készletezési díj	kiskereskedelmi piaci átlagár *	áremelkedés kivezetéskor
2021.11.15.		+	+	+	+	110,35	3,88	510,0		0%	120,00	4,15	504,0		0%
2022.02.28.	13:00	+	+	+	+	105,35	0,00	535,0		0%	115,00	0,00	520,0		0%
2022.03.10.	22:00	+		+	+	85,35	0,00	717,0	49,4%	20%	95,00	0,00	640,0	33,3%	0%
2022.05.27.	00:00	+			+	85,35	0,00	679,0	41,5%	35%	95,00	0,00	661,0	37,7%	3%
2022.07.30.	12:00	+			+	85,35	0,00	737,9	53,7%	60%	95,00	0,00	692,9	44,4%	20%
2022.10.01.		+			+	85,35	1,86	742,9		60%	95,00	1,99	649,9		20%
2022.12.06.	23:00					110,35	1,86	700,0	45,8%	100%	120,00	1,99	640,0	33,3%	100%

* Forrás: <https://holtankoljak.net/>

Az energiaadó irányelvet módosító javaslat [8] 2023. január 1-től lépett volna hatályba. A határidő tehát nem volt tartható, de nagy kérdés az is, hogy a javaslat tartalma tartható-e, mivel a jelentős energia-áremelkedések miatt jelenleg nem sok tere maradt az adó-emelésnek. Az orosz-ukrán háború kitörése óta több országban, így Magyarországon is a rendkívüli helyzet miatt az EU minimum szint alá csökken az energiaadó, ráadásul éppen a földgáz alapú üzemanyagok adója emelkedne a legjobban.

A legfontosabb energiaadót, a jövedéki adót Magyarországon a 2016. évi LXVIII. törvény (Jöt.) szabályozza. Magyarországon a (kereskedelmi) gázolaj jövedéki adója 2011 óta, a motorbenziné 2020 óta az EU által előírt minimum közelében volt az orosz-ukrán háború kitöréséig.

Az üzemanyag-ársapka 2022.12.06-i megszüntetésével együttesen visszaállt ugyan az orosz-ukrán háború előtti jövedéki adó szint, azonban ezek az értékek a 2023. évi referenciaárfolyam (424,86 HUF/EUR, 2022. 10. 03-i EKB árfolyam) mellett már nettó 7-8 eurócentre vannak az EU által előírt hatályos minimális energiaadótól (azaz az üzemanyag-árban kb. 30 Ft + ÁFA emelést jelentene).

2022 júliusában az Európai Bizottság a rendkívüli helyzetre való tekintettel felkínált a tagállamoknak egy derogációs lehetőséget hat hónap időtartamra, amely helyett a hírek szerint a Kormány a teljes 2023. évre kéri a felmentést³.

Amennyiben pedig az energiaadó irányelv módosítási javaslatnak [8] megfelelően a gázolaj literenkénti minimumadója további 0,06 EUR/literrel növekedne (0,330 EUR/literről 0,390 EUR/literre), az további 25,5 Ft+ÁFA jövedéki adó emelést tenne szükségessé.

Szociális, gazdasági és versenyképességi okokból nem reális – ahogy a hasonló fejlettségű többi EU tagállam sem –, hogy az EU által előírt minimumadónál jelentősen többet vállaljunk, a gázolaj adójának növelése a tervezett EU minimumra ugyanakkor – a kiugróan magas energiaárak remélhető mielőbbi elmúltával – szükséges lépés.

A 4. táblázat foglalja össze a hazai üzemanyag-ársapka történetének főbb állomásait a 2021. 11. 15-i bevezetéstől a 2022. 12. 06-i kivezetésig.

³ <https://www.vg.hu/vilaggazdasag-magyar-gazdasag/2022/12/brusselszel-325-forinttal-akarja-emelni-az-uzemanyagok-jovedeki-adokat-2>

A hektikus áringadozásokhoz szokott hazai üzemanyagpiacot is meglepte az árak gyors növekedése. A választás előtt álló Kormány ezt csillapítani szándékozta, és 480 Ft/l összegű hatósági árat vezetett be a motorbenzinre és a gázolajra. Az intézkedés költségeit előbb a kiskereskedőkre, majd 2022.02.28-tól a nagykereskedőkre hárítva. A piaci ár azonban az orosz-ukrán háború kitörésével jelentősen tovább nőtt, amelyhez képest a hirtelen túl olcsóvá vált hatósági ár pánikvásárlásokat és üzemanyag-ellátási nehézségeket okozott. Emiatt újabb és újabb fogyasztói csoportokat kellett egyik napról – sőt óráról – a másikra kiszorítani a hatósági ár jelentette kedvezményes lehetőségből, hogy az ellátás biztonsága megmaradjon.

Utólag tanulságul elmondhatjuk, hogy bár erős szociális vonatkozása van a közlekedési célú üzemanyagnak – noha messze nem akkora, mint a fűtési célú energiahordozóknak –, és az infláció fékezésében is jelentős szerepe volt, ugyanakkor az ársapka mértéke – és sokáig tárgyi hatálya – is túlzott volt. Más országok is alkalmazták ugyanakkor ideiglenesen az adó csökkentésének és az árak befagyasz-

tásának eszközét [10]. Hasonló, rendkívüli helyzetben célszerű lenne ismét alkalmazni, de már fenntarthatóbb módon. Ez esetben javasolt a külföldi rendszámú járművek nagy részét eleve kizárni – amennyiben lehetséges –, míg az üzemanyagköltséget a bevételeikben jobban érvényesíteni képes céges érdekeltségű járműveknek (teherfuvarozók, cégautók) a lakosságénál egy jóval magasabb (kb. +30%) szinten rögzíteni a maximális árat. A rögzített árat magasabb szinten is be lehetett volna vezetni és érdemes legalább havonta indexálni. Ez esetben a teljes kivezetés időpontjában a 480 Ft-os ár indexelve 580 Ft lett volna, amely árszint továbbra is tartható lett volna, a kivezetéskor kisebb áremelkedést okozva. Emellett a piac mozgásait is érdemes jobban figyelembe venni annak érdekében, hogy a rögzített ár tovább nyújtson védelmet, és annak elmúltával ne okozzon ársokkot. Ebben további segítség lett volna a környezeti terheket és az árstabilitást szem előtt tartó minimális ár (pl. 400 Ft/l), amelyhez képest az ársapkát okozó áremelkedés jóval kisebb lett volna, és a hatósági árat elegendő lett volna később, magasabb árszinten bevezetni. Az ellátási zavaroktól pedig gyakorlatilag teljesen mente-

5. táblázat: Motorbenzinre és gázolaj jövedéki adójára és hatósági árára vonatkozó javaslat

jellemzők		javaslat		Magyarország 2011-2022		
		motorbenzin	gázolaj	motorbenzin	gázolaj	kereskedelmi gázolaj kedvezmény
adó alapösszeg*		0,35 EUR/l	0,38 EUR/l	120 Ft/l	110,35 Ft/l	3,5 Ft/l
mozgó adó	olajár	60 USD/hordó alatt		50 USD/hordó alatt**		
	összege***	+0,20 €ct/USD	+0,22 €ct/USD	+5 Ft/l	+10 Ft/l	+10 Ft/l
	aktualizálásának gyakorisága	havonta		negyedévente		
minimum ár áfával		hatósági ár előtti maximális átlagár +5%*		-	-	
maximum ár áfával (lakossági)		minimum ár +5%*	motorbenzin maximum ár +10%*	480 Ft/l (2021.11.15. – 2022.12.06.)		
maximum ár áfával (üzleti)		lakossági maximum ár +30%*		480 Ft/l (2021.11.15. – 2022.03.12.)		

* az adó és az ár folyamatos indexálása mellett

** 2016.09.01. óta

*** 60 USD alatt a jelzett forint összegekkel növekedne a jövedéki adó, minden további egész dollár árszint alatt ugyanennyivel.

síthető a hatósági áras termék, amennyiben az intézkedés jelentősen racionalizált költségeit már nem a piaci szereplők, hanem az állam viseli, pl. a Rezsivédelmi Alapból.

Mint a bevezetőben említésre került, magas energiaárak esetén az adó még oly méltányos megállapítása sem megoldás a gazdaság számára, de a zöld átmenet szempontjából sem ideális, ha a világgpiaci energiaárak jelentős emelkedése minden átmenet nélkül érvényesülne a hazai árakban. Ezért érdemes olyan ársávban tartani a fogyasztói árakat, amelyek tompítják a világgpiaci árak kilengéseit. Az is egyértelmű, hogy tartósan nagymértékben nem lehet korlátozni az árakat.

Mindezek alapján a jövedéki adóra vonatkozó javaslat az 5. táblázatban került összefoglalásra.

Az energiaválság kezdeti szakaszában a legtöbb EU tagország ideiglenesen csökkentette az energiaadót (pl. ideiglenesen Németország is az EU minimumra), illetve energiaár-támogatást nyújt a szociálisan leginkább rászorulók számára. Emellett Magyarországhoz hasonlóan néhány más ország is ideiglenesen bevezette az üzemanyagok maximális hatósági árát, illetve a többletnyereségekre különadót vezet be [10].

A korábbi hazai 450 Ft/liter körüli üzemanyagár maximum (2012-ben) az inflációval indexálva mintegy 600 Ft/liter, a bruttó átlagkeresetek növekedésével (vagy a nominális GDP-vel) indexálva pedig kb. 1000 Ft/liter összeget jelentene 2022-ben. Fontos körülmény azonban, hogy még 2019-ben is csak 400 Ft/l körül volt az ár, úgy, hogy a koronavírus válság elején még 300 Ft/l is volt. Innen nézve viszont jelentős az az áremelkedés, ami történt a hatósági ár be-

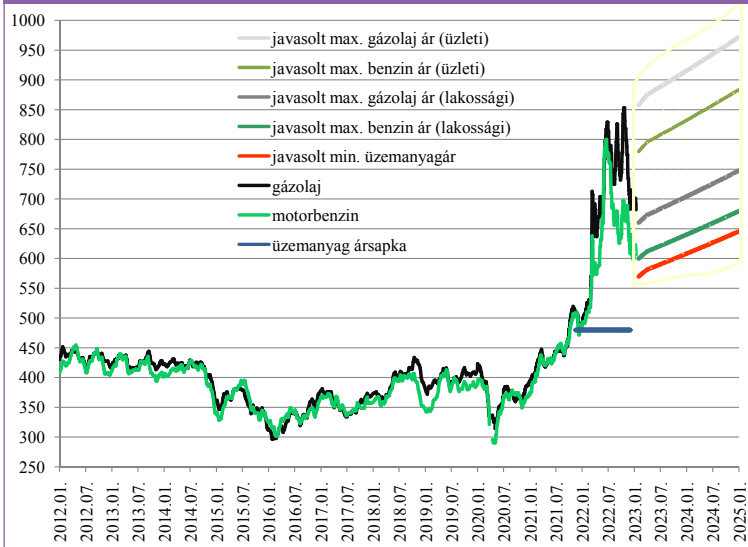
vezetése előtt, miközben az akkori piaci áraknál magasabb árakat is könnyen elviseltünk volna. Mindezek alapján az ábra mutatja, hogy Magyarország számára az üzemanyagárak esetében milyen ársáv lehetne ideális (2. ábra).

Az ársáv alsó szélét az EU előírások által elvárt klímavédelem, míg a felső szélét a lakosság, illetve a gazdaság teherviselő képessége határozná meg, és csak ezen belül nyílna tér a piaci árváltozásokra. A kiszámíthatóbb ár egyaránt segítené a gazdasági sokkok tompítását, a társadalmi mobilitás fenntartását, valamint a zöld átmenetet is. Ugyanakkor a piachoz is alkalmazkodni kell, mert ha túlzottan alacsony a hatósági ár a piacihoz képest, az piaci zavarokhoz és ellátásbiztonsági problémákhoz vezet.

3.3. Gépjárműadó

Az 1999/62/EK irányelv [11] a jövedéki adóhoz hasonlóan minimális éves adót ír elő a 12 tonna megengedett össztömeg feletti tehergépjárművekre. A hazai gépjárműadóról szóló törvény (Gjt.) szerinti gépjármű adó kb. 30 tonna össztömegig az EU minimum felett van, felette erősen az EU minimumhoz közelít vagy alulmúlja azt. Az öt éve lett uni-

2. ábra: Üzemanyagárra vonatkozó javaslat (Ft/l)



ós irányelv módosítási javaslat [12] ezt a minimum adót fokozatosan 5 év alatt vagy egy lépcsőben eltörölné annak érdekében, hogy a távolságalapú útdíj nagyobb szerepet kapva következetesebben érvényesíthesse a „szennyező fizet” és a „használó fizet” elveket.

Éves gépjárműadóra leginkább azért van mégis szükség, hogy

- az útdíjjal nem terhelt utaknak is legyen legalább közvetett finanszírozási forrása – azaz elsősorban infrastruktúráról van szó –, illetve
- a potenciális szennyezőképesség és externális költség okozás alapján különbséget tegyen az egyes gépjárművek között.

A magyar gépjárműadó törvényben (Gjt.) 2022-ben már semmi nem indokolja az Euro-3-as járművek kedvezményét, így ezt a sávot két kategóriával feljebb érdemes meghatározni, továbbá biztosítani kell az EU minimum betartását, amíg az hatályban van (6. táblázat).

Az adót – az eddigi gyakorlattal ellentétben – évente indexálni szükséges a nominális keresetek növekedésével, hogy értékét és hatását meg tudja őrizni. Az alternatív meghajtású gépjárművek adókedvezményét az Euro-6

gépjárműhöz képest LPG, CNG, LNG meghajtás esetében 5%-ban, a tisztán elektromos (BEV), illetve üzemanyagcellás jármű (FCEV) esetében 25%-ban célszerű meghatározni úgy, hogy egy átmeneti időszakban ezen kedvezmények kétszerese járna. Miután a gépjárműadó egy infrastruktúradíjnak tekinthető, ezért ezen járművek jelenlegi teljes adómentessége nem indokolt.

A személygépkocsi gépjárműadója esetében – a nem elhanyagolható szociális szempontokon kívül – semmi nem indokolja a korosabb autók nagymértékű kedvezményét, ami a környezet szempontjából különösen káros. A korosabb autók adókedvezményének szükséges eltörlése miatti adónövekedésben legérzékenyebben érintett kisebb járműkategóriában két éven át átmeneti kedvezményt célszerű adni, és a féléves adóbefizetés helyett negyedéves fizetési lehetőség is javasolt ebben a kategóriában a könnyebb átállás érdekében. A javasolt rendszerben kor szerint nem lenne tehát különbség, de a leginkább környezetbarát meghajtások adókedvezményt kapnának. A plugin hibridek (PHEV) jelenlegi adómentessége ugyanakkor egyáltalán nem indokolt. A 3,5 tonna megengedett össztömeghez képest indokolatlan teljesítmény (110 és 150 kW teljesítmény felett) magasabb adókatéóriába esne (7. táblázat). Az ezen kategóriákba bizonyosan

6. táblázat: Gépjárműadóra vonatkozó javaslat (tehergépkocsi, autóbusz)

környezetvédelmi kategória	javaslat 2023-tól					2016-2022			
	nem nyerges	nyerges	nem nyerges	nyerges	de legalább: EU-min. arányában	nem nyerges	nyerges	nem nyerges	nyerges
	légrugós		nem légrugós			légrugós		nem légrugós	
	Ft / 100 kg adóalap					Ft / 100 kg adóalap			
Euro-6	595	425	966	690	100%				
Euro-5	680	595	1104	966	110%	595	425	966	690
Euro-4	850	850	1380	1380	120%	680	595	1104	966
Euro-3						850	850	1380	1380
Euro-3-nál rosszabb						850	850	1380	1380

7. táblázat: Gépjárműadóra vonatkozó javaslat (személygépkocsi)

környezetvédelmi kategória	javaslat 2023-tól				(2007-) 2010-2022	
	bónusz/ malusz	110 kW-ig	110-150 kW	150 kW felett	kor (év)	Ft/kW/év
		Ft/kW/év				
bónusz/malusz		0%	+25%	+75%		
elektromos, 0 emissziós	-50%	100	125	175	0	
plugin hibrid 50 km	-25%	150	188	263		
plugin hibrid 25 km	-15%	170	213	298		
nem plugin e-hibrid	-10%	180	225	315		
LPG, CNG	-10%	180	225	315		
Euro-6	0%	200	250	350	0-3	345
Euro-5, EEV	+10%	220	275	385	4-7	300
Euro-5 alatti	+20%	240*	300	420	8-11	230
					12-15	185
					16-	140

* 2025-ig 10%, illetve 20% kedvezmény a 12-15, illetve a 16 év feletti szgk.-ra, utána a kedvezmény megszűnik; negyedéves fizetési lehetőség 2027-ig.

beletartozó nagyobb utcai terepjárók (angolul: sport utility vehicle, SUV) és a sportautók az indokolatlan kibocsátásuk mértékének megfelelően nagyobb arányban járulnának hozzá az externális költségek kompenzálásához, az alternatív meghajtás utáni adókedvezmény azonban ezen esetekben is járna.

Motorkerékpár esetében a teljesítmény határok a személygépkocsi kategóriák fele, azaz 55 és 75 kW lenne. Az adó éves indexálása a nominális keresetekhez ebben az esetben is indokolt.

A gépjárműadóból elvárt adóbevétel a hosszú évek trendjébe beleilleszkedő 2022. évi 90,5 milliárd Ft-ról 173,2 milliárd Ft-ra növekszik 2023-ban⁴, de a gépjárműadó tételei nem növekedtek 2023-ra; feltehetően a jelentősen megnövelt cégautóadóval került összevonásra egy költségvetési sorban.

⁴ T/152 törvényjavaslat Magyarország 2023. évi központi költségvetéséről <https://www.parlament.hu/irom42/00152/00152.pdf>

A gépjárműadó célja elsősorban az infrastruktúra finanszírozása, ezért nem indokolt a teljes adómentesség, sőt hosszabb távon a táblázatban feltüntetett környezetvédelmi kedvezményeket felezni szükséges, nagyjából akkor, amikor egy kb. 10 éves, egy feltöltéssel 200 km megtételére alkalmas használt elektromos autó ára eléri – a más paramétereiben – hasonló belső égésű gépjármű árát. Megjegyzendő, hogy hasonló okból a parkolási díj is elsősorban egy infrastruktúradíj, azonban a légszennyezés csökkentésének fontossága miatt ott az 50%-os kedvezmény hosszabb távon is megtartható a tisztán elektromos járművek esetében, míg a többi kategóriában nem indokolt.

3.4. Infrastruktúra-használati díj (útdíj)

Az Európai Parlament 2022. február 18-án fogadta el a gépjárműadót is szabályozó 1999/62/EK irányelv [11] útdíjra vonatkozó módosítását (2022/362 irányelv) [13], amivel ötéves folyamat zárult le a javaslat benyújtásához képest. Az irányelv módosítása arányosabb

díjtételeket ír elő a matricás rendszerben – pl. ahol nincs távolságarányos útdíj, egynapos matricát bevezetni, amely az éves matrica árának legfeljebb 2%-a lehet tehergépkocsi, 9% személygépkocsi esetén – és más hasonló hátrányos megkülönböztetéseket is tilt.

Az új jogszabály ösztönzi a matricák kivezetését előbb a teherforgalomban, majd a személyforgalomban, illetve az Euro kibocsátási kategóriák szerinti különbségtételt, utóbbi helyett a CO₂ kibocsátás szerinti megkülönböztetést javasolja, akárcsak az alternatív meghajtású járművek kedvezményezését az útdíjakban. A módosított irányelv adott feltételek mellett lehetőséget ad dugódíj, külső költség díj, és egyéb felárak bevezetésére.

A tehergépjárművek hazai útdíjrendszere kihasználja az irányelv adta lehetőségeket a közvetlen finanszírozás érdekében és – arányosan kisebb tarifával – a főutak külterületi szakaszait is díjasítani tudta 2013. július 1-től. Az útdíjak inflációval történő rendszeres indexálása is a tarifarendszer részét képezi. Ennek értelmében a megtett úttal arányos útdíjak 2021. január 1-től egységesen 3,9%-kal, 2022. január 1-től 4,9%-kal, 2022. október 15-től 15,6%-kal emelkedtek (8. táblázat).

Az indexálás fontos lenne más gépjárműadók és díjak esetében is annak érdekében, hogy annak reálértéke megőrzésre kerüljön.

A meglehetősen hatékony és átgondolt útdíjrendszert ugyanakkor szükséges kiegészíteni az alternatív hajtású gépjárművek kedvezményével LPG, CNG és LNG meghajtás esetén 5%, tisztán elektromos (BEV) és a hidrogén üzemanyagcellás (FCEV) meghajtás esetén 25% kedvezmény javasolt hosszú távon. A későbbiekben célszerű az irányelv által is előírt CO₂ kibocsátás szerint megkülönböztetni az egyes környezetvédelmi kategóriákat az Euro kategóriák helyett. Az útdíjkedvezményt egy átmeneti időszakban célszerű ennél magasabb százalékban meghatározni és onnan fokozatosan csökkenteni, kezdetben a fentiek kétszerese is lehet.

Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a fentieknél nagyobb kedvezmény nem lenne indokolt, mivel az útdíj esetén infrastruktúradíjról van szó döntő részben. A német autópályadíj árképzési módszertanában egy Euro-6 kategóriájú tehergépjármű esetén össztömeg-kategóriától függően a teljes díj 82-92%-a az infrastruktúra díj – úgy hogy a COVID-válság előtt magasabb is volt –, az ezen felüli rész a légszennyezés és a zaj externális költsége; továbbá a tiszta üzemű gépjárművek sem mentesek teljesen ezen externális költségekől.

A gyakori használóknak célszerű megadni az irányelv szerint adható legfeljebb 13%-os útdíjkedvezményt a gyorsforgalmi úton megtett távolságra, ezáltal is ösztönözve az olcsóbb, alóbbrendű utak elkerülését.

8. táblázat: 3,5 tonna megengedett össztömeg feletti tehergépjárművek úthasználati díja (Ft/km, áfa nélkül, 2022.10.15-től)

járműkategória (tengelyszám)		J2		J3		J4		futásteljesítmény arány
		gyorsforgalmi	főút	gyorsforgalmi	főút	gyorsforgalmi	főút	
környezetvédelmi osztály	Euro-5 és jobb	48,3	20,6	67,8	35,6	105,0	65,5	92,0%
	Euro-2-4	56,9	24,2	79,8	41,9	123,5	77,0	7,4%
	Euro-1 és rosszabb	65,4	27,8	91,7	48,2	148,2	92,4	0,6%
futásteljesítmény arány		10,4%		3,6%		86,0%		100,0%

Futásteljesítmény részarányok a díjköteles úthálózaton: gyorsforgalmi 70,0%, főút 30,0%; hazai 50,7%, külföldi 49,3%
Teljes bevétel: 280,0 milliárd Ft + ÁFA (2022)
Forrás: Nemzeti Útdíjfizetési Szolgáltató Zrt.

9. táblázat: Legfeljebb 3,5 tonna megengedett össztömegű gépjárművek és autóbuszok úthasználati díja (Ft, áfával, 2023.01.01.)

díjkategória	országos			megyei	bevétel arány
	10 napos	havi	éves	éves	
D1M	2.750	4.450	49.190	5.720	77,1%
D1	5.500	8.900	49.190	5.720	
D2	8.000	12.600	69.830	11.450	20,0%
B2	17.730	25.150	228.250	22.890	1,7%
U	5.500	8.900	49.190	5.450	1,2%
bevétel arány	39,9%	16,9%	28,5%	14,7%	100,0%

D1M: motorkerékpár; D1: szgk.; D2: szgk. 7 fő felett; tkg. 3,5 t alatt; B2: autóbusz; U: vonatmány (D2, B2)
Teljes bevétel: 76,2 milliárd Ft + ÁFA (2022)
Forrás: Nemzeti Útdíjfizetési Szolgáltató Zrt.

A díjköteles úthálózat további kiterjesztése is megfontolandó, amennyiben az lehetséges és gazdaságos (a többletbevétel legfeljebb 20%-át kitevő többletköltségig).

A személygépkocsik számára előírt időalapú matricás díjrendszer hasonló a többi közép-európai ország (Ausztria, Csehország, Szlovákia, Szlovénia, Románia, Bulgária) által is használt díjrendszerhez, kivéve a megyei matricák egyedülálló lehetőségét. Jogszabály szerint az alábbi díjak kerültek 2023. január 1-től megállapításra (9. táblázat).

Az áremelés a 2022-es díjakhoz képest erősen differenciált. Míg az éves matricák ára csak 5%-kal emelkedett (autóbuszok esetében a többi is), addig a rövidebb idejű matricák díja 40-70%-kal.

A többi országhoz képest ezzel igen költségessé vált a rövidebb időtartamú matricák ára, és a korábban nemzetközi összevetésben igen drága éves matrica ára is még mindig meghaladja a más, hasonló kiterjedésű hálózatokkal rendelkező országok díjait.

Az alternatív hajtású gépjárművek kedvezményét LPG és CNG meghajtás esetében 5%-ban; tisztán elektromos és üzemanyagcellás jármű esetében 20%-ban érdemes megállapítani hosszú távon, a tisztán elektromos üzemben

legalább 50 km megtételére alkalmas plugin hibrid járművekre legfeljebb 5% kedvezmény javasolt. Amennyiben ennél is nagyobb, tisztán elektromos hatótáv igazolható, akkor akár 10% kedvezmény is adható a hatótáv függvényében. Az útdíjkedvezményt egy átmeneti időszakban célszerű ennél magasabb százalékban meghatározni és onnan fokozatosan csökkenteni, kezdetben a fentiek kétszerese is lehet.

Felmerülhet az autóbuszok átsorolása is a távolságarányos rendszerbe (HU-GO) jelentős kedvezmény mellett, de tekintettel arra, hogy a hazai autóbuszforgalom domináns része államilag finanszírozott közszolgáltatás, ez az államháztartáson belüli pénzmozgást jelentene, és rontaná a közforgalmú közlekedés fedezeti szintjét.

3.5. Regisztrációs adó

Az új és az import személyautókra vonatkozó regisztrációs adó esetében is célszerű aktualizálni a járműkategóriákat, ezen belül a benzin és dízelmotorok hengerűrtartalma szerinti megkülönböztetést megszüntetni (10. táblázat) [14]. Célszerű továbbá az idősebb autókhoz kapcsolódó avultatási tényezőt visszább fogni a jelenlegi 90%-os maximumnál és kb. 70%-ban maximálni [14] annak érdekében, hogy az átlagéletkornál nagyobb korú import autókat kevésbé érje meg a hazai utakon forgalomba helyezni.

10. táblázat: Személygépkocsi regisztrációs adója (ezer Ft/db, 2023.01.01.)

műszaki tulajdonságok	Euro 5-6	Euro 4	Euro 3	Euro 2	Euro 1 és rosszabb	műszaki tulajdonságok 2012-2023	
javaslat 2023-tól	Euro 6	Euro 5	Euro 4	Euro 3	Euro 2 és rosszabb	Otto-motor	dízelmotor
1100 cm ³ -ig	45	180	270	360	540	1100 cm ³ -ig	1300 cm ³ -ig
1101-1400 cm ³	65	260	390	520	780	1101-1400 cm ³	1301-1500 cm ³
1401-1600 cm ³	85	340	510	680	1 020	1401-1600 cm ³	1501-1700 cm ³
1601-1800 cm ³	135	540	810	1 080	1 620	1601-1800 cm ³	1701-2000 cm ³
1801-2000 cm ³	185	740	1 110	1 480	2 220	1801-2000 cm ³	2001-2500 cm ³
2001-2500 cm ³	265	1 060	1 590	2 120	3 180	2001-2500 cm ³	2501-3000 cm ³
2500 cm ³ felett	400	1 600	2 400	3 200	4 800	2500 cm ³ felett	3000 cm ³ felett

11. táblázat: Személygépkocsi regisztrációs adója (ezer Ft/db, 2023.01.01.)

műszaki tulajdonságok	javaslat	jelenlegi
elektromos, zero kibocsátású	0	0
plugin hibrid 50 km	belső égésű motor adótétele -50%	0
plugin hibrid 25 km	belső égésű motor adótétele -25%	0
nem plugin hibrid	belső égésű motor adótétele -15%	76
LPG, CNG	Euro 6 szerinti adótétel -15%	Euro 3 szerint

Az alternatív meghajtású járművek regisztrációs adójában a hibrideknek adott maximális kedvezmény indokolatlan, a gázüzemű autók viszont a jelenleginél többre lennének jogosultak a kibocsátásuk alapján, így ezeket

a következők szerint célszerű megállapítani (11. táblázat).

Motorkerékpárok esetében az alábbi kiigazítások illetve adótarifák javasoltak (12. táblázat).

12. táblázat: Motorkerékpár regisztrációs adója (ezer Ft/db, 2023.01.01.)

műszaki tulajdonságok	javaslat	jelenlegi
80 cm ³ -ig	15	15
81-125 cm ³	50	50
126-500 cm ³	85	85
501-900 cm ³	180	180
901-1300 cm ³	230	230
1301-1700 cm ³	300	
1700 cm ³ felett	400	
elektromos	0	0

4. KONKLÚZIÓ

A gépjárművek alacsonyabb károsanyag-kibocsátásának eléréséhez az adórendszeren keresztül, elsősorban az üzemanyagok és a gépjárművek jobb adóztatásával közelebb kerülhetünk. Ennek megfelelően elsősorban az üzemanyag, valamint a gépjármű gyártásának, forgalomba helyezésének arányos adóztatása látszik a legcélszerűbbnek.

A klímacél fontossága miatt azonban bármely közlekedési adó bevétele hasznos lehet. Különösen az eredetileg a közlekedési infrastruktúra finanszírozására – de egyúttal az externális hatások ellensúlyozására is – hivatott útdíj és gépjárműadó, azonban a tömegközlekedés adóterheit nem célszerű növelni.

Az EU határozza meg a klímacélokat és az ahhoz vezető utat számos jogszabálysomaggal. Az adóztatás keretei is a klímacéloknak megfelelően kerülnek átalakításra, a tagállamoknak ezen belül van mozgásterük. Az adót, adókedvezményeket, támogatásokat diszkriminációtól mentesen, arányosan kell alkalmazni, adóztatáskor törekedni kell a célok elérése mellett a méltányos, igazságos elbánásra. Ennek megfelelően az egyes meghajtások adóztatásánál arányosan kell figyelembe venni a klímacélhoz való hozzájárulásukat.

A magyar adórendszer alapvetően arányosan értékeli a gépjárművek műszaki jellemzőit környezetvédelmi szempontból, de van még lehetőség a környezetbarátabb technológiák nagyobb támogatására, néhány esetben azonban túlzott támogatás visszafogására (elektromos autók gépjárműadó-mentessége) vagy megszüntetésére van szükség (pl. PHEV adómentességek).

A gépjárműhasználattal kapcsolatos adókat – a hazai és uniós gyakorlattal ellentétben – hozzá kell igazítani a pénzromlás tényleges üteméhez, a környezet védelme érdekében szükséges adóemeléseket pedig fokozatosan célszerű megtenni – szükség esetén pedig visszább lépni – figyelemmel a teljes energiaköltség dinamikájára is. Amennyiben a világpiacon az üzemanyagárak az elmúlt egy évhez hasonló-

an kiugró mértékben növekednének és remény van valamilyen szintű korrekcióra, a jelenlegihez hasonló beavatkozási logika mentén célszerű időlegesen többlettámogatást nyújtani a lakossági felhasználók számára.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Kövesdi István – Horváth Balázs (2021): A közlekedés államháztartási bevételei és kiadásai 2004-2019. között, XI. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia – Győr, pp.178-190.
- [2] A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának. Fenntartható és intelligens mobilitási stratégia – az európai közlekedés időálló pályára állítása. Brüsszel, 2020.12.9. COM(2020) 789 final <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:52020DC0789>
- [3] Schrotten, A. et al. (2019): Transport taxes and charges in Europe – An overview study of economic internalisation measures applied in Europe, CE Delft <https://doi.org/jsbq>
- [4] ACEA Tax Guide 2021, European Automobile Manufacturers' Association (ACEA), Brussels, 2021 <https://www.acea.auto/publication/acea-tax-guide-2021/>
- [5] Helmers, Eckhard – Dietz, Johannes – Weiss, Martin (2020): Sensitivity Analysis in the Life-Cycle Assessment of Electric vs. Combustion Engine Cars under Approximate Real-World Conditions, Sustainability 2020, 12(3), 1241; <https://doi.org/jsbq>
- [6] Transport & Environment (2020): How clean are electric cars? - T&E's analysis of electric car lifecycle CO₂ emissions <https://www.transportenvironment.org/discover/how-clean-are-electric-cars/>
- [7] A Tanács 2003/96/EK irányelve (2003. október 27.) az energiatermékek és a villamos energia közösségi adóztatási keretének átszervezéséről <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A02003L0096-20180915>
- [8] Javaslat: A Tanács irányelve az energiatermékek és a villamos ener-

gia uniós adóztatási keretének átszervezéséről, COM(2021) 563 final <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hu/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0563>

- [9] Irány az 55%! <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- [10] Sgaravatti Giovanni – Tagliapietra, Simone – Zachmann, Georg (2021): National policies to shield consumers from rising energy prices, Bruegel Datasets, first published 4 November 2021 <https://www.bruegel.org/publications/datasets/national-policies-to-shield-consumers-from-rising-energy-prices/>
- [11] Az Európai Parlament és a Tanács 1999/62/EK irányelve (1999. június 17.) a járművekre egyes közúti infrastruktúrák használatáért kivetett díjakról <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A01999L0062-20220324>

- [12] A Tanács irányelve a nehéz tehergépjárművekre egyes infrastruktúrák használatáért kivetett díjakról szóló 1999/62/EK irányelvnek a gépjárműadóztatásra vonatkozó egyes rendelkezések tekintetében történő módosításáról, COM(2017) 276 final 2017/0115 (CNS) Javaslat <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A52017PC0276>
- [13] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2022/362 irányelve (2022. február 24.) az 1999/62/EK, az 1999/37/EK és az (EU) 2019/520 irányelvnek a gépjárművekre egyes infrastruktúrák használatáért kivetett díjak tekintetében való módosításáról <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A32022L0362>
- [14] KTI (2020): Szakértői javaslat a használt gépjármű import környezetbarátabbá tételéről, KTI, Budapest, 2020. május



Greener vehicle taxation in Hungary

Reviewing the main taxes and charges with regard to vehicle use, as well as the related EU and domestic regulations, certain proposals are formulated for the development of the Hungarian vehicle tax system, which enable more effective enforcement of climate targets while maintaining budget revenues. The proposals can be exemplary for various middle-income countries, such as Hungary, as well as for higher-income EU countries in terms of application to EU regulations. The proposed changes are important for environmental protection without causing any significant revenue, economic, social or other risks. An ex-post evaluation of these changes is important in case of implementation of proposals, and following that to consider even stronger commitments in a next step.



Umweltfreundlichere Fahrzeugbesteuerung in Ungarn

Nach einer Übersicht der wichtigsten Steuerarten und anderer staatlicher Abgaben der Kfz-Nutzung sowie der EU- und nationalen Regelungen es werden Vorschläge für die Entwicklung des ungarischen Kfz-Steuersystems formuliert, die eine effektivere Durchsetzung der Klimaziele bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Haushaltseinnahmen ermöglichen. Die Vorschläge können für verschiedene Länder mit mittlerem Einkommen (ähnlich wie Ungarn,) und – im Hinblick auf die Anwendung in EU-Regelungen – auch für EU-Länder mit höherem Einkommen aufschlussreich sein. Die vorgeschlagenen Änderungen sind wichtig für den Umweltschutz, ohne Risiken für die Einnahmen, Wirtschaft, Sozialwesen oder in sonstigen Bereichen zu verursachen. Es ist wichtig, diese Veränderungen nachträglich zu bewerten und im nächsten Schritt über noch „mutigere“ Ziele nachzudenken.

Útépítési bitumen és visszanyert bitumen elegyének dinamikai viszkozitás számítása és előrebecslési lehetősége

A bitumenekre külföldön kidolgozott viszkozitás-keverési képletek bemutatása, valamint ezek hazai alkalmazhatóságának vizsgálata – néhány útépítési bitumen, visszanyert bitumenelegy dinamikus nyíróreométerrel mért dinamikai viszkozítások eredményei alapján – hasznos szakmai lehetőség.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.1.2>

Rosta Szabolcs¹ – dr. habil. Gáspár László²

¹Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola PhD hallgatója, a Duna Csoport innovációs főmérnöke

²Kutató professzor, KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.;
professzor emeritusz, Széchenyi István Egyetem, Győr
e-mail: gaspar@kti.hu, rosta.szabolcs01@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A nemzetközi szakirodalom az egyes anyagkeverékek viszkozítására számos elméletet és számítási képletet ismertet, hangsúlyozva, hogy a viszkozitás (pl. a tömeggel ellentétben) nem additív mennyiség. Folyadék fázisú anyagok keverékeinek viszkozítására vonatkozó számítási képleteket már az 1800-as évektől alkalmaznak [2], [6].

Az iparban az olajgyártás területén kaptak nagy figyelmet ezek az elméletek. A nyersolajok megnövekedett termelésével és felhasználásával olyan fizikai tulajdonságaik váltak kifejezetten fontossá, mint például a viszkozitás és a sűrűség. A felhasználni kívánt olajok ezen paramétereinek, a csővezetékeken történő

szállíthatóság érdekében, megfelelő értékekkel kell rendelkezniük. Az olaj nem megfelelő viszkozítását valamilyen adalékszerrel módosítani kell; ez utóbbi adagolási arányának megállapításához a viszkozitás változását reálisan leíró számítási módszerre van szükség. Az erre a célra kifejlesztett képletek alkalmazhatóságát különböző olajok esetében vizsgálták [3], [4], [5], [8].

A következőkben a szakirodalomban megtalálható, a bitumenekre kidolgozott viszkozitás keverési képleteket mutatjuk be, valamint ezek alkalmazhatóságával kapcsolatos, hazánkban elérhető útépítési bitumenek és RA-ból (bontott anyag) visszanyert bitumenek keverékeivel folytatott kutatásunk néhány eredményét ismertetjük.

2. SZAKIRODALMI SZEMLE

2.1. Bitumenek viszkozitás keverési képletei

Centeno és társai 26 viszkozitás keverékképletet gyűjtöttek össze [7], majd ezeket kategorizálták, és különböző olajkeverékeken vizsgálták megfelelőségüket. Kategóriákat jelöltek ki egyszerű keverési szabályokra, viszkozitáskeverési indexet alkalmazó keverési szabályokra, matematikai módszerekkel meghatározott extra paraméterekkel kiegészített keverési szabályokra, bináris kölcsönhatást feltételező keverési szabályokra és további függvénnyel kiegészített keverési szabályokra. Mivel ez utóbbi három elméletitípus a szükséges paraméterek meghatározásához és a számítások elvégzéséhez a viszkozitás meghatározásán túl egyéb vizsgálatot is igényel, a bitumenek reológiai tulajdonságainak vizsgálatakor ezen elméletek háttérbe szorulnak. Az egyszerűbb viszkozitáskeverési szabályok közül néhányat a bitumenek tulajdonságainak kutatásakor is tanulmányoztak, majd a bitumen iparban is megjelentek, tanulmányokként és előírásokként [17], [26], [32], [33].

A viszkozitás keverési szabályok alkalmazása főként az USA-ban és Ausztráliában terjedt el, és leginkább útépítési bitumen, SBS modifikált bitumen, RA-ból visszanyert bitumen és rejuvenáló szer alkotta elegyek viszkozitásának meghatározására szolgálnak. A bitumenek esetében a legnagyobb különbség, hogy nem csak a magas – aszfaltkeverékek-nél 135-165 °C-os, keverési és tömörítési – hőmérsékleten alkalmazzák a számítási modelleket [10], ahol a kötőanyagok (friss bitumen vagy RA bitumen) newtoni folyadékhoz hasonló tulajdonságokkal bírnak, hanem az aszfaltkeverékek-nél szokványosan megállapított melegviselkedési (45-60 °C-os) hőmérsékleti tartományban is. Itt a kötőanyagokat (friss bitumen vagy RA bitumen) viszkoelasztikus, a rejuvenáló (fiatalító) szereket pedig newtoni folyadékhoz hasonló tulajdonságok jellemzik [26].

Az első viszkozitáskeverési képletek megjelenése óta az eszközpark és a műszerek is fejlődtek és változtak. Ma már a dinamikus

viszkozitás meghatározásához, kapilláris viszkoziméterek helyett, a kisebb anyagigényű és egyszerűbben tisztítható, dinamikus nyíróreométer (DSR) használható. A mérés kivitelezéséből adódó eltérések meghatározására korábban már végeztek összeméréseket [27], amelyeknek alapján elmondható, hogy a különböző méréstípusok eredményei korrelálnak, a DSR-rel kapott adatok ismételtetősége és reprodukálhatósága pedig jobbnak bizonyult.

2.2. Bitumenviszkozításon alapuló számítás [32]

Az aszfaltkeverék teljesítményének veszélyeztetése nélkül történő nagy mennyiségű RA felhasználásához az anyagjellemzés, a tervezési módszertan, valamint a gyártási és az építési gyakorlat fejlesztése mellett, egyértelmű keveréktervezési irányelveket és szabályozásokat is kell kifejleszteni.

Az ausztrál szabályozásba bekerült viszkozításszámítási módszer kidolgozása hároméves kutatás eredményein alapul, amelynek célja az volt, hogy az RA tartalmú aszfaltkeverékek tervezéséhez és specifikációihoz útmutatóként szolgáljon, valamint az RA-val tervezett és gyártott aszfaltkeverékek teljesítményével kapcsolatos bizonytalanságot csökkentse [27], [28], [29].

A kutatási program első évében a visszanyert aszfalt kötőanyagának jellemzési módszertanát, illetve a friss bitumen és a visszanyert aszfaltban lévő bitumen elegyének magas hőmérsékletű viszkozításszámítási eljárását és vizsgálati metodikáját dolgozták ki [27]. Ennek eredménye az AGPT/T192 2015 vizsgálati útmutató és az AGPT/T193 2015 számítási módszer ausztrál előírás.

Ausztráliában az útépítési bitumeneket 60 °C-os viszkozitási jellemzőik alapján [34] sorolják típusokba [35]. Emellett jellemző paraméterként a 45 °C-on mért viszkozitást [36] is megadják. A kutatás rámutatott, hogy a DSR-rel lehetséges olyan viszkozitásméréseket végrehajtani, amely alternatívája lehet a „Shell sliding plate” tesztnek, illetve a 4 °C-on mért

viszkozitás és a 60 °C-os kapillaris viszkozitás vizsgálatnak. A DSR eredmények a „Shell sliding plate” teszt eredményeinél azonban alacsonyabbaknak adódnak.

2.3. Chevron-egyenlet használata, az AGPT/T193 szabvány szerint [31], [32]

Megállapították, hogy a 15%-os RA tartalom alatt a visszanyert aszfaltban lévő bitumen kötőanyag-keverékre gyakorolt hatása általában elhanyagolható. Ez azonban a visszanyert aszfalt kötőanyag-tartalmától, annak viszkozitásától és a tervezett keverék kötőanyag-tartalmától nagymértékben függ. 15%-os visszanyert aszfalt tartalom alatt a kötőanyag jellemzése csak kivételes esetekben (pl. visszanyert aszfalt utánpótlás tervezésekor, keverőtelepi üzemeltetés kockázatértékelésekor) szükséges [27].

15%-osnál nagyobb RA tartalmú aszfaltkeverékek esetében azonban minden esetben javasolt a kötőanyag-keverék (az RA-ban lévő kötőanyag, az új/friss kötőanyag és opcionálisan alkalmazott egyéb rejuvenáló szer elegye) tulajdonságainak jellemzése, ugyanis ezáltal biztosítható a megfelelő fokozatú, friss bitumen kiválasztása.

Egy kötőanyag-keverék tulajdonságait úgy lehet megbecsülni, hogy az egyes kötőanyagok tulajdonságait, keverési egyenlet segítségével, megfelelő arányban kombinálják. A visszanyert aszfalt kötőanyagának és/vagy a visszanyert aszfalt kötőanyagát és új kötőanyagot tartalmazó keveréknek a viszkozitása az AGPT/T192 vizsgálati útmutató alapján határozható meg [31]. Az RA-ból visszanyert kötőanyag viszkozitása az RA-t tartalmazó aszfaltkeverékek tervezésénél igen fontos paraméter, amely dinamikus nyíróreométerrel mérhető.

Egy DSR-mérés során két párhuzamos kör alakú lemez közé helyezett, előírt átmérőjű, korong alakú bitumenmintát oszcillációs terhelés mellett, előre beállított feszültség szinten nyírnak. A viszkozitást oszcillációs terhelési ciklusok és a következő paraméterek mellett határozzák meg: 60 °C-os hőmérséklet, 1 rad/s nyírási frekvencia és 0,1 alakváltozás amplitú-

dó. A ciklusok során rögzített csúcserőt (nyomatékot), csúcselmozdulást és a két csúcstérték közötti időkülönbséget használják fel a komplex viszkozitás (η^*), valamint, szükség esetében, a komplex nyírási modulus, a fázisszög és egyéb reológiai paraméterek kiszámításához.

A kötőanyagok vagy -keverékek viszkozitása 60 °C-on, a következő lépésekben határozható meg [31]:

- kötőanyag visszanyerése (ha szükséges) az AGPT/T191 szabvány vagy más elfogadott eljárás szerint,
- a dinamikus nyíróreométer előkészítése a vizsgálathoz, temperálás 60 °C-on,
- a bitumenminta fűtése önthetőségig és keverhetőségig,
- kb. 0,8 g-nyi minta szilikonsablonba öntése, legfeljebb két órával a mérés előtt,
- a sablon eltávolítása, a bitumenminta a reométer alsó lemezére helyezése,
- a felső lemez helyzetének beállítása, 1,05 mm-re az alsó lemeztől (a bitumenfelesleg kipréselődik),
- a két lemez közötti tér bitumennel való teljes kitöltöttségének ellenőrzése,
- a két lemez közötti rész kerületéről, a ki nyomódott bitumenfelesleg megfelelő vágószerszámmal való eltávolítása,
- a két lemez közötti réstávolság 1,00 mm-esre csökkentése,
- a vizsgálati minta 15 ± 5 percig történő kondicionálása ($60,0 \pm 0,1$) °C-on,
- a vizsgálati program beállítása a készüléken (1 rad/s oszcillációs frekvencia, 60 °C),
- 10 oszcillációs előterhelési ciklus, majd 10 oszcillációs mérési ciklus végrehajtása,
- a mérési ciklusok során mért komplex viszkozitás rögzítése Pa-s-ban, átlaguk kiszámítása,
- a mérés másik mintán való megismétlése.

A két párhuzamos mérés során, 10-10 ciklus átlagaként meghatározott komplex viszkozitások átlaga a vizsgált bitumen 6 °C-on érvényes, komplex viszkozitás értéke.

Az RA-t tartalmazó aszfaltkeverékek tervezésénél/gyártásánál fontos – az alkotó kötőanyagok viszkozitásának ismeretében – a létrejövő kötőanyag-keverék viszkozitásának becslése. Az AGPT/T193 szabvány szerinti számítási módszer lehetőséget ad a kötőanyag-keverék viszkozitásának becslésére, valamint azok korrekciójára abban az esetben, ha a kötőanyagok keverékének viszkozitása a megadott határértékeken kívül esik. Az AGPT/T193 szabvány erre a célra a Chevron-egyenletként ismert, kötőanyag-keverési egyenletet (*blending equation*) használja. Ez a visszanyert aszfaltban lévő kötőanyagból, új kötőanyagból és/vagy rejuvenáló szerből álló keverék célzott viszkozitásig történő megtervezéséhez alapul szolgál. Opcionálisan, a megfelelően bizonyult kötőanyagkeverék viszkozitása az alkotóelemek laboratóriumi összekeverésével és a keverék viszkozitásának meghatározásával [31] validálható.

A kötőanyag-keverék várható viszkozitását a következő egyenletekkel számítják:

$$VBI_i = \frac{3 + \log \vartheta_i}{6 + \log \vartheta_i}$$

$$VBI_\beta = \sum_{i=1}^n x_i \cdot VBI_i$$

$$\mu = 10^{\left(\frac{3VBI_\beta}{1-VBI_\beta} - 3 \right)}$$

ahol,

- ϑ_i – az i -edik komponens viszkozitása (Pa·s),
- VBI_i – az i -edik komponens viszkozitás elegy indexe,
- VBI_β – a teljes bitumen keverék viszkozitás elegy indexe,
- x_i – az i -edik komponens térfogati hányada,
- μ – a teljes bitumenkeverék viszkozitása (Pa·s).

A három képlet egyesítve, egy alakban felírva:

$$\mu = 10^{\left(\frac{3 \left(x_1 \frac{3 + \log \vartheta_1}{6 + \log \vartheta_1} + x_2 \frac{3 + \log \vartheta_2}{6 + \log \vartheta_2} \right) - 3}{1 - \left(x_1 \frac{3 + \log \vartheta_1}{6 + \log \vartheta_1} + x_2 \frac{3 + \log \vartheta_2}{6 + \log \vartheta_2} \right)} \right)}$$

A Chevron-képletet eddig csak viszkozitás alapon típusokba sorolt, útépitési bitumenekre validálták [27], az európai gyakorlatban használt, penetrációs alapon szabványosított, útépitési bitumeneken erre még nem került sor.

A bitumenelegyeknek az ausztrál laboratóriumi gyakorlatban történő validálása azzal a nehézséggel került szembe, hogy az AGPT/T191 szabvány szerinti visszanyerési eljárással csak nagyon kis mennyiségű bitumen nyerhető vissza egyszerre, és ezeknek a friss bitumenel való arányos elegyítése fizikai akadályokba ütközne [30]. Azonban az Európában használt EN 12697-3 szabvány szerinti forgó bepárlós eljárással egyszerre akár 50-150 g-nyi kötőanyag visszanyerhető [21]. Ez már különböző összetételű, homogén bitumenelegyek előállításához elegendő mennyiség.

2.4. Austroads 2006 egyenlet

Ausztráliában, az AGPT/T193, 2015 vizsgálati útmutató hatályba lépése előtt a RA bitumen és friss bitumen elegyek, illetve rejuvenáló szerek elegyeinek jellemzésére az Austroads Report AP-T66/06 [26] az 1. táblázatban bemutatott követelményeket fogalmazta meg.

1. táblázat: RA bitument tartalmazó elegyekkel szembeni követelmények [26], [27]

Tulajdonság	Követelmény	
	min.	max.
Penetráció 25°C-on, 0,1 mm	35	-
Viszkozitás 60°C-on, Pa·s	350	900
Viszkozitás 45°C-on (erős forgalom), V_c , log Pa·s	-	4.5 V_c
Viszkozitás 45°C-on (gyenge forgalom), V_{gy} , log Pa·s	-	4.2 V_{gy}
Lágyuláspont, °C	52	56

A kötőanyagtípusok tömegaránya a következő összefüggésből számítható:

$$r = \frac{\log(V + 3) - \log(T + 3)}{\log(V + 3) - \log(R + 3)}$$

ahol:

- r – a keverékben lévő teljes kötőanyag (rejuvenáló szer vagy friss bitumen) tömegaránya,
- R, T, V – viszkozitások logaritmusai (log Pa·s) 45 °C vagy 60 °C hőmérsékleten,
- R – rejuvenáló szer vagy friss bitumen viszkozitásának logaritmus,
- T – végső termék célviszkozitásának logaritmus,
- V – RA-ból visszanyert bitumen viszkozitásának logaritmus.

A képlet valószínűleg Epps et al. munkáján alapszik [11], amelyben a viszkozitás eredeti mértékegysége – az amerikai egységrendszer szerint – centipoise-ban volt. A számítási képletben lévő három viszkozitást az ausztrál gyakorlat korai szakaszában történő alkalmazásakor az SI-rendszernek megfelelően, centipoise-ról Pascal-szekundumra (Pa·s-ra) váltották át. (Emiatt szerepelnek a „+ 3” értékek a képletben). A képlet az 1997-es verziójú Asphalt Recycling Guide-ban is megtalálható, itt azonban hibás képletet szerepeltettek, amit később a fent bemutatott képletre javítottak [15], [16], [27].

2.5. Visszanyert aszfaltból származó bitumen viszkozitásának jellemzése az USA-ban, a Superpave előtti időszakban

Az Amerikai Egyesült Államokban a PG típusú bitumen jellemzési rendszert a Strategic Highway Research Program (SHRP) keretén belül 1988-1992-ben fejlesztették ki [14]. Ennek lényege az, hogy a bitumennel szemben felállított követelményeket nem a bitumen típusa, hanem a felhasználási körülmények által támasztott igények határozzák meg. A viselkedési fokozatok tulajdonképpen a felhasználási körülmények hőmérséklet határokkal történő megfogalmazásai. Korábban az USA-ban penetrációs fokozatú és viszkozitás alapú bitumenosztályozási rendszer is volt érvényben. Az Asphalt Institute ebben az időszakban a RAP kötőanyag és a friss bitumen kívánt viszkozitású keverékeinek létrehozására, keverési

diagramok segítségével módszertant jelentett meg [1]; ez az elmélet az ASTM D4887-99 számú szabvány formájában is megjelent az USA-ban [33].

A képlet eredete Arrhenius nevéhez köthető, aki a vízben oldott anyagok disszociációjáról értekezett, és a víz viszkozitását mérte, különböző vízben oldható anyagok esetében [2]. Az Asphalt Institute modellje a keverék viszkozitásának logaritmus és a különböző kötőanyagok tömegaránya között lineáris összefüggést tételez fel. Ez a megközelítés hasonló az Austroads újrashasznosítási útmutatóban javasolt módszertanhoz [26], azzal a különbséggel, hogy ez utóbbi kettős log skálát használ, az ASTM egyszeres log skála helyett. Az Asphalt Institute megközelítése magában foglalja a különböző kötőanyagok viszkozitása között, az egyenletben bemutatott log lineáris összefüggést:

$$a \log \eta_1 + b \log \eta_2 = (a + b) \log \eta_{\text{mix}}$$

ahol:

- a és b – a keverékben lévő kötőanyagok tömegaránya, ($a + b = 1$),
- η_1 – az 1-es kötőanyag viszkozitása (Pa·s),
- η_2 – a 2-es kötőanyag viszkozitása (Pa·s).

2.6. Kendall és Monroe által kidolgozott összefüggés [13]

Bitumenelegyek és bitumen-rejuvenátor elegyek viszkozitásának meghatározására szolgálhat a Kendall és Monroe által kifejlesztett következő képlet:

$$\mu^{1/3} = w_A \mu_A^{1/3} + w_B \mu_B^{1/3}$$

ahol:

- μ – a keverék viszkozitása,
- μ_A – az A komponens viszkozitása (cP),
- μ_B – a B komponens viszkozitása (cP),
- w_A – az A komponens tömegaránya,
- w_B – a B komponens tömegaránya.

Az összefüggést eredetileg Kendall és Monroe folyadék fázisú, nagyon alacsony viszkozitású anyagokra állapította meg, mikor arra keresték a választ, hogy a keverékek viszkozitását milyen ideális görbe írja le [13]. Egy újabb kutatás [10] a 135 °C-os bedolgozási és a 165 °C-os keverési hőmérsékleten vizsgált útépítési bitumenek (PG 58-28) és RA bitumenek, illetve rejuvenáló szer elegyekre irányult, ahol, rotációs viszkoziméterrel mért eredmények alapján, a Kendall-Monroe és a Chevron egyenletek közötti korrelációt vizsgálták. A nyírási sebesség változtatásával és a Crossmodell használatával megállapításra került, hogy a nyírási sebesség növelésével a viszkozitások csökkennek. A PG 58-28 típusú bitumen és RA bitumen elegyek esetében, a két vizsgálati hőmérsékleten, a keverék viszkozitására mindkét modell meglehetősen pontos becslést adott, a Chevron-modell valamivel jobbnak bizonyult.

2.7. Az empirikus bitumentulajdonságon alapuló számítás

A legtöbb európai ország szabályozási rendszerében, a visszanyert aszfalt kötőanyagának jellemzésére, a közepes és a magas hőmérsékletű konzisztencia osztályokat használják. Az EN 13108-8:2016 szabványban foglaltak szerint, a visszanyert aszfalt kötőanyagát legalább az egyik tulajdonsággal kell jellemezni [22].

A visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverékekben lévő kötőanyag penetrációja, valamint lágyuláspontja a következő képlettel számítható:

$$a \lg pen_1 + b \lg pen_2 = (a + b) \lg pen_{mix}$$

$$a \times T_{R\&B\ 1} + b \times T_{R\&B\ 2} = T_{R\&B\ mix}$$

ahol:

- pen_{mix} – a visszanyert aszfaltot tartalmazó keverék kötőanyagának számított penetrációja,
- pen_1 – a visszanyert aszfaltból kinyert kötőanyag penetrációja,
- pen_2 – a hozzáadott kötőanyag penetrációja,

$T_{R\&B\ mix}$ – a visszanyert aszfaltot tartalmazó keverék kötőanyagának számított lágyuláspontja,

$T_{R\&B\ 1}$ – a visszanyert aszfaltból kinyert kötőanyag lágyuláspontja,

$T_{R\&B\ 2}$ – a hozzáadott kötőanyag lágyuláspontja,

a és b – a visszanyert aszfaltból származó kötőanyag tömegaránya a , és a hozzáadott bitumen tömegaránya b , a keverék teljes kötőanyagának arányában; ($a + b = 1$).

Az európai, nemzeti szabályozásokban, a visszanyert aszfalt kötőanyagára minimális penetrációs értéket vagy maximális lágyuláspont értéket írnak elő, az anyag felhasználhatóságának korlátaiként. Az EN 13108-8 szabvány egy-egy típust (P_{15} vagy S_{70}) kiemeli, de más kategóriák alkalmazására is (P_{dec} vagy S_{dec}) lehetőséget teremt. A szabvány szerint definiált S_{70} kategóriában az egyes kötőanyagminták lágyuláspontja legfeljebb 77 °C, az összes minta lágyuláspontjának átlaga pedig legfeljebb 70 °C lehet. A legkisebb penetráció értéket definiáló kategória a P_{15} , ami azt jelenti, hogy a kötőanyag minták penetrációjának legalább 10 tizedmilliméternek, míg az összes minta penetráció-átlagának legalább 15 tizedmilliméternek kell lennie. Az európai előírás továbbá megfogalmazza, hogy kopórétegek esetében 10%-os RA adagolásig, alap- és kötőrétegeknél pedig 20%-os RA adagolásig, az RA kötőanyag jellemző vizsgálatát elegendő egyetlen mintán végezni, a felhasználni kívánt, homogén, visszanyert aszfalt mennyiségétől függetlenül [22].

Az általános tendenciát kiegészítve, egyes országok a helyi viszonyoknak megfelelő, specifikus követelményeket szabnak [25]. A szabályozás megengedi a penetráció figyelembevételét, azonban Németországban az EN szabvány szerinti, lágyuláspont alapú számítás az általános gyakorlat: az S_{70} kategóriában az 500 tonnánként vett minta átlagos lágyuláspontja legfeljebb 70 °C-ot érhet el [24]. Ezzel szemben Franciaországban a visszanyert aszfalt 500 vagy 1000 tonnánként vett mintáin a lágyuláspont mellett, a penetráció értékét is vizsgálják [9]. Az egyes

2. táblázat: Penetráció és lágyuláspont határértékek egyes európai országokban [25]

Ország	B	CZ	F	D	IRL	PL	P	SLO	UK
Penetráció (0,1 mm)	>10	>10	>5	>15	>15	>15	>15	-	>15
Lágyuláspont (°C)	-	<77	<77	<70	-	<70	<70	<70	-

paramétereknél a határértékek tűréshatára itt nagyobb, mint a szabványos kategóriáké (2. táblázat).

Általános eljárás, hogy ha a kötőanyag-keverék lágyuláspontja vagy penetrációja a bemutatott képletek szerint számítva a célzott értékhez képest keményebb bitumenkategóriába kerülne, akkor a keverék készítéséhez egy lágyabb kategóriába sorolt bitumentípus választható. Ezáltal biztosítják azt, hogy az aszfaltkeverék kötőanyagának tulajdonságai, magas visszanyert aszfalt tartalom mellett is, az előírt határértékeknek megfelelőek lehessenek.

2.8. A kötőanyag-keverék viszkozitásának DSR alapú számítási lehetősége

Az európai gyakorlatban is ismert az útépitési bitumenek viszkozitásuk alapján történő osztályba sorolása. Az EN 12591 szabvány, amely az útépitési bitumenek minőségi követelményeit foglalja össze, az útépitési bitumenekre vonatkozó választható, jellemző paraméterként kezeli a viszkozitást [19]. Ha a dinamikus viszkozitás az adott ország helyi követelményeinek része, az EN 12596 szabvány szerint, 60 °C-on, vákuumkapilláris módszerrel kell meghatározni [20]. A magyar nemzeti követelményekben azonban teljesítmény paraméterként nem szerepel a dinamikus viszkozitás útépitési bitumenek esetében [23].

Hazánkban a visszanyert aszfaltot tartalmazó keverékek tervezése kapcsán, a kötőanyag-elegyek tervezéséhez nincs érvényben viszkozitás számítási módszer. Ennek a legfőbb oka, hogy a kapilláris viszkoziméterben a nyírási sebesség nem állandó, bitumenforrásonként és kötőanyag-osztályonként eltérő. A nyírási sebesség a különböző forrású visszanyert aszfalt kötőanyagoként és az ebből készülő bitumenkeverékeként is különböző.

A dinamikus viszkozitás 60 °C-on dinamikus nyíróreométerrel is meghatározható. A friss kötőanyag nyírási sebessége a DSR-ben reprodukálható, azonban – a visszanyert aszfalt bitumenjének adagolási arányától függően – folyamatosan változtatni kellene azt. Ez azonban lehetetlen, mivel a kapilláris viszkozitás vizsgálat elvégzése nélkül a keverékeknek a nyírási sebesség nem lenne ismert; így ilyen körülmények között csak DSR-rel történő mérés a dinamikus viszkozitás nem lenne meghatározható. Továbbá a kapilláris viszkoziméter magasabb viszkozitás tartományban (alacsonyabb funkcionális hőmérsékleteken), – amely a RA kötőanyagára gyakran jellemző – nem képes megbízható eredményt szolgáltatni. A felmerült problémára és a DSR alkalmazhatóságára megoldást jelent, ha nem reprodukálni próbáljuk a kapilláris viszkoziméterben végzett mérést egy másik készülék (a DSR-rel), hanem egy azzal egyenértékű mérési módszert alkalmazunk. Amennyiben konstans 1 rad/s-os nyírási sebességet alkalmazunk a DSR mérés során, a kapilláris viszkoziméteres méréshez hasonló eredményeket kapunk, egy ismételtelhetőbb, költséghatékonyabb mérés során [27].

3. HAZAI KUTATÁSI MUNKA AZ RA-TARTALMÚ KÖTŐANYAG-ELEGYEK VISZKOZITÁSSZÁMÍTÁSÁRA

3.1. Viszkozitás előrebecslő képletek összehasonlítása

A kutatás első lépéseként a viszkozitás meghatározására szolgáló, a szakirodalmi részben bemutatott tapasztalati képleteket hasonlítottuk össze. Ezeknek a képleteknek a használhatóságát főleg a kötőanyag-elegyekben szereplő összetevők kiindulási viszkozitásának mértéke határozza meg. Az is fontos befolyásoló

3. táblázat: Egyes, Európában elérhető bitumen rejuvenáló szerek dinamikus viszkozitása

Rejuvenáló szer származási helye		D			I	NL	UK
Dinamikus viszkozitás	(Pa-s)	0,034-0,035	0,036	0,031-0,040	0,046-0,141	0,031	0,062
	(cP)	34-35	36	31-40	46-141	1000-3000	62
Mérési hőmérséklet		40°C	nem ismert	nem ismert	30°C	25°C	25°C

4. táblázat: Hazánkban elérhető útépítési bitumenek DSR-rel mért komplex viszkozitása

Útépítési bitumen		B 20/30	B 35/50	B 50/70 (1)	B 50/70 (2)	B 70/100 (1)	B 70/100 (2)	B 100/150
Komplex viszkozitás (Pa-s, 60 °C, 1 rad/s)	Átlag	2 445	517	261	305	129	164	93
	Terjedelem	814	133	16	45	21	24	6
	Szórás	361,6	54,8	5,13	16,1	9,95	10	2,71
	Variációs együttható	0,15	0,11	0,02	0,05	0,08	0,06	0,03
	Mérések száma	3	3	7	5	4	3	3

*Jelmagyarázat: az (1) és a (2) különböző gyártót jelöl.

tényező, hogy milyen mértékű a visszanyert aszfalt bitumenjének előregedése, és az is, hogy tartalmaz-e az elegy alacsony viszkozitású rejuvenáló (fiatalító) szert [12]. A 3. táblázat egyes európai országokban alkalmazott rejuvenáló szerek dinamikus viszkozitás tartományáról tájékoztat.

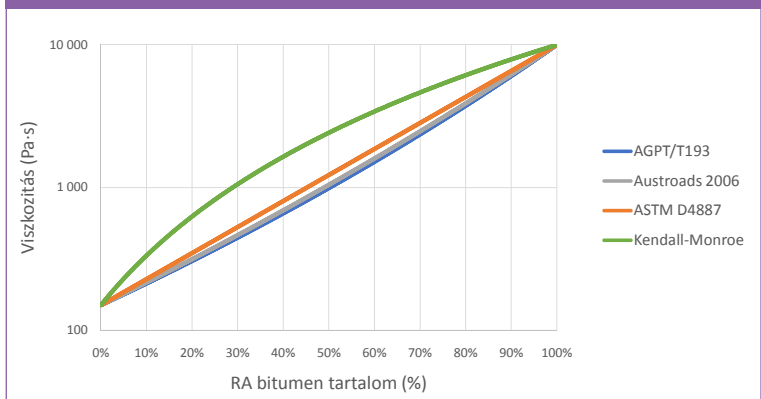
A 4. táblázat egyes hazánkban elérhető, útépítési bitumenek DSR-rel mért, átlagos komplex viszkozitását szemlélteti.

A képletek között nagyobb eltérés akkor tapasztalható, hogyha az elegyek között alacsony viszkozitású rejuvenáló szert is alkalmaznak. Útépítési bitumen, illet-

ve RA bitumen elegyítésekor a vizsgált egyenletek között csupán kisebb különbség adódik.

A szemléltetés kedvéért, az egyes tapasztalati modelleket 0,1 Pa-s viszkozítású

1. ábra: Útépítési és RA-bitumen elegyének viszkozitása az RA-bitumen tömegaránya szerint, különböző képletek alkalmazásával, logaritmusos léptékben



rejuvenálószer, 150 Pa-s viszkozitású útépitési bitumen és 10 000 Pa-s viszkozitású RA bitumenelegyek megfelelő tömegarányaiban ábrázoltuk (1-3. ábra). A vizsgált négy keverési képlet közül a Kendall és Monroe által kidolgozott összefüggés [13] tér el a legnagyobb mértékben az útépitési bitumen és RA bitumen keveréknél a viszkozitás tartományokban. A rejuvenáló szer és RA bitumen elegyek

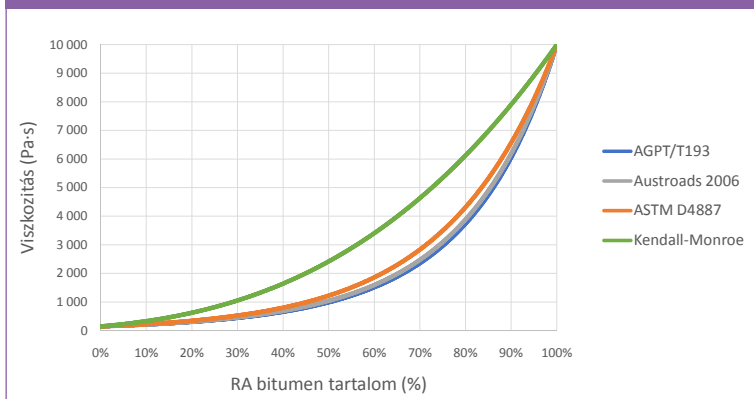
tartományában három kategória különböztethető meg, amelyek közül a rejuvenáló szer alacsonyabb viszkozitás dominanciáját az Austroads 2006 [26] és AGPT/T193 (Chevron) [32] egyenletek fejezik ki. Míg a viszkozitás csökkentésére legkevésbé érzékeny képlet a Kendall-Monroe féle összefüggés.

3.2. A vizsgálatok leírása

3.2.1. Alapanyagok bemutatása

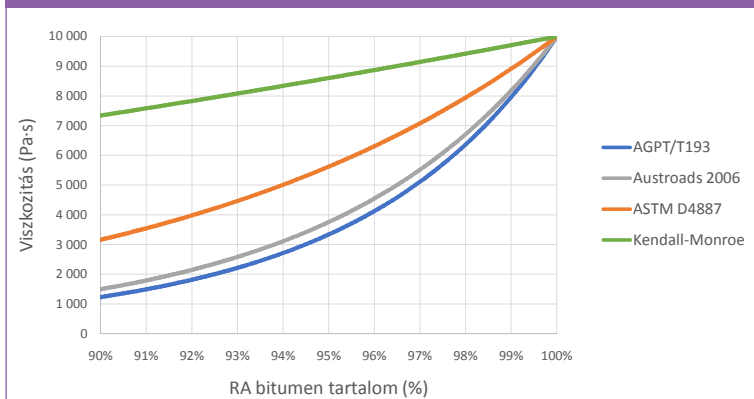
Kutatásunk során egy hazai másodrendű főút kopó- és kötőrétegéből, valamint egy önkormányzati út kopórétegéből származó bontott aszfalt bitumenjét nyertük vissza, az EN 12697-3-ban leírtaknak megfelelően [21], majd útépitési bitumenek felhasználásával különböző bitumenkeverékeket készítettünk. Az elkészült keverékeket dinamikus nyíróreométerrel vizsgáltuk, a 60 °C-on mért komplex viszkozitásokat pedig a különböző keverék viszkozitás számítására alkalmas képletek által számított viszkozitásértékekkel összevetettük.

2. ábra: Útépitési és RA-bitumen elegyének viszkozitása az RA-bitumen tömegaránya szerint, különböző képletek alkalmazásával, lineáris léptékben



Első lépésként a keverékek alapanyagául szolgáló bitumeneket vizsgáltuk meg, meghatározva komplex viszkozitásukat, illetve – az európai előírásoknak megfelelően – lágypontjukat [18]. A penetráció értékét csak az új útépitési bitumenek esetén mértük, az RA bitumenek esetében a vizsgálatot, annak nagy mintaigénye miatt, nem hajtottuk végre. A felhasznált bitumenek alapvető tulajdonságai az 5. táblázatban találhatóak. A lágypont értékek alapján megállapítható, hogy a vizsgált két kopóréteg útépitési bitumennel készült, mivel visszanyert állapotban, sok évnyi öregedés után sem érik el a polimerrel modifikált bitumenek lágypont értéké-

3. ábra: Alacsony viszkozitású olaj és RA-bitumen elegyének viszkozitása, az RA-bitumen tömegaránya szerint, különböző képletek alkalmazásával, lineáris léptékben



5. táblázat: A kutatásban szereplő bitumenek fő minőségi jellemzői

Bitumen megnevezés	B 70/100	B 100/150	Kopó 1	Kopó 2	Kötő 1
Származási hely	-	-	Másodrendű főút	Önkormányzati utca	Másodrendű főút
Év	2021	2021	2014	2002	1985
Penetráció (0,01 mm, 25°C)	76	109	-	-	-
Lágyuláspont (°C)	47	42,9	64,8	60,4	77,2
Komplex viszkozitás (Pa-s, 60 °C, 1 rad/s frekvencia)	164	93	8 264	1 685	33 556

nek alsó korlátját, a 65 °C-ot. A kötőrétegből származó visszanyert bitumen lágyuláspontja magasabbra adódott, azonban elmondható, hogy a kötőréteg eredetileg útépítési bitumen felhasználásával készült, mivel Magyarországon csak 1987-ben kezdődött meg a PmB-bitumenek gyártása.

3.2.2. A bitumenelegy előállítása

A szakirodalom és a hazai szabályozás nem szolgáltat előírást a bitumenek laboratóriumi keverésére. Ezért saját keverési eljárásrendet alakítottunk ki, ügyelve arra, hogy a bitumeneket a lehető legrövidebb ideig melegítsük, azonban az elkeveredés a lehető legnagyobb mértékű legyen. A keverékek homogenitását a kétszeri keverés biztosítja. Ennek sikerességét alátámasztják a keverékből végzett párhuzamos mérések eredményei.

Ausztráliában a bitumeneket melegítő lámpa alatt keverik, így biztosítva, hogy keverés közben sem hűl le a bitumen, és jól keverhető marad, homogén elegyet eredményezve [27]. A hazai bitumenvizsgáló laboratóriumokban a melegítő lámpa nem terjedt el, ezért keveréseinknél a bitumeneket szárítószekrény segítségével melegítettük és temperáltuk a keverési hőmérsékleten.

A bitumenelegyek készítésekor az egyes komponensekből a keverési aránynak megfelelő

mennyiségeit analitikai mérlegen mértük be, azokat melegítettük, majd a fűtést fenntartva, alaposan összekevertük. A keverés után a keveréket ismételten temperáltuk, majd egy ismételt, rövidebb időtartamú, fűtött közegben történő keverést követően megtöltöttük a mintakészítő formákat. Az elkészült mintákat a DSR mérés végrehajtásáig 10 °C-os hőmérsékleten tartottuk.

A 6. táblázatban a bemutatott alapanyagok felhasználásával készült bitumenkeverékek összetétele, valamint az AGPT/T192-ben foglaltak szerint, 60 °C-os hőmérsékleten meghatározott komplex viszkozitása látható.

Ahogy az az útépítési bitumen + RA bitumenkeverékekre vonatkozó 1. és 2. ábrán is látható volt, a négy képlet közül három hasonló eredményt szolgáltatott. A kutatás során, ennek megfelelően, a mért komplex viszkozitások viszonyát a négy helyett két képlethez, AGPT/T193-ben megtalálható Chevron-egyenlethez, valamint Kendall és Monroe által leírt egyenlethez képest vizsgáltuk.

3.2.3. Vizsgálati eredmények kiértékelése

A számított viszkozitásokat és a mérési pontokat, a visszanyert bitumen tartalom függvényében, a 4-6. ábra mutatja be. A 7-10. táblázat pedig a négy útépítési és RA-bitumen

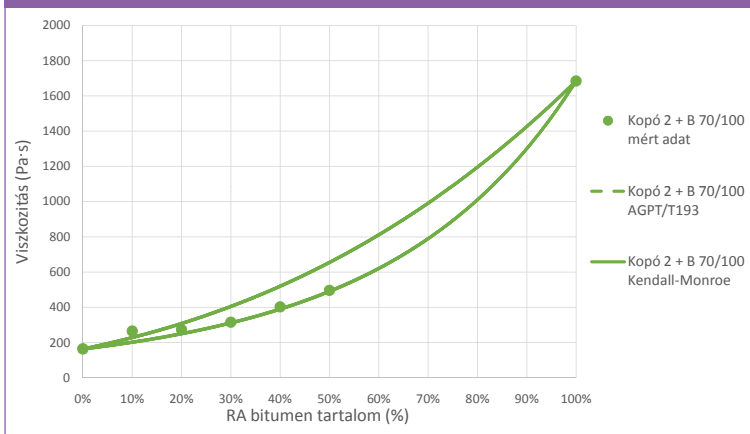
6. táblázat: A bitumenelegyek komplex viszkozitás eredményei az RA-bitumen tömegarányában (60 °C-on, 1 rad/s frekvencián)

Keverék megnevezése	Kopó 1 + B 70/100	Kopó 1 + B 100/150	Kötő 1 + B 70/100	Kopó 2 + B 70/100
Visszanyert bitumen tartalom (tömeg%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)			
0%	164	93	164	164
10%	252	140	309	265
20%	305	187	524	273
30%	402	241	742	315
40%	592	398	1 366	402
50%	965	648	2 353	496
100%	8 264	8 264	33 556	1 685

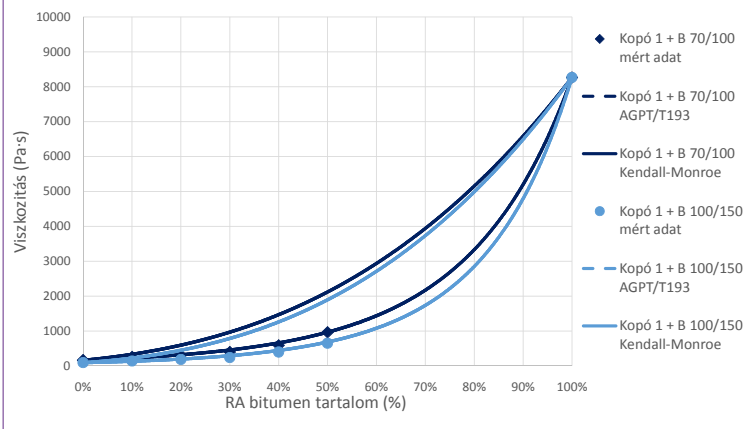
elegy különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeinek a két számítási eljárással (Chevron-képletekkel

és Kendall–Monroe formulával) nyert értékeitől való %-os eltéréseit, valamint az eltérések átlagát szemlélteti.

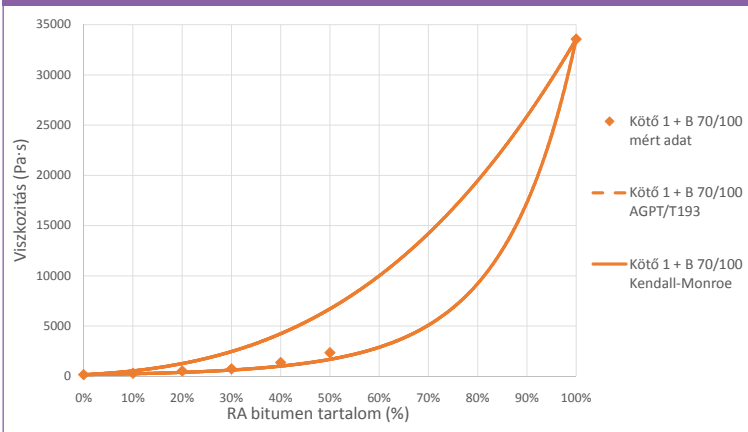
4. ábra: Kopó 2 + B 70/100 elnevezésű útépítési elegy viszkozitása, az RA-bitumen tömegarányának függvényében, a mért és a számított értékek összehasonlítása, lineáris léptékben



5. ábra: Kopó 1 + B 70/100 és Kopó 1 + B 100/150 útépítési és RA-bitumen elegyek viszkozitása, az RA-bitumen tömegarányának függvényében, a mért és a számított értékek összehasonlítása, lineáris léptékben



6. ábra: Kötő 1 + B 70/100 elnevezésű útépítési és RA-bitumen elegy viszkozitása, az RA-bitumen tömegarányának függvényében, a mért és a számított értékek összehasonlítása, lineáris léptékben



7. táblázat: B 70/100 útépítési és Kopó 2 RA-bitumen elegyén, különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeknek a két számítási eljárással nyert értékektől való %-os eltérései és az eltérések átlaga

Kopó 2 + B 70/100 keverék RA tartalma (%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)				
	mért	AGPT/T193		Kendall-Monroe	
		számolt	eltérés (%)	számolt	eltérés (%)
10	265	202	31	228	16
20	273	250	9	308	-11
30	315	312	1	405	-22
40	402	390	3	520	-23
50	496	491	1	655	-24
eltérés átlaga:			9		-13

8. táblázat: A B 70/100 útépítési és Kopó 1 RA-bitumen elegyén, különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeknek a két számítási eljárással nyert értékektől való %-os eltérései és az eltérések átlaga

Kopó 1 + B 70/100 keverék RA tartalma (%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)				
	mért	AGPT/T193		Kendall-Monroe	
		számolt	eltérés (%)	számolt	eltérés (%)
10	252	228	11	335	-25
20	305	321	-5	597	-49
30	402	457	-12	969	-59
40	592	660	-10	1469	-60
50	965	967	0	2119	-54
eltérés átlaga:			-3		-49

9. táblázat: B 100/150 útépitési és Kopó 1 RA-bitumen elegyén, különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeknek a két számítási eljárással nyert értékektől való %-os eltérései és az eltérések átlaga

Kopó 1 + B 100/150 keverék RA tartalma (%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)				
	mért	AGPT/T193		Kendall-Monroe	
		számolt	eltérés (%)	számolt	eltérés (%)
10	140	134	4	227	-38
20	187	197	-5	451	-59
30	241	293	-18	788	-69
40	398	445	-11	1261	-68
50	648	686	-6	1894	-66
eltérés átlaga:			-7		-60

10. táblázat: B 70/100 útépitési és Kötő 1 RA-bitumen elegyén, különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeknek a két számítási eljárással nyert értékektől való %-os eltérései és az eltérések átlaga

Kötő 1 + B 70/100 keverék RA tartalma (%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)				
	mért	AGPT/T193		Kendall-Monroe	
		számolt	eltérés (%)	számolt	eltérés (%)
10	309	250	23	541	-43
20	524	390	34	1269	-59
30	742	621	19	2463	-70
40	1366	1012	35	4239	-68
50	2353	1688	39	6711	-65
eltérés átlaga:			30		-61

4. ÖSSZEFOGLALÓ KÖVETKEZTETÉSEK

Az ismertetett kutatási munka különböző, hazánkban elérhető, útépitési bitumentípusok és egyes bontott aszfalt fajtákból visszanyert bitumenek különböző arányú keverékeinek komplex viszkozitását mérte (60 °C-on, 1 rad/s frekvencián) azzal a szándékkal, hogy azokat a világon elterjedt keverék-viszkozitás előrebecslő képleteivel számított értékeivel összehasonlítsa. Az ennek során nyert, a mért értékektől való %-os eltéréseket értékelve a következő megállapításokat lehetett tenni:

- az alacsonyabb (1 685 - 8 264 Pa·s) viszkozitású RA bitumen és útépitési bitumen elegyek esetében, a mért értékek, 10-50%-os RA-bitumen tömegarányánál, a Chevron-egyenlettel számítottakkal nagyon jó egyezést mutattak, mivel a viszkozitás értékeinek átlagos eltérése nem érte el a 10%-ot;
- a legkisebb viszkozitású visszanyert bitumen (Kopó 1, 1 685 Pa·s) tartalmú elegy esetében, a két tapasztalati képlet alkalmazásával számított eredmények között kis eltérés adódik, mivel ebben az esetben volt a legkisebb az eltérés az alkotóelemek viszkozitása között,
- a magasabb viszkozitású (33 556 Pa·s) RA bitumen és az útépitési bitumen elegy (Kötő 1 + B 70/100) viszkozitásai magasabbnak bizonyultak, mint ami a Chevron-képletből előre becsülhető, a Kendall-Monroe képlettel számítottnál azonban alacsonyabbak voltak az értékek,
- összességében az az általános tapasztalat volt levonható, hogy a normál útépitési bitumen és RA bitumen elegyek komplex viszkozitása a Chevron előrebecslő képlettel elfogadható pontossággal leírható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00060 számú projekt részeként, az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott tá-

mogatásával, a 2020-1.1.2-PIACI KFI pályázati program finanszírozásában valósult meg.

A kutatás a Hódmezővásárhelyi Útépitő Kft. központi laboratóriumában, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Pályaszerkezeti Laboratóriumában, valamint a Széchenyi István Egyetem Útépitési Laboratóriumában valósult meg. A szükséges alapanyagokat a Hódút Freeway Kft. biztosította.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Asphalt Institute, Asphalt hot-mix recycling, Asphalt Institute manual series no. 20 (MS-20), 1981
- [2] Arrhenius, S. *Über die innere Reibung verdünnter wässriger Lösungen*, Zeitschrift für Physikalische Chemie, 1887
- [3] Barrufet, M. A., Setiadarma, A. *Reliable heavy oil-solvent viscosity mixing rules for viscosities up to 450 K, oil-solvent viscosity ratios up to 4 x 10⁵, and any solvent proportion*, Fluid Phase Equilibria, 2003
- [4] Beggs, H. D., Robinson, J. R. *Estimating the Viscosity of Crude Oil Systems*, Journal of Petroleum Technology, 1975 DOI: <https://doi.org/fjmh35>
- [5] Bingham, E. C. *The Viscosity of Binary Mixtures*. The Journal of Physical Chemistry, 1914
- [6] Carey, D. E., Paul, H. R. *Effects of asphalt cement rejuvenating agents: final report*, FHWA/LA-80/146, Louisiana Department of Transportation and Development, 1980
- [7] Centeno, G., Sánchez-Reyna, G., Ancheyta, J., Muñoz, J. A. D., Cardona, N. *Testing various mixing rules for calculation of viscosity of petroleum blends*, Fuel, 2011 DOI: <https://doi.org/fkbn94>
- [8] Centeno, G., Sánchez-Reyna, G., Ancheyta, J. *Calculating the Viscosity of Crude Oil Blends by Binary Interaction Parameters Using Literature Data*, Petroleum Science and Technology, 2014 DOI: <https://doi.org/jrr5>
- [9] Cerema, *Recyclage des agrégats d'enrobés dans les mélanges bitumineux à chaud - État de l'art et recommandations (Recycling of asphalt aggregates in hot mixes - State of the art and recommendations)*, 2021

- [10] Elkashef, M., Podolsky, J. H., Williams, R. C., Hernandez, N., Cochran, E. W. *Using viscosity models to predict the properties of rejuvenated reclaimed asphalt pavement (RAP) binders*, Road Materials and Pavement Design, 2019 DOI: <https://doi.org/jrr6>
- [11] Epps, J. A., Little, D. N., Holmgreen, R. J., Terrel, R. L., NCHRP report 224: *Guidelines for recycling pavement materials*, Transportation Research Board, National Research Council, 1980
- [12] Forton, A., Mangiaficio, S., Sauzéat, C., Benedetto, H. D., Marc, P. *Properties of blends of fresh and RAP binders with rejuvenator: Experimental and estimated results*, Construction and Building Materials, 2020 DOI: <https://doi.org/jrsj>
- [13] Kendall, J., Monroe, K. P. *The viscosity of liquids II. The viscosity-composition curve for ideal liquid mixtures*, Journal of the American Chemical Society, 1917
- [14] Kennedy, T. W., Huber, G. A., Harrigan, E. T., Cominsky, R. J., Hughes, C. S., Von Quintus, H., Moulthrop, J. S. *Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program*, Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1994
- [15] Oliver, J. W. H. *The Influence of the Binder in RAP on Recycled Asphalt Properties*, Road Materials and Pavement Design, 2001 DOI: <https://doi.org/jrsk>
- [16] Oliver, J. W. H., Alderson, A., Austroads *Asphalt recycling: results of a user survey and the design of asphalt mixes incorporating recycled asphalt pavements*, ARRB Transport Research 347, 2000
- [17] Shu, W. R. *A viscosity correlation for mixtures of heavy oil, bitumen, and petroleum fractions*, Society of Petroleum Engineers, 1984 DOI: <https://doi.org/dm253q>
- [18] MSZ EN 1427:2016 *Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A lágyuláspont meghatározása. Gyűrűs-golyós módszer*
- [19] MSZ EN 12591:2009 *Bitumen és bitumenes kötőanyagok. Az útépítési bitumenek minőségi előírásai*
- [20] MSZ EN 12596:2015 *Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A dinamikai viszkozitás meghatározása vákuumkapilláris-módszerrel*
- [21] MSZ EN 12697-3:2013+A1:2019 *Aszfaltkeverékek. Vizsgálati módszerek 3. rész: A bitumen visszanyerése: forgó bepárló*
- [22] MSZ EN 13108-8:2016 *Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások. 8. rész: Visszanyert aszfalt*
- [23] e-UT 05.01.26:2018 *Bitumenes kötőanyagok az útpályaszerkezetek aszfaltburkolati keverékeinek gyártásához*
- [24] DAV (Deutscher Asphaltverband e.V. / German Asphalt Pavement Association), *Wiederverwenden von Asphalt, Nachhaltigkeit auf höchstem Niveau (Reusing asphalt, Sustainability at the highest level)*, 2014
- [25] EAPA (European Asphalt Pavement Association), *EAPA Task Force Report - Re-use of Reclaimed Asphalt, Draft Report 7, 2021*
- [26] Austroads 2006, *Asphalt recycling*, Technical Report AP-T66-06, 2006
- [27] Austroads 2013, *Maximising the Re-use of Reclaimed Asphalt Pavement: Binder Blend Characterisation*, Technical Report AP-T245-13, 2013
- [28] Austroads 2015, *Maximising the Re-use of Reclaimed Asphalt Pavement - Outcomes of Year Two: RAP Mix Design*, Technical Report AP-T286-15, 2015
- [29] Austroads 2016, *Maximising the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mix Design: Field Validation*, Technical Report AP-R517-16, 2016
- [30] Austroads, *Austroads Test Method AGPT/T191, Extraction of Bituminous Binder from Asphalt*, 2015
- [31] Austroads, *Austroads Test Method AGPT/T192, Characterisation of the Viscosity of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Binder Using the Dynamic Shear Rheometer (DSR)*, 2015
- [32] Austroads, *Austroads Test Method AGPT/T193, Design of Bituminous Binder Blends to a Specified Viscosity Value*, 2015
- [33] ASTM International, *ASTM D4887-99, Standard Practice for Preparation of Viscosity Blends for Hot Recycled Bituminous Materials*, 2003
- [34] AS 2341.3-1993, *Methods of testing bitumen and related roadmaking products Method 3: Determination of kinematic viscosity by flow through a capillary tube*, Standards Australia, 1993

- [35] AS 2008-1997, *Residual bitumen for pavements*, Standards Australia, 1997
- [36] AS/NZS 2341.5-1997, *Methods of testing bitumen and related roadmaking products*

Determination of apparent viscosity by 'Shell' sliding plate micro-viscometer, Standards Australia, 1997



Calculation and prediction possibility of the dynamic viscosity of a mixture comprising road bitumen and reclaimed bitumen

The reuse of reclaimed asphalt pavement in large quantities in new hot and warm asphalt mixtures has significant economic and environmental benefits. In this case, however, in order to achieve satisfactory performance of the final product scientific planning of the mixture and thorough control of production are essential. Before using the reclaimed asphalt pavement, a number of tests have to be performed to verify that the material meets the relevant requirements and can be used in hot or warm asphalt mixtures. It is essential to know the characteristics of the binder in the reclaimed asphalt pavement and the expected properties of the binder blend in the new asphalt mixture. For the prediction and calculation of the latter, the relevant European standard offers the calculation of the penetration or softening point of the binder blend in the mixture with reclaimed asphalt content.

The article deals with the measurement of the dynamic viscosity of bitumen blends of asphalt mixtures made using reclaimed asphalts, determined with a dynamic shear rheometer at a loading frequency of 1 rad/s. Furthermore, the relationships between the different composition ratios of national paving grade bitumens classified on the bases of penetration level and bitumens from reclaimed asphalt pavement are examined.



Möglichkeiten für die Berechnung und Vorhersage der dynamischen Viskosität einer Mischung von Straßenbaubitumen und Altasphaltbitumen

Die Wiederverwendung von zurückgewonnenem Asphaltbelag in großen Mengen in neuen Heiß- und Warmasphaltemischungen hat erhebliche wirtschaftliche und ökologische Vorteile. Um eine zufriedenstellende Leistung des Endprodukts zu erzielen, ist in diesem Fall jedoch eine wissenschaftliche Planung der Mischung und eine gründliche Kontrolle der Produktion unerlässlich. Vor dem Einsatz des zurückgewonnenen Altasphaltbelags muss durch eine Reihe von Tests nachgewiesen werden, dass das Material die entsprechenden Anforderungen erfüllt und in Heiß- oder Warmasphaltemischungen verwendet werden kann. Es ist wichtig, die Eigenschaften des Bindemittels in dem zurückgewonnenen Asphaltbelag und die erwarteten Eigenschaften der Bindemittelmischung in der neuen Asphaltmischung zu kennen. Für dessen Vorhersage und Berechnung bietet die entsprechende europäische Norm die Berechnungsmethode des Penetrations- bzw. Erweichungspunktes der Bindemittelmischung in der Mischung mit zurückgewonnenen Altasphaltanteil an.

Der Artikel befasst sich mit der Messung der dynamischen Viskosität von Bitumenmischungen aus wiederverwerteten aus Altasphalt, gemessen mit einem dynamischen Scherrheometer bei einer Belastungsfrequenz von 1 rad/s. Darüber hinaus werden die Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Zusammensetzungsverhältnissen von nationalen Asphaltbelagsqualitäten, die nach dem Penetrationsgrad klassifiziert wurden, sowie Bitumenen aus wiederverwerteten Altasphalt untersucht.

Akkumulátoros elektromos autóbuszok fogyasztásának becslése vonali jellemzők és hőmérséklet figyelembevételével

Az elektromos autóbuszok alkalmazhatósága korlátozott, ezért szükséges olyan módszerek kidolgozása, amelyek alkalmasak az az elektromos autóbuszok útvonalszakaszaira vonatkoztatott energiaigények becsléséhez, segítve a fordatervezést is.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.1.3>

Szilassy Péter Ákos^{1,2} – Dr. Földes Dávid¹

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,
Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

²KTI – Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet Nonprofit Kft.

e-mail: szilassy.peter.akos@kjk.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Az alternatív hajtáslánc-technológiák, mint például az elektromos meghajtás, bevezetése a közforgalmú közlekedésben kiemelkedően fontos a környezetszennyezés és a zajkibocsátás csökkentése miatt, különösen a városi környezetben [1, 2, 3, 4]. Az elfogadott irányelvek alapján 2025-től számos európai nagyvárosban korlátozzák az új, dízelautóbuszok beszerzését [5]. Az elektromos autóbuszok széles körű terjedését a magas beszerzési költségek és a korlátozott működési tartomány gátolja [6, 7, 8, 9, 10].

A városi autóbuszok üzemét a hosszú napi járatok jellemzik. Csak éjszakai, telephelyi töltest feltételezve, az elektromos járműveknek a dízel meghajtású járművekhez hasonlóan a teljes napi előírt fordátávolságot teljesíteni kell. További energiaigényt jelent a meghajtáshoz szükséges energia mellett, a segédberendezésekhez szükséges energia. Számos veszteség

tovább csökkentheti a hatékonyságot; például az ajtónyitások okozta hőveszteség, az emberi test hőleadása stb. Emiatt számos esetben fosszilis tüzelőanyagot használó berendezéseket (pl. kályha) használnak, így csökkentve az elektromos energiaigényt, de növelve a légszennyezést. Ha egy dízelmotoros jármű nem váltható ki egy az egyben elektromos járművel, akkor a költségek tovább növekednek és többletjármű vásárlása szükséges.

A kutatások többsége az energiafogyasztás optimalizálására összpontosít, valós fogyasztási adatokat elemezve. Mért adatok használatával a megvásárolni kívánt autóbuszok akkumulátor kapacitása könnyebben optimalizálható, a fordatervezés elvégezhető. Az autóbusz valós állapotú tesztelése nélkül azonban nehéz meghatározni a szükséges jellemzőket, ezen adatok pedig többnyire nem állnak rendelkezésre, az adatok becslése szükséges. Ugyanakkor a jelenlegi döntéstámogató módszerek a fogyasztást felületes

módon becsülik, csak bizonyos tényezőkkel számolnak, míg mások figyelembe veszik a megállóközi távolságokat [11, 12, 13], és részben vagy teljes mértékben az utasterheléssel is foglalkoznak [11, 12]. Ezen túlmenően a fűtő, szellőztető és légkondicionáló rendszer (HVAC) és az akkumulátor hőszabályzó rendszer (BTMS) magas fogyasztása miatt több tanulmányban megjelenik a fogyasztás hőmérséklettől való függése [12, 13, 14, 15]. Továbbá egyes tanulmányok a domborzatot veszik figyelembe, mint a fogyasztás bizonytalanságának fő okozóját [14, 16, 17, 18].

Kutatásunk célja számos, a fogyasztásra hatást gyakorló tényező együttes figyelembevételével készült számítási módszer kidolgozása az energiafogyasztás becslésére. A módszer újszerűsége, hogy az autóbusz energiafogyasztása nem a fogyasztási adatok alapján, hanem az aktuális gyorsulási erő és sebesség alapján meghatározott menetdinamikai számítás szerint becsülhető meg. A szakaszokon belül gyorsítási, futási és lassítási fázisokat különböztetünk meg. További újszerűsége a módszernek, hogy a teljes energiafogyasztás pontosabb meghatározása érdekében a járművön lévő egyéb fogyasztók energiafelhasználása is széles körben figyelembe vehető, mint például légkompresszor, szervokormány, rögzítőfék berögzítése és kioldása, ablaktörlő, ajtónyitó motorok, lámpák fogyasztásai, illetve az utastájékoztató rendszer. Fontos befolyásoló tényezők a jármű alapvető dinamikus paraméterei (jármű tömege, kerékátmérője, megengedett sebessége), az autóbusz útvonalának jellemzői (utasterhelés, emelkedési jellemzők, megálló helyzete) és a környezeti hőmérséklet. A kidolgozott módszertan alkalmazásával adathiányos környezetben, egy autóbusz valós idejű tesztelése nélkül is becsülhető a vonal teljesítéséhez szükséges energiaigény.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az akkumulátorok egységnyi térfogatra és tömegre jutó energiasűrűsége jóval kisebb, mint a fosszilis üzemanyagoké, ennek megfelelően lényegesen kevesebb energia szállítható az elektromos autóbuszokkal, mindemellett az akkumulátormodulok össztömege is nagy

terhelést jelent a járművekre [13]. Az energiafelhasználás elsősorban gyorsulási profil elemzésével határozható meg. A gyorsulás mértékének változtatásával az elektromos járművek energiafogyasztása csökkenthető, az akkumulátor élettartama növelhető. A sebességgörbe vizsgálatával a fogyasztás változását okozó gyorsulási tényező meghatározható [18]. A fogyasztásra nézve 50 km/h eléréséhez a kedvező gyorsulási idő 13,6 másodperc, míg a lassítási idő 50 km/h-ról 9,8 s városi környezetben [19]. A rekuperációs hatások a sebesség függvényében határozható meg [17]. A rekuperáció hatékonysága és energiamennyisége nagyobb, ha a jármű kisebb mértékben fékez [19]. Kettős optimalizálási problémával a kilométerenkénti fogyasztás minimalizálható és a megfelelő gyorsulási szint is biztosítható [16].

A szakirodalmi áttekintés során a következő fogyasztást befolyásoló alaptényezőket azonosítottunk: *domborzat (magasságkülönbség), megállóközi távolság, környezeti hőmérséklet és utasterhelés*. Az 1. táblázat összefogó képet ad arról, hogy az áttekintett irodalmak mely szempontokat veszik figyelembe.

2.1. Domborzat

A fogyasztás függ a domborzattól; lejtőn való haladás során energia nyerhető vissza. A fogyasztás egyszerűsített logika alapján a gyorsulás, sebesség és a lejtő/emelkedő meredekségének függvényében meghatározható. Emelkedős és lejtős szakaszokon az elektromos autóbuszok energiafogyasztása kedvezőbb, mint a dízelautóbuszoké. Az elektromos autóbusz energiafogyasztása minden vizsgált útvonalon alacsonyabb, a városi útvonalakon mintegy 70%-kal, a nem városi útvonalakon pedig mintegy 50%-kal [14]. Regeneratív fékezéssel a felhasznált energia 21-24%-a is visszanyerhető, különösen mikor hosszabb úton, nagyobb sebességről lassít a jármű [17, 18].

2.2. Megállóközi távolság

A fogyasztás nagymértékben függ az útvonaltól, nevezetesen a megállóhelyek számától és közöttük lévő távolságtól [11]. A megállóhely-távolság és a kilométeren-

1. táblázat: Tényezők figyelembevétele az áttekintett irodalmakban

Cikk	Kutatási téma	Domborzat	Megálló-távolság	Környezeti hőmérséklet	Utasterhelés
[11]	Fogyasztás modellezése	Nem	Igen	Nem	Részben
[12]	Fogyasztás modellezése	Nem	Igen	Igen	Igen
[13]	Fogyasztás elemzése	Nem	Igen	Igen	Nem
[14]	Fogyasztás modellezése	Igen	Nem	Nem	Nem
[16]	Gyorsulás optimalizálás	Igen	Nem	Nem	Nem
[17]	Regeneratív fékezés	Igen	Részben	Nem	Nem
[18]	Energiatakarékosági stratégia	Igen	Nem	Nem	Nem
[19]	Gyorsulásszabályozás	Nem	Részben	Nem	Nem
[20]	Hűtő-fűtő rendszer fogyasztás elemzése	Nem	Nem	Igen	Nem
[21]	Hűtő-fűtő rendszer költség és fogyasztás elemzése	Nem	Nem	Igen	Igen
[22]	Hűtő-fűtő rendszer szabályozás	Nem	Nem	Igen	Igen
[23]	Fogyasztás modellezése	Nem	Nem	Igen	Részben
[24]	Fogyasztás modellezése	Nem	Részben	Igen	Nem
[25]	Fogyasztás modellezése	Nem	Nem	Nem	Részben
[26]	Termikus szabályozás	Nem	Nem	Igen	Nem
[27]	Személyautó-fogyasztás modellezése	Igen	Nem	Nem	Nem

kénti megállások számának felhasználásával az autóbusz energiaigénye számítható, ami alapján a megfelelő méretű akkumulátor is kiválasztható. A [12] figyelembe vette a megállások számát, de a gyorsulási erőkkel nem számolt. Az autóbuszvezetők habitusa és szokásai alapvetően befolyásolják a gyorsítások karakterisztikáját [13, 18], amelyek gyakorisága a megállóhely-távolsággal összefügg. A megállások számának növekedése növeli az agresszív gyorsítás és fékezés lehetőségét. Lágyabb gyorsítás akár 15-20%-kal alacsonyabb fogyasztást is jelenthet [18].

2.3. Környezeti hőmérséklet

A szélsőségesen alacsony és magas külső hőmérséklet nagy mértékben befolyásolja a fogyasztást; a segédüzemi hőszivattyú teljesítménye megnő [28]. A szükséges akkumulátor

meghatározásánál különösen a HVAC rendszer energiafelhasználásának figyelembevétele szükséges. A legmelegebb időszakokban az éves hűtési fogyasztás 7 és 40 kWh között is ingadozhat [20]. A HVAC rendszer energiaigényének 50%-os csökkentése is indokolt az elektromos autóbuszok hatékonyságának növelése érdekében [21], hiszen a hatótávolságot 45%-kal is csökkentheti a 0 °C-on alkalmazott hűtő-fűtő rendszer energiaigénye miatt [22].

2.4. Utasterhelés

A jármű dinamikus fogyasztását jelentősen befolyásolja a jármű össztömege. Az utasterhelés változásával a jármű tömege az utasok tömegével növekszik [12, 23, 29]. Az utasterhelés fontos szerepet játszik a HVAC rendszer működésében is, így befolyásolja az elektromos autóbusz teljes energiafogyasztását [12, 21].

A használt modellekben a fel- és leszálló utasokat hőforrásként és hőleadó testként modellezzük; az utasok száma a teljes fogyasztás 5-6%-át is jelentheti [22].

Az áttekintett szakirodalmak fő megállapítása, hogy a fogyasztás nagymértékben függ a domborzattól, megállóközi távolságtól, hőmérséklettől és az utasszámtól; ugyanakkor az irodalmak nem egyben, hanem külön-külön mérték ezen tényezők hatását, de a közúti forgalom aktuális nagyságával, illetve egyéb, a fogyasztást is befolyásoló lokális tényezők hatásával (pl. útpálya minősége) nem foglalkoztak.

3. MÓDSZERTAN

3.1. Fogyasztás számításának felosztása és általános korlátozások

A teljes fogyasztás meghatározását az akkumulátoros elektromos autóbusz felépítéséhez hasonlóan két kategóriára osztottuk:

- menetdinamikai energiafogyasztás,
- segédüzemi energiafogyasztás.

3.1.1 Hajtásrendszer

A menetdinamikai energiafogyasztási számítás a jármű mozgásához és haladásához szükséges energia meghatározását jelenti. Az energia alapú számítási megközelítést alkalmazva az összes Newton II. törvénye szerinti erő figyelembevétele szükségtelen. Azonban egyes energiák és az erők közötti analógiák

megadása érdekében az erőre vonatkozó alapvető egyenleteket is értelmeztük.

Az emelkedőn mozgó járműre ható erők légellemenállással és gördülési ellenállással rendelkező környezetben a (1) egyenlet szerint határozható meg.

$$\frac{F_v}{(1+\theta)} - (F_r + F_f + F_s) = m \cdot a \quad (1)$$

ahol F_v a vonóerő; F_r a gördülési ellenálláserő; F_f a légellemenállási; F_s az emelkedési ellenálláserő; míg θ a gyorsítási ellenállási tényező. A gyorsítási ellenállás tényező a jármű forgó részei által kifejtett ellenállását fejezi ki, ami sebességfokozatonként eltér; jellemző értéke 0,2 és 0,5 közötti.

A vonóerő a (2) egyenlet szerint határozható meg.

$$F_v = F_r + F_f + F_s + F_a = m \cdot g \cdot \mu_r + \frac{\rho \cdot c_f \cdot A \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot \sin \alpha + (1+\theta) \cdot m \cdot a \quad (2)$$

ahol v a jármű pillanatnyi sebessége; μ_r gördülési súrlódási együttható; c_f a légellemenállási tényező; ρ a levegő sűrűsége (közeg); α az emelkedő hajlásszöge, F_a a jármű részeit gyorsító addiktív gyorsító erő

Az erők és energiák közötti analógiákat a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A mechanikai rendszer által felhasznált energia az utasterhelés és a hőmérséklet-ingadozás

2. táblázat: Energiák és erők közötti analógiák

Energia	Jelölés	Képlet	Erő	Jelölés	Képlet
Helyzeti energia	E_{pot}	$m \cdot g \cdot h$	Emelkedési ellenálláserő	F_s	$m \cdot g \cdot \sin \alpha$
Mozgási energia	E_{kin}	$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$	Gyorsító erő	F_a	$(1+\theta) \cdot m \cdot a$
Gördülési ellenállási energia	E_{rol}	$\int (m \cdot g \cdot \mu_r) \cdot v \, dt$	Gördülési ellenállási erő	F_r	$m \cdot g \cdot \mu_r$
Légellemenállási energia	E_{air}	$\frac{\rho \cdot c_f \cdot A \cdot v^2}{2}$	Légellemenállási erő	F_f	$\frac{\rho \cdot c_f \cdot A \cdot v^2}{2}$

következményeként változónak tekinthető a domborzaton és a megállótávolságon felül.

A számításokhoz szükséges autóbusz üzemi tömege a (3) egyenlet alapján határozható meg.

$$m = m_0 + \rho_x \cdot m_{pass} \quad (3)$$

ahol ρ_x az utasok száma az x . szakaszon; m_0 az üres jármű saját tömege; m_{pass} az utasok átlagos tömege; a KRESZ 46. § alapján 68 kg [4].

A hőmérsékletfüggést egyrészt a légellenállási energia disszipációja és a kiegészítő fűtési rendszerek (HVAC, BMTS) energiaigénye miatt szükséges figyelembe venni. Emellett a hőmérséklet megváltoztatja a légellenállást, mivel a levegő a hőmérséklet emelkedésével ritkábbá válik. A Nemzetközi Légköri Szabvány (ISA) szerint a hőmérséklet-függőség az (4) egyenlet alapján írható le.

$$\rho_{air}(T) = 0,046T + 1,2978 \quad (4)$$

ahol T a környezeti hőmérséklet °C-ban mérve; ρ_{air} a levegő sűrűsége.

A modellben a következő lehatárolásokkal élünk:

- Általában egyetlen villanymotor felelős a gyorsulásért és a mozgásban tartásért. Ismert nyomatókijelmezővel rendelkező motor használatát vettük figyelembe.
- A gyorsulás mértéke a gyorsítási fázisokban ismert. A kimenő nyomatók esetében bizonyos teljesítményvesztéseket feltételeztünk, figyelembe véve a különböző erőátviteli elemeken, például a kardántengelyen disszipálódott teljesítményt.
- A hajtóerő az az erő, amely közvetlenül a jármű súlypontjára hatva hajtja a járművet. Az autóbusz terjedelmével csak a légellenállás meghatározásakor számoltunk. A jármű hosszirányú dinamikáját csak a számításokhoz szükséges mértékben vettük figyelembe.
- A laterális dinamikát figyelmen kívül hagytuk, ugyan úgy, mint a kanyarok-

dási ellenállást és a jármű jobb és bal oldali átterhelődését.

- Az első és hátsó kerekek közötti erőeloszlást figyelmen kívül hagytuk, a függőleges dinamikát csak a kerékfelfüggesztési rendszer által elnyelt energia esetében vettük figyelembe.
- A fogyasztást járműdinamikai szempontból vizsgáltuk, de nem vizsgáltuk az út egyenlenségeit és a hajtómotor hatásfokának a sebesség [RPM] függvényében történő ingadozását. A jelenlegi legkorszerűbb elektromos hajtások közel állandó hatékonyságot biztosítanak; az alacsonyabb fordulatszám-tartományban is ($n = 0-500$ RPM) 90-92%-os hatásfok érhető el. [30]

3.1.2. Segédüzemi rendszer

Alapesetben hő- és áramlásdinamikai egyenletek használhatók, mivel a fő fogyasztók a fűtéshez és hűtéshez kapcsolódnak. Már az egyszerű hőtechnikai modellek is megkövetelik a végeelemes-modellezést, amit sokszor nehezebb meghatározni és validálni, mint az autóbuszon használt hőtechnikai berendezések fogyasztására vonatkozó adatokat gyűjteni [30]. Ennek megfelelően a korábbi tanulmányok [11, 12, 31, 32] és mérések eredményeit vettük figyelembe. A működési és karbantartási körülmények ismeretében meghatározható a felhasznált villamos energia mennyisége.

3.2. Fizikai modellek

A fizikai modell alkalmazásával írható le egy viszonylat gráf alapú megközelítésben, megkülönböztetve éleket és csúcsoakat. A felosztás elméleti, féldinamikuss, térbeli adatokon alapul. Például a valós idejű forgalmi akadályok nem kerültek figyelembevételre.

A csúcsoak típusai a következők:

- **megálló** ($i=0...l$, $i \in \mathbb{N}$): megállók és végállomások, ahol l a viszonylat megállóinak száma.

- **gócpont** ($j=0\dots o, j \in \mathbb{N}$): forgalomirányítással kapcsolatos pont; új sebességkorlátozás érvénybelépésének helye, statikus/dinamikus forgalmi akadályt (jelzőlámpa, vasúti átjáró stb.), vagy irányváltatás kezdetét (jobbra/balra kanyarodás, körforgalom) jelző pont. Egy gócpont egy megállónak van alárendelve, ennek megfelelően a gócpont jelölése i, j .
- **határpont** ($k=0\dots n, k \in \mathbb{N}$): futópont; helye pontosan meghatározható, de nem esik egybe semmilyen fizikai jelzéssel, jelöléssel; az új sebesség elérésének indikátora - a gyorsítás/lassulás végpontja és a sebességtartási fázis kezdőpontja. A határpont egy megállónak és alá tartozó gócpontnak van alárendelve; ennek megfelelően egy határpont jelölése i, j, k .

A csomópontok számozása 0-val kezdődik azzal a kikötéssel, hogy az abszolút nulla pont az indulási végállomás, a 0. gócpont pedig az indulási megálló.

A csúcsok alkalmazásával a viszonylat élekre osztható:

- **menet**: végállomástól végállomásig vett távolság.
- **szakasz** ($x=0\dots l, x \in \mathbb{N}^+$): távolság két egymást követő autóbuszmegálló között. Egy menet több szakaszra osztható.
- **részszakasz** ($y=0\dots o, y \in \mathbb{N}^+$): távolság az autóbuszmegálló és az attól számított első gócpont között, vagy gócpontok között, vagy a következő megálló előtti utolsó gócpont és az autóbuszmegálló között. Két megállóhely között pontonként eltérő forgalmi helyzetekbe érkező autóbussz a gócpontokat érintve. Egy szakasz több részszakaszra osztható.
- **fázis** ($z = \{acc, cruise, dec\}$): távolság egy gócpont és az első határpont között, vagy határpontok között, vagy a követ-

kező gócpont előtti utolsó határpont és a gócpont között. Egy részszakasz különböző fázisokra osztható a jármű mozgási jellemzőinek megfelelően.

Fázistípusok:

- **gyorsítás {acc}**: folyamatos és egyenletes gyorsulás, gyorsítási folyamat,
- **sebességtartás {cruise}**: a jármű állandó sebességgel halad,
- **lassítás {dec}**: folyamatos és egyenletes lassulás, fékezési folyamat.

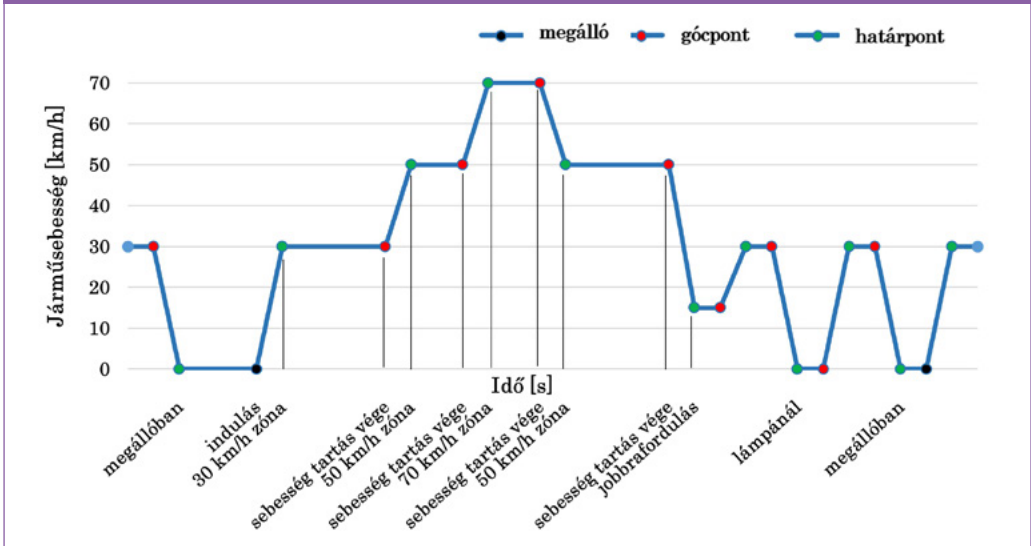
Egy részszakasz legalább egy fázist tartalmaz. Egy részszakaszon legfeljebb egy gyorsítási, egy sebességtartási és egy lassítási fázis határozható meg. Egyenletes gyorsulási fázist követően a jármű haladási sebességre gyorsul, majd tartja ezen sebességet, végül a jármű a megálló/gócpont előtt állóra/lassabb sebességre fékez.

Összefoglalva, a csomópontok és az élek közötti kapcsolatok a következők:

fázis \subset részszakasz \subseteq szakasz \subset menet
határpont $<$ gócpont $<$ megálló

Az 1. ábrán a csomópontokat és az éleket egy példabeli sebességprofilon ábrázoltuk; az y tengely a járműsebességét, míg az x tengely az időt jelöli. A jármű haladva az útján, a menet során közlekedési helyzetekbe kerül, amelyek a referenciasebességét és végül a tényleges sebességét is meghatározzák. Két megálló közötti közlekedési helyzeteket mutatunk be példaként az ábrán. Az autóbussz 30 km/h sebességgel érkezik a megállóba, ahol megáll, utascserre történik. A jármű ezek után 30 km/h-re, 50 km/h-s zónába érve 50-re, majd emelt sebességű úton 70 km/h-ra gyorsít. Innen fokozatosan lassul 50-re, majd 15 km/h-ra, ahol jobbra fordulva 30 km/h-val éri el a következő jelzőlámpát, ahol a piros lámpa várakozásra kényszeríti. Utána 30 km/h-val halad a következő megállóig, előtte lelassít, végül megáll. Ebből a megállóból az autóbussz utascserét követően folytatja útját a következő megállóig.

1. ábra: Sebességprofil mintapélda



Sebességtartó szakaszban disszipáló erők hatnak, és akadályozzák, fékezik a jármű egyenletes mozgását. A lassító jármű a mozgási energiáját egy bizonyos felső határig (kb. 90 kW [11]) képes visszanyerni 4 m/s² alatti lassítással (és megfelelő töltési állapot (SOC) mellett), legalább 3 m/s-os sebességig. Nagyobb rekuperációs teljesítmény nem lehetséges, így az e határérték feletti energia csak üzemi fékkel (disszipáció) vonható el a jármű mozgásából.

A fizikai modellben a következő korlátozókat tettük:

- Egyenletes és folyamatos gyorsulást és lassulást feltételeztünk.

- A jármű mindig eléri a maximális megengedett sebességet.
- A gócpontok közötti lejtő gradiense állandónak tekinthető.
- A légellenállás a sebesség négyzetétől, a gördülési ellenállás a tömegtől és a lejtő/emelkedő meredekségétől függ.

A forgalom nagysága állandó, szabadáramlás feltételezett; a dinamikus forgalmi változásokat (pl. torlódás) nem vettük figyelembe.

3.3. Energiafogyasztás számítása

A becslő módszer lépéseit a 3. táblázatban foglaltuk össze, kiemelve az akkumulátoros elekt-

3. táblázat: A módszer lépései

Lépés	Leírás	
1	Fizikai modell létrehozása	
2	Menetdinamikai fogyasztás	Jármű szükséges motornyomatekának ellenőrzése
3		Egyes részzakaszokban felhasznált energiák meghatározása
4	Segédüzemi fogyasztás	Fogyasztók számbavétele és teljesítményigény meghatározása
5		Menetidőre vonatkozó fogyasztás számítása a külső hőmérséklet és az utasterhelés figyelembevételével
6	A teljes fogyasztás összegzése	

romos autóbusz felépítése alapján meghatározott kategóriát.

1. lépés: Fizikai modell létrehozása. A csúcok és jellemzőinek (megengedett sebesség, magasság), valamint az élek és jellemzőinek (távolság) meghatározása.

2. lépés: Szükséges motornyomaték meghatározása. Annak megállapítása, hogy a jármű le tudja-e küzdeni a ráható ellenállási erőket, és képes-e elérni a szükséges és kielégítő gyorsulást a menet során. Ehhez számítandó a motor által leadható maximális nyomaték a keréksugar függvényében a (5) egyenlet alapján.

$$M_m = \frac{F_t \cdot r_w}{i_{tm} \cdot \eta_{drive}} \quad (5)$$

ahol r_w a kerekek sugara; i_{tm} a teljes erőátviteli rendszer áttétele; η_{drive} a hajtáslánc hatásfoka az akkumulátortól a kerekekig, amelyet a (6) egyenlet szerint lehet meghatározni.

$$\eta_{drive} = \eta_{w\&ch} \cdot \eta_{lm} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_m \cdot \eta_b \quad (6)$$

ahol $\eta_{w\&ch}$ a kerekek és felfüggesztési rendszer hatásfoka; η_{drive} az erőátviteli rendszer hatásfoka; η_{inv} a motorinverter hatásfoka, η_m a villanymotor hatásfoka, η_b pedig az akkumulátor hatásfoka.

3. lépés: Részszakaszonként felhasznált energia meghatározása. A (7) egyenlet leírja a hajtáslánc teljes energiafogyasztását az akku-

mulatórtól a kerékgig egy teljes menetre (részszakaszok összegzése) vonatkozóan.

ahol Δv_{xy} a lehetséges megengedett járműsebességek különbsége egy szakaszon a (8) egyenlet szerint; Δh_{xy} a magasságkülönbség egy szakaszon a (9) egyenlet szerint; $\mu_{r,x}$ a gördülési ellenállás együtthatója egy szakaszon; $s_{xy,acc}$, $s_{xy,cruise}$, $s_{xy,dec}$ a gyorsulási, sebességtartási és lassítási szakaszok távolságai; $\cos\alpha_{xy}$ egy szakasz emelkedési dőlésszögének koszinusza ((10) egyenlet); η_{recup} az energia-visszanyerés hatásfoka ((11) egyenlet);

$$\Delta v_{xy} = v_{xy} - v_{xy-1} \quad (8)$$

$$\Delta h_{xy} = h_{xy} - h_{xy-1} \quad (9)$$

$$\alpha_{xy} \approx \sin \alpha_{xy} = \frac{\Delta h_{xy}}{s_{xy}} \quad (\text{kis szögek esetében}) \quad (10)$$

$$\eta_{recup} = \frac{\eta_{forward}}{\eta_{backward}} = \frac{\eta_{drive}}{\eta_{backward}} \quad (11)$$

$\cos\alpha_{xy}$ kis szögeknél nem mutat szignifikáns eltérést 1-hez képest, de itt a valós érték használható, mivel a normálerő kisebb lejtőn történő mozgásnál. Alfa szög definiálható minden egyes szakasz esetében. A rekuperáció hatékonysága az előre és hátrafelé irányuló energia arányából adódik; mértékét számos tényező befolyásolja (pl. a szabályozás rendszeren belüli helye).

4. lépés: A fogyasztók számbavétele és a teljesítményigény meghatározása. A figurelembé vett

$$\begin{aligned} E_{DRIVE} &= \frac{1}{\eta_{drive}} \sum_{x=1}^i \sum_{y=1}^m \left[\text{[acceleration]}_{xy} + \text{[crusing]}_{xy} + \text{[decleration]}_{xy} \right] = \\ &= \frac{1}{\eta_{drive}} \sum_{x=1}^i \sum_{y=1}^m \left[E_{kin,xy,acc} + E_{air,xy,acc} + E_{roll,xy,acc} \right] + \left[E_{air,xy,cruise} + E_{roll,xy,cruise} \right] + \\ &\quad + \eta_{recup} \cdot \left[E_{kin,xy,dec} + E_{air,xy,dec} + E_{roll,xy,dec} \right] + E_{pot,xy} \quad (7) \\ &= \frac{1}{\eta_{drive}} \sum_{x=1}^i \sum_{y=1}^m \left[\left[\frac{1}{2} m_{v,x} \cdot \Delta v_{v,xy}^2 + \left(m_{v,x} \cdot g \cdot \mu_{r,x} \cdot \cos \alpha_{xy} + \frac{\rho \cdot c_d \cdot A \cdot \Delta v_{v,xy}^2}{2} \right) \cdot s_{xy,acc} \right] + \right. \\ &\quad \left. + \left[\left(m_{v,x} \cdot g \cdot \mu_{r,x} \cdot \cos \alpha_{xy} + \frac{\rho \cdot c_d \cdot A \cdot \Delta v_{v,xy}^2}{2} \right) \cdot s_{xy,cruise} \right] + \right. \\ &\quad \left. + \eta_{recup} \cdot \left[\left(\frac{1}{2} m_{v,x} \cdot \Delta v_{v,xy}^2 \right) + \left(m_{v,x} \cdot g \cdot \mu_{r,x} \cdot \cos \alpha_{xy} + \frac{\rho \cdot c_d \cdot A \cdot \Delta v_{v,xy}^2}{2} \right) \cdot s_{xy,dec} \right] + \right. \\ &\quad \left. + m_{v,x} \cdot g \cdot \Delta h_{xy} \right] \end{aligned}$$

4. táblázat: Fogyasztók névleges fogyasztása

Segédüzemi fogyasztók	Teljesítmény [W]	Működés	Hivatkozás
Hűtő-fűtő rendszer	25000	ha szükséges	[12, 24]
Akkumulátor hőszabályzó rendszer	6000	ha szükséges	[12]
Légkompresszor	830	2200 W, 38%-ban	[11, 31]
Szervokormány	500		[30]
Rögzítőfék	560	2 mp megállónként	[12]
Ablaktörlő	110	ha szükséges	[12]
Ajtók	90	6 mp megállónként	[12]
Utastájékoztató, lámpák, jegyautomata	100	ha szükséges	

segédüzemi fogyasztók névleges fogyasztását a 4. táblázat foglalja össze megadva az adatok forrásának helyét. Az utastér hűtéséhez/fűtéséhez és a jármű akkumulátorának temperálásához szükséges energiaigény függ a hőmérséklettől (T) és az időtől (t); a többi energiafogyasztó energiaigénye csak az időtől függ. Emellett a HVAC rendszer fogyasztása függ az utasok számától (p), az elektromos ajtónyitó fogyasztása pedig függ az autóbusszegállók számától (i).

5. lépés: A teljes menetidőre vonatkozó fogyasztás számítása. A jármű üzemidejéből – beleértve a tartózkodási időt is [33, 34] – a segédrendszerek által fogyasztott energia a (12) egyenlet alapján számítható a külső hőmérséklet és az utasterhelés figyelembevételével.

$$E_{AUX} = \frac{P_{AUX}}{\eta_{pc} \cdot t_{trip}} \quad (12)$$

ahol t_{trip} a teljes menetidő; az áramátalakító hatásfoka; $P_{AUX}(t)$ a segédrendszerek teljesítményigénye, amely az egyes fogyasztók teljesítményigényének összegzésével számítható (13) egyenlet.

$$P_{AUX}(t) = P_{HVAC}(t, T, p) + P_{BMTS}(t, T) + P_{EPS}(t) + P_{comp}(t) + P_{doors}(t, i) + P_{wiper}(t) + P_{other}(t) \quad (13)$$

ahol P_{HVAC} a HVAC rendszer, P_{BMTS} a BTMS rendszer, P_{EPS} az elektromos szervokormány,

P_{comp} a légkompresszor, P_{doors} az ajtók, $P_{parking}$ a rögzítőfék, P_{wiper} az ablaktörlő rendszer, P_{other} az egyéb energiafogyasztók teljesítményigénye.

Publikált adatok alapján [12, 31, 32] közelítő függvények segítségével a HVAC és a BTMS hőmérséklet- és utasterhelésszármazékos függése meghatározható. A HVAC hőmérsékletfüggése másodrendű közelítő függvénnyel adható meg, (14) egyenlet; a HVAC utasterhelés-függése lineáris függvénnyel írható le (csak hűtés esetén), (15) egyenlet. A névleges érték 24 főnél található. Fűtés esetén az utasterheléstől való függés nem jelentős és nem mutat valós trendet (5-6% a teljes tartományra nézve).

$$P_{HVAC}(T) = 0,0264T^2 - 1,046T + 11,13 \quad (14)$$

$$P_{HVAC}(p) = 0,064p + 2,49 \quad (15)$$

A BTMS hőmérsékletfüggése két egyenlettel írható le, annak érdekében, hogy a leíró függvény ne egy magasfokszámú polinom illesztési függvényhez illeszkedjen. A BTMS hőmérsékletfüggése -10 °C-tól 20 °C-ig másodrendű közelítő függvénnyel ((16) egyenlet), míg 20 °C-tól 40 °C-ig harmadrendű közelítő függvénnyel adható meg ((17) egyenlet).

$$P_{BMTS}(-10^\circ\text{C} < T < 20^\circ\text{C}) = 0,007T^2 - 0,237T + 1,98 \quad (16)$$

$$P_{BMTS}(20^\circ\text{C} < T < 40^\circ\text{C}) = 0,0027T^3 - 0,232T^2 - 6,54T + 59,81 \quad (17)$$

6. lépés: A menet során a hajtáslánc által elfogyasztott teljes energia, valamint a kisegítő rendszeren az út során elfogyasztott teljes energia összege ((18) egyenlet).

$$E_{TOTAL} = E_{DRIVE} + E_{AUX} \quad (18)$$

4. ESETTANULMÁNY

A kidolgozott módszer validálása érdekében a számított eredményeket összevetettük a mért adatokkal. A mért adatok egy Ebusco 2.2 típusú autóbusz 2020 őszi végzett tesztfutásból származnak.

4.1. Helyszín

A tesztfutás a nyíregyházi 10-es autóbuszvonalon, Nyírszőlős és Örökösöld között zajlott. A vonal északon indul egy külvárosi területről, majd egy hosszú sugárúton halad a város felé, a városközpont irányába és tovább a vasútállomásra. Ezt követően a városgyűrű mentén a külvárosban végződik. Ellenkező irányba az útvonal azonos, csak a megálló helyei térnek el pár méterrel. Az útvonalon a megálló közötti magasságkülönbség nem jelentős. A jármű 47-55 perc alatt teszi meg a teljes menetet. A menetek teljes távolsága befelé és kifelé 17,6, illetve 17,3 km.

A vizsgált jármű összesen 25 napot teljesített tesztkörülmények között. Örökösöld irányában (befelé) 16, míg Nyírszőlős irányában (kifelé) 8 mérés történt egy hónap alatt. A vizsgált energia adatokat a fedélzeti számítógép rögzítette.

4.2. Számítás során felhasznált adatok

A figyelembe vett jármű főbb alapadatai (5. táblázat): 3 ajtós, 300 kWh akkumulátorral szerelt, 12 méter hosszú autóbusz, üres tömege 13 tonna. Ülőhely-kapacitása 40 fő, maximális kapacitása 90 fő. Az utasok átlagos tömege magyar szabvány szerint 68 kg. [47] A maximális teherbírás 20 tonna, a gyakorlatban ez 19,5 tonnának veendő a túlterhelés elkerülése végett, és ez alapján maximum 6,5 tonna hordozható tömeg megengedett (utasok).

5. táblázat: Ebusco 2.2 jármű alapadatai

Jellemző	Érték
Teljes hossz	12000 mm
Teljes magasság	3200 mm
Teljes szélesség	2500 mm
Tengelytáv	6000 mm
Saját tömeg	13000 kg
Max. megengedett tömeg	19000 kg
Utaskapacitás	90 fő
Ülőhelykapacitás	40 fő
Csúcsteljesítmény	270 kW
Max. leadott nyomaték	18000 Nm

A teljes hajtáslánc hatásfokát az időben állandónak feltételezzük [35]. Azonban jelentős a különbség az autóbusz előre és hátrafelé irányuló energiaáramai között. Ez a különbség leginkább az abroncs általi energiadisszipációban és a rekuperációban mutatkozik meg. Figyelembe vett arányok: előrefelé 70%-os összesített akkumulátor-kerék hatásfok érhető el, míg ellenkező irányban 56%. Így a gyorsuláskor felhasznált energia 80%-a visszanyerhető és újratölthető [17]. A pontos értékeket a 6. táblázat tartalmazza.

Az átlagos gyorsulás értéke 0,6-0,8 m/s² közötti értéket vesz fel [13]. Az egyszerűség kedvéért egy átlagos, 2,5/3,6 m/s²-es folyamatos gyorsulást vettünk figyelembe. A lassulás mértékét -5/3,6 m/s² -ban állapítottuk meg [13]. Az autóbusz gördülési ellenállási tényezője az út-típustól függően változó értéknek tekinthető [28]. A számítás során 0,01-es értéket vettünk figyelembe minden esetben, ami a száraz aszfalt gördülési ellenállási együtthatója.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

5.1. Adatok összehasonlítása

A fogyasztás számításánál két szélsőséges esetet vizsgáltunk:

6. táblázat: A hajtáslánc-elemek és az áramátalakító hatásfoka ([16, 35] alapján)

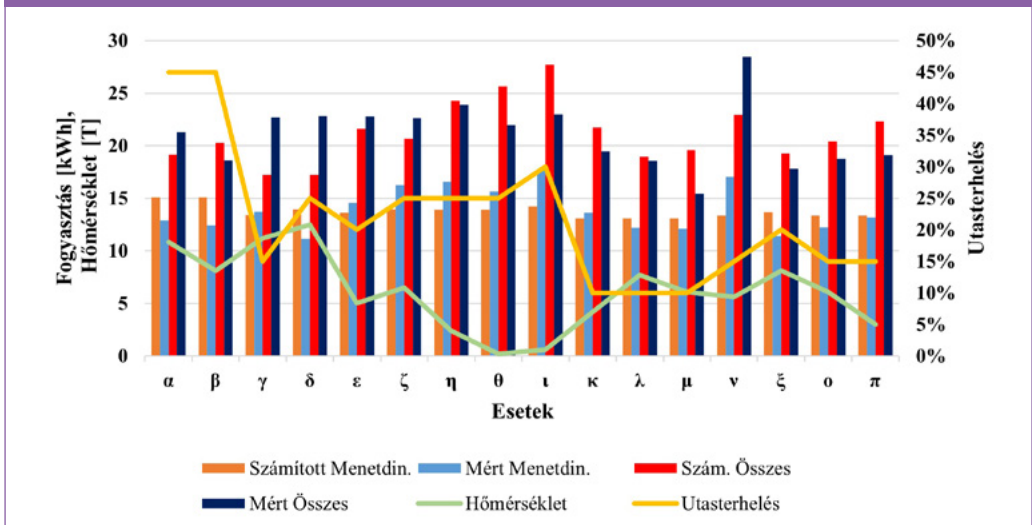
Jelölés	Részegység	Előre	Vissza
η_b	Akkumulátor	99,0%	99,5%
η_m	Motor	90,0%	78,0%
η_{tm}	Tengelykapcsoló	97,0%	97,1%
	Véghajtás (kardán)	98,0%	98,0%
$\eta_{w\acute{e}ch}$	Kerékabroncs	83,0%	76,0%
	Felfüggesztés	91,9%	92,4%
η_{drive}	Teljes hatásfok	70,3%	56,1%
η_{recup}	Rekuperáció hatásfok	—	79,8%
η_{pc}	Áramátalakító	95,0%	—

- a) amikor a jármű minden jelzőlámpánál és akadálnál megáll,
- b) amikor a jármű egyik jelzőlámpánál és egyéb akadálnál sem áll meg.

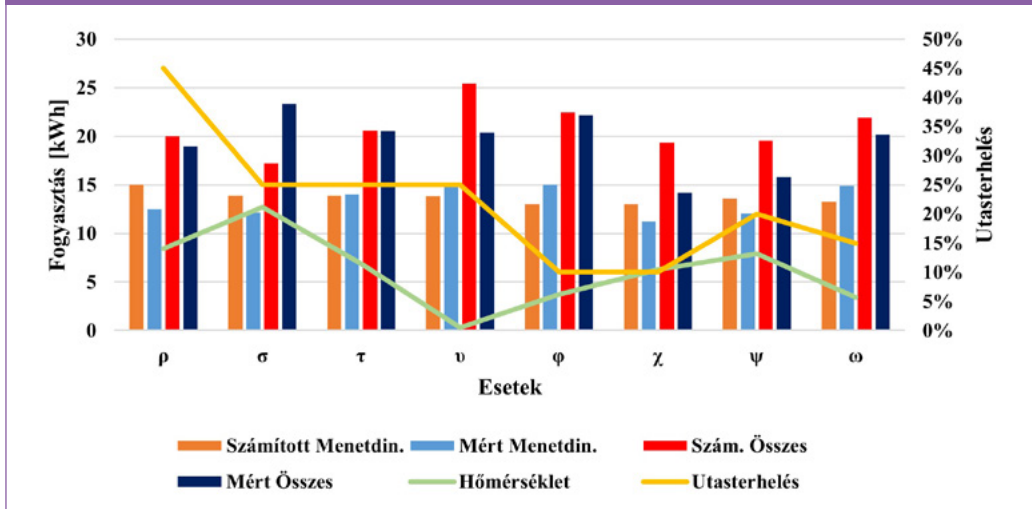
A két irány mért és számított adatait az a) szélsőérték esetében a 2. ábrán (Nyírszőlős-Örökösöld irány) és a 3. ábrán (Örökösöld-Nyírszőlős irány) mutatjuk be a hőmérséklet és az utasterhelés változása alapján különböző

esetekben. Az x tengelyen az eseteket görög betű jelöli; az esetek a hét napjaiban és napszakjaiban térnek el egymástól. Az y tengely a számított és mért fogyasztást mutatja a teljes menetén értelmezve, valamint az esetek közötti külső hőmérsékletet és utasterhelést szemléltetve a fogyasztás függését. A négy oszlop sorrendben a számított és mért menetdinamikai, illetve a számított és mért összes energiafogyasztást ábrázolják.

2. ábra: Fogyasztási trend a környezeti hőmérséklettől és az utasterheléstől függően (Nyírszőlős-Örökösöld irány)



3. ábra: Fogyasztási trend a környezeti hőmérséklettől és az utasterheléstől függően (Örökösföld-Nyírszőlős irány)



Megállapítottuk, hogy a számított és a mért adatok kellően jól korrelálnak egymással. Befelé irányban átlagosan -0,16 kWh különbséget tapasztalunk a számított és a mért értékek között 16-18 kWh átlagos vonali energiafogyasztás mellett, ami mindössze 1%-os hibát jelent. Kifelé irányban 4,5-5%-os hiba jelentkezik a két adatsor között. A szórásértékek 2,16 és 3,44. A teljes energiafogyasztást tekintve egy irányban a két adatsor közötti különbség 0,11 kWh befelé irányban, míg -1,34 kWh kifelé irányban. Ez 1% és 6%-nál kisebb hibát jelent. A szórásértékek 3,44 és 3,64. Mindezeket az adatokat, továbbá a ki-

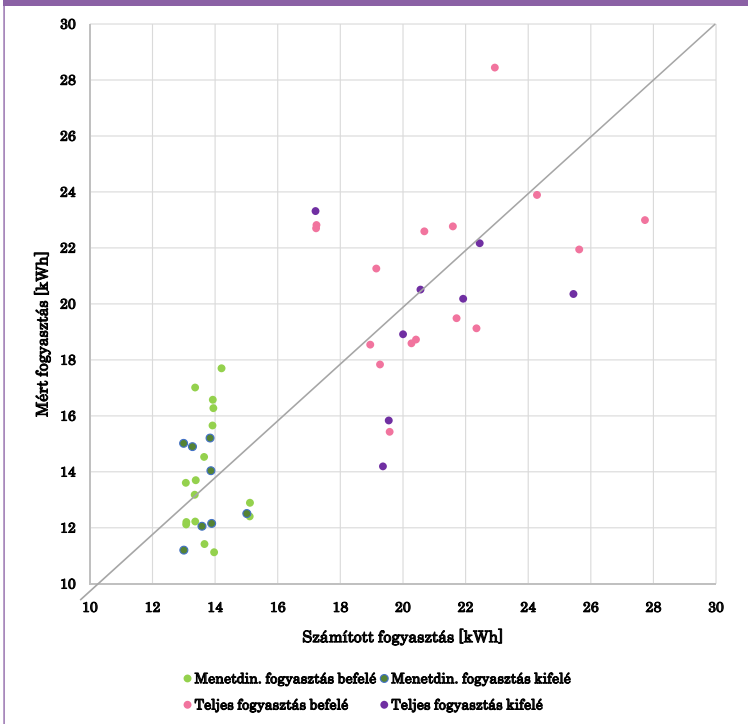
lométerre vetített fajlagos fogyasztást a 7. táblázatban foglaltuk össze. További mérés elvégzésével a modell egyes paraméterei finomíthatók, akár egy adott útvonalra és irányra is illeszthetők (gördülési együttható, kanyarveszteségek).

A menetdinamikai fogyasztás számításánál összesen 5-6% volt az egész útra vetített fogyasztáskülönbség az a) és a b) szélsőérték között, ami a teljes fogyasztásnak mindössze 2-3%-a. A kis eltérés fő oka, hogy bár az a) esetben a jármű sokat gyorsít a megállások miatt, ez a gyorsítás nem okoz jelentős többlet-

7. táblázat: Fogyasztási adatok eltérés-elemzése

Eltérések elemzése					
Irány	Kategória	Mért fogyasztás [kWh]	Mért fajlagos fogyasztás [kWh/km]	Átlag	Szórás
Befelé irány	Hajtás	13,92	0,79	-0,16	2,16
	Összes	21,08	1,20	0,11	3,44
Kifelé irány	Hajtás	13,17	0,76	-0,78	1,73
	Összes	19,33	1,12	-1,34	3,64

4. ábra: A számított és mért fogyasztás összehasonlítása



energiafogyasztást a b) esethez képest, amikor a járműnek egy állandó és magasabb sebességet kell tartania.

A 4. ábrán a számított és mért fogyasztás összefüggéseit mutatjuk be. A vízszintes tengelyen a számított, míg a függőleges tengelyen a pontos, mért fogyasztás olvasható. A világoszöld pontok befelé, míg a sötétzöldek a kifelé irányt mutatják a menetdinamikai fogyasztás esetében. A teljes fogyasztás esetén a világoslila a befelé irányt, míg a sötétlila a kifelé irányuló fogyasztási adatokat jelöli.

Az eltérés az illesztett $y = x$ egyenestől való távolság mértékében adható meg. A pontok szórása esetében a menetdinamikai fogyasztás esetén kisebb, míg a teljes fogyasztás esetében jelentős eltérés tapasztalható. A menetdinamikai fogyasztás számítása pontosabb, mint ahogy ezen értékek szórása is. Ezzel szemben az összfogyasztásban nagyobb a különbség, de ez is átlagosan 5% alá esik.

5.2. Érzékenységvizsgálat

A befolyásoló tényezők, így a környezeti hőmérséklet, a domborzat, a megállóközi távolság és az utasterhelés függetlenségének bizonyítására érzékenységi elemzést végeztünk. Az egyes tényezők érzékenységvizsgálatához eseteket határoztunk meg.

- *A eset, környezeti hőmérséklet:* 20 °C-ot feltételeztünk, amely hőmérsékleten sem fűteni, sem hűteni nem szükséges az utasteret.
- *B eset, domborzat:* teljesen sík területtel számoltunk.

- *C eset, megállótávolság:* autóbusszmegállókat nem vettük figyelembe (expresszjáratot feltételeztünk).
- *D eset, az utasterhelés:* üres járművet tekintettünk.

További esetek az *M* eset a mért fogyasztás leírására és a *0* eset a becsült fogyasztás leírására, ahol az összes befolyásoló tényezőt figyelembe vettük. Az eredményt a 8. táblázat foglalja össze.

A tényezők különböző módon befolyásolják a végeredményt. Az *A* esetben a hajtás fogyasztásában nincs jelentős eltérés, de a teljes energiafelhasználásban jelentős eltérés mutatkozik. Az *D* esetben különbség figyelhető meg a menetdinamikai fogyasztás és a teljes jármű fogyasztásában. Ennek megfelelően a hőmérséklet és az utasterhelés a leginkább befolyásoló tényező. Az *B* esetben a különbség nem jelentős, mivel a magasságkülönbség

8. táblázat: Esetek energiafogyasztása és eltérése a számított energiaigénytől

Eset	Esetleírás (Elemzett befolyásoló tényező)	Fogyasztás - hajtás [kWh]	Fogyasztás - teljes [kWh]	$\Delta_{\text{hajtás}}$	Δ_{teljes}
0	Számított	13,73	21,06	bázisérték	bázisérték
M	Mért	13,74	20,53	0,06%	-2,53%
A	Hőmérséklet: 20°C (környezeti hőmérséklet)	13,87	15,82	1,00%	-24,91%
B	Nincs magasságkülönbség (domborzat)	13,74	21,07	0,052%	0,03%
C	Nincs megálló (megállóhely-távolság)	8,24	13,74	-38,66%	-25,21%
D	Nincs utas a buszon (utasterhelés)	12,57	17,04	-8,49%	-17,02%

a teljes buszvonalon mindössze 12 méter. A C esetben a fogyasztás lényegesen kevesebb, akár 38-40%-kal. Az érzékenységvizsgálat eredménye alapján megállapítottuk, hogy a hajtás fogyasztása a figyelembe vett tényezőktől függetlenül szinte állandó; csak az utasterhelésnek van jelentős befolyása. Emellett megfigyeltük, hogy a segédrendszerek fogyasztását, így a teljes fogyasztást jelentősen befolyásolja a környezeti hőmérséklet és az utasterhelés. Ezért a környezeti hőmérséklet és az utasterhelési tényezők meghatározó független változók. Az enyhe eltérés ellenére a megállóhely-távolság független értéknek tekinthető számos korábbi kutatás alapján (2018) [12, 13, 14]. Az eredmények nem igazolják a domborzat függetlenségét, mivel a vizsgált terület sík, de a fogyasztás domborzati függősége elkerülhetetlen [14, 16, 17, 18].

Végző soron megállapítható, hogy a kidolgozott módszer alkalmazásával a tervezés és a döntéshozatal egyszerűbb és olcsóbb adathiányos környezetben, különösen az elektromos akkumulátoros autóbuszok bevezetésének kezdeti szakaszában.

6. ÖSSZEGZÉS

Kutatásunk fő eredménye az elektromos autóbusz fogyasztását becsülő számítási módszer. A módszer újdonsága, hogy az energiafogyasztás

a teljes járműdinamika és az energiafogyasztók teljesítménye alapján becsüli, valós mért fogyasztási adatok felhasználása nélkül.

A módszert esettanulmány során validáltuk. A számított és mért adatok alapján megállapítottuk, hogy a módszer alkalmazásával a jármű fogyasztása 5-6%-os pontossággal előre jelezhető az adott vonalon, ha ismert az adott időszakra vonatkozó átlagos utasterhelés és a külső hőmérséklet. Ennek megfelelően a módszer adathiányos és tapasztalatlan környezetben is használható a járművásárlási döntések elősegítésére; az adott vonalon közlekedő járművek minimalisan teljesítendő teljesítménymutatói pontosan meghatározhatók, a fordatervezés pontosítható. Az adatok elemzésével megállapítottuk, hogy az alacsony hőmérséklet és a nagyobb megállóhely-távolság jóval nagyobb fogyasztást eredményez, míg az utasterhelés változása ugyan kevésbé, de azért jelentősen befolyásolja a fogyasztást.

A befolyásoló tényezőket általános értelemben, előzetes kalkulációhoz vettük figyelembe. A jövőben célunk a modell továbbfejlesztése a forgalmi torlódások és az utazási sebesség figyelembevételével. Az alkalmazott korlátozások megszüntetésével a modell komplexitása fokozható. Továbbá számításba vehetők a járműdinamika egyenetlenségei, és vizsgálhatók

a vezetési stílusok közötti fogyasztásbeli különbségek. Hasonló számítás végezhető más alternatív meghajtású (pl. hidrogénüzemű) járművekre is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak az Ebusco B.V.-nek az esettanulmány során használt mérési adatok rendelkezésre bocsátásért és felhasználásának engedélyezésért.

RÖVIDÍTÉSEK, JELÖLÉSEK

Jelölés	Jelentés
a	jármű gyorsulása [m/s^2]
acc	gyorsítási fázis
$BTMS$	akkumulátor hőszabályzó rendszere - Battery Thermal Management System
c_f	légellenállás tényező
$cruise$	sebességtartási szakasz
dec	lassítási fázis
$E_{air,xyz}$	légellenállási energia x szakasz y részzszakaszán a z fázisban [J] [kWh]
E_{TOTAL}	teljes menet során elfogyasztott összes energia [J] [kWh]
E_{AUX}	menet során a segédüzem által elfogyasztott összes energia [J] [kWh]
E_{DRIVE}	menet során a hajtáslánc által elfogyasztott összes energia [J] [kWh]
$E_{kin,xyz}$	mozgási energiakülönbség x szakasz y részzszakaszán a z fázisban [J] [kWh]
$E_{pot,xyz}$	helyzeti energiakülönbség x szakasz y részzszakaszán a z fázisban [J] [kWh]
$E_{roll,xyz}$	gördülési ellenállási energia x szakasz y részzszakaszán a z fázisban [J] [kWh]
F_a	gyorsító erő [N]
F_f	légellenállási (fluid) erő [N]
F_r	gördülési ellenálláserő [N]
F_s	emelkedési ellenálláserő (emelkedőn való mozgás során) [N]
F_v	vonóerő [N]
g	nehézségi gyorsulás [m/s^2]

Jelölés	Jelentés
$HVAC$	fűtő, szellőztető és légkondicionáló rendszer - Heating, Ventilation and Air-Conditioning system
i	autóbuszmegálló $i=0\dots l, i \in \mathbb{N}$
i_{im}	az erőátviteli rendszer teljes áttétele
ISA	nemzetközi légköri szabvány - International Standard Atmosphere
j	határpont egy szakaszon belül $j=0\dots o, j \in \mathbb{N}$
k	határoló $k=0\dots n, k \in \mathbb{N}$
l	vonal utolsó megállója (végállomás), utolsó szakasza
o	szakasz utolsó gócpontja, utolsó részzszakasz egy szakaszon belül
m_{pass}	átlagos utastömeg [kg]
m_0	jármű üresjáratú tömege [kg]
m	jármű össztömege [kg]
p	autóbuszon lévő utasok száma
q	egyes energiafogyasztók jelölése
P_{AUX}	segédüzem átlagos teljesítményigénye az autóbuszvonalon [W]
$P_{aux,q}$	q segédüzemi fogyasztó teljesítményigénye [W]
P_{BTMS}	akkumulátor hőszabályzó rendszerének teljesítményigénye [W]
P_{comp}	légkompresszor teljesítményigénye [W]
P_{doors}	ajtók nyitásának/zárásának teljesítményigénye [W]
P_{EPS}	szervokormány teljesítményigénye [W]
P_{HVAC}	fűtő, szellőztető és légkondicionáló rendszer teljesítményigénye [W]
P_{other}	egyéb energiafogyasztók teljesítményigénye [W]
$P_{parking}$	rögzítőfék teljesítményigénye [W]
P_{wiper}	ablaktörlő rendszer teljesítményigénye [W]
r_w	autóbusz kerekeinek sugara [m]
RPM	percenkénti fordulat [1/min]
s_{xyz}	x szakasz y részzszakaszán a z fázisban megtett távolság [m]
t	idő [s]
T	külső hőmérséklet [$^{\circ}C$]
t_{trip}	teljes utazási idő (menetidő) [s]
v	járműsebesség [km/h] [m/s]

Jelölés	Jelentés
x	szakasz ($x=0\dots l, x \in \mathbb{N}$)
y	részszakasz ($y=0\dots m, y \in \mathbb{N}$)
z	fázis ($z=\{\text{acc, cruise, dec}\}$)
α_{xy}	y részszakasz dőlésszöge [°]
$\Delta h_{v,xy}$	y részszakasz magasságkülönbsége [m]
$\Delta V_{v,xy}$	eltérés a lehetséges megengedett járműsebességek között az y részszakaszon [m/s]
η_b	akkumulátor hatásfoka
$\eta_{backward}$	visszaáramló energia hatásfoka a hajtásláncban
η_{drive}	hajtáslánc hatásfoka az akkumulátortól a kerekekig
$\eta_{forward}$	előremenő energia hatásfoka a hajtásláncban
η_{inv}	motor inverter hatásfoka
η_m	elektromos motor hatásfoka
η_{pc}	áramátalakító hatásfoka
η_{recup}	energia-visszanyerés hatásfoka
η_{tm}	átviteli rendszer hatásfoka
$\eta_{w\acute{e}ch}$	kerekek és a felfüggesztési rendszer hatásfoka
θ	gyorsítási ellenállási tényező
μ_r	gördülési ellenállási együtthatója
ρ	levegő sűrűsége [kg/m ³]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Borén, S., 2019. Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1–16. DOI: <https://doi.org/gh79d5>
- [2] Kang, H., 2007. An analysis of hybrid-electric vehicles as the car of the future, Doktori disszertáció - Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Mechanical Engineering,
- [3] Laib, F., Braun, A., & Rid, W., 2019. Modelling noise reductions using electric buses in urban traffic. A case study from Stuttgart, Germany. *Transportation Research Procedia*, 37, 377–384. DOI: <https://doi.org/gf8zjf>
- [4] Poojitganont, T., Antoshkiv, O., Watjatrakul, B., & Berg, H. P., 2020. Efficiency and emission simulations of hydrogen-fuel city buses. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 886, 012025. DOI: <https://doi.org/jrsm>
- [5] C40 mayors air quality commitment 2016. C40 Mayors Summit in Mexico City
- [6] Lajunen, A., 2014. Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses, *Transportation research. Part C, Emerging technologies*, 38, pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/f5sz4r>
- [7] Potkány, M., Hlatká, M., Debnár, M., & Hanzl, J., 2018. Comparison of the lifecycle cost structure of electric and diesel buses. *Nase More*, 65(4), 270–275. DOI: <https://doi.org/jrsn>
- [8] Quarles, N., Kockelman, K. M., & Mohamed, M., 2020. Costs and benefits of electrifying and automating bus transit fleets. *Sustainability*, 12(10), 3977. DOI: <https://doi.org/gpx6fr>
- [9] Sheth, A., & Sarkar, D., 2019a. Life cycle cost analysis for electric vs. Diesel bus transit in an Indian scenario. *International Journal of Technology*, 10(1), 105. DOI: <https://doi.org/gmj3jn>
- [10] Szilassy, P. Á., Jenőfi, B. and Földes, D. 2022. Marginal energy consumption cost factors of battery electric buses, *Smart City Symposium Prague (SCSP) 2022*, DOI: <https://doi.org/jrjsp>
- [11] Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., & Emadi, A., 2004. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. CRC Press. DOI: <https://doi.org/dkjc8q>
- [12] Basma, H., Mansour, C., Haddad, M., Nemer, M., & Stabat, P., 2020. Comprehensive energy modeling methodology for battery electric buses. *Energy (Oxford, England)*, 207(118241), 118241.
- [13] Vepsäläinen, J., Ritari, A., Lajunen, A., Kivekäs, K., & Tammi, K., 2018. Energy uncertainty analysis of electric buses. *Energies*, 11(12), 3267. DOI: <https://doi.org/jrsr>
- [14] Fernandes H., 2018. Electric bus performance evaluation in real world use conditions, Doktori disszertáció, University of Lisbon, link: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126295043836122/ExtendedAbstract_76209.pdf

- [15] Marshall, G. J., Mahony, C. P., Rhodes, M. J., Daniewicz, S. R., Tsolas, N., & Thompson, S. M., 2019. Thermal management of vehicle cabins, external surfaces, and onboard electronics: An overview. *Engineering (Beijing, China)*, 5(5), 954–969. DOI: <https://doi.org/gg3x2f>
- [16] Li, L., & Liu, Q., 2019. Acceleration curve optimization for electric vehicle based on energy consumption and battery life. *Energy (Oxford, England)*, 169, 1039–1053. DOI: <https://doi.org/gjp5b5>
- [17] Perrotta, D., Ribeiro, B., Rossetti, R. J. F., & Afonso, J. L., 2012. On the potential of regenerative braking of electric buses as a function of their itinerary. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 54, 1156–1167. DOI: <https://doi.org/jr3s>
- [18] Zhang, Y., Yuan, W., Fu, R., & Wang, C., 2019. Design of an energy-saving driving strategy for electric buses. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 7, 157693–157706. DOI: <https://doi.org/jrst>
- [19] Kirchner, M., Schubert, P., & Haas, C. T., 2014. Characterisation of real-world bus acceleration and deceleration signals. *Journal of Signal and Information Processing*, 05(01), 8–13. DOI: <https://doi.org/jrsv>
- [20] Corazza, M., Conti, V., Genovese, A., Ortenzi, F., & Valentini, M. P., 2021. A procedure to estimate air conditioning consumption of urban buses related to climate and main operational characteristics. *World Electric Vehicle Journal*, 12(1), 29. DOI: <https://doi.org/jrsw>
- [21] Göhlich, D., Ly, T.-A., Kunith, A., & Jefferies, D., 2015. Economic assessment of different air-conditioning and heating systems for Electric City buses based on comprehensive energetic simulations. *World Electric Vehicle Journal*, 7(3), 398–406. DOI: <https://doi.org/gn3767>
- [22] He, H., Yan, M., Sun, C., Peng, J., Li, M., & Jia, H., 2018. Predictive air-conditioner control for electric buses with passenger amount variation forecast. *Applied Energy*, 227, 249–261. DOI: <https://doi.org/gfdw5f>
- [23] Beckers, C. J. J., Besselink, I. J. M., Frints, J. J. M., & Nijmeijer, H., 2019. Energy consumption prediction for electric city buses. Paper presented at 13th ITS Europe-an Congres, Eindhoven, Netherlands
- [24] Bartłomiejczyk, M., & Kołacz, R., 2020. The reduction of auxiliaries power demand: The challenge for electromobility in public transportation. *Journal of Cleaner Production*, 252(119776), 119776. DOI: <https://doi.org/gmqdp3>
- [25] Csonka, B., 2021. Optimization of Static and Dynamic Charging Infrastructure for Electric Buses. *Energies*, 14(12), 3516. DOI: <https://doi.org/jr3x>
- [26] Lindh, P., Petrov, I., Pyrhonen, J., Niemela, M., Immonen, P., & Scherman, E., 2018. Direct liquid cooling method verified with a permanent-magnet traction motor in a bus. 2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM).
- [27] Nandi, A. K., Mondal, S., & Khanra, M., 2021. Modelling of electric vehicle drive toward its range prediction and remaining battery SOC after trip completion. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 13(2), 145. DOI: <https://doi.org/jr3z>
- [28] Braess, H.-H., & Seiffert, U., Eds., 2013. *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik (7th ed.)*. Springer Fachmedien.
- [29] Tretsiak, D., Häberlein, T., & Bäker, B., 2016. Energy efficient control of the air compressor in a serial hybrid bus based on smart data. *IFAC-PapersOnLine*, 49(11), 385–392. DOI: <https://doi.org/jrs2>
- [30] Mio, T., Komatsubara, Y., Ohmi, N., Kimoto, Y., Iizuka, K., Suganuma, T., Maruyama, S., Sugiyama, T., Sato, F., Shinoda, S., Hibino, T., & Nishi, K., 2019. Auxiliary power supply system for electric power steering (EPS) and high-heat-resistant lithium-ion capacitor. *World Electric Vehicle Journal*, 10(2), 27. DOI: <https://doi.org/jrs3>
- [31] Andersson, Ch., 2004. On auxiliary systems in commercial vehicles, Doktori disszertáció, Lund University, link: <https://www.iea.lth.se/publications/theses/lth-iea-1039.pdf>
- [32] Fischer, M., Werber, M., & Schwartz, P. V., 2009. Batteries: Higher energy density than gasoline? *Energy Policy*, 37(7), 2639–2641. DOI: <https://doi.org/fj6m44>
- [33] Boudhrioua, S., & Sipos, T., 2022. Dwell time analysis and priority granting for bus service in Budapest. *Periodica Polytechnica*

- Transportation Engineering. DOI: <https://doi.org/jrs4>
- [34] Hawas, Y., 2013. Simulation-based regression models to estimate bus routes and network travel times. *Journal of Public Transportation*, 16(4), 107–130. DOI: <https://doi.org/jrs5>
- [35] Borén, S., 2019. Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1–16. DOI: <https://doi.org/gh79d5>
- [36] Dirks, N., Schiffer, M. and Walther, G., 2022. "On the integration of battery electric buses into urban bus networks," *Transportation research. Part C, Emerging technologies*, 139(103628), p. 103628. DOI: <https://doi.org/jrs6>
- [37] Edwardes, W., & Rakha, H., 2015. Modeling diesel and hybrid bus fuel consumption with Virginia Tech comprehensive power-based fuel consumption model: Model enhancements and calibration issues: Model enhancements and calibration issues. *Transportation Research Record*, 2533(1), 100–108. DOI: <https://doi.org/jrs7>
- [38] García, A., Monsalve-Serrano, J., Lago Sari, R., & Tripathi, S., 2022. Life cycle CO₂ footprint reduction comparison of hybrid and electric buses for bus transit networks. *Applied Energy*, 308(118354), 118354. DOI: <https://doi.org/jrs8>
- [39] Kang, H., 2008. An analysis of hybrid-electric vehicles as the car of the future, BSc szakdolgozat, Massachusetts Institute of Technology, link: <http://electric-vehicles.info/library/these/these029.pdf>
- [40] Lee, J., Shon, H., Papakonstantinou, I., & Son, S., 2021. Optimal fleet, battery, and charging infrastructure planning for reliable electric bus operations. *Transportation Research. Part D, Transport and Environment*, 100(103066), DOI: <https://doi.org/jrs9>
- [41] Muratori, M., Alexander, M., Arent, D., Bazilian, M., Cazzola, P., Dede, E. M., Farrell, J., Gearhart, C., Greene, D., Jenn, A., Keyser, M., Lipman, T., Narumanchi, S., Pesaran, A., Sioshansi, R., Suomalainen, E., Tal, G., Walkowicz, K., & Ward, J., 2021. The rise of electric vehicles—2020 status and future expectations. *Progress in Energy*, 3(2), 022002. DOI: <https://doi.org/gpcngz>
- [42] Oliva, J. A., Weihrauch, C., & Bertram, T., 2013. Model-based remaining driving range prediction in electric vehicles by using particle filtering and Markov chains. *World Electric Vehicle Journal*, 6(1), 204–213. DOI: <https://doi.org/jrtb>
- [43] Qiu, Q., Li, J., & Yu, H., 2013. Operational planning of electric bus considering battery state of charge. In *LTLGB 2012* (pp. 243–249). Springer Berlin Heidelberg. DOI: <https://doi.org/jrtc>
- [44] Sheth, A., & Sarkar, D., 2019a. Life cycle cost analysis for electric vs. Diesel bus transit in an Indian scenario. *International Journal of Technology*, 10(1), 105. DOI: <https://doi.org/gmj3jn>
- [45] Vepsäläinen, J., 2017. Driving style comparison of city buses: Electric vs. Diesel. 2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). DOI: <https://doi.org/jrtd>
- [46] ZeEUS, 2017. ZeEus ebus report #2. URL: <https://zeEus.eu/uploads/publications/documents/zeEus-ebus-report-2.pdf>, (Utolsó elérés: 2022. július).
- [47] Közúti Rendelkezések Egységes Szabályozása (KRESZ) - 46. § Személyszállítás



Consumption estimation of battery electric buses considering line characteristics and temperature

The battery electric buses (BEB) have a shorter range than diesel buses, thus they are not always able to perform the all precribed distance during a day. The bus turnaround planning and bus procurement decisions can also be supported by pre-determining the energy demand of the lines. In the course of the research, we developed an energy-based consumption estimation method that also takes into account the uncertainties influencing consumption (ambient temperature, topography, stopping distance, passenger load). The novelty of the method is that instead of the current consumption data, it takes into account the dynamic energy consumption of the vehicle and the performance of other energy consumers (eg cooling-heating system, air compressor). The method was used and validated in a case study. The minimum energy consumption is determined taking into account the largest consumers. We found that the estimated data correlated with the measured data, they show a deviation of 5% from the measured data.



Verbrauchsabschätzung von batterieelektrischen Bussen unter Berücksichtigung von Streckencharakteristik und Temperatur

Die Batterie-Elektrobusse haben eine geringere Reichweite als Dieselbusse, daher können sie nicht immer alle vorgeschriebenen Distanz während eines Tages fahren. Für die Planung des Busfahrplanes und für die Busbeschaffungsentscheidungen können auch durch die Vorabbestimmung des Energiebedarfs der Linien unterstützt werden. Im Zuge der Forschung haben wir ein energiebasiertes Verbrauchsschätzungsverfahren entwickelt, das auch die den Verbrauch beeinflussenden Unsicherheiten (Umgebungstemperatur, Topographie, Entfernung den Stationen, Passagierauslastung) berücksichtigt. Die Neuheit an der Methode ist, dass statt der aktuellen Verbrauchsdaten der dynamische Energieverbrauch des Fahrzeugs und die Leistung anderer Energieverbraucher (z. B. Kühl-Heizsystem, Luftkompressor) berücksichtigt werden. Die Methode wurde in einer Fallstudie angewendet und validiert. Der Mindestenergieverbrauch wird unter Berücksichtigung der größten Verbraucher ermittelt. Wir haben festgestellt, dass die berechnete Daten mit den gemessenen Daten korrelieren, sie zeigen eine Abweichung von 5% von den gemessenen Daten.



Emlékeztető: az MTA Közlekedés- és Járműtudományi Bizottságának üléséről

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.1.4>

Időpont: 2022. szeptember 28. szerda, 14:00 óra
Helyszín: MTA székház kisterem

Az ülést **Dr. Török Ádám** elnök nyitotta meg, aki bevezetőjében köszöntötte a megjelenteket, a 2022. évi harmadik tudományos ülésen. A harmadik ülés a Logisztika és Áruszállítás témakörét járta körül.

Az első előadó **Prof. Turcsányi Károly (NKE)** volt. Előadásában kiemelte a logisztika szerepét és helyzetét a Magyar Tudományos Akadémián. Először a logisztikát definiálta, majd bemutatta szerepét a tudományok rendszerében. Kiemelte a logisztika multidiszciplináris jellegét, műszaki, katonai [1] és gazdasági vonatkozását. Bemutatta a Logisztikai Osztályközi Állandó Bizottság történelmét, felsőoktatási kapcsolatrendszerét, a konferenciáit és kiadványait (Logisztikai Évkönyv, Logisztikai Híradó, Katonai Logisztika).

Prof. Böröcz Péter (SZE) előadásában a csomagolás áruszállításban betöltött védelmi szerepének meghatározására törekedett [2]. A „megfelelő” csomagolás megtervezése során olyan komplex rendszerrel kerülnek szembe még a legtapasztaltabb szakemberek is, amelynek részletes feltárásához, meghatározásához számos tudományág együttes ismerete szükséges. Előadásában ismertette, hogy a komplett csomagolási rendszerek megtervezése, tekintettel a felhasznált anyagok és szerkezetek inhomogén jellegére csak jelentős hibahatárral lehetségesek [3].

A közelítő számítások mellett pontosabb eredményt adnak az elvárható védelmi mechanizmusok teljesítésére való képességről az előzetes laboratóriumi vizsgálatok, a szállítás közben várható hatások szakszerű laboratóriumi körülmények közötti reprodukálásával. E célból alakult 1979-ben és működik jelenleg is az időközben nemzetközi ismertségre szertett győri Széchenyi István Egyetem Logisztikai és Szállítványozási Tanszék akkreditált Csomagolás és Környezetállósági Vizsgálólaboratóriuma. A csomagolás azon adottsága mellett, hogy geometriai mérete, tömege és kialakítása a termelési, rakodási és szállítási folyamatokba megfelelően implementálható legyen, primer funkciója az áru felhasználhatóságának/értékesíthetőségének biztosítása, – emelte ki. Ezen elvnek már a termék- és csomagolástervezési fázisában meg kell jelennie. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a várható események a valóságban sosem ismétlődnek meg azonos lefolyással, továbbá számos véletlenszerű jelenségeket is tartalmaznak. Tehát, a historikusan megszerzett ismeretek nem nyújthatnak elegendő információt a tervezés alapadataihoz [4]. Ilyen környezetből érkező hatások lehetnek például többek között: az alacsony vagy magas léghőmérséklet (+5 – (-50 °C) (+60 – +80 °C)); a relatív hőmérsékletváltozás (1 °C / perc hőmérsékletváltozás sebességgel); a magas relatív légnedvesség, amely nincs kombinálva gyors hőmérsékletváltozással (75% / 30 °C – 95% / +30 °C); alacsony légnyomás (70 – 30 kPa); a levegőközeg mozgása (20 – 30 m/sec); közvetlen csapadék

(5 – 15 mm / perc); közvetlen napsugárzás (700 – 1120 W/m²); hőszugárzás (600 W/m²); higroszkopikus nedvesedés (vizes felület); flóra (penész, gomba); fauna (rágcsálók, természetek); tengeri sós köd – sós víz; kémiaiag aktív anyagok (kén-dioxid, kén-hidrogén, nitrogén-oxidok, ózon); homok a levegőben (g/m³); szinuszos stacionárius rezgés (kitérés amplitúdó 3,5 – 7,5 mm, gyorsulás amplitúdó 10 – 40 m/sec², frekvencia sáv 2 – 500 Hz) [5]; stacionárius rezgés véletlenszerű jelalakkal (random); nem stacionárius rezgés beleértve az ütést (csúcsgyorsulás 100 – 1000 m/s²); leesés (0,1 – 1,5 m); felborulás (bármely él körül) [6]; ringás és bukácsolás hajón (periódus 8 másodperc); állandó gyorsulás (20 m/s²); statikus terhelés (5 – 10 kPa). A szállítási csomagolásokat vizsgáló laboratóriumban a fentebb felsorolt környezeti hatásokra való ellenállóképesség meghatározása és megtervezése a cél, a valósághoz közeli sorozatmérések elvégzésével. Röviden összefoglalva a szállítási csomagolások vizsgálatának célja egy olyan optimális védelem megtalálása, amely az elégséges védelem kialakításához szükséges költségráfordítás mellett minimalizálja a bekövetkező sérülések kockázatát.

Dr Farkas Gyula (RailCargo) előadásában ismertette, hogy Magyarország 2004. május 1-jén az Európai Unióhoz történő csatlakozásával egyidőben liberalizálta a vasúti áru fuvarozási piacot. Mivel az azóta eltelt időszakban a piacnyitástól elvárt eredmények nem következtek be, ezért olyan strukturális intézkedések szükségesek, amelyek javítják a közlekedési modalitások közti megoszlást a vasút javára. Mindezt az igényt alapozzák meg az uniós és hazai közlekedéspolitikai célkitűzések (Európai Zöld Megállapodás, Fenntartható és intelligens mobilitási stratégia, „Fit for 55”), amelyek a klímaváltozás elleni sikeres küzdelem érdekében a vasutat jelölik ki az áruszállítási rendszer fő ütőerének. Kiemelte, hogy a vasúton gördülő rendszerek kiváló fizikai előnyei, azon tény, hogy a vasúti áru nagy része már villamos vontatással kerül továbbításra, a vasúti áru fuvarozás kiemelkedik a szállítás egyéb formái közül, valamint energiahatékony és hosszútávon csekély éghajlatváltozási hatást

generál. Ezek a sajátos előnyök, valamint az, hogy a vasúti közlekedés a legbiztonságosabb mód, predestinálja a vasúti áruszállítást a fenntartható mobilitás és a közlekedési stratégia egyik kulcselemévé [7]. Véleménye szerint az elkövetkező években a közlekedés, az áruszállítás mértéke további erős növekedés elé néz, mind európai szinten, mind globálisan. A jelenlegi előrejelzések azt mutatják, hogy a 2030-ig terjedő időszakra a Magyarországon vasúton mozgatott áru mennyisége 2019-hez képest akár 50%-kal is növekedhet. A várt jelentős vasúti áruszállítási teljesítménynövekedés mellett a Budapest Agglomerációs Vasúti Stratégia a vasúti személyszállítás további növekedésével is számol, így különös fontossággal bír az, hogy a hazai vasúti infrastruktúra-fejlesztések időben és minőségben megteremtsek a növekvő igények lebonyolítására alkalmas vasúti pályahálózatot. A vasúti áruszállítási teljesítmények növeléséhez a változó piaci igények ismerete mellett, a szabályozási környezet átalakítása, ösztönző rendszer kialakítása és működtetése és árufuvarozás szegmensekhez (egykes kocsis forgalom, kombinált forgalom, irányvonati közlekedés) kötött állami támogatások bevezetése, további vontató és vontatott jármű- és digitalizációs fejlesztések szükségessége [8]. Mindezek eredményeként javul a vasúti fuvarozás versenyképessége és az ügyféligények magasabb színvonalon való kielégítése elősegítheti a módváltást. Magyarországnak ki kell használnia a kedvező földrajzi fekvéséből származó előnyöket, Európa északi és déli, valamint keleti és nyugati részei közti valódi fordítókorong szerepét, a hazánkon átmenő vasúti áruforgalom jelentős fokozása hozzájárul a jelentős tőkelekötésű vasúti infrastruktúra magasabb kihasználásához [9], a negatív externáliák csökkentéséhez, valamint a fordítókorong szerep ellátásához kapcsolódó logisztikai szolgáltatások fejlesztéséhez, hozzáadott érték növeléséhez. Az európai és hazai vasúti árufuvarozás helyzetének bemutatását követően, elemzésre került a fuvarozatók módválasztási döntéseinek mozgatói, a vasúti árufuvarozás fejlesztési lehetőségei, amelyek hozzájárulnak a szállítási mód uniós és hazai közlekedéspolitikában elvárt növekvő részarányához.

Dr. Fleischer Tamás méltatta az előadásokat, tisztázó kérdést tett fel Dr. Farkas Gyula számára a V0 vasúti elkerülőgyűrűvel kapcsolatban. Dr. Farkas Gyula felhívta a figyelmet, hogy Török Ádám felkérésében a V0 nem szerepelt.

Dr. Legeza Enikő kifejtette, a Logisztika dolgok fizikai mozgatása, ezzel együtt információáramlás és hatékonysági megfontolások/döntések. Tevékenységei a csomagolás, anyagmozgatás, raktározás, szállítás, melyek az alábbi területen vizsgálандók: beszerzés és készletezés, termelés, disztribúció, hulladék-gazdálkodás.

A vitát lezárva **Dr. Török Ádám** elnök, megköszönte az előadónak a magas színvonalú, érdekes előadásokat, valamint a hozzászólók aktivitását.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Hegedűs, Ernő ; Turcsányi, Károly (2018): Vasúti szállítás kontra tengeri szállítás: a Madrid-Jivu vasútvonal logisztikai és biztonságpolitikai szerepe: - szállítási ágak közlekedés-stratégiai vizsgálata, KATONAI LOGISZTIKA 2018 : 3-4 pp. 241-272., 31 p. DOI: <https://doi.org/jp6g>
- [2] Böröcz, P., Pánczél, C., Dunno, K., & Singh, S. P. (2022). Measurement and analysis of low-acceleration and long-duration longitudinal events using delivery van. Packaging Technology and Science. DOI: <https://doi.org/jp6h>
- [3] Böröcz, P. (2022). Decision on single-use and reusable food packaging: searching for the optimal solution using a fuzzy mathematical approach. Journal of the Science of Food and Agriculture. DOI: <https://doi.org/jp6j>
- [4] Böröcz, P. (2020). Vibration Levels of Stacked Automotive Engine Rack in Truck Shipments as a Function of Vehicle Speed and Road Condition. Journal of Testing and Evaluation, 49(1), 613-628. DOI: <https://doi.org/jp6k>
- [5] Böröcz, P. (2019). Vibration and acceleration levels of multimodal container shipping physical environment. Packaging Technology and Science, 32(6), 269-277. DOI: <https://doi.org/jp6m>
- [6] Böröcz, P. (2017). Vibration levels in vans as a function of payload and leaf spring sheet number. Journal of Testing and Evaluation, 46(1), 236-243. DOI: <https://doi.org/jp6n>
- [7] Tánczos, K., & Farkas, G. (2000). Problems and issues of defining user charges for railway infrastructure. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 28(1-2), 103-116.
- [8] Farkas Gyula (2016): A vasúti áru fuvarozás versenyképessége, fejlesztési lehetőségek, Logisztikai Évkönyv
- [9] Farkas Gyula (2014): Vasúti áru fuvarozási korridorok működése – vasútvállalati szemüveggel, Szállítmányozás 2014 Konferencia, Budapest, 2014. november 6–7.

E számunk lektorai

Dr. Gulyás András ■ Dr. Katona András
Dr. Tóth János ■ Dr. Tóth László

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE MEGRENDELŐLAP

Alulírott
megrendelem a Közlekedéstudományi Szemlét a következő hónaptól az alábbiak szerint.

Megrendelő neve:

Címe (ahová a lapot kéri):
.....
.....

Telefonszám:

Fax:

E-mail:

Az előfizetési díjat az alábbiak szerint fizetheti be:*

Banki átutalással (név és cím feltüntetésével) a következő bankszámlaszámra:
10200823-22212474

Készpénzzel a KTE irodában:1066 Budapest, Teréz krt. 38. II. em. 235.

**A megfelelőt kérjük beikszelni!*

Előfizetés 1 évre: **

• Nyomtatott változat: 9000 Ft/pld. pld.

• Egyéni KTE tagoknak nyomtatott változat: 4500 Ft/pld.
(tagdíj nélkül) pld.

***A kért példányszámot kérjük kitölteni!*

Az előfizetési díjról számlát kérek: igen nem

Számlázási név:

Számlázási cím:

Az első lapszám kézbesítésére az előfizetési díj befizetését követően kerül sor. Az egyéves előfizetés 6 lapszámot tartalmaz.

Dátum: alíírás

DIGITÁLIS VÁLTOZAT

Digitális változat megrendelése csak egyéni előfizetőknek lehetséges!

• Digitális változat ára egyéni KTE tagoknak 4500 Ft/év (tagdíj nélkül) pld.

• Digitális változat ára NEM KTE tagoknak 6600 Ft/év pld.

Megrendelő neve: E-mail címe:

Dátum: alíírás

Kérjük, hogy a megrendelő lapot e-mailben a szemle@ktenet.hu e-mail címre, faxon a 06-1-353-2005 számra, vagy a 1066 Budapest Teréz krt. 38. II. em. 235. postacímre szíveskedjen elküldeni!

Közlekedésbiztonság - Közlekedési környezetvédelem

Automata vezetéstámogató rendszerekhez kapcsolódó kockázatok és a kezelésükre való felkészítés a gépjárművezető képzésben

A vezetéstámogató rendszerekhez közlekedésbiztonsági előnyeik mellett kockázatok is társulnak. A gépjárművezetők felkészítése szükséges ezen kockázatok csökkentéséhez.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.1.5>

Barna Éva

KTI Közlekedéstudományi Intézet, Stratégiai Kutatási és Fejlesztési Igazgatóság
e-mail: barna.eva@kti.hu

1. BEVEZETÉS

Az autógyártás terén az utóbbi időszakban a különböző vezetéstámogató, automata technológiák rohamos fejlődése, kiemelt fejlesztése tapasztalható. Ezeknek a rendszereknek a célja, hogy átvéve az embertől bizonyos vezetési feladatokat, biztosítsák az emberi hibázás kiküszöbölését, így a közúti közlekedésbiztonság növekedését. Az Európai Unió 2022-től előírja az új gépjárművek felszerelését egy sor vezetéstámogató technológiával, ezért azok egyre elterjedtebbé válnak. A járműpark cserélődik, és egyre újabb gyártású járművek jelennek meg a közutakon. Ez felveti azt a kérdést, hogy az autóvezetők mennyire felkészültek ezeknek az automata rendszereknek a kezelésére, valóban a biztonság növelése irányába hatnak-e ezek? Ezért megvizsgáltuk, hogy a kutatási eredmények szerint milyen ismeretek, készségek szükségesek a vezetéstámogató rendszerek biztonságos használatához, milyen kockázatok társulhatnak hozzájuk, és milyen szakmai javaslatok vannak az autóvezetők, automata rendszerek kezelésére való felkészítésére.

2. AZ AUTOMATIZÁCIÓ JELENLEG ELÉRHETŐ SZINTJEI

A SAE International: Autóipari Mérnökök Társasága (Society of Automotive Engineers): mérnökökből és kapcsolódó műszaki szakértőkből álló globális szövetség meghatározta a járműautomatizáció általánosan elfogadott szintjeit: [1]

- 0. szint:** Kézi vezérlés, az ember vezeti az autót
- 1. szint:** A jármű egyetlen, a vezetőt segítő automatizált rendszerrel rendelkezik, például kormányzáshoz vagy gyorsuláshoz (pl. sebességtartó automatika).
- 2. szint:** A jármű képes irányítani a kormányzást és a gyorsulást/lassítást is. A járművezető bármikor átveheti az irányítást az autó felett.
- 3. szint:** A járművek rendelkeznek „környezetészlelési” képességekkel, és

megalapozott döntéseket hozhatnak önállóan, például gyorsulhatnak egy lassan haladó jármű mellett, de emberi felügyeletet igényelnek. A vezetőnek ébernek kell lennie, és készen kell állnia arra, hogy átvegye az irányítást, ha a rendszer nem tudja végrehajtani a feladatot.

- 4. szint:** A járművek a legtöbb esetben nem igényelnek emberi interakciót. Az embernek azonban továbbra is lehetősége van manuálisan felülbírálni az automata vezetési rendszert. Korlátozott, feltérképezett területeken közlekedhetnek.
- 5. szint:** A járművek nem igényelnek emberi figyelmet, felügyeletet. Bármilyen területen közlekedhetnek.

A jelenleg forgalomban lévő járművek automatikus vezetéstámogató rendszerekkel (1. szint), illetve maximum 2. szintű automatizált vezetési rendszerrel rendelkeznek. Az automatikus vezetést segítő rendszerek a SAE besorolása szerint az automatizáció 1. szintjén állnak. Ha egy jármű 0., 1. vagy 2. szintű vezetéstámogató rendszerrel rendelkezik, akkor aktív és elkötelezett vezetőre van szükség. A vezető mindig felelős a jármű működéséért, mindenkor felügyelnie kell a technológiát, monitorozni a környezetet, és szükség esetén teljes mértékben át kell vennie a jármű irányítását. A 3. szinten történik váltás a felelősség kérdésében, mivel ezen a szinten már az automata vezetési rendszerek ellenőrzik, figyelik a környezetet. Ennek ellenére a vezetőnek továbbra is készen kell állnia a vezetési feladat átvételére, amennyiben a rendszer ezt jelzi [2].

3. UNIÓS SZABÁLYOZÁS

Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2019/2144 rendelete (2019. november 27.) [3] meghatározza az új uniós minimális járműbiztonsági követelményeket, azaz azokat az új biztonsági technológiákat a gépjárművekben, amelyekkel a gyártóknak kötelezően fel kell szerelniük új gyártású járműveiket. Az új

biztonsági elemek 2022-től váltak kötelezővé, kivéve a teherautók és az autóbuszok közvetlen rálátását, valamint a személygépkocsik és kisteherautók megnövelt fejtközési zónáját, amely a szükséges szerkezeti változtatások miatt később következik.

Az előírt új biztonsági rendszerek a következők:[4]

- személygépkocsik, könnyű haszongépjárművek, tehergépjárművek és autóbuszok esetében fáradtságot, figyelemelterelődést monitorozó-, figyelmeztető rendszer, intelligens sebességszabályozás, tolatássegítő rendszer, baleseti adatrögzítő, indításgátló alkoholszonda utólagos felszerelésének megkönnyítése;
- személygépkocsik és könnyű haszongépjárművek esetében sávtartást segítő rendszer, vészfékező rendszer, tervezett feszítésű biztonsági övek;
- tehergépjárművek és autóbuszok esetében: holttércsökkentő rendszer, holtterben lévő akadályra figyelmeztető rendszer, guminyomás-monitorozó rendszer

4. AZ AUTOMATIZÁCIÓ 1. SZINTJE

A téma szempontjából lényegesebb, legelterjedtebb 1. szintű vezetéstámogató rendszerek a következők:[5]

4.1. Intelligens sebességszabályozás: Adaptív sebességtartó automatika (ACC - Adaptive Cruise Control)

Az adaptív sebességtartó automatika (ACC) képes fenntartani a kiválasztott sebességet és távolságot a jármű és az előtte haladó jármű között. Automatikusan fékezhet vagy gyorsíthat a jármű és az előtte haladó jármű közötti távolság függvényében. Ehhez a rendszerhez továbbra is éber sofőrre van szükség, hogy észlelje a környezetét, mivel csak a sebességet és a távolságot szabályozza a jármű és az előtte haladó autó között.

4.2. Parkolási asszisztens (Active Park Assist)

Az aktív parkolási asszisztens rendszerek automatikusan parkolnak le, minimális vagy semmilyen vezetői beavatkozással.

4.3. Holttérfigyelő rendszer (Blind-Spot Monitoring)

A holtterfigyelő egy passzív rendszer, amely figyelmezteti a vezetőt a jármű holtterében lévő tárgyra. A figyelmeztetéseket általában az oldalsó tükrökön vagy azok közelében elhelyezett lámpák jelzik, amelyek akkor világítanak, amikor egy másik jármű belép a holtterbe. Egyes esetekben a holtterfigyelő rendszerek hangjelzést is adnak, ha a gépjárművezető bekapcsolja az irányjelzőt, hogy sávot váltson, ahol már egy másik járművet észlel.

4.4. Elülső ütközési figyelmeztetés (Forward Collision Warning)

Az elülső ütközésre figyelmeztetés jelzi a vezetőnek a közelgő ütközés lehetőségét. A riasztások általában hangjelzések és villogó fények formájában is megjelennek, amelyeket közvetlenül a vezető látóterében helyeznek el.

4.5. Automatikus vészfékező rendszer (Automatic Emergency Braking)

Az automatikus vészfékező a vezető beavatkozása nélkül lefékezi a járművet, ha ütközés fenyeget. Az előre felé történő automatikus vészfékezés gyakoribb, azonban sok autógyártó kínál olyan rendszert, amely akkor is működik, ha az autó hátramenetben van. Ez a rendszer képes csökkenteni az ütközés súlyosságát, ha nem is tudja azt teljesen elkerülni.

Ezek a rendszerek gyakran, de nem mindig, képesek észlelni a gyalogosokat is (más néven automatikus vészfékezés gyalogosészleléssel), és sok autógyártó kínál olyan automatikus vészfékező rendszereket, amelyek akkor is működnek, amikor az autó hátramenetben van.

4.6. Automatikus vész kormányzás (Automatic Emergency Steering)

Az automatikus vész kormányzás segíti a vezetőt abban, hogy a járművet eltérítse a szembejövő tárgy útjából, hogy elkerülje az ütközést. Hívják ütközésselhárító rendszernek is

4.7. Sávelhagyásra figyelmeztető rendszer (Lane Departure Warning)

A sávelhagyásra figyelmeztető rendszer jelzi a vezetőnek, ha az autó átsodródik a sávjelzésen. Ezt többnyire hangjelzéssel teszi, de egyes autógyártók vizuális vagy tapintható figyelmeztetéseket is alkalmaznak, amelyek közül az utóbbi általában a kormányon keresztül érzékelhető.

4.8. Sáv tartási asszisztens (Lane-Keep Assist)

A sáv tartó asszisztens visszakormányozza az autót a sávjába, ha az elkezd átsodródni a sávjelzéseken. Ezek a rendszerek általában tartalmazzák a sávelhagyásra figyelmeztető rendszer funkcióit is. A sávban tartó asszisztens rendszer ehhez képest egy aktívabb rendszer, amely a sáv közepén tartja az autót, tehát nem csak akkor lép működésbe, ha az autó kilép a sávjából.

4.9. Tolatást segítő rendszerek (Reversing camera or detection system)

A hátsó keresztirányú forgalomra figyelmeztető rendszer jelzése tolatáskor figyelmezteti a járművezetőket az érkező merőleges forgalomra az autó mögül. A legtöbb rendszer azt is jelzi, hogy melyik irányból érkezik a forgalom.

5. AZ AUTOMATIZÁCIÓ 2. SZINTJE

A 2. szintű vezetési automatizálás azokra a járművekre vonatkozik, amelyek olyan fejlett vezetési asszisztens rendszerekkel (ADAS) rendelkeznek, amelyek bizonyos helyzetekben átveszik a kormányzás, a gyorsítás és a fékezés feladatát. Annak ellenére, hogy a 2-es szintű járművezetői támogatás irányítani tudja ezeket az elsődleges vezetési feladato-

kat, a vezetőnek ébernek kell maradnia, és folyamatosan aktívan felügyelni kell a technológiát [6].

Számos autógyártó kínál úgynevezett félautonóm vezetési rendszereket, amelyek az automatizáció 2. szintjét képviselik. A legegyszerűbb formában ezek a rendszerek az adaptív sebességtartó automatikát és a sávközpontosítást egyesítik, hogy az autó szinte önállóan tudjon vezetni. Ennek ellenére a vezetőnek továbbra is figyelnie kell az útra, mivel ezek a rendszerek számos helyzetben továbbra is emberi beavatkozásra támaszkodnak [5].

6. AZ AUTOMATIZÁCIÓ 3. SZINTJE

Az ezen a szinten felszerelt járművek már „észlelik” is a környezetüket, így erre alapozva önálló döntéseket hoznak a közlekedés során, például gyorsulhatnak egy lassan haladó autó mellett, de emberi felügyeletet igényelnek. A vezetőnek folyamatosan ébernek kell maradnia, és szükség esetén visszavenni a rendszertől a jármű irányítását (egyedüli példa a Mercedes Drive Pilot-ja, amely aktív kormányzással, fékezéssel és távolságszabályozással rendelkezik, és csak előre feltérképezett autópálya-szakaszokon közlekedhet) [7].

7. AUTOMATA JÁRMŰVEZETÉSI RENDSZEREK KEZELÉSÉHEZ SZÜKSÉGES ISMERETEK, KÉSZSÉGEK

Korábban azt feltételezték, hogy az automata vezetést segítő rendszerek egyértelműen könnyebbé teszik a vezetési feladatot az ember számára, mostanában azonban kiderült, hogy már az automatizáció 1. és 2. szintjén álló rendszerek is új feladatokat jelentenek, amelyekhez új készségek és ismeretek szükségesek. Az ember aktív operátorból az automata rendszerek passzív felügyelőjévé válik [8]. A két szerep azonban különböző felkészítést és készségeket kíván meg. Az 1. és 2. szintű rendszerek esetében a vezető számára új feladat például: [2]

- Meghatározni, hogy mikor szükséges a segítő rendszer bekapcsolása, illetve kikapcsolása.

- Figyelni a környezetet, és végrehajtani azokat a vezetési feladatokat, amelyeket nem a rendszer hajt végre, és reagálni, amennyiben szükséges.
- A rendszer által végrehajtott dinamikus vezetési feladatokat felügyelni, mentálisan odafigyelni, és közbeavatkozni, amikor a környezet vagy a rendszer miatt ez szükséges.

A vezetési feladat tehát egy felügyelői szerepé válik az automata rendszerek használata során, amiben az emberek általában nem túl jók. A felügyelés (szemben az aktív cselekvéssel) alacsonyabb éberségi szinttel és viselkedési adaptációval jár, ami lassabb reakcióidőt, félreértelmezést és a képességek leépülését eredményezheti. Egy kontrollvizsvázvétel helyzetben így alacsonyabb a helyzettudatosság, miközben nagyobb a feladat követelményszintje [8].

Az új technológiák hatására tehát a járművezető feladata egyre inkább az automata rendszerek felügyelete és a környezet monitorozása lesz, nem pedig a jármű manuális kontrollja és a manőverezés. Kutatások alapján az automata rendszerekkel felszerelt járművek vezetéséhez felügyelői és szelektív beavatkozási képességekre van szükség. Meg kell érteni az automata funkció képességeit és korlátait. Mivel a vezető megosztja a vezetési feladatokat az automata rendszerekkel, szükség van a jó koordinációra információmegosztás és együttműködési képességre (egymás támogatása, és közös feladaton dolgozás) [8].

A vezetőnek emellett állandóan tudatában kell lennie az automata rendszer tevékenységének, teljesítményének és a környezetnek. Az 1.-től a 3. szintű automatizáció esetében a vezetőnek ismernie kell az adott jármű automata funkcióit, és tudnia kell, hogy mi az, amit az automata rendszer képes elvégezni, és mi az, ami az ő feladata. Ezen kívül tisztában kell lennie azzal, hogy mikor és hogyan lépjen interakcióba az automata vezetési rendszerrel. Azt is megbízhatóan meg kell ítélni, hogy mikor végezhet biztonságosan egyéb, másodlagos tevékenysé-

get [9]. A vezetőnek a 3. szintű autonómiától felfelé szükség esetén át kell tudnia venni a kontrollt az automata rendszertől.

A vezetőnek képesnek kell lennie az automata vezetési rendszer hibáinak és korlátainak felismerésére és az azokra való reagálásra. Ez gyors reakciót kíván meg a kritikus vagy veszélyes helyzetekben. A vezetőnek átfogóan ismernie kell az automata funkciók helyes működését ahhoz, hogy felismerje a hibákat. Teljes mértékben tudatában kell lennie annak, hogy mit csinál éppen a rendszer és milyen beavatkozásra lehet szükség. Ezért problémát okozhat, ha a vezető mást vár el a rendszertől, mint ami reális. Az ismeretek mellett szükség van a folyamatos éberségre, és arra, hogy a vezető képes legyen azokat a tevékenységeket is végrehajtani, amelyek egyébként az automata rendszer feladatai, és így veszélyhelyzetben sikeresen tudja átvenni az irányítást [9].

8. VEZETÉSTÁMOGATÓ RENDSZEREK HASZNÁLATÁHOZ TÁRSULÓ KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁGI KOCKÁZATOK

Az automata rendszerek hatását a képességekre, illetve a vezetői viselkedésre vonatkozóan sokan vizsgálták már. A legfontosabb vizsgált tényezők a bizalom, a viselkedési adaptáció és a feladat követelményszintje [9].

8.1. A bizalom szintje háromféle módon vezethet problémához [9] az automata technológiák használata során:

- a vezető túlságosan bízik az automata rendszerben (ez a vezetési képesség csökkenéséhez, illetve fokozott kockázattal járó viselkedéshez vezethet),
- a vezető egyáltalán nem bízik a rendszer képességeiben, így nem használja azt,
- a vezető helytelenül használja az automata rendszert.

A korai járműtechnológiai fejlesztések még a jármű meglévő funkcióinak teljesítményét

javították (pl. szervókormány), így hozzájárultak az általános járműteljesítmény javulásához. A fejlett vezetéstámogató rendszerek már nagyobb mértékben avatkoznak be, vesznek részt a vezetési feladatban. Javíthatják a vezető érzékelési képességeit (pl. gyalogosérzékelő rendszerek), tudnak figyelmeztetni az esetleges veszélyekre (pl. holttér-érzékelés), és az embernél gyorsabban képesek reagálni és elkerülni az ütközést. Más technológiák mentesítik a járművezetőt az ismétlődő ellenőrzési feladatoktól (pl. sávtartási asszisztens), és automatizálják a vezetési feladat egy részét. Az emberi reakció ezekre a technológiákra különböző annak megfelelően, hogy a vezető mennyiben érzi magát nagyobb biztonságban az adott funkció használatával, ami csökkentheti a vezető kockázatterzékelését, így hajlamosíthat a kockázatosabb vezetői viselkedésre [10].

Az automata vezetéstámogató technológiák megfelelő működésével kapcsolatos megértés hiánya vagy félreértése helytelen használatához és a rendszerekre való túlzott támaszkodáshoz vezethet. Gyakran a járművezetők olyan rendszereket kényszerülnek használni, amelyeket nem feltétlenül értenek meg teljesen. Ezért fontos a járművezetők oktatása az ADAS technológiák helyes használatáról és korlátaikról [11].

Az automata rendszerek használata a manőverezési készségek csökkenéséhez is vezethet [9]. Az automatizáció a következő készségeket negatívan befolyásolhatja:

- hosszanti és oldalirányú kontroll fenntartása,
- parkolás,
- közlekedési jelzések betartása, különböző közlekedési helyzetekre való reagálás,
- időjárás körülmények kezelése,
- váratlan helyzetekre való reagálás,
- más járművekkel, illetve közlekedési résztvevőkkel való interakció.

Kutatási eredmények szerint [9] az automata technológia használata után a vezetők gyengébb sávtartási teljesítményt, rövidebb követési távolságot vagy lassabb reakció időt mutattak, mint azok, akik nem használtak előtte automata technológiát.

8.2. Viselkedési adaptáció

A járművezetők viselkedésüket mindig a körülményekhez igazítják, így a vezetést segítő automatizált rendszerek is viselkedési adaptációt váltanak ki. A viselkedési adaptáció a közúti közlekedési rendszer változásait követően nem szándékos viselkedések összességét jelenti. Ez azzal járhat, hogy az automata rendszerek olyan módon módosíthatják a vezetői viselkedést, ami nem feltétlenül a biztonság irányába hat [12].

8.3. Vezetési feladat követelményszintje, figyelemelterelődés

Az automata vezetési rendszerek hatására csökken a vezetőre háruló terhelés, azaz a vezetési feladat követelményszintje, az embernek kevesebb vezetési feladata van, kevesebb dologra kell figyelnie. Ez egy bizonyos fokig pozitív hatás, ha a vezető más vezetési feladatokra tudja fordítani a figyelmét, illetve a rá háruló feladatokra jobban tud összpontosítani. Másrészt viszont, ha túl könnyűnek érzi a vezetési feladatot, akkor hajlamosabb lesz egyéb tevékenységekbe belevonódni, ami nehezebbé teszi a beavatkozást számára, amennyiben arra mégis szükség van. Több elmélet van arról, hogy milyen módon hat az automatizáció a vezető figyelmére:[9]

- Figyelem erőforrás-csökkenési hipotézis: mivel az embernek nem szükséges aktívan figyelnie a vezetésre, amikor az automata rendszer működik, a figyelem csökken. Így, amikor vissza kell vennie a kontrollt, a feladatkövetelmény hirtelen megnő, aminek nem tud megfelelni.
- Figyelemmegőrzési hipotézis: az automatizált vezetés alatt az ember pihen-

het és feltöltődhet, így szükség esetén jobban fel tudja használni kognitív erőforrásait.

- Kompenzációs hipotézis: az ember képes felismerni és kompenzálni a nagyobb követelményszintet és növelni teljesítményét, valószínűleg a magasabb motivációs szintnek köszönhetően.

A gyakorlati kutatási eredmények azonban leginkább az első hipotézist támasztják alá, mivel az tapasztalható, hogy a hirtelen kontrollvisszavétel az automata rendszertől, negatívan befolyásolja a vezetés biztonságát [9].

Az egyes vezetéstámogató automata rendszerek különböző hatással lehetnek a vezetői viselkedésre, de van néhány általános, nem a biztonság felé irányuló hatás az eddigi kutatások szerint.

8.4. Kontrollvisszavétel

Az automatizáció 3. szintjétől kezdve a járművezetéssel, járművezetővel kapcsolatos kockázatok növekednek azzal, hogy az automata rendszer átmenetileg bizonyos körülmények között teljes mértékben irányítja a járművet, ugyanakkor szükség esetén visszaadja a kontrollt a járművezetőnek. Ez egy olyan speciális helyzetet jelent, amikor egyrészt a vezetőnek mindvégig, amíg az automata rendszernél van a kontroll, ugyanúgy figyelni kell a vezetésre, mint automata rendszer nélkül, miközben konkrét vezetéssel kapcsolatos teendője nincs, ami nagyobb nehézséget jelent, mint ha folyamatos feladata lenne. Másrészt azután, hogy a vezető nem a vezetéssel van elfoglalva, hirtelen visszavennie a kontrollt időbe telik, és a teljesítménye nem is lesz a csúcson [16].

9. NEMZETKÖZI SZAKMAI JAVASLATOK AZ AUTOMATA VEZETÉSI RENDSZEREKRE VONATKOZÓ GÉPJÁRMŰVEZETŐ-KÉPZÉSRE

A szakmai javaslatok alapján a járművezetőknek biztosítani kell a technológiák megfelelő, hatékony és biztonságos használatához szük-

séges tudásszintet, ismeretek és gyakorlati tapasztalat alapján arról, hogy egy rendszer mire képes és mire nem, annak érdekében, hogy minimálisra csökkenjen a rendszerrel való visszaélésből vagy félreértésből eredő lehetséges kockázat.

Szakértők a következő intézkedések megfontolását javasolják: [2]

- A jármű automata rendszerek (különösen a jelenlegi 1+2. szintű rendszerek) használatáról szóló ismereteket hozzá kell adni a gépjárművezető-képzéshez, és az elméleti és gyakorlati vizsgák előírt részévé kell tenni.
- A gépjárművezetői gyakorlati vizsgához kötelezően fel kell szerelni a használt járművet a specifikusan meghatározott automata rendszerekkel.
- A vezetésoktatók és a vizsgáztatók képzéséhez hozzá kell adni a járműautomatizáció témakörét.

Az automata rendszerekkel kapcsolatos képzések tartalmának 5 fő pontja:[13]

- az automata vezetéstartámogató rendszerek használatának célja (kockázatok és előnyök),
- az automatizáció szintjeinek megértése (képeségek és korlátok),
- váltás az automata vezetéstartámogató rendszerek használata és a manuális mód között, és a kritikus helyzetek kezelése (rendszerhibák),
- a rendszer részeinek és azok elhelyezkedésének megismerése (szenzorok, radar, kamerák, stb.),
- a vezetéstartámogató rendszerek korlátainak megértése.

10. AUTOMATA VEZETÉSTÁMOGATÓ RENDSZEREK KEZELÉSÉRE IRÁNYULÓ OKTATÁS A HAZAI KÖZÚTI GÉPJÁRMŰVEZETŐ-KÉPZÉSBEN

Magyarországon a közúti gépjárművezetők képzését és vizsgáztatását a 24/2005. (IV. 21.) GKM rendelet „A közúti járművezetők és a közúti közlekedési szakemberek képzésének és vizsgáztatásának részletes szabályairól” [14] szabályozza. 263/2006. (XII. 20.) Korm. rendelet 8. § (1) bekezdés ha) és hb) pontjaiban kapott felhatalmazás alapján a „B” kategóriás tanfolyam tantervét és vizsgakövetelményeit a Nemzeti Közlekedési Hatóság határozta meg 2016-ban. A 2017 elején megjelent, jelenleg érvényes „B” kategóriás tanfolyam tanterve és vizsgakövetelményei kiadványban jelentek meg először a gyakori aktív biztonsági rendszerekre vonatkozó ismeretek, az elméleti oktatás „Szerkezeti és üzemeltetési ismeretek” tantárgya keretében [15].

A meghatározott rendszerekre vonatkozó ismeretek az elméleti e-learning tananyagban szerepelnek, viszont a gépjárművezető-képzés gyakorlati részében, valamint a vizsgán nem. A vizsgán a vezetéstartámogató rendszerek nem használhatók, az azokról való ismeretek nem kerülnek ellenőrzésre, így a gyakorlat során sem kötelező megtanításuk.

11. KONKLÚZIÓ

A közúti gépjárművekben a technológia fejlődésével egyre elterjedtebbé válnak az automata vezetéstartámogató rendszerek, amelyek egy körét az Európai Unió is előírja az új autók kötelező felszereltségéként. Egyre jellemzőbb, hogy a gépjárművezetők ilyen modern technológiákkal rendelkező járművekkel találkoznak, miközben nem kapnak megfelelő, alapos képzést azok biztonságos használatához. Nemzetközi felmérések szerint az autóvezetők nagy arányban nincsenek tisztában járművük technológiai felszereltségével, illetve azok biztonságos kezelésével, valamint gyakori a rendszerek képességeinek túlbecsülése.

A nemzetközi és hazai kutatási eredmények alapján az automata vezetéstámogató rendszerek közlekedésbiztonsági előnyei (az emberi hibázás, figyelmetlenség kiküszöbölése) mellett jelentősek a kockázatok is, amelyek társulnak hozzájuk (fokozottabb figyelemelterelődés, kockázatosabb vezetői viselkedés, helytelen kezelés). A vezetési feladat bizonyos szempontból bonyolultabbá válik, mivel a vezetőnek a rendszer kezelésére, ki- és bekapcsolására, esetleges hibáinak kezelésére is oda kell figyelni. Másrészt a vezető a jármű aktív irányítójából ellenőrző, felügyelő szerepbe kerül, ami fokozza a figyelemelterelődés, képességsökkenés kockázatát. Ezen kockázatok kiküszöbölésére a járművezető megfelelő képzése szükséges, amelynek nem csak a rendszerek konkrét kezelési módjaira kell vonatkozni, hanem ki kell emelni annak fontosságát is, hogy a vezető tisztában legyen az adott rendszer képességeivel, de a korlátaival, megfelelő alkalmazási körülményeivel, esetleges hibalehetőségeivel is. Hangsúlyozni szükséges a folyamatos vezetői figyelem fontosságát az automata rendszerek alkalmazásának ideje alatt annak érdekében, hogy minél kisebb legyen az ismerethiány, félreértés vagy vizszaélés miatti baleseti kockázat.

A jelenlegi járművezetői képzési és vizsgázási eljárások csak az elméleti képzésben tartalmazzák előírás szerint a különböző vezetéstámogató rendszerek használatának oktatását. Ezért felmerül felülvizsgálatuk szükségessége, hogy felkészítsék az gépjárművezetőket az automatizált vezetési rendszerek biztonságos használatára.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SAE J3016TM LEVELS OF DRIVING AUTOMATION https://www.sae.org/binaries/content/assets/cm/content/blog/sae-j3016-visual-chart_5.3.21.pdf
- [2] Driel, C., Beukel, A. P., Veders, N., Huijboom, C. (2019) Driver training and testing in the era of automated driving: Status quo and future directions. 13th ITS European Congress, Brainport, the Netherlands, 3-6 June 2019. https://rapp-trans.de/wp-content/uploads/rapp_2019_its_praulocol-driver-training.pdf
- [3] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2019/2144 RENDELETE <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R2144&from=hu>
- [4] New safety features in your car. European Commission <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/29343>
- [5] Driver Assistance Systems: The ultimate guide to car safety tech. <https://www.motor1.com/features/346112/driver-assistance-systems-guide/>
- [6] Levels of autonomous driving, explained. <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/levels-of-autonomous-driving-explained#:~:text=An%20example%20of%20Level%202%20driving%20automation%20is,new%20hands-free%20partial%20driving%20automation%20technology%20from%20Ford.>
- [7] New Mercedes Drive Pilot challenges Tesla with Level 3 tech. <https://www.autoblog.com/2022/03/20/mercedes-drive-pilot/>
- [8] Beukel, A. P., Veders, N., Driel, C. J. G., Huijboom, C. (2019) Does the learner driver remain in control of assistance systems? 13th ITS European Congress, Brainport, the Netherlands, 3-6 June 2019. https://rapp-trans.de/wp-content/uploads/rapp_2019_its_praulocol-remaining-control.pdf
- [9] Spulber, A. (2016) Impact of automated vehicle technologies on driver skills. Michigan Department of Transportation, Center for Automotive Research. <https://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2017/02/IMPACT-OF-AUTOMATED-VEHICLE-TECHNOLOGIES-ON-DRIVER-SKILLS.pdf#:~:text=As%20driving%20functions%20become%20shared%20between%20drivers%20and,while%2C%20at%20the%20same%20time%2C%20performing%20secondary%20tasks.>
- [10] Sullivan, J.M., Flannagan, M.J., Pradhan, A.K. & Bao, S. (2016). *Literature Review of Behavioral Adaptations to Advanced Driver Assistance Systems* (Technical Report). Washington, D.C.: AAA Foundation for Traffic Safety. <https://aaafoundation.org>

- org/wp-content/uploads/2017/12/BehavioralAdaptationADAS.pdf
- [11] Drivers Too Reliant on Advanced Driver-Assistance Systems, Research Finds. <https://www.counterman.com/drivers-too-reliant-on-advanced-driver-assistance-systems-research-finds/>
- [12] Behavioural adaptation and road safety: theory, evidence, and action. <https://swov.nl/en/publicatie/behavioural-adaptation-and-road-safety-theory-evidence-and-action>
- [13] Driver Training Guidelines for Advanced Driver-Assistance Systems. https://safed.vtti.vt.edu/wp-content/uploads/2020/07/Driver-Training-Guidelines_2018.pdf
- [14] 24/2005. (IV. 21.) GKM rendelet. njt.hu/jogszabaly/2005-24-20-0L
- [15] TANTERVI ÉS VIZSGAKÖVETELMÉNYEK a „B” kategóriás járművezető-képző tanfolyamok számára. https://vizsgakozpont.hu/uploads/2020/dokumentumok/47-tantervi-es-vizsgakovetelmenyek-b-kategorias-jarmuvezeto-kepzo-tanfolyamok-szamara_2017-01-01-tol.pdf
- [16] Drexler, D., Takács, A., Nagy T., Haidegger, T. (2019) Handover Process of Autonomous Vehicles – Technology and Application Challenges. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 16, No. 9, 2019 http://acta.uni-obuda.hu/Drexler_Takacs_Nagy_Haidegger_96.pdf



Risks associated with automated driver assistance systems and preparation for their management in driver training



Risiken von automatisierten Fahrerassistenzsystemen und Vorbereitung auf deren Management in der Fahrerausbildung

Támogatóink 2022-ben



TECHNOLÓGIAI ÉS
IPARI MINISZTERIUM



FÜMTERV



STADLER

Stadler Trains Magyarország Kft.



EUROASFALT
ÉPÍTŐ ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT.

HungaroControl

Magyar Légiforgalmi Szolgálat

KÖZLEKEDÉS
FŐVÁROSI TERVEZŐ IRODA KFT.



