

**„Zöld jövő – Új erőforrások
– Hatékonyabb közösségi közlekedés”**

City Rail 2024

Szakmai Konferencia

együttműködésben a

**XXIV. VÁROSI KÖZLEKEDÉS AKTUÁLIS
KÉRDÉSEI KONFERENCIÁVAL**

Balatonfenyves

2024. szeptember 4-5.

City Rail 2024

Szakmai konferencia

együtműködésben a

XXIV. VÁROSI KÖZLEKEDÉS AKTUÁLIS

KÉRDÉSEI KONFERENCIÁVAL

Nyomtatott változat

**„Zöld jövő – Új erőforrások
– Hatékonyabb közösségi közlekedés”**

**CITY RAIL 2024
SZAKMAI KONFERENCIA**

**EGYÜTTMŰKÖDÉS
BEN
A XXIV. VÁROSI KÖZLEKEDÉS AKTUÁLIS KÉRDÉSEI
KONFERENCIÁVAL**

Balatonfenyves

2024. szeptember 4-5.

Első nap (2024. szeptember 4. szerda)

	Főépület (üdülői étterem)	Szekció termek (Söröző és Csónakház épülete)
8:15 – 9:30	Regisztráció	
9:30 – 10:00	Köszöntők	
10:00 – 11:35	Plenáris előadások	
11:35 – 11:50	Szünet	
11:50 – 12:50	Plenáris előadások	
12:50 – 14:00	Ebéd az "A" épületben Magyar Közlekedési Szövetség elnökségi ülése (zártkörű rendezvény a "Csónakház" épületében)	
14:00 – 14:50	Kerekasztal beszélgetés Mobilitási lehetőségek és együttműködő partnerség	
14:50 – 15:30	Plenáris előadások	
15:30 – 15:50	Szünet	
15:50 – 17:30	I. szekciós előadások Felmerült kérdések megválaszolása	II. és III. szekciós előadások Felmerült kérdések megválaszolása
17:30 – 17:50	Szünet	
17:50 – 19:50	Program lehetőség: Fonyódon BAHART hajók megtekintése	Egyéb program lehetőség: szabadidő, felkészülés a Gálavacsorára
19:50 - 20:10	Felkészülés a Gálavacsorára	
20:10 – 22:10	Gálavacsora	
22:10 – 23:59		Kötetlen beszélgetési lehetőség a Söröző épületében

Második nap (2024. szeptember 5. csütörtök)

	Főépület (üdülői étterem)
8:00 – 9:00	Reggeli az "A" épületben
9:00 – 10:40	Plenáris előadások
10:40 – 11:00	Szünet
11:00 – 13:00	Plenáris előadások, felmerült kérdések megválaszolása
13:00 – 13:30	Konferencia zárása, elköszönés
13:30 – 15:00	Ebéd az "A" épületben



A Konferencia alatt jelentkezni lehet
a Konferenciát követően
lebonyolításra kerülő opcionális,
BKV Zrt. nosztalgia különjárat programra



„ZÖLD JÖVŐ – ÚJ ERŐFORRÁSOK – HATÉKONYABB KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉS”

a XXIV. Városi Közlekedés aktuális kérdései és a CITY RAIL 2024 Szakmai Konferencia résztvevőinek köszöntése

Nagy örömmel és tisztelettel köszöntöm Önöket a XXIV. Városi Közlekedés aktuális kérdései és a CITY RAIL 2024 Szakmai Konferencián. Engedjék meg, hogy a konferencia szervezői és saját nevemben is üdvözljem mindazokat, akik érdeklődnek a konferenciánkon elhangzó témák iránt, azaz Önöket, a számomra kedves olvasókat. A konferencia mottója – „ZÖLD JÖVŐ – ÚJ ERŐFORRÁSOK – HATÉKONYABB KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉS” – egyértelműen rámutat arra, hogy mennyire fontos szerepet játszik a fenntarthatóság és az innováció a városi közlekedés jövőjében. E rossz tükrözi elkötelezettségünket egy környezetbarátabb, hatékonyabb és emberközpontú közlekedési rendszer kialakítása és üzemeltetése iránt, amelynek megvalósulása esetén mindannyiunk életminősége javulni fog.

Gyorsan változó világunk számos új kihívással tesz próbára bennünket – gondolok itt a hosszú pandémiás időszakra, a folyamatosan fennálló nehéz működési finanszírozás helyzetére, a humánerőforrás-utánpótlási kérdéseket is felvető generációváltásra, ehhez kapcsolódóan az új informatikai környezetben felnövekvő generáció megismerésére, megszólíthatóságára, s a közlekedési társaságokhoz történő bevonhatóságára, megtartására, a meglévő munkaerő megbecsülésére és képzésére, az új erőforrás lehetőségét ígérő műszaki-technológiai és informatikai innovációkra, alkalmazhatóságuk vizsgálatára, s nem utolsósorban a keleti szomszédunknál dúló fegyveres konfliktus okán az alapanyagforrások és ellátási útvonalak átrendeződésére, újak kialakítására. A városi közösségi közlekedés környezetbarát, hatékony és évről-évre magasabb színvonalú működtetése iránti elkötelezettségünket azonban mindezen körülmények között fenn kell tartanunk és lehetőségeinkhez mérten erősíteniünk.

Az immár 5 éve közösen megrendezett, a hagyományokat ápoló „Városi Közlekedés” és az üzemeltetői nézőpontot előtérbe helyező „CITY RAIL” konferencia szorosan összefonódott, egymást kiegészítő programjai alkalmas kereteket nyújtanak az év folyamán a más-más munkahelyen dolgozó szakemberek találkozására és a városi közösségi közlekedés fejlesztésével, működtetésével kapcsolatos gondolatok, tapasztalatok, javaslatok megosztására.

A CITY RAIL 2024 konferencia a városi közösségi közlekedés és a kötöttpályás hálózaton nyújtott szolgáltatók kérdéseit üzemeltetői szemszögből vizsgálja, idén különös tekintettel az új erőforrások bevonására és a hatékonyabb, környezetkímélőbb működésre. Emellett számos műszaki és tudományos fejlesztést is bemutat a konferencia az előadásokban és az idén először kizárólag elektronikus formátumban elérhető konferencia kiadványban összegyűjtött cikkekben. Az előadások során láthatóvá válik a túlkoros, korszerűtlen, illetve a számukat tekintve egyre bővülő korszerű (klimatizált, alacsonypadlós, energia visszatáplálást támogató) járműpark egyidőben történő üzemeltetésével járó kihívások kezelése.

A jelen kiadványban megjelenő magas színvonalú szakmai cikkeket publikáló előadóinknak szeretnék külön köszönetet mondani, amiért többlet időt és energiát szántak szakmai ismereteik, tapasztalataik ilyen módon is történő megosztására, amellyel jelentős mértékben hozzájárulnak az olvasók látókörének bővítéséhez és a már említett társadalmi, gazdasági, környezeti és informatikai innovációs kihívásokra történő válasz lehetőségek megismeréséhez.

Mindezek fényében arra biztatom a városi környezet kialakításában, fejlesztésében és működtetésében aktív szerepet vállaló konferencia résztvevőket, hogy éljenek a rendezvény által felkínált széles körű lehetőségekkel. Hasznos, tartalmas és eredményes részvételt kívánva szeretettel látjuk Önöket Balatonfenyvesen, 2024. szeptember 4-5-én!

Dr. Takács Péter
vezérigazgató-helyettes
BKV Zrt.

*A Konferenciát követően a szakmai anyagok elérhetők lesznek a BKV Zrt.
(<https://www.bkv.hu>) és a KTE (<https://ktenet.hu>) honlapján.*

„GREEN FUTURE – NEW RESOURCES – MORE EFFECTIVE PUBLIC TRANSPORT”

Welcoming Participants of XXIV Urban Transport Current Issues and CITY RAIL 2024 Conference

It is a great pleasure and honour for me to welcome you to the XXIV Urban Transport Current Issues and CITY RAIL 2024 Professional Conference. Allow me, on behalf of the conference organisers and on my own, to welcome all those who are interested in the topics of our conference, that is you, my dear readers.

The motto of the conference – „GREEN FUTURE – NEW RESOURCES – MORE EFFECTIVE PUBLIC TRANSPORT” – clearly highlights the importance of sustainability and innovation for the future of urban public transport. This motto reflects our commitment to developing and operating a more environmentally friendly, more efficient and people-centred transport system that will improve the quality of life for all of us.

Our rapidly changing world is challenging us with a number of new trials - the long pandemic period, the ongoing hardship of operational funding, the generational change that raises questions concerning also human resources, the related issues of understanding and addressing the generation growing up in a new IT environment, attracting them to transport companies, and retaining them, valuing and training the existing workforce, the technical, technological and IT innovations that promise new resources, and examining their applicability, and last but not least, the reorganisation of raw material sources and supply routes, development of new ones considering the armed conflict in our eastern neighbour. However, our commitment to operating urban public transport in an environmentally friendly and efficient way, and to improving its quality from year to year, must be maintained and strengthened as much as possible in all these circumstances.

The „URBAN TRANSPORT” conference, which maintains legacy, and „CITY RAIL” conference, which focuses on operational aspects, have been jointly organised for 5 years now, their intertwined and complementary programmes provide an appropriate framework for professionals who work at different workplaces throughout the year to meet and share ideas, experiences and proposals on the development and operation of urban public transport.

The CITY RAIL 2024 conference examines the issues of urban public transport and rail-bound services from an operator’s perspective, this year with a particular focus on the integration of new resources and more efficient, environmentally friendly operations. In addition, the conference presents a number of technical and scientific developments in the presentations and in the articles collected in the conference proceedings, which are available for the first time in electronic format only. The presentations will highlight the challenges of simultaneously managing an over-aged, outdated fleet and a growing number of modern (air-conditioned, low-floor, energy recuperating) fleet.

I would like to express my special thanks to the contributors of the high-quality professional articles published in this publication for taking the extra time and energy to share their professional knowledge and experience in this way, thus contributing significantly to broadening the readers’ horizons and understanding the possible responses to the aforementioned social, economic, environmental and IT innovation challenges. In light of this, I encourage conference participants who are actively involved in the design, development and management of the urban environment to take advantage of the wide range of opportunities offered by the event.

We look forward to welcoming you to Balatonfenyves on 4-5 September 2024 for a useful, meaningful and fruitful participation!

Dr. Péter Takács
Deputy CEO, BKV Zrt.

The professional materials will be available on the website of BKV Zrt. after the Conference (<http://www.bkv.hu>).

City Rail 2024 Konferencia

Balatonfenyves

2024. szeptember 4-5.

Tartalom

Bevezető gondolatok	3
Introductory Thoughts	4
Tartalomjegyzék	5
Konferencia program	7
Cikkek – Kivonatok	
Üzemeltetési feladatok automatizálási lehetőségei, különös tekintettel a mesterséges intelligencia alkalmazására <i>Dr. Nagy Albert</i>	13
A BKV Zrt. a fenntartható fejlődés útján: Zöld átállás vezényszóra?! <i>Káplár Zsófia, Mészáros-Pintér Szilvia</i>	34
A villamosok fogyasztásmérésének és a mért adatok feldolgozásának új megközelítései <i>Vitéz Gergely</i>	51
Kerék-sín kapcsolat vizsgálata a budapesti Nagykörúton <i>dr. Kiss Csaba, Kelemen Zsolt</i>	62

Egy szemtanúk nélküli halálos baleset – bizonyítás mozaikokból <i>Vörös László Kartal</i>	82
MILLFAV jármű üzemeltetésének fenntartását célzó megoldások kidolgozása és igazolása <i>Dr. Hartványi Tamás – Hudacsek Péter – Olajos Tamás – Dr. Turcsán Tamás</i>	97
A káros externáliák minimalizálási lehetőségei a fővárosi közúti közösségi közlekedésben <i>Sütő Zsolt</i>	118
A közösségi közlekedés fejlesztési irányai Debrecen városában <i>Dr. Tóth Szabolcs</i>	131
Budapest és vonzáskörzetének gazdasági, társadalmi összefüggései, különös tekintettel a közlekedési szokások változására <i>Jangel Mátyás – Dr. Káposzta József – Dr. Tóth Tamás</i>	143

Támogatóink



Ventus-953
since 1983

SIEMENS

KONFERENCIA PROGRAM

szeptember 4., szerda

Levezető elnök: Dr. Gyurkovics Sándor (KTE)

8¹⁵ Regisztráció

9³⁰ Megnyitó

Köszöntő (KTE)

Dr. Fónagy János

Gazdaságfejlesztési Minisztérium
parlamenti államtitkára, miniszterhelyettes

Köszöntő (BKV)

Bolla Tibor

vezérigazgató, BKV Zrt.

A Szervezőbizottság köszöntője

Eur. Ing. Bősze Sándor

KTE főtitkárhelyettes

10⁰⁰ Zöld jövő – mobilitási válaszok
a klímaválságra

Dr. Walter Katalin

vezérigazgató (BKK Zrt.)

10³⁰ Energiahatékonyság javítási és
az EKR (Energiahatékonysági
Kötelezettségi Rendszer) rendszer
eredményei a BKV Zrt.-nél

Dr. Takács Péter

vezérigazgató-helyettes (BKV Zrt.)

10⁵⁵ Üzemeltetési feladatok automatizálási
lehetőségei, különös tekintettel a mes-
terséges intelligencia alkalmazására

Dr. Nagy Albert

digitális transzformációért
felelős menedzser (BKV)

11¹⁵ Többet ugyanabból!... avagy hogyan
segíti a Mesterséges Intelligencia
a modern munkavégzést

Szabó Péter

ügyvezető igazgató
(Microsoft Magyarország Kft.)

11³⁵ Szünet

11⁵⁰ A Magyar Vagon csoport kialakítása
és aktuális sikerei

Dr. Ludvig László

vezérigazgató (Magyar Vagon
Befektetési Vagyongazdálkodó Zrt.)

Tóth-Maros Dániel

ajánlatadási vezető
(Dunakeszi Járműjavító Kft.)

12¹⁰ Zöld hullám a vasúti és autóbuzos közlekedésben

Dr. Kormányos László
vezérigazgató-helyettes (MÁV-Start Zrt.)

12³⁰ Ideális közösségi közlekedés. Gyakorlat és tudomány

Dr. Horváth Balázs
főtitkár (KTE)

12⁵⁰ Ebédszünet

12⁵⁰ Magyar Közlekedési Szövetség (MKSZ) elnökségi ülése (Zártkörű rendezvény a „Csónakház” épületében)

14⁰⁰ Kerekasztal beszélgetés (KTE)

Témája:
Mobilitási lehetőségek és együttműködő partnerség

Szekcióvezető:

Magda Attila
(FŐMTERV Zrt.)

Kunfalvi Gábor

Zöld Mobilitási Irodavezető (Humda)

Gyulainé dr. Tóth Zsuzsanna

Jogi és Érdekvédelmi Bizottsági alelnök
(Magyar Autóklub)

Szabó Gábor

vezérigazgató-helyettes (Budapest Közút)

Keszthelyi Tibor

elnök-vezérigazgató (FŐMTERV Zrt.)

14⁵⁰ A BKV Zrt. a fenntartható fejlődés útján: Zöld átállás vezényszóra?!

Mészáros-Pintér Szilvia és Káplár Zsófia
osztályvezetők (BKV Zrt.)

15¹⁰ BMT ágazati stratégiák

Bodor Ádám
mobilitásfejlesztési igazgató (BKK Zrt.)

15³⁰ Szünet



I. szekció

Moderátor: Tarsoly András (BKK)

(helyben, az Étterem épületében kialakított teremben)

15⁵⁰ A városmodellezés új generációja: hogyan változnak a munkabérek, ingatlanárak és mobilitási szokások a közlekedésfejlesztés hatására?

Dr. Hörcher Dániel

Kutató (Imperial College London és BME)

Doffkai Réka

MSC hallgató (TU Dresden)

16¹⁰ Trolibuszfejlesztés 2030-ig és azon túl

Schulek Tibor

osztályvezető (BKK Zrt.)

16³⁰ A budapesti közbringarendszer (MOL Bubi) elmúlt 10 évének tapasztalatai

Nagy Bence
(BKK Zrt.)

16⁵⁰ Közösségi közlekedés előnyben részesítésének fejlesztése Budapesten

Vágány András – Tarsoly András
Mobilitásmenedzsment (BKK Zrt.)

17¹⁰ Felmerülő kérdések megbeszélése

Szakmai programlehetőség
BAHART hajók megtekintése; indulás a BKV Zrt. különjáratú turistabuszával a konferencia helyszínéről 17:50 – 19:50

II. szekció

(a Söröző épületében kialakított teremben)

Moderátor: Nagy László (BKV)

15⁵⁰ A villamosok fogyasztásmérésének és a mért adatok feldolgozásának új megközelítései

Vitéz Gergely
járműfenntartási mérnök (BKV Zrt.)

16¹⁰ Villamos járművek vontatási energia mérési és megtakarítási lehetőségei, vontatási feszültség optimalizálás

Vajda Szabolcs
villamos infrastruktúra főmérnök (BKV Zrt.)

16³⁰ Kerék és sín állapot kapcsolatának vizsgálata a Nagykörúton

Dr. Kiss Csaba László szolgálatvezető
Kelemen Zsolt, járműtechnológiai mérnök (BKV Zrt.)

16⁵⁰ Baross kerékeszterga cseréje és új kerékprofil létrehozása, felprogramozása (kihívások és lehetőségek)

Ladányi Sándor
járműfenntartási mérnök (BKV Zrt.)

17¹⁰ Egy szemtanúk nélküli halálos baleset – bizonyítás mozaikokból

Vörös László Kartal
vasútbiztonsági revizor,
vasúti balesetvizsgáló (BKV Zrt.)

Szakmai programlehetőség
BAHART hajók megtekintése; indulás a BKV Zrt. különjáratú turistabuszával a konferencia helyszínéről 17:50 – 19:50

III. szekció

Moderátor: Tóth Csaba (BKV)

(a Csónakház épületében kialakított teremben)

15⁵⁰ A BKK által meghatározott minőségi indikátorok az üzemeltető szemszögéből

Gémesi János
csoportvezető (BKV Zrt.)

16¹⁰ Metróvonalak technológiai informatikai rendszereinek üzemeltetési kihívásai

Schmitter Zsolt
szakszolgálatvezető (BKV Zrt.)

16⁴⁰ A felújított M3 metróvonal komplex tűzvédelmének bemutatása (megfizethető biztonság?)

Davidovics Sándor
csoportvezető (BKV Zrt.)

17⁰⁰ MILLFAV jármű üzemeltetésének fenntartását célzó megoldások kidolgozása és igazolása

Dr. Hartványi Tamás
egyetemi docens (SZE)

17²⁰ Felmerült kérdések megbeszélése

Szakmai programlehetőség

BAHART hajók megtekintése; indulás a BKV Zrt. különjáratú turistabuszával a konferencia helyszínéről 17:50 – 19:50

20¹⁰ Gálavacsora

Szeptember 5., csütörtök Levezető elnök: Nagy László (BKV)

8⁰⁰ Reggeli

9⁰⁰ A káros externáliák minimalizálási lehetőségei a fővárosi közúti közösségi járműgazdálkodásban

Sütő Zsolt
osztályvezető (BKV Zrt.)

9²⁰ A közösségi közlekedés fejlesztési irányai Debrecen városában

Dr. Tóth Szabolcs
vezérigazgató (DKV Zrt.)

9⁴⁰ Legmodernebb kihívások a villamos járművezetők képzésében

Bagosi Attila
csoportvezető (BKV Zrt.)

10⁰⁰ Miskolci villamosvezető utánpótlás – toborzástól a munkába állásig

Demeter Péter
vezérigazgató (MVK Zrt.)

10²⁰ A bécsi U2/U5 metróvonalak bővítése

Hernádi Péter, projektvezető
(Swietelsky Vasúttechnika Kft.)

10⁴⁰ Szünet

11⁰⁰ Az utazási szokások átalakulása Budapesten és környékén – üzemanyag árstop, vármegyeberlet, gazdasági környezetváltozás hatásai

Dr. Tóth Tamás – Dr. Káposzta József
stratégiai szakértők (BKV Zrt.)

Jangel Mátyás
stratégiai főosztályvezető (BKV Zrt.)

11²⁰ SAP válasza a karbantartási kihívásokra (enterprise asset management)

Mezei Ferenc Senior Presales Consultant
(SAP Hungary Kft.)

11⁴⁰ Mesterséges intelligencia felhasználhatóság a közlekedésben

Dr. Bécsi Tamás
egyetemi docens (BME)

12⁰⁰ A közlekedési jövő a kezünkben van

Vitézy Dávid
volt közlekedési államtitkár

12⁴⁰ Felmerült kérdések megbeszélése

13⁰⁰ Konferencia összefoglalók, zárás, elköszönés

13⁰⁰ A „Városi Közlekedés” rész összefoglalása a KTE felkérésében

Molnár László Árpád
(KTE)

13¹⁵ A „City Rail” rész összefoglalása a BKV Zrt. felkérésében

Dr. Döbrei István
igazgató (BKV Zrt.)

Ebéd 13³⁰-tól 15⁰⁰-ig

Opcionális szakmai program a konferenciát követően 2024. 09. 15. 14:00 – 15:30

Részvétel a BKV Zrt. konferenciához kapcsolódóan szervezésre kerülő „Bengáli” nosztalgia villamos különjárat programján (megtekintés és utazás)

Baross kocsiszín → Haller u. → Jászai Mari tér → Blaha Lujza tér → Baross kocsiszín

Jelen program változtatásának a jogát a szervezők fenntartják!



CUSTOMER EXPERIENCE

Transform the everyday for all your passengers

[siemens.hu/mobility](https://www.siemens.hu/mobility)

SIEMENS

Üzemeltetési feladatok automatizálási lehetőségei, különös tekintettel a mesterséges intelligencia alkalmazására

Dr. Nagy Albert

BKV Zrt. Vezérigazgatóság
digitális transzformációért felelős menedzser
telefon: +36/20-775-04-00
e-mail: nagy.albert@bkv.hu

Abstract

A közösségi közlekedés folyamatos fejlődése mellett a technológiai innovációk, különösen a mesterséges intelligencia alkalmazása új lehetőségeket nyit meg az üzemeltetési hatékonyság növelésére, amelyek hozzájárulhatnak az intelligens városi mobilitási megoldásokhoz, a közlekedés-menedzsment eszközrendszerének összetettebb elemzéséhez és fejlesztéséhez. A BKV sok évtizedes tapasztalatával, a legjobb gyakorlatok felhasználásával, az adattudománynak és a gépi tanulásnak a támogatásával lehetőség lenne egyes üzemeltetési feladatok automatizálására, az ún. intelligens üzemeltetés bevezetésére. Ez a cikk arra tesz kísérletet, hogy felvázolja az olyan technológiai lehetőségeket, mint a számítógépes látástechnológia, anomália detektálás, természetes nyelvi feldolgozás, valamint a tudásbányászat, egyúttal feltárja az egyes, az üzemeltetési területek előtt álló kihívásokat, mint a járművekből származó szenzoradatok feldolgozásának automatizálását, a járművezetés támogatását, vagy a modern irodai munkavégzés új megközelítéseit.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, MI, generatív mesterséges intelligencia, prompt, közösségi közlekedés, nagy nyelvi modell, LLM, GAN, GPT, LDA, Azure AI, Copilot, gépi tanulás, machine learning, mély tanulás, AAD, PCA, MAR, IQR, DTW, Autoencoder, Weibull, TEC, RNN, CNN, NLP, Open AI, RAG

Bevezetés

A közösségi közlekedés, mint szervezési forma folyamatosan fejlődik. Ahogy a befogadó városok növekednek, folyamatosan nő az utasok száma, és ezzel párhuzamosan fejlődik a technológia is [1]. Az utazási szokásokat az új technológiák megjelenése is befolyásolja. A közlekedési vállalatok költségeinek döntő része járműveik üzemeltetéséből származik, ideértve a járműpark fenntartását, az üzemanyag felhasználást, a karbantartási költségeket és a járművezetők fizetését. Ezért az automatizálással a gazdaságossági törekvések ezen költségek optimalizálására vonatkoznak, így kritikus feladatnak tekinthetők [2]. A Budapesti Közlekedési Zrt. (a továbbiakban: BKV) stratégiai célja, hogy vonzó szolgáltatóként a budapesti mobilitási rendszer meghatározó tagja legyen. A közszolgáltatás teljesítése szempontjából fontos, hogy az üzemeltető a lehető legkényelmesebben használja fel forrásait.

Az elmúlt időszak egyik leggyorsabban fejlődő ipari, gazdasági és társadalombefolyásoló informatikai iránya a mesterséges intelligencia (továbbiakban MI), amely már jelen korunkban is az élet számos területén megtalálható digitális eszközök funkcióiba integrálva vagy a különböző

szoftverek részeként. Az MI fejlődésére és terjedésére napjainkban jellemző tendencia a következő években és évtizedekben nagy valószínűséggel egyre dinamikusabbá válik majd. Éppen ezért célként fogalmazzuk meg az üzemeltetési feladatok automatizálási lehetőségeinek feltárását, különös tekintettel a mesterséges intelligencia alkalmazására.

A közelmúltig az ilyen jellegű feladatok megvalósítása számítási nehézségekbe ütközött, mára viszont a technológia fejlődése, az alkalmazott modellek és az azokat megoldó algoritmusok lehetővé teszik a nagyobb méretű, a valóságban ténylegesen előforduló feladatok tárgyalását és megoldását. Ez a gyakorlatban a közlekedésmenedzsment azon eszközrendszerének elemzését és fejlesztését jelenti, amely a rendelkezésre álló erőforrások hatékonyabb, gazdaságosabb használatát, valamint az általuk biztosított szolgáltatások színvonalának emelését támogatja. Egyrészt alapvetően fontos az üzemeltetést érintő főbb kihívások és abban rejlő optimalizációs lehetőségek, karbantartási feladatok megkönnyítésének azonosítása, másrészt a gyakorlatban felmerülő problémák megoldását segítő olyan vizsgálatok és módszerek kidolgozása, amelyek hasznos eszközként szolgálhatnak a döntéstámogatásban és a gyakorlati üzemeltetésben.

1. Új munkamódszerek megjelenése

A nagy informatikai megoldások gyártói az új technológiáknak köszönhetően az üzleti fejlesztéseket, változtatásokat egyre inkább a végfelhasználókhöz rendelik, melynek előnyei akkor aknázhatók ki, ha az üzemeltetési területek hozzáértése párhuzamosan növekszik az IT kompetenciákkal. Az új informatikai eszköztárakkal IT programozói ismeretek nélkül, előre elkészített funkcionális modulokból hozhatók létre üzletileg hasznos alkalmazások, folyamatok, elemzések stb. Azonban ezek használatához mélyebb ismeretekre van szükség, mint amennyivel egy átlagos irodai felhasználó jelenleg rendelkezik.

Ahhoz, hogy további költségcsökkentést lehessen elérni, hatékonyabb informatikai rendszereket kell alkalmazni. Az eddigi munkamódszerekhez képest másként kell közelíteni a feladatokhoz, az üzemeltetési területek kompetenciáit párhuzamosan kell fejleszteni az informatikai kompetenciákkal, s a működési modellt olyan módon átalakítani, hogy jobban alkalmazkodjon a technológia adta lehetőségeihez.

Munkavállalói félelmek, technostressz

Az infokommunikációs technológiák fejlődése és a digitalizáció rohamosan változtatja meg a mindennapi munkavégzést. Az új technológiák megjelenése általában együtt jár egyfajta szorongással is. Sok munkavállaló amellett, hogy kíváncsi is, már most tart az új technológiákra való átváltástól, mint pl. a mesterséges intelligencia, vagy az új SAP S4 rendszer, és nagyon szeretné megérteni, milyen változásokra lehet majd számítani a jövőbeli munkái során. A technostressz a digitális eszközök használatával járó feszültség, amelyet az egyén tapasztal, amikor nem tudja hatékonyan kezelni a technológiai igényeket, változásokat vagy túlterheltséget. A technostressz fogalmát Craig Brod vezette be, mint egy modern alkalmazkodási betegséget, amely az új számítógépes technológiák kezelésének képtelenségéből fakad [3]. Brod szerint a technostressz közvetlenül fizikai és mentális feszültségeket okozhat az egyének számára, mint például magas vérnyomás, szívbetegségek és mozgásszervi rendellenességek. A munkahelyi követelmények gyakran olyan stresszt generálnak, amely a munkahelyi feladatok és a technológiai változások következményeként keletkezik. Ez a stressz abból adódik, hogy a munkavállalóknak meg kell felelniük a gyakran változó technológiai elvárásoknak és követelményeknek, ami nyomást gyako-

rolhat rájuk. A technostressz kezelése és a megfelelő támogatás biztosítása fontos a szervezeti működés és a munkavállalók jóllétének fenntartása érdekében.

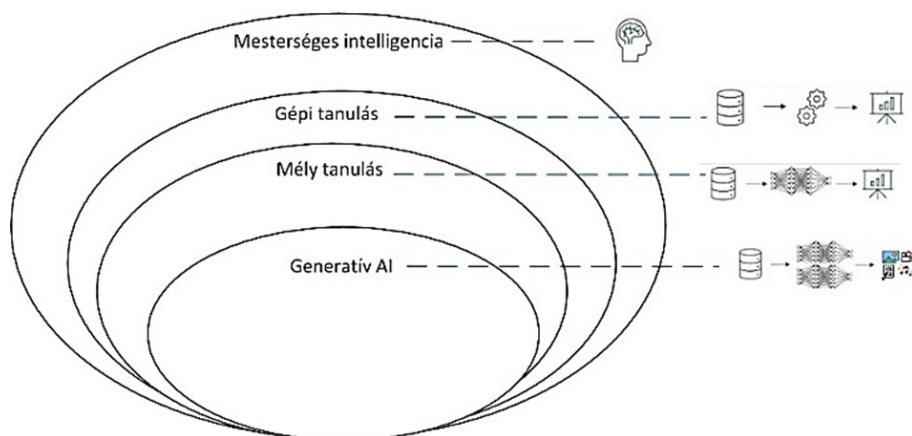
2. Mi az a Mesterséges Intelligencia (MI)

Az elmúlt évtizedekben a mesterséges intelligencia (MI) fejlődése forradalmi változásokat generált, amely folyamat a közösségi közlekedés üzemeltetésére is jelentős hatással bír. Ez a fejezet áttekintést nyújt az MI használatának dinamikus fejlődéséről, különös hangsúlyt fektetve az üzemeltetési feladatok automatizálási lehetőségeire. Az általános ismertetésen túl mélyebben tárja fel a mesterséges intelligencia dimenzióit, bemutatva azokat a kihívásokat és lehetőségeket, amelyekkel a társaságok szembesülnek az intelligens technológiák bevezetése során. Az MI nem újdonság, az adatok mennyiségének robbanásszerű növekedése, a számítási teljesítmény növekedésével párosulva jelentős hatással van az üzleti műveletekre [4]. A mesterséges intelligenciával szinte mindenki találkozott már. Ha más módon nem is, a ChatGPT-n keresztül. Ez egy bárki által szabadon hozzáférhető program, amely tanul, és új tartalom generálásával az internet segítségével old meg problémákat. Begépelve egy kérdést, jó eséllyel hamarabb megválaszolja helyesen, mint ahogy mi kikeresgetnénk a választ az interneten. Ezenfelül a „fizetős” verzió egész komplex feladatokat képes megoldani (például képes lépésről lépésre megoldani és elmagyarázni egy egyenlet megoldását). Az MI-nek emberi arca lett, a generatív AI, a ChatGPT megjelenésével áttörte az ingerküszöböt.

A társaságoknak foglalkozni kell ezzel a kérdéssel már csak azért is, hogy ne menjenek ki a céges adatok a munkavállalók ingyenes, saját munkájukat könnyítő MI megoldások használata miatt. A ChatGPT használata bizonyos feladatok esetén hatékonyan támogathatja a személyes, irodai munkavégzést, ezért nagy a csábítás, hogy érzékeny munkahelyi dokumentumokat is feltöltve a felhőbe megkönnyítse a napi munkavégzést. Ezért érdemes megfontolni már az MI bevezetés kezdeti szakaszában is a Copilot bevezetését olyan környezetben, ahol túlnyomó többségében Microsoft technológiák vannak használatban. A Microsoft és a LinkedIn által évente elvégzett Work Trend Index kutatás célja, hogy tájékoztassa a szervezeteket az aktuális munkaerőpiaci trendekről, és segítsen felkészülni a változásokra [5]. Az ideji, 31 ezer munkavállaló bevonásával készült globális kutatás azt mutatta, hogy négy munkavállalóból három már használja az AI-t, ám sem ők, sem a munkaadók nincsenek felkészülve arra a radikális változásra, amit ez magával hoz. A felhasználók a saját AI-eszközeiket használják munkavégzésre, keresik a lehetőségeket az ismereteik bővítésére. A munkavállalók által használt saját AI-megoldásokat senki nem tesztelte és vezette be hivatalosan, így azok nem illeszkednek a vállalat információbiztonsági előírásaihoz. A mesterséges intelligencia kifejezés elfogadásával van egy szkepticizmus, a tudományos pontosság miatt.

Horváth 2023-as tanulmányában kifejti [6], hogy miért bonyolult értelmezni ezt a definíciót. Magának az intelligencia fogalmának is vannak még tisztázatlan részei, így ennek függvényében nehéz meghatározni, hogy egy számítógép mikor és hogyan intelligens. A Turingteszt alapján, ha egy számítógép képes a természetes nyelv segítségével megérteni az utasításokat, és ugyanezzel képes kifejezni magát, képes emlékezni, érvelni és tanulni, sőt ehhez akár hangi/képi anyagokat is feldolgoz közben, akkor MI-ről beszélhetünk [7]. A mesterséges intelligencia szókapcsolat nyelvtani elemzéséből kiindulva megállapíthatjuk, hogy míg a mesterséges szó emberi beavatkozás vagy tevékenység eredményeként létrejött dolgot takar, az intelligencia szó jelentése már nehezebben behatárolható. A magyar nyelv értelmező szótára alapján fejlett értelmi, megértő ítélőképességet jelent. Az elmúlt időszakban kifejlesztett és egyelőre használatban

lévő MI rendszerek fejlettsége még nem mérhető az emberi intelligenciához. Az MI egy nagyon széles spektruma a különféle információs technológiáknak, amelyek révén létrejöhetnek az emberi gondolkodást, kognitív funkciókat utánozó gépek, hasonlóan látnak, beszélnek, elemeznek, reagálnak. Az MI lényegében szoftver, a statisztikai modellek, algoritmusok és számítási módszerek összefolyásában gyökerezik. Az MI tehát olyan – számítógépeken futó – programok összessége, amelyek célja az emberi gondolkodásmód és annak absztrakt, kreatív és deduktív alapokon nyugvó döntéseinek lemodellezése [4]. Pontosabb kifejezés a „gépi tanulás”, az „algoritmikus modellek” vagy az „adatvezérelt szoftver”. Bizonyos értelemben az MI nem más, mint matematika. Az adatokban minták kereséséről van szó, ami lényegében a matematika tárgya. A mesterséges intelligencia fejlesztésének és kutatásának területét 1956-ban alapozták meg a dartmouthi konferencián, ahol a kor vezető számítógéptudósai és információelméleti szakértői gyűltek össze, hogy megvitassák a téma égető kérdéseit. Köztük volt John McCarthy, a Stanford későbbi professzora, aki először használta egy publikációban a mesterséges intelligencia kifejezést [7]. Amennyiben az MI-t halmazokkal szeretnénk ábrázolni, akkor a legnagyobb halmaz maga az MI, lásd 1. ábra. A részhalmazok részletesebben a következő fejezetekben kerülnek kifejtésre.



1. ábra.

A Mesterséges Intelligencia világa (saját szerkesztés)

3. Az MI felhasználási lehetőségei az üzemeltetésben

Napjainkban a városi közlekedés legkülönbözőbb területein találkozhatunk MI technológiával. Ezzel együtt a közlekedésben a biztonságos üzemeltetést, utasok biztonságát nehéz túlbecsülni. Az MI által lehetővé tett prediktív modellezés és döntéstámogató rendszerek ezen törekvések elérésében is szerepet játszhatnak, de újabb, kezelhető kockázatokat is magukban rejtenek. Az adatelemzés és a gépi tanulás segítségével az üzleti folyamatok optimalizálhatók, ezáltal az üzemeltetés hatékonysága tovább növelhető.

A BKV-nál rendelkezésre álló adatvagyonból és technológiával ma már olyan rejtett és komplex összefüggések, függőségek kinyerése lehetséges, melyek felderítése a hagyományos módszerekkel (irodai alkalmazások, adatbázis-kezelő rendszerek stb. segítségével) szinte lehetetlen. A meglévő forrásokból levont következtetések sok esetben kis hatékonysággal támogatják az üzleti területek vezetőinek a munkáját. Az informatikai rendszerekben található és a napi mun-

kavégzés által bevitt adatokban a helytelen adatrögzítés kockázata magas, nagy eséllyel keletkezhet hibás adatáramlás is a különféle excel táblázatok, makrók stb. miatt. Az adatok rögzítése az esetek túlnyomó részében utólagosan történik, ezáltal a valós idejű munkafolyamatok végrehajtását nem tudja támogatni. Az üzemeltetési területeken a napi munkában jelenleg is óriási az adminisztrációs teher. Az előálló óriási adatmennyiség strukturált feldolgozása, elemzése és az ebből való következtetések levonása magasabb szintű statisztikai vizsgálatokkal, mint pl. döntési fa, scenario elemzések, hatásvizsgálatok, clusterezés, text elemzés, illetve adat-vizualizáció stb. nem csak jobb válaszokat, hanem előrejelzéseket is nyújthat, ezzel egészen újfajta eszközkészletet adhat a közlekedésszervezők, üzemeltetők kezébe. A legnagyobb előnye, hogy jóval gyorsabb elemzési ciklus érhető el alkalmazásukkal, mivel a gyártók és partnerek jól használható kész eszközöket kínálnak az elemzési lépések mindegyikére.

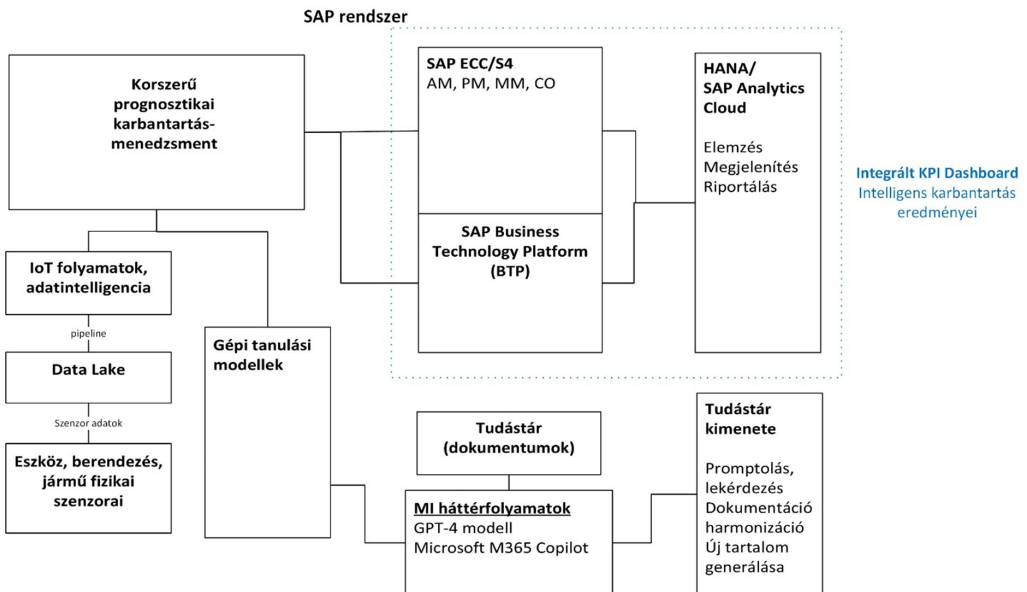
3.1 Karbantartás-menedzsment rendszerek

A karbantartás-menedzsment rendszerek fejezet a városi közlekedés működtetésével kapcsolatos különféle stratégiákba és módszereibe nyújt betekintést. Az IEC 50(191):1990 szabvány szerint a karbantartás „mindazoknak a műszaki és adminisztratív tevékenységeknek a kombinációja – ideértve a felügyeleti tevékenységeket is – amelynek célja az, hogy a terméket előírt funkciójának teljesítésére alkalmas állapotban megtartsák, illetve ebbe az állapotba visszaállítsák.” Emellett a karbantartási tevékenység az „adott cél elérése érdekében végzett elemi karbantartási tevékenységek (műveletek) sorozata” [8]. Tehát a karbantartás az üzemeltetési folyamatot kiszolgáló szolgáltatási tevékenység, mely szűkebb értelemben a tervezett karbantartási intézkedéseket, míg tágabb értelemben – mint üzemfenntartási folyamat – a váratlan hibák elhárítását és az egyéb fenntartási célú munkákat is magában foglalja [9]. Az állapotfüggő karbantartást a diagnosztikai eljárások bevezetése tette lehetővé, mivel az üzemi jellemzők változásaiból, az előírt értékek ismeretében meghatározható a berendezés állapota, a javítás szükségességének várható időpontja. A diagnosztikai vizsgálat lehetővé teszi az üzemi jellemzők meghatározását a gépek szétszerelése nélkül. Az idő előrehaladtával a számítástechnika fejlődése lehetővé tette a meghibásodások korszerűbb elemzését, így a megbízhatóság központú, valós műszaki állapot szerinti karbantartás (Reliability Centered Maintenance - RCM) bevezetését. Ez a gépi tanulásban egy olyan megközelítést jelent, amely a gépek és berendezések karbantartási stratégiáját a teljes működési ciklusra a megbízhatóságuk és a valós műszaki állapotuk alapján határozza meg. A meghibásodás ill. a megbízhatóság valószínűsége az előírt határértékek alapján szintén előre meghatározható a javítás várható igénye és időpontja. Egy termék vagy szolgáltatás műszaki megbízhatóságán azt a képességet értjük, hogy az üzemeltetés meghatározott feltételei mellett megőrzi a minőségét, így a minőség időbeli alakulásának tekinthető. A megbízhatóságot alapvetően a hibamentesség, a javíthatóság, a karbantarthatóság és a tartósság együttesen határozzák meg.

A korszerű prognosztikai karbantartás-menedzsment rendszer magába foglalja a closed loop stratégia elérését, amely teljeskörűen tudja támogatni az eszközök üzem közbeni állapotának nyomon követését, a folyamatok összekapcsolását egységes digitalizált megoldás segítségével. Az eszközök, berendezések, járművek állapotának holisztikus kezelésére szolgál, és döntéstámogatást nyújt a karbantartási ütemezéshez és az erőforrások optimalizálásához az állapotértékelések, az anomáliák észlelése és a gépi tanulás alapján. Az eszköz állapotáról részletes információ áll rendelkezésre, ennek előfeltétele a pontos és részletes nyilvántartás, valamint az eszközök szenzorokkal való felszerelése, ahol még nincs, illetve maga a korszerű karbantartás-menedzsment alkalmazás. Szerencsére ma már ezen rendszerek többnyire integrált megköze-

lítést használnak, teljes mértékben vállalatspecifikusan bevezethetők, tekintetbe véve az SAP ECC/S4 vállalatirányítási rendszereket is. A karbantartási rendszer ilyen üzleti folyamat keretében történő leképezésére mutat példát a 2. ábra.

A rendszer által nyújtott lehetőségek olyan további korszerű, hatékony és naprakész vezetői információs rendszer kialakítását és használatát biztosíthatná, melynek alapadatai a BKV SAP rendszerében többségében már rendelkezésre állnak, de azok vizuális és informális megjelenítésére jelenleg csak külön munkafolyamatok megvalósulása (pl. excel táblázatok használata) után van lehetőség. Ma még kihívást jelent a különböző forrásokból származó érzékelőadatok összevetése annak érdekében, hogy intelligens karbantartási modellek kerüljenek kialakításra, de a technológia rohamléptékben fejlődik.



2. ábra.

Prognosztikai karbantartás-menedzsment rendszer (saját szerkesztés)

Mobilitási adatok rendelkezésre állása

Különböző helyekről, különféle forrásból gyűjtött adatokat, valós időben vagy kötegelve adattárházban célszerű gyűjteni, ez az alapfeltétele annak, hogy a nagy adathalmazok teljesen automatizált gyors adatfeldolgozását meg lehessen valósítani. Az SAP HANA adatbáziskezelője lehetőséget teremt a szerteágazó forrásokból származó adatok valós idejű elemzésére. Felhasználói egy olyan memóriaalapú üzleti platformhoz jutnak, amely bármilyen típusú tranzakciót vagy adatot egyszerre képes feldolgozni a multi-modell adatkezelő motorjának köszönhetően. Működése arra az alapelvre épül, hogy az adatok nem a merevlemezre kerülnek, hanem a számítógép rendszermemóriájába. Így az adatok kiértékelése akár több ezerszer gyorsabb lehet a hagyományos tárolási mód mellett megvalósított adatfeldolgozáshoz képest. Az újszerű feldolgozási képességei teljesen új üzleti modellt tesznek lehetővé azáltal, hogy strukturálatlan adatokat is kombinál a meglévővel, és azokat új kontextusokban használja fel. A teljesség igénye nélkül az adatok a BKV-nál a következő forrásokból állhatnak rendelkezésre:

1. Eszközökből származó gyártói adatok
 - eszköz (Asset),
 - karbantartási útmutatók, szabályzatok, utasítások stb.
2. Üzemeltetésből származó adatok
 - futár, GPS, ticketing, üzemeltetési adatok (ATS), kameraképek (CCTV), LiDAR, Radar
 - utas adatok,
 - SAP, ForTe, stb.
3. A járművekhez kapcsolódó adatok
 - energia, infra, jelzésrendszerek, gördülő állomány
4. Külső felektől származó adatok:
 - Főváros, BKK, Közlekedési Hatóság, utazási adatok, városi adatok.

4. Hatékonyság növelése modern, intelligens üzemeltetéssel

A mobilitás területén szerzett több évtizedes tapasztalat, a legjobb gyakorlatok felhasználása, a dolgok internetének (IoT), az adattudománynak, a mesterséges intelligenciának és a gépi tanulásnak a támogatásával lehetőség lenne egyes üzemeltetési feladatok automatizálásra, az ún. intelligens üzemeltetés bevezetésére. Általános megközelítés, hogy az adatok megszerzéséhez szenzorokat és vállalatirányítási rendszereket használnak, fejlett adattárolási és modellezési technológiákat tartalmaznak azon célból, hogy újabb, fejlettebb, intelligens üzemeltetési és karbantartási rendszer épüljön ki.

A társaságoknál nem lehet általános megközelítést alkalmazni. Minden vállalati kontextus egyéni, más és más, speciális domain beállítások jellemzik, ilyen értelemben társaságra szabott MI megoldások tűnnek célravezetőnek [10]. Ugyanakkor a gyártói oldalon az látszik, hogy törekednek a standard MI motor alkalmazására, amivel több feladattípust le lehet fedni.

A modern, intelligens üzemeltetés magában foglalja az alábbi célok elérését:

- döntéstámogató rendszerek bevezetése
 - döntés előkészítés: adatelemzés, prediktív analitika, mintázatok keresése, kockázatelemzés, szimuláció,
 - automatizált döntéstámogatás: felismeri a szokásos helyzeteket és javaslatokat tesz a lehetséges lépésekről,
- digitalizáció és mesterséges intelligencia (gépi tanulás) megjelenése a budapesti közösségi közlekedésben, ezen keresztül az erőforrásráfordítások csökkentésének lehetősége,
- a járművek, jelzőrendszerek, pálya menti eszközök és infrastruktúra karbantartásának optimalizálása,
- magasabb szintű műszaki megbízhatóság és biztonság (pl. baleseti károk megelőzése, kedvezőbb rendelkezésre állás) a járművezetők korszerűbb tájékoztatásával,
- jármű- és járművezetői keretkészítés algoritmikus automatizálása,
- beosztáskészítés automatizálása,
- környezeti fenntarthatósági és energiahatékonysági célok teljesítése, illetve a CO₂-kibocsátás csökkentése.

4.1 Döntéstámogató rendszerek az üzemeltetésben

A prediktív modellezés arra irányul, hogy adatokból előrejelzéseket készítsen. Az MI képes felfedezni a rejtett mintákat és előrejelzéseket készíteni. A modellezés által létrehozott előrejelzések egyesíthetők a döntéstámogató, vállalatirányítási rendszerekkel. Az előrejelzések mellett más

forrásokat összekapcsolva integrálja, további iránymutatásokat lehetővé téve a döntéshozók részére, hogy adatvezérelt döntéseket lehessen hozni [10]. A műszaki erőforrások üzemeltetésére és karbantartására vonatkozó SAP, ForTe, stb. adatbázisokban összegyűjtött nagy mennyiségű adat önmagában nem garantálja a hatékony döntéshozatalt az üzemeltetési stratégia kiválasztására, a szerviz- és javítási munkák elvégzésére, illetve az ezek végrehajtásához szükséges megfelelő erőforrások kiválasztására vonatkozóan. Ehhez olyan tudásra van szükség, amely a mesterseges intelligencia és a gépi tanulás alkalmazásának köszönhetően egyre inkább rendelkezésre áll a társaságoknál. A modell használatával lehetőség van a jármű műszaki állapotának felmérésére, a járműjavítás időpontjának jelzésére, az energia- és közműfogyasztás optimalizálására, és a járműjavítások elvégzéséhez szükséges erőforrások megtervezésére is.

A BKV vasúti területen a járművekből származó szenzoradatok (EVR) feldolgozásának automatizálása időszerű lenne a felmerülő igények, vizsgálatok lebonyolításához. Jelenleg az adatkiértékelő szoftver az események kivizsgálása érdekében kerül felhasználásra. EVR letöltés félhavonta, illetve eseti meghibásodások esetén történik. Az automatizálás egyértelmű hatékonyságnövekedést okozna, tekintettel arra, hogy ma a teljes járműflotta egy napjának kiértékelése közel 1 hetet venne igénybe, amely automatizálás nélkül eleve szinte kivitelezhetetlen. Ehhez a járműveket célszámítógéppel kellene ellátni az érzékelőadatok valós idejű begyűjtéséhez, amelyek a TCMS hálózatra csatlakoznának az MPU járművezérlőn keresztül. Amennyiben a feltételek rendelkezésre állnak, a következő feladat az adatmodell készítés.

4.2 Adatmodell készítés

Szenzoradatok: A megfelelő adatminőség elérésére az első feladat az adattisztítás és az adatok előfeldolgozása. Ezt követően történik az adatok megértése és az adatelőkészítés, majd a vizsgálathoz szükséges adatkörök beazonosítása, a hiányzó betöltendő adatok, fizikai összerendelése, majd az elemzéshez alkalmas formátumban történő betöltése az adattárházba. Fontos szempont az adatok konzisztenciájának vizsgálata, hiszen az átadott adatok különféle forrásból származnak. Szükséges annak vizsgálata, hogy a forrásadatok tartalmazzanak-e hibákat, hogy az elemzésnél ezeket milyen módon kell és lehet szűrni. Ilyen hibák lehetnek például: oda nem illő, vagy hiányzó adatok, hibás hivatkozások és kódolások, illetve adattípus hibák.

A megfelelő algoritmus kiválasztása kritikus, szerencsére ma már ezen a területen komoly fejlődés tapasztalható, erről a Gyakorlati gépi tanulási modellek c. fejezetben található említés. Az adatmodell kiválasztást követően jön a modell betanítása, validálása, tesztelés, performancia. Itt van szerepe a „no free lunch” („nincs ingyen ebéd”) megközelítésnek, ami azt jelenti, hogy jól meg kell tervezni az algoritmusokat, amelyek jól teljesítenek egy adott feladatban, de az addig vezető út sok iterációs folyamatból áll, és rendkívül hosszú ideig tart, sok nehézségen keresztül vezet. Bizonyos értelemben egyetlen gépi tanulási algoritmus sem jobb, mint bármelyik másik. A vizsgálódásoknak nem célja egy univerzális tanulási algoritmus vagy az abszolút legjobb tanulási algoritmus megtalálása, hanem megérteni, hogy milyen eloszlások relevánsak a gyakorlatban a megoldandó feladat szempontjából. A felügyelt/felügyelet nélküli gépi tanulási algoritmusok, anomália detektálás, ajánlórendszerek, konvolúciós neurális hálók, a rekurrens neurális hálók, a Support Vector Machines programok és sok más alkalmazás mind más környezetben válhat be a legjobban. Hogy melyiket érdemes felhasználni a munka elvégzésére, elsősorban azt szükséges megérteni, hogy a különféle rendszereknek mik a korlátaik vagy éppen erősségeik. A modell alkalmazása (deployment) is fontos technológiai kérdés, de ezekre gyakorlati megoldások rendelkezésre állnak a társaságok informatikai rendszereiben. Végül következhet az elem-

zés, összegzés, javaslatétel. A nyomon követhetőség, más/új projektekhez való illeszthetőség végett szükséges a modelleket rendszeresen karbantartani.

4.3 Anomália detektálás

Az anomália detektálás olyan, gépi tanuláson és fejlett analitikán alapuló módszer, amely az adatok időbeli elemzésével azonosítja a szokatlan változásokat [11]. A rendelkezésre álló adathalmazban az algoritmus azonosítja azokat a váratlan, kiugró értékeket, melyek jelentősen eltérnek a szokásostól.

A mélytanulás, mint a gépi tanulás részterülete, a mesterséges neurális hálózatok egy kiterjedt osztálya. Az egyik legfontosabb képessége, hogy képes összetett mintákat felismerni és tanulni az adatokból anélkül, hogy túlzottan részletes instrukciókat kellene kapnia. A mesterséges neurális hálózatok a neuronhalmazt és a hozzá kapcsolódó idegpálya-útvonalakat képzik le, az agy szerkezetét modellezzik. A beérkező adatokat összegzik, és előállítanak belőlük egy kimenetet, amelyet aztán továbbítani tudnak a többi neuronnak.

A neurális háló képzése három egyszerű lépésben történik, amelyek a következők: adatgyűjtés és osztályozás, modellképzés és az elkészült modell exportálása, felhasználása. Adatgyűjtés során egy megfelelő mennyiségű és minőségű adattal feltöltött halmazt kell létrehozni (ezek a kívánt tevékenység alapján állhatnak kép, hang vagy videófájlokból). A feltöltött elemeket csoportosítani szükséges, ami a példák osztályokba vagy kategóriákba rendezését jelenti, ezeket kell majd a neurális hálónak megtanulnia.

A mélytanulás hatékony lehet adatvezérelt környezetben, ahol a robotok, szenzorok, IoT eszközök, digitális ikrek együttműködésével növelhető a teljesítmény, ahol létfontosságú a begyűjtött rengeteg adat kezelése.

A vasúti üzemeltetési területen a gördülőállomány karbantartása a tervezett karbantartási feladatokon alapul, mivel a nem tervezett leállások súlyos üzleti kockázatokkal járhatnak. Az állapotfüggő vagy akár kép- és érzékelőadatokon alapuló prediktív alapú karbantartás egyre elterjedtebbé válik [12].

Egy tipikus példa az áramszedő (pantograph), amely a gördülőállomány egyik kritikus alkatrésze, természetes módon elhasználódik és tervezett karbantartást igényel. A tényleges kopás értékelése általában a gördülőállomány üzemen kívül helyezésével lehetséges. Fixen telepített szenzorok (kamerák) használatával az alkatrészeiről készült képeket rögzítik, s a számítógépes látás automatizálja a képek feldolgozását és levezeti a fennmaradó hasznos élettartamot. Az intelligens karbantartási tevékenységekhez gépi tanulási (ML) modellt alkalmaznak.

4.4 Számítógépes látástechnológia

A számítógépes látástechnológia vizuálisan, kamerán, videón és képeken keresztül való értelmezésére való képesség. A mély neurális hálózatok egyik leggyakrabban használt típusa a képelemzéstől az arcfelismerésig és az optikai karakterfelismerésig, a mozgás elemzésére, valamint a tartalom felfedezhetőségére.

Napjaink MI-kutatásai nagy számságban az objektumfelismerés vagy képelemzés témájában zajlanak [13]. Az objektumfelismerés kifejezést gyakran szinonimaként használják a képelemzés és képfeldolgozás szavakra, de a két fogalom között lényeges eltérés van. Az objektumfelismerés fogalmát leggyakrabban azokra a szoftverekre kell érteni, amelyek élő képen, de inkább videós anyagon képesek kategorizálni és felismerni az előre betáplált alakzatokat. Ezek egymástól gyökeresen eltérő méretű, formájú, színű és egyéb tulajdonságú tárgyak, eszközök. Ezzel szemben a képelemzés (Image Processing) lényege, hogy az egymáshoz nagyon hasonló tárgyak, tárgykategóriák között az adatbázis felhasználásával a tanulási folyamat eredményeként a létrejövő

neurális háló képes legyen minimális, apró színbeli, formabéli vagy más eltéréseket azonosítani, majd betanulni, és így valamekkora bizonytalansággal a későbbiekben a felhasználás során meg is különböztetni azokat.

A képfelismerő vagy konvolúciós neurális hálózatok (convolutional neural network – CNN) tanulási folyamatának kiindulási alapja a nagy mennyiségű, megfelelő minőségű, részletességű, pontos és hiteles forrásból származó képi adatbázis [14]. Minden felismerendő tárgyról, eszközről közel azonos számú képet ajánlott tartalmaznia az adatbázisnak. Ezzel elkerülhető a túltanítás jelensége, amely akkor jön létre, ha adott tárgyról arányaiban nagyon sok, egy másik tárgyról arányaiban kevés kép kerül az adatbázisba. Így a kiépült neurális hálózat arányai eltolódnak, és az mindenben azt a tárgyat fogja felismerni, amelyikről a jelentősen több kép készült. A háló a működése során közvetlenül a képek pixeleinek csoportjából vonja ki az információkat, ezáltal nincs szükség az előtanításra. A CNN kialakítja a saját vizsgálati szempontrendszerét, miközben a betáplált képi adatbázison fejlődik. A képeket kategorizálni kell és mindegyik kategória neurális hálóját többször, eltérő epochs- és batch size paraméterekkel kell tanítani, így meg lehet határozni a vizsgált párosítások közül a kategóriához legjobban illő arányokat [15]. Egy epoch a mintahalmaz egyszeri végigfuttatása a neurális hálón, a batch size lényege pedig, hogy egy tanulási ciklusban meghatározott számú képet tanít be a neurális hálónak.

4.5 Járművezetéstámogató rendszerek automatizálási lehetőségei

A járművezetéstámogató rendszerek célja a járművezető támogatása a potenciális veszélyhelyzetek felismerésében, csökkentve ezáltal az ütközéses balesetek számát, illetve súlyosságát.

A villamosközlekedésben jellemző baleseti ok az úrszelvénybe nyúló tárgynak ütközés. A villamos jármű kialakítása és ívekben történő mozgási sajátosságai, a járműszerkevény kilógása miatt ez gyakran a villamos hátsó, a járművezető által már nehezen felügyelhető részével történik.

Az úrszelvényben lévő tárgy észlelése a számítógépes látástechnológián alapul. Lényege, hogy szenzorok (kamerák) segítségével pásztázza a jármű haladási irányában lévő környezetet, és a képi tartalom felismeréssel detektálja a környezetét, követi a mozgásokat. A keskeny MI alkalmazása esetén nem avatkozik be a jármű vezérlésébe, a veszélyhelyzet felismerése esetén látható és hallható formában figyelmezteti a járművezetőt. A széles MI már képes az automatizált üzemre is.

A járművezetők munkájának további támogatására az infrastruktúra és menetrendi információk járművek felé történő továbbítása is előnyös lenne. A gyakorlati megvalósításhoz azonban rengeteg szempontot figyelembe kellene venni, amit jelen cikk nem tárgyal, ilyenek pl. a járműszoftverek, a Futár rendszer és a megjelenítés kijelzőbe integrálási egyéb lehetőségei stb. A legkézenfekvőbb megoldás egy járművezetőt támogató mobil alkalmazás lenne, amely alkalmas arra, hogy valós idejű információk jelenjenek meg a járművezető felé az infrastruktúráról és a menetrendi információkról: pl. a sebességkorlátozás előrejelzése, hátralévő távolság kijelzése, szabad közúti jelzés, illetve tilos jelzéséből mennyi idő van még hátra, jelzés adása, ha a szelvény a lassan járható pályarészről illetve infrastruktúra elemről lehaladt, vagy az áramkorlátozással ellátott szakaszra történő figyelemfelhívás, infrastruktúra hiba jelzése, illetve több viszonylat által használt végállomáson információ adása arról, hogy milyen sorrendben fognak indulni a villamosok, valamint a fonódó pályaszakaszon menetrendi behaladási sorrend jelzése, vágányzárak, rendkívüli forgalmak vagy kocsiszíni menetek esetén az útvonal kijelzése stb.

A járművezetői portál képes lenne a vizuális megjelenítésre, mint például az ábrás, fényképes információ fogadási lehetőség a fődíszpécsertől vagy egyéb területektől (pl. új sebességkorlátozás helyszínének fotója stb.)

4.6 Gépi tanulás (Machine learning, ML)

A gépi tanulás az MI egy olyan részterülete, ahol matematikai adatmodellek (algoritmusok) segítségével történik az adatok elemzése és az erre épülő döntéshozatal. A szakértői rendszerek és a tudásbázisok mellett a jelenleg sikerrel használt ML rendszerek ötlete is már évtizedek óta ismert volt, de a tanításhoz szükséges kellő mennyiségű adat hiányában ezek sem terjedtek el [16].

Az MI az ilyen tanulás során algoritmusok által definiál különböző mintázatokat az adathalmazban (a tanulóhalmaz segítségével), amelyekből adatmodelleket generál, és így lesz képes azokból előrejelzéseket (eredményeket) készíteni. Ennek következtében a meglévő adatok és az azokkal kapcsolatos tapasztalatok száma az idő előrehaladtával folyamatosan növekszik, ezáltal sokkal pontosabbá válik az adatmodell és a feladatok végrehajtása is. Ezt leginkább azzal lehet szemléltetni, hogy az ember egy adott tevékenységet gyakorlással idővel sokkal hatékonyabban képes elvégezni. Az adathalmazra épülő mintázatok minél eredményesebb definiálásához megfelelő mennyiségű és minőségű forrásra van szükség az alaphalmazban. Ezzel a folyamattal a gépi tanulás algoritmusai a meghatározott példák elemzésével létrejött modell segítségével ismeretlen adatokat tartalmazó elemek feldolgozására is képessé válik. Az ML megfelelő működéséhez ezért az egyik legalapvetőbb összetevőt az jelenti, hogy tudjuk, mikor szükséges alkalmazni, mikor találkozunk olyan problémával, aminek a megoldása túl bonyolult lenne az emberek számára, mivel rengeteg tényezőt kell figyelembe venni a probléma gyökerének feltárásához. A másik lényeges szempont annak felmérése, hogy rendelkezésre áll-e elegendő adat, ami alapján a gépi tanulási algoritmusok tanulni tudnak. A gépi tanulási technikák három különböző csoportba sorolhatók, a felügyelt tanulás, a nem felügyelt tanulás és a megerősítéses tanulás. A technikák részletes kifejtésére terjedelmi okokból ebben a cikkben nem kerül sor.

4.7 Gyakorlati gépi tanulási modellek

Az ML fejlődése innovatív módszerek kifejlesztését ösztönözte a prediktív karbantartás megvalósítására. Néhány a legújabb módszerek közül:

- 4.7.1. Automatikus rendellenesség-érzékelés (AAD): ez az algoritmus több anomália-felismerő modellt képez és pontoz, illetve összehasonlítja a pontszámok eloszlását, hogy megtalálja a legmegfelelőbb felügyelet nélküli anomália-felismerő modellt. A legmegfelelőbb nem felügyelt anomália-felismerő modellnek azt a modellt tekintik, amelyek a legjobban elkülönítik az anomáliákat a normális viselkedéstől.
- 4.7.2. Anomáliák felderítése főkomponens-elemzéssel: A főkomponens-elemzés (PCA) többváltozós érzékelőadatokban lévő rendellenességek felderítésére, normál viselkedéstől eltérések jelzésére használatos. Például egy jármű motorján található hőmérsékletérzékelőkől származó adatokból következtet a rendellenességekre. Ha a motorok jól működnek, valamennyi érzékelő szinkronban küldi az adatokat a hőmérséklet emelkedéséről vagy csökkenéséről. Az algoritmus figyelemmel kíséri ezt a viselkedést, és észreveszi, ha az érzékelők a többi érzékelőtől eltérő hőmérsékleti adatokat küldenek, ami arra utalhat, hogy egy motor esetleg sérült, és karbantartásra szorul. A PCA modellképzés elsősorban a képzési adatok kovariancia mátrixának sajátvektorainak és sajátértékeinek kiszámítását jelenti. Az anomália pontszámot az érzékelő leolvasása és az összes leolvasás átlaga közötti Mahalanobis-távolság alapján számítják ki.

- 4.7.3. Anomáliák felderítése többváltozós autoregresszió (MAR) segítségével: az időben változó adatrekordok egyváltozós vagy többváltozós sorozatában anomáliák észlelése.
- 4.7.4. Anomália észlelése az interkvartilis tartomány (IQR) használatával: Ez az algoritmus az interkvartilis tartomány tesztet használja az egyváltozós idősorok anomáliáinak meghatározására.
- 4.7.5. Dinamikus időeltérítés (DTW): Először Sakoe és Chiba [17] mutatta be az euklideszi távolságmérés robusztusabb alternatívájaként jelent meg az idősorok osztályozásához. Maga az euklideszi távolság mérése az egyik legalapvetőbb és legkönnyebben érthető technika, amelyet az idősorok osztályozásában használnak. A módszer két pont közötti legrövidebb távolságot számítja ki egy több dimenzióval rendelkező térben. Bár egyszerű és hatékony módszer, van néhány jelentős korlátja. Nagyon érzékeny az időtengely torzításaira, és nem ragadja meg hatékonyan a sorozat különböző részei közötti időbeli kapcsolatokat [18]. A DTW két időbeli sorozat hasonlóságát méri, figyelembe véve a sebesség és a hossz változásait, és ezáltal hatékonyan kezeli az időtengely torzulásait.
- 4.7.6. Autoencoderek: a felügyelet nélküli tanulás egyik legforróbb kutatási témájává váltak, mivel képesek az adatok jellemzőinek megtanulására és dimenziócsökkentő módszerként működnek, és ígéretesnek bizonyulnak az anomáliák felderítésében. A nyers adatokból komplex mintákat és reprezentációkat tanulva a mélytanulási modellek hatékonyan azonosíthatják a normális viselkedéstől való eltéréseket, jelezve a potenciális karbantartási igényeket.
- 4.7.7. Weibull elemzés: A Weibull-algoritmus egy eszköz várható hátralévő hasznos élettartamának (RUL) kiszámítására és meghibásodásának valószínűségének kiszámítására használható. Az algoritmus a Weibull eloszlást alkalmazza. A Weibull-eloszlás egy folytonos valószínűségi eloszlás. A véletlen változók széles körét modellezi, nagyrészt a meghibásodásig eltelt idő vagy az események közötti idő jellegét. Gyakran alkalmazzák a megbízhatósági tervezés és a hibaelemzés területén, túlélési elemzésekben és a technológiai változások előrejelzésében. Egy tipikus felhasználási eset a következő: a légkondicionáló egységeknek van egy bizonyos életkora, amíg még működnek, vagy cserére érettek, mert nem gazdaságos a javításuk. Azt szeretnénk tudni, hogy mennyi idő van hátra a működő légkondicionáló egységek meghibásodásáig, vagy hogy a légkondicionáló egységek alkatrészeit mikor kell javítani vagy cserélni a következő karbantartási időpontban. Ezen felül szeretnénk megtervezni a pótalkatrészekre és a karbantartási tevékenységekre szánt költségeket és a szükséges időt, a műszaki előírások betartásával.
- 4.7.8. Meghibásodás előrejelzése tree ensemble classifier (TEC) segítségével: Az érzékelőadatok nyilvántartása alapján a faegyüttes modellje megtanulhatja a múltbeli hibákból a jövőbeli rendszerhibák előrejelzését. Az algoritmus döntési fa modellt képez, amely döntési fák sorozata, amely az adatrekordok jellemzőit kódolja a hiba tekintetében. Egy adott adatrekord jellemzőinek értékei alapján a modell úgy kerül betanításra, hogy minden egyes fa képes eldönteni, hogy az adott rekord melyik rekordcsoportba tartozik. Ezután minden egyes rekordhoz megfelelő súlyt rendelünk, amely azt jelzi, hogy a rekord a hibás rendszerhez tartozik-e vagy sem. A modell összesíti az összes fa bizonyítéksúlyát, és kiszámítja a hiba valószínűségét. Így a modell

azt a bizonyosságot tükrözi, hogy az adott adatrekord egy meghibásodott rendszerre utal. A berendezés rendellenes viselkedésének azonosítása érdekében az adott berendezés aktuális érzékelőértékeit összehasonlítják a berendezés megfelelő működése idején mért érzékelőértékekkel. Ez úgy történik, hogy egy modellt képeznek ki a berendezés megfelelő működése idejéből származó érzékelőadatok felhasználásával, amely alapján a jelenlegi érzékelőértékeket normálisnak vagy rendellenesnek minősítik.

- 4.7.9. Digital Twin. 3D eszközvizualizáció beágyazása: 3D épületinformációs modellezési (BIM) adatok importálása és 3D számítógépes tervezés (CAD) egyesítése az eszközök és létesítmények vizuális digitális ikertestvérének létrehozásához. 3D termék, 3D épületinformációs modellezés (BIM) és 3D eszközvizualizációk társítása a törzsadatokkal.
- 4.7.10. Idősoros előrejelzés rekurrens neurális hálózatokkal (RNN): A rekurrens neurális hálózatokat (RNN), különösen a hosszú rövidtávú memóriájú (LSTM) hálózatokat és a kapcsolt rekurrens egységeket (GRU) széles körben használják idősor-előrejelzésre. Ezek a modellek alkalmasak az időbeli függőségek és szekvenciális minták megragadására a naplókban és eseményadatokban. A meghibásodási valószínűségek előrejelzésével az RNN-alapú megközelítések proaktív karbantartási intézkedéseket tesznek lehetővé, mint például az erőforrás-elosztás optimalizálása és a munkaterhelés ütemezése.
- 4.7.11. Hibrid modellek és együttes technikák: A hibrid modellek, amelyek több gépi tanulási algoritmust kombinálnak, mint például a döntési fák, a tartó vektorgépek (support vector machine - SVM) és a neurális hálózatok, egyre nagyobb figyelmet kapnak, mivel képesek kihasználni a különböző módszerek erősségeit. Az együttes technikák tovább javítják a prediktív teljesítményt a különböző modellek előrejelzéseinek összesítésével. Az egymást kiegészítő megközelítések integrálásával a hibrid modellek és az együttes technikák robusztus és megbízható előrejelzéseket kínálnak a szoftverkarbantartási igényekhez.
- 4.7.12. Szövegek osztályozása együttes technikák alkalmazásával: a TextClassEnsemble algoritmus szöveges adatok automatikus felügyelt osztályozását végzi több osztályozó algoritmus együttes megállapodásával, amely előrejelzést készít a dokumentum adott címkéjére/osztályára vonatkozóan. Három algoritmus együttesét használja: random forest, cart és knn.

4.8 Természetes nyelvi feldolgozás (Natural Language Processing, NLP)

Az MI egyik izgalmas, gyorsan fejlődő ága a természetes nyelvfeldolgozás. Az NLP a számítógépek azon képessége, hogy megértsék, értelmezzék és generálják az emberi nyelvet [19]. Képes arra, hogy struktúrátlan szöveges adatokat értelmezzon és azokból hasznos információt nyerjen ki. A BKV-nál rengeteg az információ, amely gyakran rejtve marad a struktúrátlan szöveges formában lévő adatok mélyén. A munkatársak napi szinten hoznak létre jelentéseket, munkalapokat, karbantartási dokumentumokat stb. melyek fontos információt tartalmaznak. Az NLP lehetővé teszi, hogy ezeket az adatokat automatikusan feldolgozzák, elemzésre kerüljenek és így hozzájárulnak az üzemeltetés hatékonyságához. Az NLP képes arra is, hogy döntéstámogató rendszerekben pl. SAP, releváns iránymutatásokat adjon. Emellett lehetővé teszi a dokumentumok nagy mennyiségű, feltáró jellegű elemzését, hogy felfedezzen olyan összefüggéseket és mintázatokat, amelyek egyébként rejtve maradnának. Az NLP alkalmazása ugyanakkor kívívá-

sokkal teli. Az elemzésre váró szövegek tele vannak szakkifejezésekkel, rövidítésekkel, és egyéb specifikus terminológiával, melyek az NLP számára nehezen értelmezhetők.

4.9 A generatív mesterséges intelligencia (generatív AI)

A mesterséges intelligencia egy fajtája, amely magában foglalja új tartalom vagy információ, például képek, videók vagy szövegek létrehozását egy algoritmus segítségével. Ellentétben a hagyományos modellekkel, amelyek mintákat tanulnak és előrejelzéseket vagy döntéseket hoznak ezen minták alapján, a generatív AI új adathalmazokat is létrehoz, amelyek utánozzák a bemeneti adatok tulajdonságait. Szemben más mesterséges intelligencia-technológiákkal, például a prediktív vagy leíró analitikával, amelyek előzmény adatokat használnak előrejelzések készítéséhez, a generatív AI olyan új tartalom létrehozására összpontosít, amely nem feltétlenül támaszkodik múltbeli adatokra.

A nagy nyelvi modelleket (továbbiakban LLM) a természetes nyelvi minták felismerésére hozták létre. Az LLM-t a felügyelet nélküli tanulás során hatalmas mennyiségű, címke nélküli adattal látták el. A finomhangolásoknak köszönhetően már a felügyelt tanulás részeként és az eredményesebb szövegenerálás céljából számtalan példával, címkével kapcsolták össze. Az LLM előnye ezek a finomhangolt adatok, valamint a programozási ismeretek és a neurális hálózatok mélyebb megértése [20].

A generatív MI-nek két fajtáját használjuk a Generative Adversarial Network (továbbiakban GAN), és a Generative Pre-trained Transformer (GPT) [21].

GAN: Valóság-hű képek létrehozása tanult mintákból és jellemzőkből. Nemcsak reprodukálja a már látott képi elemeket, hanem kreatív módon létrehozhat új egyedi képi tartalmakat is. A GAN két neurális hálózatot használ, a generátor előállít egy produktumot (pl. képet), a discriminator, „megkülönböztető” hálózat ellenőrzi a tartalom hitelességét.

GPT: NLP-t használ fel a tartalom előállításához. A programozás egyik formája a kód nélküli promptolás, amellyel testre szabhatjuk a valamely LLM (például ChatGPT) által generált kimeneteket és az azzal kapcsolatos interakciókat [22].

Rejtett Dirichlet-allokáció (Latent Dirichlet allocation - LDA)

A szöveges adatok feldolgozása, belőlük hasznos információk kinyerése majd felhasználása új, hatékony módszereket kíván. A dokumentumok megfelelő reprezentálása kulcsfontosságú a dokumentum-osztályozó algoritmusok hatékonysága, robusztussága, és minősége szempontjából. A leggyakrabban alkalmazott reprezentáció a vektortér modell, ami a dokumentumokat vektortérben ábrázolja. A rejtett Dirichlet-allokáció egy generatív valószínűségi algoritmus, témamodellezésre alkalmazzák [23]. A tudásmegosztás javítása érdekében például a BKV intranet felületén található óriási információ mennyiség osztályozására alkalmazható lenne az LDA. Az algoritmus a dokumentumokat automatikusan klaszterezi, lehetővé téve a felhasználók számára a hatékonyabb navigációt. Egy másik alkalmazási területen az ügyfél visszajelzések elemzésénél az egyes véleményekhez kapcsolódó érzelmek értékelésével a témák kategorizálása alapján mélyebb információt nyújthat. Vagy a jogi dokumentumok elemzésénél a hosszú és összetett szövegek esetén az LDA a lényeges információkat kiszűri és összefoglalja. Sajtófigyelésben is alkalmazzák a hírek automatikus, tömör összegzéséhez, kulcsfontosságú témák és a legjellemzőbb mondatok azonosítására.

5. Tudásbányászat

Az a képesség, hogy nagy mennyiségű, gyakran strukturálatlan adatból nyerjen ki információt kereshető tudástár létrehozásához. A tartalomösszekapcsolási és információkezelési képességei segíthetnek a hatékonyságnövelésben. A hatalmas dokumentum és e-mail áradatot hasznosítható információkká alakítani, leegyszerűsítve a dokumentumfeldolgozást.

Technológiai szempontból kétféle fő irányzat alakult ki, a lakossági és az ipari verzió. A lakossági verziókn belül vannak ingyenesek és fizetők. Az ipari verzióban a nagy gyártók fizetős és nyílt forráskódú verziói is megtalálhatók. A BKV esetében a Microsoft termékei azért különösen érdekesek, mert ebből a technológiából van a legtöbb a Társaságnál.

Az Azure AI és Copilot Studio olyan társasági projektekhez alkalmazható, ahol a felhasználók széles körét lehet ellátni, míg a Copilot for M365 az egyéni irodai munkavégzést segíti elő. A napokban is fejlesztés alatt álló SAP Copilot a kettő tulajdonságait ötvözi, a motorja az előbb említett technológiákat alkalmazza.

5.1 Microsoft Copilot for M365

A személyes munkavégzés támogatására, a napi szinten használt irodai alkalmazásokba (word, teams, excel, powerpoint, stb.) beépülő M365 Copilot egy olyan mesterséges intelligencia (AI/MI) alapú írássegítő fejlesztőeszköz, amely a rendelkezésre álló belső forrásokból, promptlással, új tartalmakat generál. A Copilot képes szöveget generálni és összefoglalni, képeket alkotni, kódolni, illetve szabad szavas utasítások alapján intelligens kereséseket végrehajtani az interneten. A Copilot for Microsoft 365 a nagy nyelvi modelleket (LLM) kapcsolja össze a Microsoft 365 irodai alkalmazásokkal és az üzleti felhasználású adathalmazokkal. Nem a chatgpt épül be az office-ba, a saját vállalati környezetre „ül rá” a copilot, így az adatok nagy biztonságban vannak. A copilot az egyéni, személyes munkavégzés támogatására szolgál, csak a felhasználó számára elérhető anyagokból dolgozik, azokon belül, pl. emailek, word, excel, stb. fájlok). A copilot összeköti az office alkalmazásokat és az MI-t használja a munka támogatására. Igazán akkor hasznos, ha az ember eleve érti a tartalmát annak, amit csináltatni akar vele. Egyfajta társ a munka elvégzése során.

5.2 Felhasználási területek

A tudásbányászat felhasználási területei, use-case-ek ötlet szinten már felmerültek, és a gyakorlati tesztek megkezdődtek. A következőkben található az eddig felmerült tesztesetek:

- BKV belső műszaki dokumentumaiban, Salamonon található szabályzatokban stb. tudástár létrehozása. A tudásbázison chat élmény kiaknázása a dokumentumok intelligens lekérdésének lehetőségével,
- a szerződtár dokumentumokon alapuló tudástár kialakítása, tesztelése,
- számlakép felismerés, automatizálás,
- bírósági per iratanyagok feldolgozása, választervezet készítése stb.,
- beszerzési előterjesztések készítéséhez támogatás,
- lakossági panaszok rendszerezése és válaszok előkészítése,
- jogszabályi háttér, illetve azok változásainak szakterület-specifikus áttekintése, szűrése, illetve lényegi elemeinek kiemelése, összefoglalók készítése,
- EU-s szabályozások, illetve azok változásainak szakterület-specifikus áttekintése, szűrése, illetve lényegi eleminek kiemelése, összefoglalók készítése,
- külföldi szakmai információk összegyűjtése, elemzése. Benchmarking. A BKV különböző paramétereinek összehasonlítása más városok közlekedési társaságaival,

- megbeszélésekről készülő emlékeztetők, kivonatok, táblázatok (pl. kocsiadás) összeállítása a mesterséges intelligencia segítségével,
- menetrendi keret készítésben a mesterséges intelligencia támogatási lehetőségei,
- chatbot kialakítása diszpécseri, helpdesk feladatokra, amelyek segítségével az ügyfelek gyorsabb válaszokat kaphatnak, az érintett munkatársak ideje pedig felszabadulhat más feladatokra. Ezen a téren már bizonyított a modell világszerte,
- hanganyagot leírva adatbázist képez, pl. diszpécseres stb. esetén a visszakereshetőséget jobban támogatni tudja,
- a HR területen képes segíteni a toborzásban és a kiválasztásban is, az alkalmazottak teljesítményének értékelésében, a munkakörök meghatározásában.

A működőképesség validálására három egymást követő tesztelési körben lett felépítve egy valós adatokra alapuló demó tudásbázis. A kutatás során a jogszabályi és tervezési segédletek harmonizációjának feltárása volt a cél. Eltér-e a BKV szabályozása, ha igen mennyiben tér el a külső nagyvasúti szabályozástól. Esélyegyenlőségi szempontból nincs konkrét EU-s szabályozás a közúti vasúti alrendszerre. A hazai jogalkotók sokszor próbálják a nagyvasúti rendszerre meghatározott EU-s szabályozásokat ráhúzni a közúti vasútra. Az egyes tervezési szempontok rákérdezése során keressük a megfelelő szakmai válaszokat.

5.3 Tudásbázis felépítése

A tudásbázis biztonságos, zárt környezetben (Azure AI private cloud) lett telepítve. Csak a megadott tudásbázisból válaszol, a belső BKV anyagok nem hagyják el az együttműködési létesítményhatárt, így képes teljesíteni a vállalati biztonsági követelményeket. Fontos tényező, hogy a Microsoft nem használja fel a felhasználói adatokat a modell betanításához.

- Demó tudásbázis anyagok: A BKV villamos és metró járműveinek biztonságos működtetéséhez elengedhetetlen jogszabályi, gyártói és BKV szabályozók, szabványok, a ciklusrendi karbantartásokra és javításokra, azok műszaki technológiájára vonatkozó különböző szintű előírások, utasítások.
- Magyar és EU-s törvények, rendeletek, Országos Vasúti Szabályzat, a (BKV, BKK) akadálymentesítési útmutatói, esélyegyenlőséggel kapcsolatos oktatási anyagai, infrastruktúra tervezési irányelvei, a belső szabályozásai stb.
- A közúti vasutak F.1-F.2. számú jelzési és forgalmi utasítások.

5.4 Demó környezet kialakítása

A rendszer beüzemeléséhez ki kellett alakítani egy demó környezetet. A környezet kialakítás a felhőben tárolt infrastruktúra definiálását jelenti egy webes felületen keresztül, a szükséges erőforrások hozzáadásával. A bemeneti tartalmat a modell szegmentálja, kisebb részekre bontja, jogkivonatokra lebontva dolgozza fel. A tokenek lehetnek szavak, vagy csak karaktersorozatokat. Pl. a „ciklusrend” szó például a „cik”, a „lus” és a „rend” jogkivonatra oszlik, míg egy rövid szó, mint az „Alstom” egyetlen token. Számos jogkivonat egy szóközzel kezdődik, pl. „hello”.

Indexelés: Tartalmat tölt fel a zárt keresési szolgáltatásba és kereshetővé teszi azt.

5.5 Demó környezet betanítása

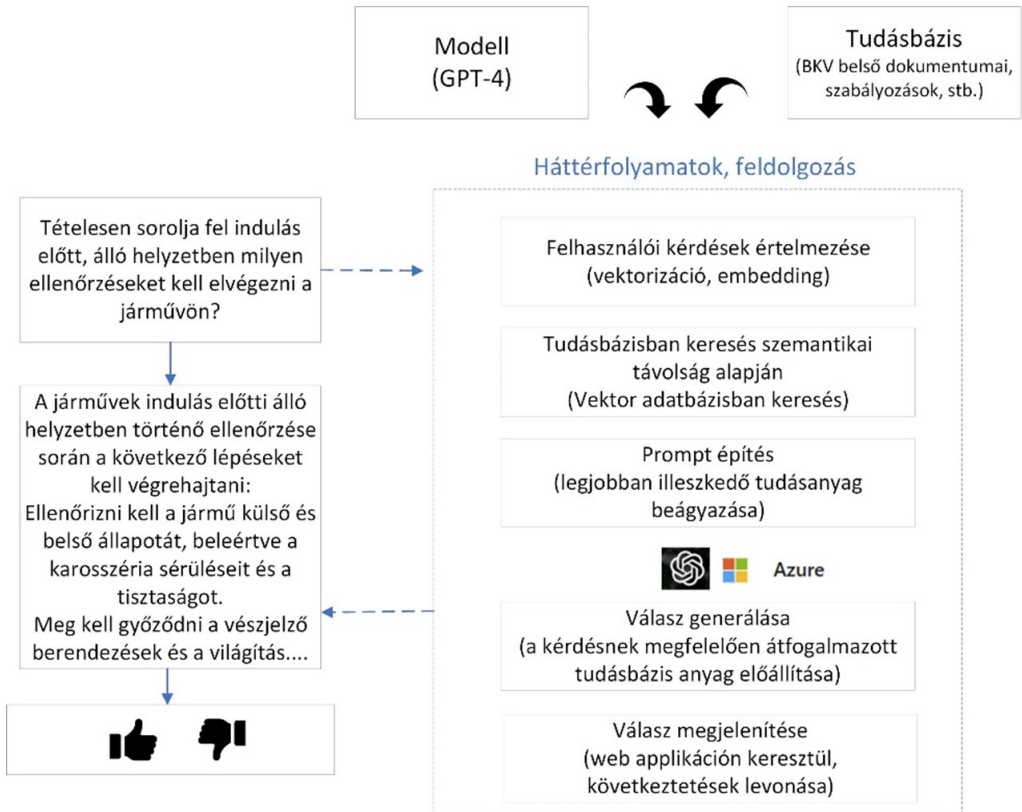
Fontos, hogy minél pontosabb legyen a modell és a legjobban szolgálja a célokat. Az alábbi szempontokat a teljesség igénye nélkül szükséges definiálni:

- Te a BKV belső digitális asszisztense vagy, aki segíti a felhasználókat.
- Kizárólag a belső dokumentumokból, belső tudásbázisból tudsz válaszolni.

- Te megadod a dokumentum hivatkozásokat is.
- A válaszod mindenképpen magyar legyen.

5.6 A modell működése

A Modell a Microsoft GPT-4 nagy nyelvi modellje. A tudásbázis a vizsgálatba bevont szakterületek egyes dokumentumai alapján. A modell működése a 3. sz. ábrán látható.



3. ábra.

A BKV tudásbázis demó modell működése (saját szerkesztés)

Mi történik egy prompt lekérdezés alkalmával? A promptolást úgy kell elképzelni, mint egy beszélgetést, egyszerű, de világos nyelvezetet használva és biztosítva olyan környezetben, mint egy asszisztenssel történne mindez. A felhasználói kérdések értelmezése (vektorizáció, embedding). Keresés, prompt építés, válasz generálása.

Az „átfogalmazott tudásbázis anyag előállítás” ez azt jelenti, hogy a vektoradatbázisba leképzett, legmegfelelőbb tudásbázis-szövegrészt küldi az OpenAI-nak promptként, hogy ebből adjon választ a felhasználó által feltett kérdésre. Tehát ne ugyanazt adja vissza formailag, hisz ekkor csak egy egyszerű kereső lenne, hanem generáljon választ a nagy nyelvi modell által biztosított képességei szerint legjobban, valamint a tudásbázis-szövegrész jelentésével megegyezően de egy másik variánsban vagy verzióban, ami legjobban odaiillik. Jogi és egyéb szakszövegeknél az LLM törekszik a teljes egyezőségre, hogy véletlenül se értse félre a felhasználó a GPT által generált választ.

A vektoros keresés egy olyan módszer, amely segít megtalálni a hasonló elemeket az adattulajdonságuk alapján, nem pedig egy tulajdonságmező pontos egyezései alapján. Ez a technika olyan alkalmazásokban hasznos, mint a hasonló szövegek keresése, a kapcsolódó képek keresése, javaslatok készítése vagy akár a rendellenességek észlelése. Úgy működik, hogy a gépi tanulási modellel létrehozott adatok vektoros ábrázolásait egy API-val hozza létre.

A vektoros hasonlóság a két elem hasonlóságának mérésére szolgáló módszer, amely vektorokként jelöli őket, amelyek számsorok. A vektorokat gyakran használják adatpontok ábrázolására, ahol a vektor minden eleme az adatpont valamely funkcióját vagy attribútumát jelöli.

A vektorok hasonlóságát általában távolsági metrikák alapján mérik. A nem hierarchikus klaszterelemzési módszerek közül a K-közép (K-means) algoritmus a legelterjedtebb. Optimalizálás alapú módszer, minden egyes elemet ahhoz a klaszterhez sorol, amelyiknek a középpontja legközelebb esik az adott elemhez. Iteratív módszer, amely attól függ, hogy milyen kiindulási pontot és távolságméretet használ. Előnye az egyszerűsége és a sebessége, ami lehetővé teszi alkalmazását nagy adattömbön is. Hátránya, hogy a különböző futtatások során nem ugyanazt az eredményt adja, mert a klaszterezés eredményét befolyásolja a kezdeti véletlenszerű besorolás. Minimálisra csökkenti a klaszteren belüli varianciát, de összességében nem eredményezi a legkisebb varianciát.

5.7 Tesztelési eredmények

Első körös vélemények az MI tesztelés után Ciklusrend karbantartás témában szintaktikailag nem túl bonyolult módon megfogalmazott kérdések alapján a tesztelés során megmutatkozott, hogy jól lehatárolt, strukturált, jól feldolgozható állományokat tartalmazó adathalmazból helyes eredményt és logikus következtetéseket, válaszokat ad az MI. A generatív keresés elindításával azonban már eleve korlátozott tartalmakat kapunk. A mögöttes mesterséges intelligencia elemzi az összes keresési eredményt, egyéni tartalmat hoz létre, és azt egy webböngésző segítségével jeleníti meg. Ezek a generatív MI által a megjelenített tartalom elkészítéséhez felhasznált forrásokra mutató linkek is lehetnek természetesen.

Második körös vélemények az MI tesztelés után esélyegyenlőségi témában történtek. A szakmai nyelvezetet, szakkifejezéseket gyakran pongyolán alkalmazta. Összetettebb kérdőmondat esetén könnyen belezavarodik és másra ad választ, mint amit szeretnének kérdezi. Tágan értelmezhető kérdésnél az összes lehetőség helyett kiragad egyet-kettőt és azt írja ki válaszként. Könnyen elhatárolható kérdéseket kell neki feltenni, arra korrekt válaszokat ad. Volt olyan, hogy lemaradt a válaszból valami (pl. mértékegység). A tapasztalatok jelen fázisban felemásak voltak. Az LLM legnagyobb tudása abban rejlik, hogy a tudásbázis anyag jelentésével megegyező, de feltett kérdésre az egyik legjobban passzoló választ képes generálni variánsul.

Az eset tanulsága, hogy a modellt jobban kell betanítani jól irányzott kérdésekkel. Ahhoz, hogy a chatbot minőségi tartalmat generáljon, sok releváns információra van szüksége. A modellre is rá lehet bízni, hogy kérje be a szükséges infókat a jobb tartalom generálásához. Ilyen esetben például a következőket kell kérni a géptől: *„Óriási tapasztalattal és tudással rendelkező tudásbázis vagy. Kérlek tegyél fel kérdéseket az xxx témában, hogy tökéletes választ adjál. Egyszerre mindig csak egy kérdést tegyél fel, után várd meg a választom.”*

A nagy nyelvi modellek (LLM) iránti érdeklődés felfutásával nyilvánvalóvá váltak az emberszerű szöveget és válaszokat előállító mesterséges intelligencia kimeneti pontatlanságai is, amit előszeretettel neveznek MI-hallucinációnak. Ezek a biológiai agy hallucinációira emlékeztető megnyilvánulások nem egyszerűen a források ellenőrzésének hibájából vagy hiányából fakadnak, hanem azt a jelenséget takarják, amikor a modellek magabiztosan állítanak egyértelműen

valótlan és légből kapott dolgokat. A [24] szerint a terminológia félrevezető, és elfedi a modellek működésének fontos jellemzőit. A nagy nyelvi modellek többnyire közömbösek a kimeneteik igazságát illetően, ezért az ilyen jellegű tevékenységeire inkább a „bullshit” szó lenne jellemző. Ugyanakkor amellett, hogy a technológia rohamléptekkel fejlődik, a promtolás szakértelmén, a megfelelően beállított modellen, betanított adatbázison, feldolgozott adatset-en, és a RAG-oláson is múlik a siker.

Konklúzió

A közlekedési vállalatok költségeinek jelentős része a járművek üzemeltetéséből adódik, beleértve a járműpark fenntartását, az üzemanyag-felhasználást, a karbantartási költségeket és a járművezetők bérének kifizetését. A közlekedésmenedzsment eszközrendszerének mélyebb elemzésével és a gépi tanulás segítségével az összetettebb üzleti folyamatok is optimalizálhatók, ezáltal az üzemeltetés hatékonysága tovább növelhető. Mindezt az új munkamódszerek és technológia teszi lehetővé, amely újszerű megközelítést, ezzel párhuzamosan a hatékonyabb informatikai rendszerek alkalmazását igényli. Az üzemeltetési területek kompetenciáit párhuzamosan kell fejleszteni az informatikai kompetenciákkal. A cikk kiemeli az új munkamódszerek megjelenésével a munkavállalók ezzel kapcsolatos esetleges félelmeit, a technostresszt, valamint az MI meghatározását és elfogadását. Az üzemeltetési feladatok automatizálásához felvételre kerültek a karbantartás-menedzsment-, illetve a döntéstámogató rendszerek, az adatmodellezés, valamint a mai kornak megfelelő technológiai lehetőségek, mint a számítógépes látástechnológia, anomália detektálás, természetes nyelvi feldolgozás és a tudásbányászat. Az ML kifejtése során felsorolásra kerültek a gyakorlati gépi tanulási modellek. A modern, intelligens üzemeltetés magában foglalja a döntés előkészítő és automatizált döntéstámogató megoldások bevezetését, magasabb szintű műszaki megbízhatóság és biztonság elérését a járművezetők korszerűbb tájékoztatásával, a járművezetés támogatásával, valamint a jármű- és járművezetői keret, beosztáskészítés automatizálásával. A cikk előtérbe helyezi az egyes, az üzemeltetési területek előtt álló kihívásokat, mint pl. a járművekből származó szenzoradatok feldolgozásának automatizálását, a járművezetés támogatását, vagy a modern irodai munkavégzés új megközelítéseit. Ugyanakkor ma még kihívást jelent a különböző forrásokból származó érzékelőadatok összevetése, továbbá a modellezés és a vállalatirányítási rendszerekkel történő integrálás. A cikk utal arra, hogy az egyes karbantartási feladatokra vonatkozó MI-technikák alkalmazása együttesen az ún. intelligens üzemeltetés bevezetésére irányul. A járművezetéstámogató rendszerek bevezetése segítené a járművezetőt a potenciális veszélyhelyzetek felismerésében, csökkentve ezáltal az ütközéses balesetek számát, illetve súlyosságát. Emellett célszerű lenne egy olyan járművezetőt támogató mobil alkalmazás bevezetése, amely alkalmas arra, hogy valós idejű információk jelenjenek meg a járművezető felé az infrastruktúráról és a menetrendi információkról. Mindezekhez alapvetően a gyakorlatban szükséges egy vagy több tudástár létrehozása annak érdekében, hogy a rendelkezésre álló és napi szinten keletkező nagy mennyiségű adathalmazból kinyerhető legyen az információ. A generatív MI képes új tartalom vagy információ – például képek, videók vagy szövegek – létrehozására egy nagy nyelvi modell segítségével. Ezzel kapcsolatban több tesztlési kör már megvalósult a BKV villamos és metró járműveinek biztonságos működtetéséhez szükséges dokumentációhalmaz, infrastruktúra tervezési irányelvek, belső szabályozások, utasítások stb. témakörökben. A tesztelés tanulsága, hogy a modellt jobban kell betanítani ahhoz, hogy minőségi tartalmat generáljon. Ehhez idő, erőforrás és külső- belső kompetencia szükséges. Egy másik fontos tanulság, hogy a társaságoknál nem lehet

általános megközelítést alkalmazni egy felmerült probléma megoldásához. Minden vállalati kontextust egyéni, más és más, egyedi beállítások jellemeznek, azonban a nagy informatikai gyártók és szállítók sztenderdizált, felhő alapú szolgáltatásokat kínálnak megoldásként. A BKV esetében a társaságra szabott MI megoldások tűnnek célravezetőnek az intelligens üzemeltetés megvalósításához, ehhez az ezirányú készségek és a kompetenciafejlesztés kiemelt támogatása elengedhetetlen annak érdekében, hogy a BKV a jövőben is a budapesti közösségi közlekedés vonzó szolgáltatója maradjon.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Fülöp Gábor, Dr. Horváth Balázs, Dr. László György, Dr. Prileszky István és Szabó Lajos, Köz-forgalmú Közlekedés I-II., Széchenyi István Egyetem: közlekedésmérnök szak, Jegyzetek.
- [2] Nagy Albert, „Városi buszközlekedés üzemi tervezésének szintézis alapú megoldása” (2021) című értekezése informatikai tudományok tudományágban
- [3] Brod C. (1984). Techno stress: the human cost of the computer revolution, Reading, Addison-Wesley.
- [4] [Rajczy István (2019): Mesterséges intelligencia. Online: www.parlament.hu/documents/10181/1789217/Infojegyzet_2019_11_mesterseges_intelligencia.pdf/6ec90247-a26c-30ed-be63-c4e3f052b835
- [5] 2024 Annual Work Trend Index from Microsoft and LinkedIn. Online: <https://news.microsoft.com/annual-wti-2024/>
- [6] Horváth, L. (2023). Feltáró szakirodalmi áttekintés a mesterséges intelligencia oktatási használatáról. Pannon Digitális Pedagógia 3:1 pp. 5-17., 13 p. doi: <https://doi.org/10.56665/PADIPE.2023.1.1>
- [7] Stanford Encyclopedia of Philosophy: Artificial Intelligence. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2022/entries/artificial-intelligence/>
- [8] MSZ IEC 50 (191) (1992). Nemzetközi elektronikai szótár. Megbízhatóság és a szolgáltatás minősége.
- [9] Dr. Kövesi János, Erdei János (2002): Kockázat és Megbízhatóság, oktatási segédanyag
- [10] A Review of the Advances in Artificial Intelligence in Transportation System Development. Derrick Mirindi. Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering 2024; Vol. 9, No. 3, pp. 72-83. <https://doi.org/10.11648/j.jccee.20240903.13>
- [11] Deep Learning: Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville, An MIT Press book 2016. <https://www.deeplearningbook.org/>
- [12] A study on the application of convolutional neural networks for the maintenance of railway tracks. Mauro José Pappaterra, María Lucía Pappaterra, Francesco Flammini. May 2024
- [13] Analog Image Processing vs. Digital Image Processing. Online: <https://www.javatpoint.com/analog-image-processing-vs-digital-image-processing>
- [14] Deep Learning for Computer Vision. Online: <https://www.mathworks.com/solutions/artificial-intelligence/ai-computer-vision.html>
- [15] Brownlee, Jason (2020): How Do Convolutional Layers Work in Deep Learning Neural Networks? Online: <https://machinelearningmastery.com/convolutional-layers-for-deep-learning-neural-networks/>

- [16] Kamalov, F.; Santandreu Calonge, D.; & Gurrib, I. (2023). New Era of Artificial Intelligence in Education: Towards a Sustainable Multifaceted Revolution. *Sustainability* 2023, 15, 12451. <https://doi.org/10.3390/su15161245>
- [17] Hiroaki Sakoe and Seibi Chiba. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition. *IEEE transactions on acoustics, speech, and signal processing*, 26(1):43–49, 1978.
- [18] Zhengyu Chen and Jie Gu. High-throughput dynamic time warping accelerator for time-series classification with pipelined mixed-signal timedomain computing. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 56(2):624–635, 2020.
- [19] Hu, L. (2023). Generative AI and Future. Retrieved on January 23 from (2024. 01. 29.) <https://pub.towardsai.net/generative-ai-and-future-c3b1695876f2>
- [20] Ayd?n, Ö., Karaarslan, E. (2022). OpenAI ChatGPT Generated Literature Review: Digital Twin in Healthcare. In Ö. Ayd?n (Ed.), *Emerging Computer Technologies 2* (pp. 22-31). ?zmir Akademi Dernegi.
- [21] Velásquez-Henao, J. D., & Franco-Cardona, C. J. & Cadavid-Higuaita, L. (2023). Prompt Engineering: a methodology for optimizing interactions with AI-Language Models in the field of engineering. *DYNA*, 90(230),9–17. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n230.111700>
- [22] Mayer, C. W. F., & Ludwig, S., & Brandt, S. (2023). Prompt text classifications with transformer models. An exemplary introduction to prompt-based learning with large language models, *Journal of Research on Technology in Education*, 55:1, 125-141, DOI: 10.1080/15391523.2022.2142872
- [23] Exploring Latent Dirichlet Allocation (LDA) in Topic Modeling: Theory, Applications, and Future Directions. Ugorji C. Calistus, Moses O. Onyesolu, Asogwa C. Doris and Chukwudumebi V. Egwu. Article in *NEWPORT INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING AND PHYSICAL SCIENCES* · March 2024. <https://doi.org/10.59298/NIJEP/2024/41916.1.1100>
- [24] ChatGPT is bullshit, Michael T et al. *Ethics and Information Technology* (2024) 26:38, 8 June 2024. <https://doi.org/10.1007/s10676-024-09775-5>
-
-

A BKV Zrt. a fenntartható fejlődés útján: Zöld átállás vezényszóra?!

Káplár Zsófia¹
Mészáros-Pintér Szilvia²

¹ BKV Zrt. Stratégiai és Beszerzési Igazgatóság,
irányítási rendszer menedzsmnt osztályvezető
telefon: +36/70-390-8998
e-mail: kaplarzs@bkv.hu

² BKV Zrt. Stratégiai és Beszerzési Igazgatóság,
szervezet- és működésfejlesztési osztályvezető
telefon: +36/70-390-8644
e-mail: mpintersz@bkv.hu

Abstract

Jelenleg a világ a fenntarthatatlanság irányába halad, ezt a trendet kellene valahogyan megfordítani. Hazánk városaiban, más európai nagyvárosokhoz hasonlóan, szembe kell nézni a klímaváltozás hatásaival, az egyre növekvő gépjárműforgalom okozta nehézségekkel. A tömegközlekedési ágazat stratégiai jelentősége az európai és hazai környezeti és mobilitási kihívások megválaszolásában vitathatatlan. Az uniós országok, köztük Magyarország által 2050-re kitűzött klímasemlegességi cél igen ambiciózus, annak eléréséhez szükség van törvényileg előírt intézkedésekre. A legújabb ezek közül az úgynevezett ESG törvény, melynek célja ösztönözni a cégeket egy környezetileg fenntartható (E), munkavállalóikról gondoskodó és a társadalom iránt felelős (S), etikus (G) működésre. A BKV Zrt. abban a szerencsés helyzetben van, hogy a hosszú távú és fenntartható működés mellett elkötelezett stratégiájának köszönhetően a törvény által érintett számos témában már jelenleg is jó eredményekkel és gyakorlatokkal rendelkezik. Cikkünkben bemutatjuk, hogy mit takar az ESG törvény és hol tart most a BKV Zrt. a törvényi megfelelésségre való felkészülésben.

Kulcsszavak: BKV, ESG, ESRS, fenntarthatóság, kettős lényegességi vizsgálat, közösségi közlekedés

Bevezetés

Jelenleg a világ a fenntarthatatlanság irányába halad, korunk egyik legnagyobb kihívása a klímaváltozás elleni küzdelem. A globális felmelegedés veszélye együttműködésre ösztönözte a világ országait, melynek eredményeként létrejött az üvegházhatású gáz kibocsátás csökkentését célzó Párizsi Megállapodás. Az aláírók között volt az Európai Unió összes tagországa, akik vállalást tettek arra, hogy 2050-re megvalósítják a klímasemlegességet az európai zöld megállapodás stratégia mentén. [1]

Zöld átállás vezényszóra? Aligha, hiszen a zöld átállás egy folyamat, nem egy esemény, így nem tud megvalósulni egyik napról a másikra, ugyanakkor az ambiciózus klímasemlegességi cél eléréséhez kétségtávol szükség van törvényileg előírt intézkedésekre, olyan köztes célok kitűzé-

sére, mint a 2030-ig elérni kívánt 55%-os üvegházhatású gázkibocsátás-csökkentés az 1990-es szinthez képest. [2]

Azonban a törvényi előírás önmagában nem elég, társadalmi igény is szükséges ahhoz, hogy az átállás működjön. A fejlődés a fenntarthatóság irányába nem jön magától, hanem tennünk kell érte. A klímaválság társadalmi és gazdasági kockázatokat is rejt magában. A fenntartható fejlődés nem csupán a környezet védelmével, hanem a társadalmi és gazdasági fejlődéssel is foglalkozik, hiszen ezek egymással összefüggő és egymást erősítő pillérek. [3]

Társadalmunk szerencsére egyre érzékenyebb a környezetvédelem iránt és a szociális szempontok is egyre fontosabbá válnak. Az embereket érdekli a vállalatok működése, azok környezetre gyakorolt hatása, elvárás lett az átláthatóság. Ami kezdetben a részvényesek és befektetők számára volt fontos – a vállalatok működési hatékonyságának és hatásának mérhetősége – az mára a fogyasztók, a munkavállalók és az érintett közösségek számára is kiemelt érdeklődésre tart számot.

A cikkünkben bemutatásra kerülő ESG törvény „küldetése” igazából nem más, mint a fenntartható fejlődési célok átültetése a vállalatok működésébe, ösztönözni a cégeket egy környezeti-leg fenntartható (E), munkavállalóikról gondoskodó és a társadalom iránt felelős (S), etikus (G) működésre.

A következőkben bemutatjuk, hogy a BKV Zrt.-nél a zöld átállás már jóval az ESG törvény megjelenése előtt megkezdődött, a vállalat a fenntartható működés mellett elkötelezett stratégiájának köszönhetően a törvényi előírás által generált feladatokat nem a nulláról kell, hogy „vezényszóra” megkezdje. A munka végeztével elkészülő jelentés nemcsak egy papír lesz, hanem a mögötte álló rengeteg munka a vállalat fenntartható fejlődés melletti elkötelezettségét is tükrözi majd.

1. BKV Zrt., a felelősen gondolkodó vállalat

A közlekedés társadalmi fejlődésben betöltött szerepe vitathatatlan, nemzetgazdasági szempontból pedig nagyon fontos ágazatnak tekinthető. Szerepet játszik a termelésben azáltal, hogy biztosítja a munkaerő eljutását a munkahelyekre, majd a megtermelt javak eljutását a fogyasztókhoz. Nemcsak az áruk, de a szolgáltatások – egészségügy, oktatás, turisztika stb. – igénybevétele sem lenne megvalósítható mobilitási megoldások nélkül.

Az ENSZ 2015-ben 17 Fenntartható Fejlődési Célt határozott meg (mindemellett 169 alcélt), annak érdekében, hogy a világ fejlődését egy fenntartható pályára állítsa, melyek közül egyik sem összpontosít külön a közlekedésre és a mobilitásra, de a közlekedés értelemszerűen több célhoz is kapcsolódik, azok elérése szempontjából rendkívül fontos (1. ábra). Ilyenek például a foglalkoztatás és a jóllét elősegítése, valamint az egyenlőtlenségek és a kirekesztés csökkentésére irányuló fenntartható fejlesztési célok. A közlekedéssel kapcsolatban ugyanakkor több kihívással is szembe kell nézni, hiszen mérsékelni kell éghajlati és környezeti hatását, javítani kell a közlekedési rendszereket és a közlekedésbiztonságot. A fenntartható fejlesztési céloknak megfelelően, jelentős beruházásokra van szükség a megfelelő infrastruktúra, az innováció és a jól működő közlekedési rendszerek, többek között a közösségi közlekedés terén. [4]



1. ábra

Az ENSZ Fenntartható Fejlődési Céljai [5]

A BKV Zrt. feladata, hogy elszállítsa az utasokat a város egyik pontjából a másikba biztonságosan, gyorsan, kiszámíthatóan, pontosan, a szolgáltatást igénybe vevők komfortérzetét biztosítva. A vállalat alaptevékenysége, azaz a közösségi közlekedés üzemeltetése kiemelten járul hozzá a fenntartható fejlődéshez, hiszen figyelembe véve a gazdasági, környezetvédelmi és társadalmi szempontokat, bátran kijelenthetjük, hogy a fenntartható városi közlekedés kulcsa a közösségi közlekedés, mely a leginkább fenntartható motorizált közlekedési mód, ami mindenki számára hozzáférhető módon elégíti ki az alapvető mobilitási igényeket, miközben kisebb környezet-szennyezéssel és hatékonyabb térhasználattal jár. [6]

Az EU a 2030-ra elérni kívánt 55%-os kibocsátás-csökkentési cél megvalósításához több intézkedést határozott meg, melyek közül az egyik a közlekedés környezetbarátabbá tétele.

Magyarországon a közlekedés 2018-ra az összes alszektor közül a legnagyobb üvegházhatású gáz kibocsátóvá vált a maga 22%-os részesedésével. A közlekedésen belül a közúti közlekedés felel a legtöbb ÜHG kibocsátásért, melynek nagy részét a CO₂ teszi ki. A „Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia 2020-2050” ezért egy fenntarthatóbb, zöldebb, biztonságosabb és jobb összeköttetésű közlekedés megvalósítását tűzte ki célul, a CO₂ kibocsátás szempontjából előnyös utazási módok ösztönzésével. [7]

Hazánk megyeszékhelyeinek, más európai nagyvárosokhoz hasonlóan, szembe kell nézniük a klímaváltozás hatásaival és az egyre növekvő gépjárműforgalom okozta nehézségekkel. A városi életminőség egyik kulcskérdése az, hogy a közlekedés káros hatásai, a torlódások, a levegő- és zajszennyezés ne fojtja meg a várost. Egy jól működő közösségi közlekedési rendszer mind az élettér kinyitásával, mind a mobilitás káros környezeti hatásainak csökkentésével hozzá tud járulni az életminőség javításához, a város versenyképességéhez.

A közösségi közlekedés a fővárosi üvegházhatású gáz kibocsátás mindössze 2,5%-áért felelős, pedig a BKV Zrt. járatai, az autóbuszok, a metrók, a trolibuszok, a villamosok évente több, mint 1 milliárd utast szállítanak. A közösségi közlekedésben a lokálisan zéró emisszió nem a jövő, hanem a jelen: a BKV-s utazások több, mint 2/3-a elektromos járművel történik.

Egy biztos, Budapesten a jó minőségű közösségi közlekedésre igény van, a BKV Zrt. stratégiai céljai ennek megvalósulását hivatottak szolgálni. A BKV Zrt. a megrendelő BKK és az általa képviselt

Főváros, az utasok és a társadalom elvárásai alapján állította össze stratégiai célrendszerét, a vállalat érdekeit figyelembe véve, a Budapesti Mobilitási Tervben (BMT) leírtakkal összhangban. A BKV Zrt. célja, hogy egy biztonságos, megbízható, fenntartható és versenyképes közösségi közlekedési szolgáltatást nyújtó társaság legyen, akire a piac szereplői partnerként tekintenek. A társaság egyik fő célja, hogy az utazóközönség számára jó állapotú, esztétikus, akadálymentesített és magas színvonalú szolgáltatást biztosító járművek álljanak rendelkezésre, melyek a lehetőségekhez mérten minél alacsonyabb környezetterheléssel működnek. Folyamatosan arra törekszik, hogy a napi működés minél kevesebb károsanyag-kibocsátással járjon, valamint kiemelt figyelmet fordít energiahatékonyságának növelésére, éppen ezért nagy hangsúlyt fektet a járműpark megújítására. A 2022. évben 135 új autóbuszt állított forgalomba – mely lehetővé tette a teljesen alacsonypadlós üzemeltetést – és 2023-ban megérkezett 48 új trolibusz is. A gumikereskedés ágazat járműbeszerzéseit a Tiszta Jármű direktívának megfelelő beszerzési tervben lefektetett irányelvek mentén valósítja meg. Az új, alacsonypadlós CAF villamosok érkezése mellett, a meglévő villamos járműállomány korszerűsítésére is nagy hangsúlyt fektet a vállalat. Jövőbe mutató infrastruktúra fejlesztéseinek olyan fenntarthatósági szempontokat vesz figyelembe, mint az esélyegyenlőség biztosítása, energiahatékonyság és környezetvédelem, valamint kiemelt cél a munkakörnyezet folyamatos korszerűsítése is. A BKV 2014 óta vesz részt a Virtuális Erőmű Program által kitűzött célok megvalósításában, azaz abban, hogy minél nagyobb megtakarítással járuljon hozzá egy virtuális erőmű „felépítéséhez”. A VEP-hez való csatlakozás óta a kezdeti figyelemfelhívó, szemlélet-formáló, szervezési intézkedések eredményeként az energiamegtakarítási potenciálok feltárása és érvényesítése beépült a társaság mindennapjainak tevékenységébe, ezáltal a BKV Zrt. rendre elnyeri az „Energiatudatos Vállalat” címet. Az elmúlt évek legnagyobb hatású projektje kétségkívül az M3 metró infrastruktúra fejlesztési projektje volt. Emellett a BKV Zrt. mindig kereste az alternatív, megújuló energiaforrások használatának lehetőségét, a Covid után begyűrt energiaválság pedig még inkább arra készítette a társaságot, hogy működését még energiahatékonyabbá tegye. Több telephelyen napelemeket helyezett ki, a BKV Vasúti Járműjavító Kft.-nél pedig kiépítésre került egy geotermikus fűtési rendszer, melynek köszönhetően kiváltásra került a korábbi gázalapú fűtés. Az energiatakarékosági intézkedések a költségmegtakarítás mellett a CO₂ kibocsátás csökkentését is elősegítették. A BKV Zrt. stratégiaileg kiemelt feladatként tekint a humán erőforrás megszerzésére, képzésére és megtartására. A társaság elkötelezett, kiváló munkatársai a közösségi közlekedés fenntarthatóságának záloga. Ők azok, akik képesek a járműparkot és a kapcsolódó infrastruktúrát magas színvonalon üzemeltetni. A vállalat nagy hangsúlyt fektet a munkavállalók és kiemelten a járművezetők képzésére. Az új törvényi lehetőség által elindította az autóbuszvezetők „B” kategóriáról „D”-re történő átképzését és részt vett a 19/2011. (V.10.) NFM rendelet felülvizsgálatában is. Az oktatások során olyan modern technológiákat használ – szimulátor, e-learning, eco-driving –, amik hozzájárulnak a vállalat karbonlábnyomának csökkentéséhez. Cél, hogy az innovációra való nyitottság és az ötletmenedzsment tevékenység a vállalati kultúra szerves részévé váljon, ezért a társaság évek óta meghirdeti Ötletmenedzsment Versenyét. A BKV Zrt. munkatársai rendszeresen részt vesznek önkéntes előadóként az országos Fenntarthatósági Témahétben is. A vállalatnak kiemelt szerepe volt a Magyar Közlekedési Szövetség „A fenntartható zöld közlekedés lehetőségeinek vizsgálata” címet viselő projektjében, melynek eredményei számos konferencián bemutatásra kerültek, köztük a Magyar Közgazdasági Társaság szakmai rendezvényén is. A BKV Zrt. az ország működésében stratégiai szerepet betöltő társaság, akire megbízható partnerként tekinthetnek az utasok, a munkavállalók, a tulajdonos és az üzleti partnerek egyaránt. Egy önkormányzati tulajdonban álló, közpénzekből gazdálkodó társaságtól elvárt a jogszába-

lyoknak, szabályzatoknak való megfelelés és az átlátható, szabályszerű működés. A célt a belső kontrollrendszer kialakításával és működtetésével, valamint kontrollpontok bevezetésével biztosítja a BKV Zrt., mely megfelelést támogató szervezeti egységgel is rendelkezik.

A BKV Zrt. stratégiai célja, hogy működését és vele együtt a várost is fenntartható pályára állítsa, úton a karbonsemlegesség felé. Olyan társaság kíván lenni, akire a jövő generációi a fenntartható város kulcsszereplőjeként tekintenek. A közösségi közlekedés karbonlábnyomának mérséklését legfőképpen a járművek üzemeltetéséhez szükséges energiahordozók felhasználásának csökkentésével lehet elérni, amihez új járművek beszerzésére és az áramellátási hálózatok fejlesztésére van szükség. Bár a károsanyag-kibocsátás nagyobb részt a vontatási energiához köthető, a BKV Zrt. nem feledkezik meg a telephelyek és kiszolgált tevékenységek fejlesztési lehetőségeiről sem, melyek tovább csökkentik a környezeti terhelés mértékét. A BKV Zrt. jó irányt tartja a hulladékmennyiség csökkentését, olajfogók, szennyvíztisztítók alkalmazását, a tudatos vízgazdálkodást, a megújuló energiák használatát és a zöld beszerzési lehetőségek vizsgálatát is. A telephelyeket integrált irányítási rendszerben üzemelteti, ami praktikusán azt jelenti, hogy a környezetvédelmi szabályoknak való megfelelés a napi munka része. A BKV Zrt. büszke arra, hogy három telephelye révén bekerült abba az alig 30 hazai vállalat alkotta körbe, ahol EMAS szerint hitelesített környezetvédelmi vezetési rendszer van. Összességében az elmúlt tíz évben megvalósult, energiahatékonyságot javító fejlesztésekkel évi közel 35 000 tonna CO₂ csökkentést ért el.

Elmondható, hogy a zöld átállás a BKV Zrt.-nél inkább egy belső indíttatás volt – hiszen a vállalat már alaptevékenységével is a fenntartható fejlődést szolgálja –, amit a külső környezetben bekövetkező változások indikáltak, melyekre stratégiai válaszokat keresett a társaság, ezért is áll jól az ESG törvény által előírt feladatokra való felkészülésben. Kötelezettség nélkül, a kiélezett finanszírozási helyzetben is sok lépést tett a vállalat azért, hogy működését fenntartható pályára állítsa. A fenntartható fejlődés és a hosszú távú nemzeti klímacélok eléréséhez való hozzájárulás akkor valósítható meg, ha a BKV Zrt. számára a források folyamatosan biztosítva vannak mind a működésre, mind a fejlesztéseket szolgáló beruházásokra.

2. Fenntarthatósági jelentések története

A fenntarthatósági jelentések eredete visszavezethető akár az 1972-ben megalakult ENSZ Környezetvédelmi Programjához (United Nations Environment Programme, UNEP), mely célul tűzte ki a környezeti tevékenységek összehangolását és a fenntartható fejlődés elősegítését (unep.org). A szervezet 1992-ben megalapította az UNEP Finance Initiative programot, mely keretei között bankok, biztosítók és befektetők közreműködésével kapcsolatos célkitűzéseket fogalmaztak meg a fenntartható globális gazdaságok megteremtésének elősegítésére.

2014-ben a fenntarthatósági jelentéstétel átláthatóságának fokozása érdekében az Európai Bizottság olyan irányelvre tett javaslatot, amely előírja a nagyvállalatok számára, hogy éves jelentéseikben tegyék közzé a nem pénzügyi információkat. Ezt követően az Európai Parlament ugyanazon év decemberében jóváhagyta a javaslatot, kiadásra került a 2014/95/EU direktíva (NFRD, Non-Financial Reporting Directive). Hazánkban 2018-tól került átültetésre a kötelezettség, miszerint bizonyos szervezeteknek üzleti jelentéseikben be kell számolniuk a nem pénzügyi jellegű adataikról is.

2021-től az Európai Bizottság konzultációt indított a nem pénzügyi információk közzétételéről szóló irányelvről, mely célja a nem pénzügyi információk közzétételére vonatkozó meglévő szabályok hiányosságainak kezelése, tekintettel arra, hogy az említett információk minősége és

összehasonlíthatósága elégtelen volt ahhoz, hogy azokat a befektetők megfelelően figyelembe tudják venni. E hiányosságok akadályt jelentettek a fenntartható gazdaságra való átállás szempontjából. [8]

Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2022/2464 fenntarthatósággal kapcsolatos vállalati jelentéstételről szóló irányelve (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD) – továbbiakban: CSRD Irányelv – módosítja a nem pénzügyi információk közzétételéről szóló jelenlegi irányelvet (NFRD), továbbá kiterjeszti mind a jelentéstétel elvárt részletezettségét, mind az érintettek körét. A CSRD támogatja az Európai Zöld Megállapodás elnevezésű szakpolitikai intézkedéscsomagot, amely a klímaválság leküzdésével az EU-t modern, erőforrás-hatékony és versenyképes gazdasággá hivatott átalakítani, 2050-ig nullára csökkentve az üvegházhatású gázok nettó kibocsátását.

2.1 Hazai jogrendbe ültetés

A fenntartható fejlődés elvének terjedésével – az EU erre irányuló törekvései nyomán – egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy egy vállalat tevékenységét illetően a teljes képet kell átláthatóvá tenni. Ennek egyik egyre jobban terjedő eszköze a fenntarthatósági – nem pénzügyi – jelentés (más néven ESG [Environmental Social Governance] jelentés), mely a környezetvédelemre vonatkozó adatok mellett foglalkozik a cég gazdasági, társadalmi (ideértve a dolgozók biztonságát és munkakörülményeit is) szerepvállalásával is.

A CSRD Irányelv módosítja a korábbi fenntarthatósági beszámolásról szóló EU-s jogszabályanyagot (2013/34/EU Irányelv) kibővítve az érintettek körét, ezzel a BKV Zrt. is érintetté válik az ESG jelentés elkészítése vonatkozásában.

A CSRD Irányelv az Európai Unió Hivatalos Lapjában való kihirdetését – azaz 2022. december 16. napját – követő huszadik napon lépett hatályba.

A 8. cikk leszögezi, hogy az említett CSRD Irányelvnek a címzettjei a tagállamok. A tagállami átültetésre a CSRD Irányelv 5. cikkben megfogalmazottak szerint olyan időben kell intézkednie a tagállamoknak, hogy ezen irányelv 1-3. cikkének 2024. július 6-ig megfeleljenek.

Az 5. Cikk alapján 2024. január 1-jén vagy azt követően kezdődő pénzügyi évekre vonatkozóan kell alkalmazni azokra a nagyvállalkozásokra, akiknél a mérlegfordulónapjukon a következő három kritérium közül legalább kettőnek a határértékét túllépi (2013/34/EU Irányelv 3. cikkének (4) bekezdése):

- mérlegfőösszeg: 20 000 000 EUR,
- nettó árbevétel: 40 000 000 EUR,
- az üzleti évben foglalkoztatottak átlagos létszáma: 250.

Amennyiben közérdeklődésre számot tartó gazdálkodóról van szó, abban az esetben az adott vállalkozásnak 2025. évtől kell 2024. tárgyévre vonatkozóan a beszámolási kötelezettségnek eleget tenni. A közérdeklődésre számot tartó vállalkozás fogalmát több irányelv meghatározza, Magyarországon a számvitelről szóló 2000. évi C. törvény 3. § (15) bekezdése rögzíti, hogy a törvény alkalmazásában közérdeklődésre számot tartó vállalkozás a Magyar Könyvvizsgálói Kamaráról, a könyvvizsgálói tevékenységről, valamint a könyvvizsgálói közfelügyeletről szóló 2007. évi LXXV. törvény 2. § 19. pontjában meghatározott fogalom. E szerint közérdeklődésre számot tartó gazdálkodó: az a gazdálkodó, amelynek átruházható értékpapírjait az Európai Gazdasági Térség valamely államának szabályozott piacán kereskedésre befogadták, vagy minden olyan gazdálkodó, amelyet jogszabály közérdeklődésre számot tartónak minősít.

Annak a vállalkozásnak, aki az 2013/34/EU Irányelv 3. cikk (4) bekezdésében foglaltaknak – azaz az előbbiekben taglalt kritériumokból kettőnek – megfelel, de – ilyen tartalmú jogszabályi ren-

delkezés hiányában – nem közérdeklődésre számot tartó nagyvállalkozás, 2025. január 1-jén vagy azt követően kezdődő pénzügyi évekre vonatkozóan kell a fenntarthatósági jelentéstételi kötelezettségnek megfelelnie (CSRD Irányelv 5. cikk (2) bekezdés b) pont), így a BKV Zrt.-nek először 2026-ban szükséges fenntarthatósági jelentést készítenie a 2025. évre vonatkozóan.

A CSRD Irányelv bevezeti a kettős lényegesség elvét, ami azt jelenti, hogy nemcsak a fenntarthatósági intézkedések és kockázatok tartalmáról, hanem ezek várható pénzügyi hatásairól is be kell számolni a megfelelő beszámolási standardok alkalmazásával, ha azok lényegesnek bizonyulnak. A pénzügyi lényegesség annak vizsgálatát jelentheti, hogy milyen hatással van a klímaváltozás a társaságra, a környezeti és társadalmi lényegesség pedig arra világít rá, hogy a társaság működése hogyan hat a környezetre, társadalomra.

A CSRD Irányelv 1. cikk (4) bekezdésében foglaltak szerint az érintett vállalkozásoknak – integrált módon – a vezetés beszámolójában kell feltüntetniük a vállalkozás fenntarthatósági kérdésekre gyakorolt hatásainak megértéséhez szükséges információkat, valamint annak megértéséhez szükséges információkat, hogy a fenntarthatósági kérdések hogyan befolyásolják a vállalkozás fejlődését, teljesítményét és helyzetét. Említett adatoknak a vezetés beszámolójában egyértelműen azonosítható módon, a vezetés beszámolójának egy külön szakaszában kell szerepelniük. A tagállamok biztosítják, hogy a vállalkozások észszerű határidőn belül – amely nem haladhatja meg a mérlegfordulónapot követő 12 hónapot – közzéteszik a megfelelően jóváhagyott éves pénzügyi kimutatásokat és a vezetés beszámolóját, a jogszabály szerint engedélyezett könyvvizsgáló vagy könyvvizsgáló cég az 2013/34/EU Irányelv-ben említett véleményével és nyilatkozatával együtt, adott esetben elektronikus beszámolási formátumban.

A tagállamok előírhatják az érintett vállalkozások számára, hogy honlapjukon díjmentesen a nyilvánosság számára hozzáférhetővé tegyék a vezetés beszámolóját.

A fenntarthatósági jelentésekben a lényegesség eszköz arra, hogy a legfontosabb témák azonosításra kerüljenek a társaságok szempontjából. [9]

A Bizottság meghatározott olyan standardokat, amelyeket a beszámoló készítéséhez az érintett vállalkozásoknak alkalmazniuk kell. Az említett fenntarthatósági beszámolási standardoknak meghatározzák azokat az információkat, amelyeket a vállalkozásoknak jelenteniük kell, és adott esetben meghatározzák az ezen információk bemutatására használandó struktúrát is. A két legjelentősebb ezek közül a GRI (Global Reporting Initiative, www.globalreporting.org) és az ESRS (European Sustainability Reporting Standards, www.unepfi.org). Illetve itt érdemes megemlíteni, hogy 2019-ben a „vállalati jelentéstételi párbeszéd” (Corporate Reporting Dialogue) keretében több említett szervezet összefogott, hogy jobban összehangolják egymással a keretrendszereket, megkönnyítve ezáltal a jelentések elkészítését és a jelentésekben foglalt információk tökéletesítését a fő érdekelt felek, különösen a befektetők számára.

Az új, 2024. januárban a hazai jogrendben megjelent egységes szabályozás, amely egészen pontosan a fenntartható finanszírozás és az egységes vállalati felelősségvállalás ösztönzését szolgáló környezettudatos, társadalmi és szociális szempontokat is figyelembe vevő, vállalati társadalmi felelősségvállalás szabályairól és azzal összefüggő egyéb törvények módosításáról szóló 2023. évi CVIII. törvény, már önmagában előrelépést jelent szabályozói és jogalkalmazói szempontból is, mivel az érintett vállalkozások mellett az állami szabályozókra/hatóságokra, valamint az ESG piacon szolgáltató szereplőkre vonatkozó szabályokat is tartalmaz. Az ESG törvény elsődleges elvárása a vállalkozásoktól, hogy működésük során vizsgálják és kezeljék tevékenységük társadalmi és környezeti hatásait, illetve csökkentsék vagy megszüntessék a társadalmi felelősségvállalási vagy környezeti kockázatokat.

A leginkább kézzelfogható kötelezettség, hogy az érintett vállalkozások kötelesek lesznek évente ESG beszámolót készíteni és azt közzétenni. Az ESG beszámolóknak tartalmaznia kell többek között a vállalkozás fenntarthatósági célú átvilágítási folyamatának leírását, a vállalkozás által azonosított társadalmi felelősségvállalási és környezeti kockázatokat, vagy éppen a vállalkozás által megtett intézkedéseket és a vállalkozás céljait.

További kötelezettség még a kockázatkezelési rendszer létrehozása, panaszkezelési folyamat kiépítése, vagy az ESG adatszolgáltatási kötelezettség teljesítése. [10]

2.2 A GRI – ESRS szabványok összehasonlítása

2024 januárjától az európai fenntarthatósági jelentéstételi szabványok (ESRS) határozzák meg a fenntarthatósági jelentéstétel kereteit az EU-ban, így Magyarországon is. Ez a változás a vállalati fenntarthatósági jelentésről szóló irányelv (CSRD) révén következik be, amelynek célja a környezeti, társadalmi és irányítási (ESG) jelentéstétel egységesítése és átláthatóságának fokozása az egész Európai Unióban.

Azon cégek, akik már a több éve készítene fenntarthatósági jelentést, azok a GRI szabványok mentén készítették el saját jelentéseiket, mely most jó kiindulási alapot jelent számukra, mivel az új ESRS szabványokat a GRI-vel nagyon szoros összhangban alakították ki (1. táblázat).

A legjelentősebb különbség a lényegességi elemzésben rejlik, amely az ESRS szerint kettős lényegességen (hatás és pénzügyi) alapul. A hatás lényegessége az ESRS szerint lényegében megfelel a GRI lényegességének, viszont az ESRS-ben megjelenik a pénzügyi lényegesség („viszszahatás”) is. Erre akkor kerül sor, ha a fenntarthatósági szempontok olyan kockázatokat vagy lehetőségeket rejtnek magukban, amelyek rövid, közép- vagy hosszú távon befolyásolhatják a vállalat pénzügyi helyzetét, pénzügyi teljesítményét. [11]

1. táblázat

ESRS és GRI szabványok összehasonlítása [12] [13]

	ESRS	GRI
Fel- építés	12 szabványból épül fel (2 általános, 8 tematikus szabvány).	Egyetemes, ágazati és tematikus szabványokból épül fel.
Lényegesség	Kettős lényegesség: Az ESRS minden szinten alkalmazza a lényegességet: téma/ügyek, hatás és jelentendő információk.	Hatás lényegessége: A környezeti és társadalmi hatás a kritérium. Tematikus szintű elemzés ajánlott (pl. éghajlatváltozás, munkahelyi egészség és biztonság).
Információk közlésének elmulasztása	A közzététel csak akkor tagadható meg, ha az aláásná az üzleti pozíciót. Ajánlott a becsült információk közlése, ha a vállalat nem tudja összegyűjteni a szükséges információkat az értékláncban feljebb és lejjebb lévő szinteken.	„Nem alkalmazható” „Jogi tilalmak” „Titoktartási korlátozások” vagy „Információ nem áll rendelkezésre” magyarázatok elfogadhatók abban az esetben, ha a vállalat nem tudja összegyűjteni a szükséges információkat az értékláncban feljebb és lejjebb elhelyezkedő szereplőktől.

	ESRS	GRI
Közzététel módja	Az ESRS szükség esetén megköveteli a jelentéstevő jogalany-specifikus közzétételeket. Az ESRS megköveteli a fenntarthatósági információk meghatározott jelentési formátumban történő bemutatását.	A GRI ajánlása nem követeli meg a jelentéstevő jogalany-specifikus közzétételt.
CO ₂ -egyenérték	Előírja a kibocsátási intenzitás jelentését metrikus tonna CO ₂ -egyenértékben, pénzegységként.	A szervezet szabadon választhatja meg a legmegfelelőbb nevezőt.
Célok	Részletesebb információkat igényel a célokról (pl.: a célok meghatározásának folyamata). Rövid távú (a pénzügyi kimutatásokban beszámolási időszakként elfogadott időszak), középtávú (<5 év), és hosszú távú (5 év<).	GRI 3: Material célokkal kapcsolatos kötelezettségvállalások → ez az információ csak ajánlott Időtávok szerinti besorolás nem szükséges.
Vizsgálók függetlensége	Megköveteli annak jelentését, hogy a vizsgálók elkülönülnek-e az ügyben érintett vezetési lánctól.	Ez az információ nem kötelező.

3. Törvény által előírt feladatok

Az ESG törvény kiterjed valamennyi nagyvállalatra, továbbá valamennyi, szabályozott piacon jegyzett kis- és középvállalatra, így ennek keretében jelentéstételi kötelezettség hárul rájuk, amelyet – méretüktől és bevételeiktől függően – először a 2024. tárgyévről vagy az azt követően kezdődő üzleti évre vonatkozóan kell teljesíteniük. Elsődleges feladat, hogy a vállalatok kettős lényegességi értékelést végezzenek egyrészt a szervezet másokra gyakorolt hatásait, másrészt, a szervezetre gyakorolt pénzügyi hatásokat („visszahatásokat”) illetően.

Kockázatelemzést kell végezni a társadalmi felelősségvállalási és környezeti kockázatok azonosítására. Ennek részeként a vállalatoknak ki kell jelölniük egy kockázatkezelésért felelős személyt a munkavállalók közül, aki ezen témában teljeskörű utasítási joggal rendelkezik és kizárólag az ügyvezetésnek felel.

Ugyancsak kötelezővé válik a vállalatok számára, hogy társadalmi felelősségvállalási stratégiát készítsenek, illetve megelőzési és korrekciós intézkedéseket tegyenek. Intézkedés alkalmazására akkor kerül sor, ha a vállalat saját üzleti hatáskörében, leányvállalatainál vagy közvetlen szállítójánál a társadalmi felelősségvállalással kapcsolatos vagy környezetvédelmi kötelezettség megsértése már bekövetkezett, vagy az várható.

A külső irányból érkező, társadalmi felelősségvállalási és környezeti kockázatok megsértésére vonatkozó bejelentések elintézésére a vállalatoknak panaszkezelési rendszert kell létrehozniuk. Az előző üzleti évről ún. ESG beszámolót kell készíteni, melyet a vállalkozásoknak hozzáférhetővé kell tenniük a honlapjukon. A leányvállalatok mentesülhetnek az ESG beszámoló készítésére

vonatkozó kötelezettség alól, ha az anyavállalat által a törvény rendelkezéseinek megfelelően elkészített ESG beszámolóban az érintett leányvállalat, illetve annak leányvállalatai is szerepelnek. Ez különösképpen fontos a BKV Zrt. esetében is, mivel konszolidált éves (NFRD) beszámolóval rendelkezik, mely alapján az ESG beszámolót is konszolidált formában kell elvégezni a lányvállalatok bevonásával.

A törvényi előírásokat illetően a BKV Zrt. számos feladat kapcsán előreutató megoldásokat alkalmaz, melyek hasznos alapot kínálnak a kötelezettség teljesítéséhez. Többek között nagy előnyt jelentenek az Integrált Irányítási Rendszer meglévő elemei, melyek a szabványos követelményeknek megfelelnek. Az alábbi 2. táblázat mutatja be, hogy melyek az ESG törvény főbb feladatai és azoknak összefüggésben milyen mértékű teendőink jelentkeznek, továbbá rendelkezésre állnak-e az egyes feladatokhoz jelenleg is működő folyamatok, a munka elvégzéséhez szükséges kiindulási alapok.

2. táblázat
ESG törvényben rögzített feladatok értékelése

ESG törvényben szereplő feladat		Kiegészítés a feladattal kapcsolatban (kiindulási alap rendelkezésre áll: igen, részben, nem)		
Ált.	Lényegességi hatásértékelés elvégzése a kettős lényegesség elvének megfelelően (lényeges témakörök meghatározása)	– vizsgálni és rögzíteni kell egyrészt a szervezet másokra gyakorolt hatásait, másrészt, a szervezetre gyakorolt pénzügyi hatásokat („visszahatásokat”)		
III. fejezet - A vállalkozás kötelezettségei; 6. Fenntarthatósági célú átvilágítási kötelezettségek közös szabályai; 13 §	Kockázatkezelési rendszer létrehozása	– rendszer felülvizsgálata, szükség esetén módosítás		
	Belső felelősségvállalási stratégia és rendszer kialakítása	– stratégia megalkotása, honlapon történő közzététele -> társadalmi felelősségvállalási stratégia		
	Rendszeres kockázatelemzések elvégzése	– környezetvédelemre és társadalmi felelősségvállalásra vonatkozó kockázatok feltérképezése		
	Megelőzési intézkedések megállapítása a vállalkozás saját üzleti hatáskörében és a közvetlen szállítóival szemben	– amennyiben kockázatot azonosítunk (saját vagy közvetlen szállítói hatáskörben), megelőzési intézkedést kell hozni, évente egyszer vagy jelentős változás esetén ki kell értékelni az eredményességét;		
		– szállító kiválasztásakor figyelembe kell venni a fenntarthatósági elvárásokat -> erre rendszert kell kialakítani;		
		– a szállítónak nyilatkoznia kell, hogy megfelel ezeknek az elvárásoknak és kezeli az ellátási lánc mentén		
	Korrekciós intézkedések megállapítása a vállalkozás saját üzleti hatáskörében és a közvetlen szállítóival szemben	– amennyiben valamilyen fenntarthatósági kötelezettségzegés történik (saját vagy közvetlen szállítói hatáskörben), korrekciós intézkedéseket kell tennünk a hatás megszüntetése, minimalizálása érdekében;		
		– a korrekciós intézkedések eredményességét évente egyszer vagy jelentős változás esetén ki kell értékelni;		
	ESG adatszolgáltatási kötelezettség teljesítése	– évente ESG beszámolót kell készíteni az előző üzleti év fenntarthatósági célú átvilágítási kötelezettségeinek teljesítéséről, majd ESG tanúsítóval auditáltatni kell		
A közvetlen szállítók nyilatkoztatása a felmerülő kockázatok tekintetében	-			

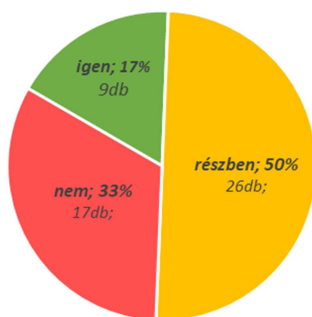
ESG törvényben szereplő feladat		Kiegészítés a feladattal kapcsolatban (kiindulási alap rendelkezésre áll: igen, részben, nem)
11. ESG beszámolóra vonatkozó rendelkezések, 23. §	Az ESG beszámoló tartalmazza: A fenntarthatósági kérdések tekintetében végrehajtott, fenntarthatósági célú átvilágítási folyamat leírását;	-
	Annak bemutatását, hogy a vállalkozás milyen következtetéseket von le a jövőbeli intézkedésekre nézve	-
	A vállalati társadalmi felelősségvállalás tekintetében azonosított érintettek körét, a kitűzött céljait, a végrehajtott fenntarthatósági célú átvilágítási folyamat leírását és eredményeit...	- társadalmi felelősségvállalás: érintettek, célok, kockázatok, intézkedések és eredmények
III. fejezet - A vállalkozás kötelezettségei; 12.	Belső vagy külső panaszkezelési rendszer kialakításáról, amely alkalmas arra, hogy bárki bejelentést tegyen azon társadalmi felelősségvállalási és környezeti kockázatokra	- panaszkezelési rendszer kialakítás, felelős kijelölése
XI. fejezet 50. §	ESG menedzsment platformon történő adatszolgáltatás	- KAÜ-n keresztül, az ESG beszámoló beadására, valamint a hatósági ellenőrzés során dokumentumok beküldésére
XIV. fejezet - Záró rendelkezések; 25. Módosító rendelkezések; 59. §	Vállalatirányítási nyilatkozatnak legalább tartalmaznia kell a sokszínűséggel kapcsolatos politika céljainak, megvalósítási módjának és a beszámolási időszakban elért eredményeknek a leírását	- meg kell vizsgálni, hogy a politikában, vagy a nyilatkozatban rögzítjük a sokszínűséget, és ki kell egészíteni a szükséges információkkal
	Üzleti jelentésében beszámol a kulcsfontosságú immateriális erőforrásokra vonatkozó információkról	- meg kell határozni a kulcsfontosságú immateriális erőforrásokat, és a kapcsolódó információkat
XIV. fejezet - Záró rendelkezések; 25. Módosító rendelkezések 61. § Az Szt. a következő III/A. Fejezettel egészül ki:	A fenntarthatósági jelentést az üzleti jelentésben egyértelműen azonosítható módon, az üzleti jelentés egy külön szakaszában kell szerepeltetni	- Üzleti jelentés kiegészítése a fenntarthatósági jelentéssel

A fenntarthatósági jelentést valamely nemzetközi szabvány (esetünkben ESRS) alkalmazásával kell elkészíteni. Az ESRS szabvány pontos leírásokat tartalmaz az egyes témakörök kidolgozását illetően. Kiemelt témái között szerepel a vállalkozás üzleti modelljének és stratégiájának rövid leírása, a fenntarthatósági kérdésekhez kapcsolódó lehetőségei. Be kell mutatni, hogy a vállalkozás hogyan veszi figyelembe az érdekelt felek elvárásait és a működésének fenntarthatósági kérdésekre gyakorolt hatásait, valamint ismertetni kell a határidőhöz kötött célokat, beleértve adott esetben a legalább 2030-ra és 2050-re vonatkozó célkitűzéseket. Fontos tényező az üveg-

házhatású gáz kibocsátás-csökkentési célértékek meghatározása, a célok elérése felé tett előrehaladás ismertetése, valamint egy nyilatkozatot arról, hogy a szervezet környezeti tényezőkkel kapcsolatos céljai meggyőző tudományos bizonyítékokon alapulnak-e. Az ügyviteli, ügyvezető szervek és felügyelő testületek fenntarthatósági kérdésekkel kapcsolatos szerepét ismertetni kell, ideértve a belső ösztönzőrendszer ESG vonatkozású elemeit. Elengedhetetlen a teljesítmények méréséhez a releváns mutatószámok meghatározása és a fenntarthatósági kérdésekkel kapcsolatban érintő főbb kockázatok leírása. [10]

A fent említett főbb feladatok, az ESG beszámoló és a fenntarthatósági jelentés a projekt indításával egy időben a BKV Zrt. munkacsoportja felmérte azon részfeladatokat, melyek végrehajtása elengedhetetlen a törvényi kötelezettség teljesítéséhez.

A részfeladatok teljesítéséhez rendelkezésre áll kiindulási alap?



2. ábra

Az ESG törvény által előírt kötelezettségek megvalósulása a BKV Zrt. jelenlegi működési gyakorlatában

A 2. ábrán is jól látható, hogy az ESG törvény és az ESRS szabvány elvárásai számos olyan elemet tartalmaznak, melyek teljeskörűen vagy részben jelenleg is megvalósulnak a BKV Zrt. működési gyakorlatában, ezzel is megkönnyítve a felkészülés folyamatát.

4. Hol tart most a BKV Zrt. a törvényi megfelelésségre való felkészülésben

A BKV Zrt. abban a szerencsés helyzetben van, hogy nem a nulláról, tapasztalat nélkül kellett nekilátnia az új ESG törvénynek való megfelelésnek, hiszen a társaság már a tavalyi évben kiadta első Fenntarthatósági jelentését a 2022-es évről. A BKV Zrt.-nél ügyrendileg kijelölésre került a fenntarthatósági jelentés elkészítésért felelős szervezet, a Stratégiai és Beszerzési Igazgatóság munkatársai a törvényben foglaltak végrehajtására való felkészülést megkezdték. Első lépésként elvégezték az úgynevezett kettős lényegességi elemzést.

4.1 Kettős lényegességi elemzés

Ahhoz, hogy a BKV Zrt. elkészíthesse fenntarthatósági jelentését azonosítani kell a lényeges fenntarthatósági témákat az ESRS követelményei szerint. A hangsúly a lényeges van, tehát a vállalatnak nem kell minden a fenntarthatóság területén felmerülő kérdéssel foglalkoznia, a cél, hogy a lényeges hatásokra, kockázatokra és lehetőségekre (Impacts, Risks, Opportunities – IRO) összpontosítson. [14]

Ebben segít a kettős lényegességi elemzés, melynek során a társaság két irányból vizsgálja meg a fenntarthatósági szempontokat (3. ábra):

- Egyrészt azt tekinti át, hogy a vállalat tevékenysége hogyan hat a környezetre és a társadalomra, ezt a belülről-kifelé megközelítést nevezzük hatáslényegességeknek.
- Másrészt vizsgálja, hogy melyek azok az ESG témakörök, melyek a vállalat tevékenységét (pénzügyi teljesítményét) leginkább befolyásolják, ezt a kívülről- befelé megközelítést nevezzük pénzügyi lényegességeknek.



3. ábra

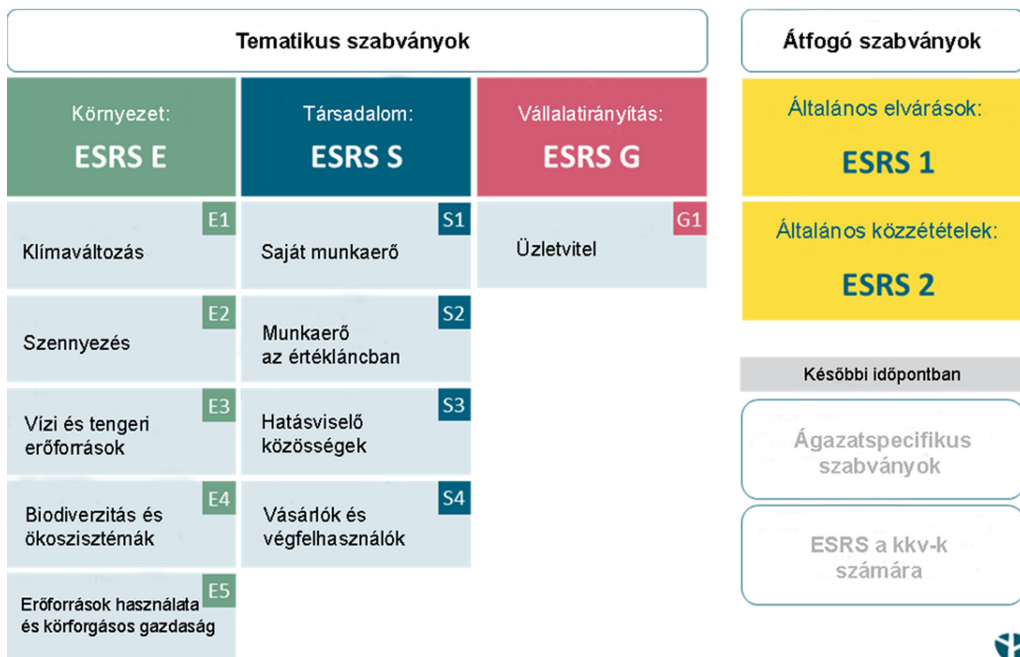
A fenntarthatósági témák hatásai - Kettős lényegesség / saját szerkesztés/

A kettős lényegességi vizsgálat elvégzéséhez nincs előírt módszertan, így a vállalatnak először meg kellett határoznia milyen logika mentén végzi el azt. A kötelezően értékelendő témák köre adott (ha hiányosnak érzi egy vállalat, akkor akár ki is egészítheti azokat), ezek az ESRS szabványban találhatóak (4. ábra).

A kettős lényegességi vizsgálat elvégzéséhez, azaz a tényleges és a lehetséges (negatív és pozitív) hatások azonosításához és lényegességének vizsgálatához a BKV Zrt. egy Excel táblázatot használt. A táblázatba betöltésre kerültek a 4. ábrán látható ESRS tematikus szabványok témakörei altémákkal együtt, valamint az egyes témákhoz kapcsolódó, a jobb megértést segítő elvárások/tényezők kerültek megjelenítésre. Azonosításra kerültek az érdekelt felek az Európai Uniótól, a munkavállalókon át a természetig (ami néma érdekelt félnek tekinthető). Az egyes fenntarthatósági témák lényegessége az érdekelt felek szempontjából megvizsgálásra került, az értékelés mindig a leginkább érintett szereplő szemszögéből valósult meg. A hatás súlyosságának meghatározása 3 jellemzőből tevődik össze, ezek:

- mérték, azaz mennyire súlyos a negatív vagy mennyire előnyös a pozitív hatás,
- a hatókör, ami lehet földrajzi, területi kiterjedés vagy érintett személyek száma szerint értelmezett,
- a helyrehozhatatlan jelleg, azt jelenti, hogy korrigálható-e a negatív hatás és ha igen, milyen mértékben.

A hatás súlyossága a 3 jellemzőre adott pontszám szorzatából kalkulált érték. Az értékelésnél 5 fokú skála került alkalmazásra (1 – kis mértékű; 5 – jelentős mértékű).



4. ábra

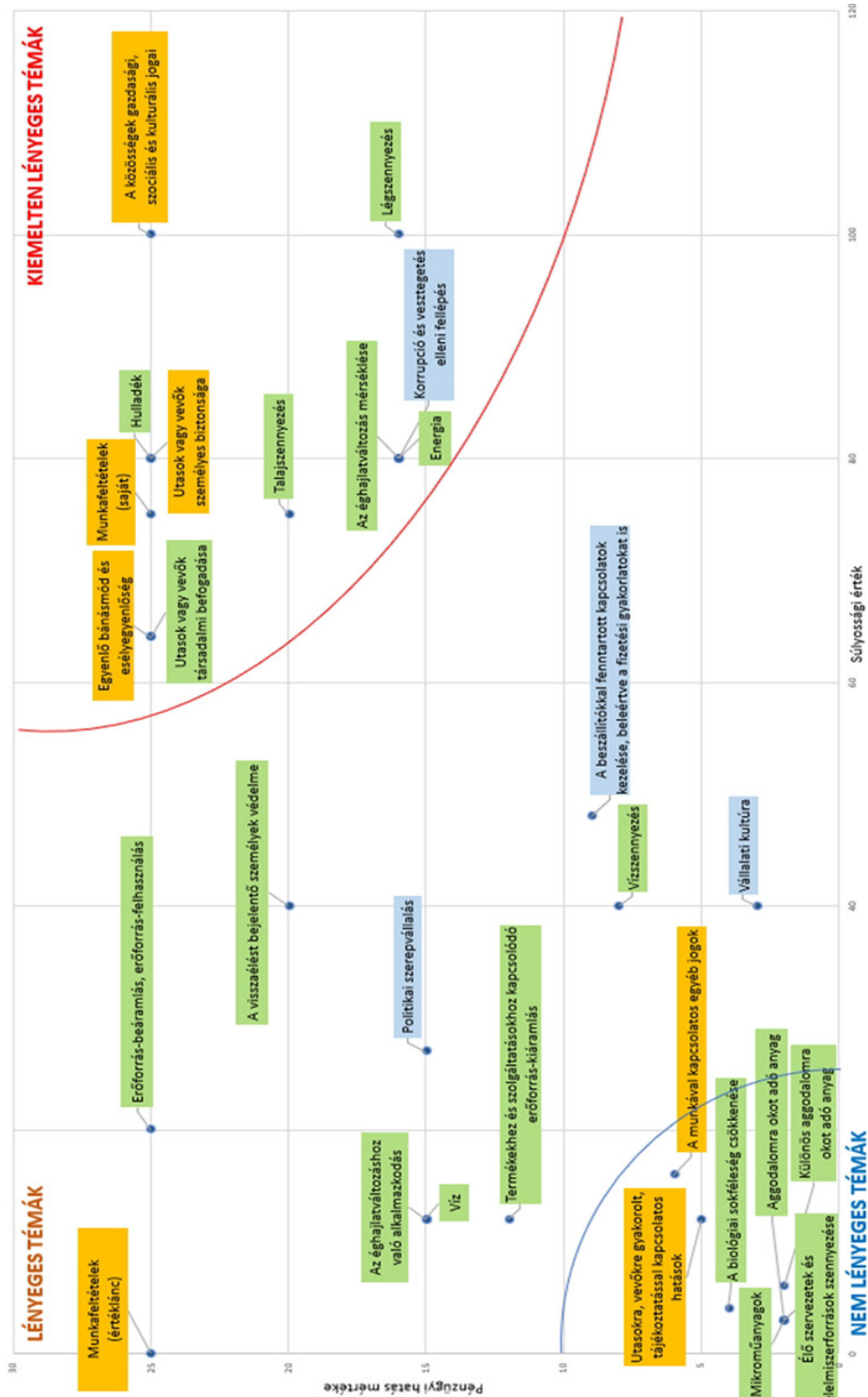
ESRS szabványok [15]

A hatás súlyosságának megállapítása után megtörtént a pénzügyi hatás (visszahatás) értékelése a bekövetkezés valószínűségére (1 – nem valószínű; 5 – nagyon valószínű) és a súlyosságra (1 – elhanyagolható; 5 – jelentős költségeket okoz) adott pontszámok szorzata alapján.

A kapott pontszámok alapján egy rangsor került felállításra és a témák kiemelten lényeges, lényeges és nem lényeges kategóriákba kerültek besorolásra. Az a döntés született, hogy ha az adott téma a hatás súlyossága vagy pénzügyi hatás szempontjából magas pontszámot kapott, akkor az mindenképp lényeges (a két pontszám nem került összeadásra).

A kettős lényegességi vizsgálat során előkerültek olyan témák, amik nem relevánsak vagy értelmezhetetlenek a vállalat szempontjából, így ezek 0 értéket kaptak vagy a mérték vagy a bekövetkezés valószínűsége szerint.

A BKV Zrt. kettős lényegességi vizsgálatának eredménye a 5. ábrán megtekinthető, azonban hangsúlyoznunk kell, hogy ez a 2024. június 10-ei állapot egy első verziós munkaközi példány, mely még nem került validálásra, mivel a vállalat még nem ismeri pontosan sem a Tulajdonos, sem a törvényalkotó elvárásait az ESRS alapján kidolgozandó lényeges témákra és kapcsolódó indikátorrendszerre vonatkozóan.



5. ábra

A BKV Zrt. kettős lényegességi vizsgálata (2024. júniusi állapot)

4.2 A következő időszak feladatai

Az elkövetkezendő időszakban megkezdődnek a belső és külső érintettekkel való egyeztetések. A vállalatnál első körben a VJSZ Kft., a controlling, az IT és a megfelelőségi szakterület bevonása történik meg az adatgyűjtés lehetőségeinek vizsgálata érdekében. A nyár folyamán egyeztetés lesz a Főváros és cégei között a lényeges témákról és indikátorokról, valamint kialakításra kerül egy közös stratégia. A fővárosi indikátorok és a BKV Zrt. által már elvégzett kettős lényegességi vizsgálat alapján meg kell határozni, hogy mely indikátorokat használja a vállalat a soron következő fenntarthatósági jelentés elkészítéséhez. A munka eredményeit a vállalat menedzsmentjével validálni kell.

Az idei ősz fontos feladata a BKV Zrt. 2023. évi fenntarthatósági jelentésének összeállítása és közzététele a vállalat honlapján.

Az év végére a teljes körű indikátorlista elkészítése van előírva, melynek feltétele, hogy még a nyáron ismertté váljanak a hazai törvényi előírások. A mutatók definiálása, az adatforrások és adatforrások pontos meghatározása a legfontosabb feladat a projekt sikerességének szempontjából. Az adatgyűjtés módjára vonatkozóan szabályzat kiadására lesz szükség.

A vállalatnál alkalmazott integrált kockázatkezelési rendszer jelenleg felülvizsgálat alatt áll, átalakítása az év végéig megtörténik az ESG törvénynek való megfelelés érdekében.

Konklúzió

A közösségi közlekedés stratégiai jelentősége az európai és hazai környezeti és mobilitási kihívások megválaszolásában vitathatatlan. A BKV Zrt. mint Budapest legnagyobb közösségi közlekedés szolgáltatója, ahogyan eddig is, úgy a jövőben is azon dolgozik, hogy működését fenntartható pályára állítsa és tevékenységével hozzájáruljon a nemzeti klímacélok eléréséhez. A vállalat karbonlábnyomának vizsgálatakor azonban figyelembe kell venni, hogy az abszolút értékű növekedés nem feltétlenül jelent rosszat társadalmi szinten, hiszen a Budapesti Mobilitási Tervvel összhangban az elsődleges cél a közösségi közlekedés részarányának növelése. A BKV Zrt. valós alternatíva kíván lenni az egyéni motorizált közlekedéssel szemben, miközben figyel a környezetre (E), felelőséget tanúsít munkavállalói és a társadalom iránt (S), átláthatóan és etikusán (G) működik. Éppen ezért nem a nulláról, tapasztalat nélkül kellett nekilátnia az új ESG törvénynek való megfelelésnek, amely mint a cikkből kiderül, nagyon sok feladatot jelent majd a vállalat számára. Az elvégzett kettős lényegességi elemzésből is jól látható, hogy a környezeti és a társadalmi tényezők közel egyenlő arányban szerepelnek a kiemelten lényeges témák között és a vállalatirányítással kapcsolatban is több elem felkerült a mátrixba. A feladatok ütemezése a 2024. évre megtörtént. A BKV Zrt. tervei szerint az először 2026-ban jelentkező kötelezettség helyett, már főpróbaként 2025. évben ESRS szabvány mentén készíti el az ESG törvénynek megfelelő fenntarthatósági jelentését. A BKV Zrt. tehát halad tovább a fenntartható fejlődés útján, alkalmazkodva az időközben megjelenő törvényi előírások diktálta „vezényszavakhoz”. Azt azonban nem szabad elfelejteni, hogy a klímacélok eléréséhez vezető útra lépés az üzemeltetők számára jelentős beruházási feladatokat jelent. Kizárólag üzleti alapon a klímabarát technológiák ma nem tudnak elterjedni, ehhez a beruházások stratégiai célokkal összhangban álló, tervezett ütemű, folyamatos közforrásokkal való támogatása szükséges.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/paris-agreement/> (2024.06.05.)
- [2] <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/green-deal/> (2024.06.05.)
- [3] <https://eionet.kormany.hu/a-fenntarthato-fejlodes-fogalma> (2024.06.05.)
- [4] Tellervo KYLÄ-HARAKKA-RUONALA (előadó): A közlekedés szerepe a fenntartható fejlesztési célok teljesítésében – mit jelent ez az uniós szakpolitikai döntéshozatal szempontjából, Az Európai Unió Hivatalos Lapja (2018/C 367/02)
- [5] https://unis.unvienna.org/unis/hu/topics/sustainable_development_goals.html (2024.06.08.)
- [6] Mészáros-Pintér Sz.: A városi vasutak szerepe a fenntarthatóságban, City Rail 2022 Konferencia ISBN 978-963-8121-97-4 nyomtatott változat, ISBN 978-963-8121-98-1 PDF változat, pp. 93-107.
- [7] Innovációs és Technológiai Minisztérium: Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia 2020-2050 54e01bf45e08607b21906196f75d836de9d6cc47.pdf (kormany.hu) (2024.06.08.)
- [8] <https://www.achilles.com/industry-insights/short-history-of-crsd/> (2024.06.06.)
- [9] Az Európai Parlament és a Tanács 2013/34/EU Irányelve Az Európai Parlament és a Tanács 2013/34/EU Irányelve (2013. június 26.) a meghatározott típusú vállalkozások éves pénzügyi kimutatásairól, összevont (konszolidált) éves pénzügyi kimutatásairól és a kapcsolódó beszámolókról, a 2006/43/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv módosításáról, valamint a 78/660/EGK és a 83/349/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről IEGT-vonatkozású szöveg (europa.eu) (2024.06.06.)
- [10] 2023. évi CVIII. törvény a fenntartható finanszírozás és az egységes vállalati felelősségvállalás ösztönzését szolgáló környezettudatos, társadalmi és szociális szempontokat is figyelembe vevő, vállalati társadalmi felelősségvállalás szabályairól és azzal összefüggő egyéb törvények módosításáról - Törvények és országgyűlési határozatok (jogtar.hu) (2024.06.06.)
- [11] https://www.globalreporting.org/media/z2vmxbks/gri-standards-and-esrs-draft-interoperability-index_20231130-final.pdf (2024.06.06.)
- [12] GRI Standards, <https://www.globalreporting.org/standards/> (2024.06.06.)
- [13] EFRAG: European Sustainability Reporting Standards <https://www.efrag.org/lab6?AspxAutoDetectCookieSupport=1> (2024.06.06.)
- [14] <https://denkstatt.hu/szolgáltatásaink/esg-es-fenntarthatóság-menedzsment/csr-d-kettos-lenyegessegi-elemzes/> (2024.06.09.)
- [15] <https://denkstatt.hu/esrs-szabványok-magyarazat/> (2024.06.11.)
-
-

A villamosok fogyasztásmérésének és a mért adatok feldolgozásának új megközelítései

Vitéz Gergely

járműfenntartási mérnök

BKV Zrt. Vasúti Üzemeltetési Igazgatóság, Villamos Üzemigazgatóság
Villamos Járműműszaki Főmérnökség, III. Vontatási Szakszolgálat,
Budafok Járműfenntartási Üzem
telefon: +36/70-390-8592
e-mail: vitezg@bkv.hu

Abstract

2022-ben igény merült fel a közúti villamosvasúti járművek villamosenergia-felhasználásának részletes vizsgálatára, melyhez szükséges volt a mérési adatok gépi feldolgozásához [1]. A különféle mérőeszközökből begyűjtött adatmennyiség (~300 GB) szükségessé tette a feldolgozás és a mérési egységek létrehozásának automatizálását, melyek után a statisztikai elemzést végezték az adathalmazon [2].

Kulcsszavak: fogyasztásmérés, villamos energia, adatfeldolgozás, SQL adatbázis, Python programozás

Bevezetés

Az energiapiaci helyzet miatt felmerült, hogy szükséges lenne pontosabb adatokat kapni a közúti vasúti járműveink energiafogyasztásáról. Ehhez beszerzésre került a Vertesz Elektronika által gyártott DCMTE elnevezésű fogyasztásmérő műszer, mely beszerelhető volt minden mérni kívánt járműtípusba. Egyes villamostípusok rendelkeznek beépített kezdetleges fogyasztásmérő eszközzel (KCSV7, T5C5K), melyet a járműszoftver a különféle működési jellemzőkből számol, de ezek leolvasása főleg többkocsis szerelvények esetén nehezen megoldható, esetleg a rögzített adatok a jármű újraindításával törlődnek.

A cél az volt, hogy a járművek által megtett menetrendi menetek elemezhetőek legyenek statisztikai alapon, ehhez viszont a mérések nagy számosságára volt szükség. A sűrű menetrendi követhetés azonban nem teszi lehetővé az adatok kézi rögzítését a járművezetők által ezért automatizált megoldást kellett kialakítani.

1. Mérés céljai

1.1 Nagymintás fogyasztásmérés

A nagymintás mérések célja volt, hogy a különféle járműtípusok jellemzőit össze lehessen hasonlítani, a különböző bejárt vonalak sajátosságait meg lehessen figyelni. Ehhez a méréshez mind a DCMTE, mint a TiMon méréseket használni lehetett. A DCMTE mérések hátránya, hogy

csak kevés számú járműbe lehetett elhelyezni, valamint a felbontása kevésbé pontos, mint a TiMon méréseké (1 perc – 1 másodperc). A méréshez szükséges végleges riportokat (továbbiakban adatmátrixokat) két különböző forrásból kellett létrehozni különféle módokon, de a végső adatmátrixnak ugyanabban a formátumban kellett előállnia. Ezt a különbséget a PostgreSQL adatbázis-kezelő rendszer elfedte a felhasználó elől, de ugyanazokat a jellemzőket más számítási módokon keresztül kellett leprogramozni.

A DCMTE és a TiMon alapvetően más feladatra lett kitalálva, de a mérések elvégzéséhez le kellett fejleszteni az adatok feldolgozásának menetét egységessé tevő programokat, SQL szkripteket. A feldolgozás itt még csak notebookon működött, mely korlátozta a számítási kapacitást. Példaként megemlíthető, hogy a TiMon adatmátrix létrehozását szolgáló SQL lekérdezés kb. 3,5-4 órát futott a notebookon. A DCMTE adatmátrix létrehozása a kisebb felbontás és mérés mennyiség miatt elhanyagolható idő alatt lefutott (~2-10 perc).

Mérésazonosító	CAF	DCMTE	2023.06.01.0:01	2023.06.01.0:22	Mexikói út M	Újpalota, Erdőkerülő utca	69	13000	16,5	3,4	13,1	1,007892308	0,005038462	F	N
2023-05-31-2214-010001 V2214	CAF5	DCMTE 7433	2023.06.01.0:01	2023.06.01.0:22	Mexikói út M	Újpalota, Erdőkerülő utca	69	13000	16,5	3,4	13,1	1,007892308	0,005038462	F	N
2023-05-31-4272-010004 V4048 V4336 V4272	TSC5	DCMTE A6289	2023.06.01.0:04	2023.06.01.0:53	Bécsi út / Vörösvári út	Kelenföld vasútállomás M	1	18200	88,5	0	88,5	4,862837363	0,019089166	F	N
2023-05-31-2102-010010 V2102	CAF9	DCMTE 9871	2023.06.01.0:10	2023.06.01.0:59	Bécsi út / Vörösvári út	Kelenföld vasútállomás M	1	18200	77,7	37,4	40,3	2,214285714	0,006418219	F	N
2023-05-31-2214-010028 V2214	CAF5	DCMTE 7433	2023.06.01.0:28	2023.06.01.0:42	Újpalota, Erdőkerülő utca	Nagy Lajos király útja / Cobor utca	69	10600	7,5	0	7,5	0,70754717	0,003337736	F	C
2023-05-31-2214-010042 V2214	CAF5	DCMTE 7433	2023.06.01.0:42	2023.06.01.1:06	Nagy Lajos király útja / Cobor utca	Sáva kocsiszín	69	24232	44,8	9,5	35,3	1,456751403	0,007283757	FG	G
2023-05-31-4272-010101 V4048 V4336 V4272	TSC5	DCMTE A6289	2023.06.01.1:01	2023.06.01.1:55	Kelenföld vasútállomás M	Bécsi út / Vörösvári út	1	18000	85,8	0	85,8	4,766666667	0,01869281	F	N
2023-05-31-2102-010107 V2102	CAF9	DCMTE 9871	2023.06.01.1:07	2023.06.01.1:11	Kelenföld vasútállomás M	Etele út / Fehérvári út	1	1600	0,5	0	0,5	0,3125	0,000905797	F	C

1. ábra
Adatmátrix minta

1.2 Műterheléses mérés és validációs mérés

Feldolgozási technológiát tekintve nem módosult a számítási folyamat, csak ForTe adatforrás helyett manuális futásadatok kerültek felvitelre a menetek leképezésére. A CAF és Combino típusok esetében kísérletek folytak a klímaberendezés szabályozási módjának megfigyelésére. A TiMon adatok bővebb elérhetősége lehetővé tette a jármű által érzékelt külső és belső hőmérsékletek megfigyelését is.

1.3 Infrastruktúra elemek hatása

A TiMon másodperces felbontásával lehetővé vált, hogy 1-1 megállótávot megfigyelve meg lehessen vizsgálni a lassújelek, szakaszszigetelők hatását a felvett energiára.

1.4 Utastéri fűtés üzemmódok mérés CAF típus esetében

Az utastéri fűtés méréséhez a segédüzemi inverterek által felvett energiát használtuk. A mérések álló helyzetben történtek, az ajtónyitásokat percenként 10 másodpercre végeztük el, hogy szimuláljuk a forgalmi állapotot. A mérések során azt vizsgáltuk, hogy a CAF típuson a lábfűtések kiiktatva csökkenthető-e az energiaigény. A mérések során fontos jellemző a külső-belső hőmérsékletek változása, valamint a felvett segédüzemi energia. A CAF jármű klímavezérlése viszont az elvárt célhőmérsékletre törekszik, így a lábfűtések kiiktatva csak az 5 modulos jár-

műnél lehetett csökkenést tapasztalni, mivel ott a klímaberendezések kisebb száma nem volt képes a célhőmérsékletre felfűteni. A 9 modulos változat esetében viszont a 4 db utastéri klímaegység lábfűtés nélkül is képes volt elérni a célhőmérsékletet, csak hosszabb idő volt szükséges a célhőfok eléréshez.

1.5 Járművezetői fogyasztás mérése

2024 áprilisában új mérési sorozat indult a 19-es viszonylaton közlekedő CAF villamosok mérésével a járművezetői fogyasztási adatok megfigyelésére. Ez a mérési folyamat még tart, de rengeteg változást hozott az alkalmazott technológiákat illetően.

Az adatbetöltésre használt Talend Open Studio támogatása befejeződött a gyártó részéről, így ingyenesen tovább nem lehet elérni. Az adatbetöltő folyamatok elvégzésére egyedileg fejlesztett Python szkriptek kerültek alkalmazásra, melyek több szabadságot adnak a fejlesztés során, de nem könnyítik meg grafikus eszközök a számos adattábla, mező kezelését, konverzióját.

Az adatbázis-kezelő rendszer cseréjére került a BKV által üzemeltetett CSQL10 MS SQL Serverre. Ehhez szükség volt a PostgreSQL-ben megírt lekérdezések, létrehozott struktúrák migrálására, mivel a két rendszer részben eltérő szintaktikát, funkciókat alkalmaz. A korábbi verzióban Talendben kezelt feldolgozási folyamatok egy része az SQL Server keretein belül tárolt eljárás-ként lett lefejlesztve, mely gyorsabbá tette a folyamatot, mivel a műveletek közvetlenül az adatbázis-kezelőben futnak.

Az SQL Server nagyobb erőforrása miatt a TiMon adatmátrix generálása a korábbi órák helyek kb. 10-20 percet vesz igénybe, ez jelentős időmegtakarítás egy-egy hibakeresés és újrafuttatás esetében.

A további fejlesztésekhez még több tárolt eljárás fog elkészülni, ennek hátránya a nem túl „felhasználó-barát” felület és lehetőségek. Az Excel viszont közvetlenül képest ezt az adatbázis-kezelőt elérni, nem szükséges hozzá külső ODBC-drivereket telepítése.

2. A jármű villamosenergia-fogyasztási adatok és egyéb segédadatok betöltése

2.1 DCMTE mérések feldolgozása

A DCMTE egy 3 csatornás fogyasztásmérő berendezés, mely aggregált formában tárolja a megmért fogyasztást, beállítható gyakorisággal rögzíti a mért eredményeket (1 perces gyakoriság a legsűrűbb). A feldolgozást megnehezítette, hogy ekkora adatsűrűség mellett mindössze ~2,5 nap adatait tudja tárolni.

DCMTE eszközt az összes mérésben részt vevő járműnél használtunk, így az adatfeldolgozás minden jelenleg forgalomban lévő járműtípust érintett. (ICS, KCSV7, T5C5, T5C5K, TW6000, Combino, CAF3/5, CAF 3/9)

Az adatfeldolgozás során a kiolvasott fájlnevekbe kódolt információt is fel kell használni a jármű, eszköz azonosításához (pl. 2214_V21006_221214.TXT megadja a jármű pályaszámát, a mérőműszer sorszámát, valamint a kiolvasás dátumát). A rögzített fájl fix szélességű, azonban „|” elválasztó karaktereket is tartalmaz, így viszonylag problémamentes volt a feldolgozása az üres karakterek un. white space-ek eltávolításával.



2. ábra

DCMTE fogyasztásmérő

Record time	U1 min [V]	U1 avg [V]	U1 max [V]	U2 min [V]	U2 avg [V]	U2 max [V]	U3 min [V]	U3 avg [V]	U3 max [V]	
2022.07.16. 0:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	428,0	443,4	498,0
2022.07.16. 0:15:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	427,4	441,1	490,3
2022.07.16. 0:30:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	430,0	443,2	491,2
2022.07.16. 0:45:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	430,7	446,2	498,1
2022.07.16. 1:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	434,9	448,1	492,2
2022.07.16. 1:15:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	439,6	449,2	483,1

3. ábra

DCMTE Extract minta

Az adatfeldolgozás során több hiba is előállhat, melyeket kezelni kellett. Technikai okból a műszerekből mindig a teljes adatmennyiség került kiolvasásra, így az időfolytonosságban átfedések keletkeztek a fájlok között. Továbbá a jármű bekapcsolása, leállítása, valamint a pontos idő szinkronizálása miatt ezek az időpontok duplikálva jelentkeztek a feldolgozás során. Ezekből minden esetben a legfrissebb érvényes példányt tartjuk meg.

A jelenleg futó mérések során a DCMTE-t nem használjuk, azonban a 2023 nyarán végzett mérések során fontos szerepet játszott a járműtípusok vizsgálatában.

2.2 A CAF Urbos 3 típuscsalád fogyasztásának mérése

A CAF Urbos 3 típuscsalád már viszonylag fejlett járműdiagnosztikai eszközökkel rendelkezik, mellyel a villamosenergia-fogyasztás megállapítható, azonban a megrendelés során ez a funkció közvetlenül nem lett kérve, így nem érhető el triviális módon.

A jármű beépített diagnosztikai rendszere azon alapul, hogy a vezetőfülkében található interaktív kijelző (HMI) képes arra, hogy egy hozzá USB1-es porton csatlakoztatott meghajtóra (pendrive) az előre XML formátumban összeállított változólista pillanatnyi értékeit másodpercenként 10 alkalommal egy induló dátum-idő névvel létrehozott pontosvesszővel (;) tagolt nyers *.csv kiterjesztésű fájlban rögzíteni képes. Nehézséget a menetregisztráló pontos idő adatának

konverziója jelentette, mivel azt BCD formátumban kezeli, ezt az érték decimálisról hexadecimális karakterekre történő konverziójával sikerült áthidalni.

```
TIME;TCU_C1_CAuxEnergy(Unsigned32);TCU_C1_EnergyConsu(Unsigned32);TCU_C1_EnergyDissip(Unsigned32);TCU_C1_EnergyRegen(Unsigned32);TCU_C1_HUPSVoltage2(Unsigned16);TCU_C1_HUPSVoltage1(Unsigned16);TCU_M3_HUPS Curr2(Integer16);TCU_M3_HUPS Curr1(Integer16);SHVAC_S1_H_TempImp(Integer8);SHVAC_S1_H_TempImp2(Integer8);SHVAC_S1_H_TempOut(Integer8);SHVAC_S1_H_TempRet(Integer8);0,000;146668;283674;10;150306;152368;280857;8;159724;0;0;0;0;656;-1;483356325;2223;36;32;55;3;3;2;40;0;0;0;652;661;0;0;1;0,100;146668;283674;10;150306;152368;280857;8;159724;0;0;0;0;656;-1;483356325;2223;36;32;55;3;3;2;40;0;0;0;652;661;0;0;1;0,200;146668;283674;10;150306;152368;280857;8;159724;0;0;0;0;656;-1;483356325;2223;36;32;55;3;3;2;40;0;0;0;652;661;0;0;1;0,300;146668;283674;10;150306;152368;280857;8;159724;0;0;0;0;656;-2;483356325;2223;36;32;55;3;3;2;40;0;0;0;652;661;0;0;1;0,400;146668;283674;10;150306;152368;280857;8;159724;0;0;0;0;657;0;483356325;2223;36;32;55;3;3;2;40;0;0;0;653;660;0;0;1;1
```

4. ábra

TiMon Extract minta

A hajtásegységek rögzítenek saját göngyölt fogyasztást, ugyanakkor ezek csak az adott egységre vonatkoznak, és nem veszik figyelembe, hogy a visszatáplálás során keletkezett energia, visszajut-e a hálózatba, vagy felhasználásra kerül a jármű segédüzemei által. A göngyölt fogyasztást éppen ezért a 2023 nyarán végzett átfogó méréssorozat során nem lehetett használni.

A fogyasztás megbízhatóbb meghatározásához a jármű által folyamatosan rögzített hálózati feszültség és vontatási, valamint segédüzemi áramértékek pillanatnyi értékeit lehet használni oly módon, hogy amennyiben a két áramérték összege pozitív, akkor felvett energiához aggregáljuk, ha negatív, akkor a visszatáplált energiához aggregáljuk a szorzat eredményét. Az SQL-ben megvalósított számolás az alábbi képlettel írható le:

$$\sum_{t_0}^{t_1} U_h \cdot I_v + U_h \cdot I_s \quad (1)$$

ahol:

- U_h : a hálózati feszültség pillanatnyi értéke [V],
- I_v : a vontatási áram pillanatnyi értéke [A],
- I_s : a segédüzemi áram pillanatnyi értéke [A],
- t_0 : a mérés kezdeti ideje [s],
- t_1 : a mérés befejezési ideje [s].

Mindemellett 1 db CAF3/5 és 1 db CAF 3/9 jármű DCMTE rendszerrel is fel van szerelve. A CAF 3/9 járműbe 2 db DCMTE került beszerelésre, mindkét áramszedőhöz került 1-1 berendezés. Mivel TiMon járműdiagnosztikával minden CAF jármű rendelkezik, ezért a mérésbe bevonható járművek száma könnyebben növelhető, mivel csak egy egyszerű pendrive meghajtó, valamint egy M12-USB átalakító kábel szükséges hozzá.



5. ábra

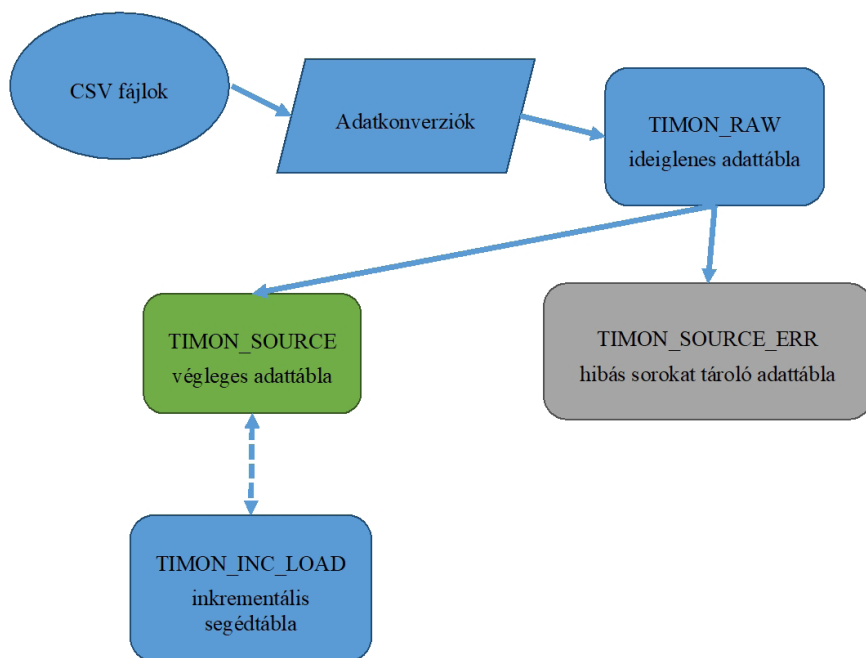
M12-USB átalakító kábel

A mért adatok automatikus letöltése sajnos nem volt alkalmazható, mivel a járműbe beépített Wifi accesspoint, valamint a HMI számítógép feldolgozási sebessége kb. 1 MB/s adatletöltési sebességet tesz lehetővé, így az esetenként letöltendő 5-10 GB letöltése a járművekről több órát vett volna igénybe, így az USB kulcs eltávolítása, letöltése, valamint manuális visszahelyezése volt megoldható.

A feldolgozás során szükséges volt olyan inkrementális adatbetöltés kialakítására, amely már az egyszer feldolgozott adatokat kihagyja, mivel az összesen ~300 GB mérési adat esetén betöltő program futtatása több 10 órát vett volna igénybe, ezért a CAF járművekről folyamatosan letöltött csv fájlok pályaszám szerinti könyvtárba bemásolás után csak azok kerültek feldolgozásra, melyek még nem lettek hozzáadva az adatbázis TIMON_INC_LOAD nevű adattáblájához.

A betöltés során a nagy adatmennyiség miatt a mért adatokból elegendőnek láttuk a másodperces pontosság megtartását, így csak minden 10. adatsor került adatbázisba betöltésre.

A CAF járművek időszinkronizálása miatt itt is előállhatnak duplikációs hibák, így ezeket ki kell szűrni a betöltés során, ezek a hibátáblába kerülnek lementésre, hogy utólag meg lehessen vizsgálni az okokat.



6. ábra

TiMon adatbetöltés blokkvázlata

2.3 ForTe adatok betöltése

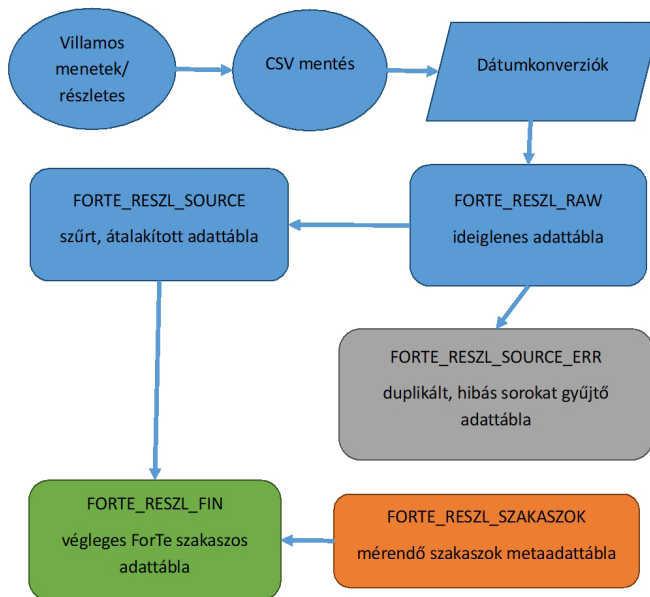
A BKV által használt forgalmi adatokat kezelő alkalmazásból kinyerhetőek a megtett menetek információi a HANA adatbázison keresztül, amelyek 2024-ben kibővültek a megállóhelyi FUTÁR információkkal is. A riporthoz való hozzáférés után a mérésekhez szükséges havi adatmennyiségeket kiexportáltuk xls formátumba, majd Excel segítségével csv fájlokat képeztünk belőle.

Az adatok nagy mennyisége miatt a letöltést több részletben kellett végrehajtani, mivel a BO rendszer egyben nem volt képes elkészíteni az xls fájlt. Az adatbázis-betöltő program úgy lett kialakítva, hogy automatikusan képes legyen több export fájl betöltésére.

Pályaszám	Vonal	Forgalmi szám	Dátum	Dátum (FML)	Tevékenységi	Közös	Hely	Végállomás név (1)	Végzés	Végállomás (2)	Végállomás név (2)	Időtartam	Végi TAV_M	TERHOSSZ_M
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	04:53	003077	Városház tér	05:12	F02194	Mónicz Zsigmond körtér M	19	5 800,00	5 729
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	05:13	F02194	Mónicz Zsigmond körtér M	05:23	002110	Deák Ferenc tér M	10	2 900,00	2 954
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	05:33	002110	Deák Ferenc tér M	06:11	003077	Városház tér	38	8 900,00	8 771
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	06:11	003077	Városház tér	06:31	F02194	Mónicz Zsigmond körtér M	20	5 800,00	5 729
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	06:32	F02194	Mónicz Zsigmond körtér M	06:43	002110	Deák Ferenc tér M	11	2 900,00	2 954
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	06:51	002110	Deák Ferenc tér M	07:23	003077	Városház tér	32	8 900,00	8 771
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	07:31	003077	Városház tér	07:52	F02194	Mónicz Zsigmond körtér M	21	5 800,00	5 729
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	07:52	F02194	Mónicz Zsigmond körtér M	08:04	002110	Deák Ferenc tér M	12	2 900,00	2 954
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	08:11	002110	Deák Ferenc tér M	08:59	003077	Városház tér	48	8 900,00	8 771
V1313	3470	3	2023.11.01.	2023.11.01.	F	08:59	003077	Városház tér	09:30	002110	Deák Ferenc tér M	31	8 700,00	8 683

7. ábra
Villamos menetek HANA riport

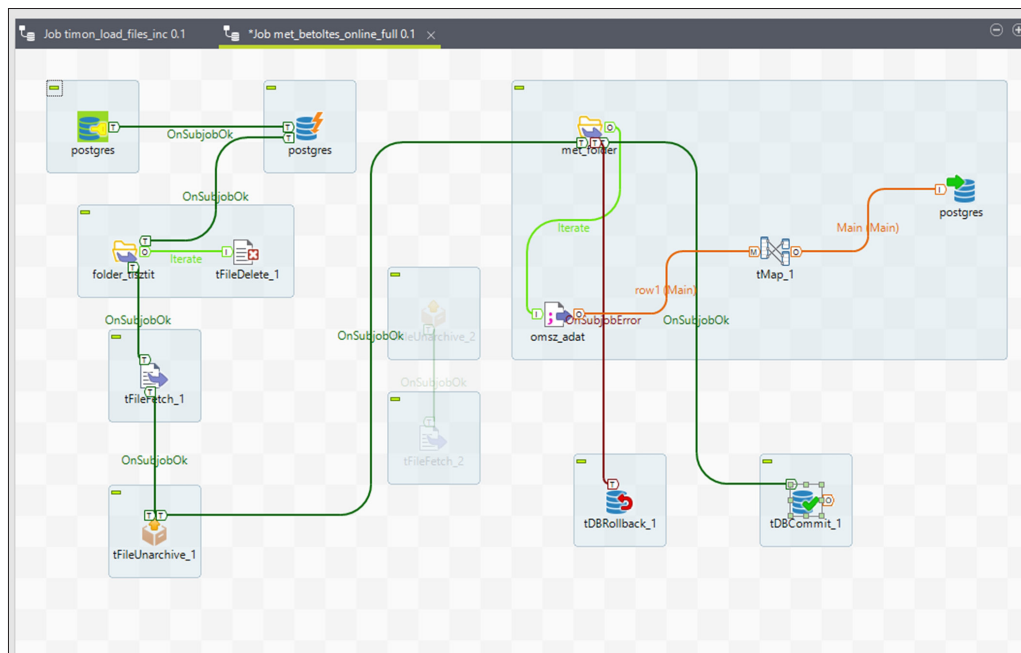
A 2023 nyári mérések során a ForTe által rögzített menetek kerültek feldolgozásra, 2024-es mérések esetében a megállóhelyi adatokat is figyelembe vesszük. Az aktuális adattáblák létrehozása az alábbi blokkvázlaton tekinthető meg:



8. ábra
ForTe adatok feldolgozása

2.4 Meteorológiai adatok betöltése

A HungaroMet meteorológiai adattárból letölthetőek az aktuális év, vagy akár az elmúlt évek adatai órás bontásban. Az adatmátrix környezeti hőmérséklet adata innen lett hozzárendelve az aktuális menethez. Az adatokat .zip tömörített formátumban lehet letölteni, majd kibontás után a csv fájlokat be lehet tölteni az adatbázisba. Az adatbetöltést megvalósító Talend program az alábbi ábrán látható:



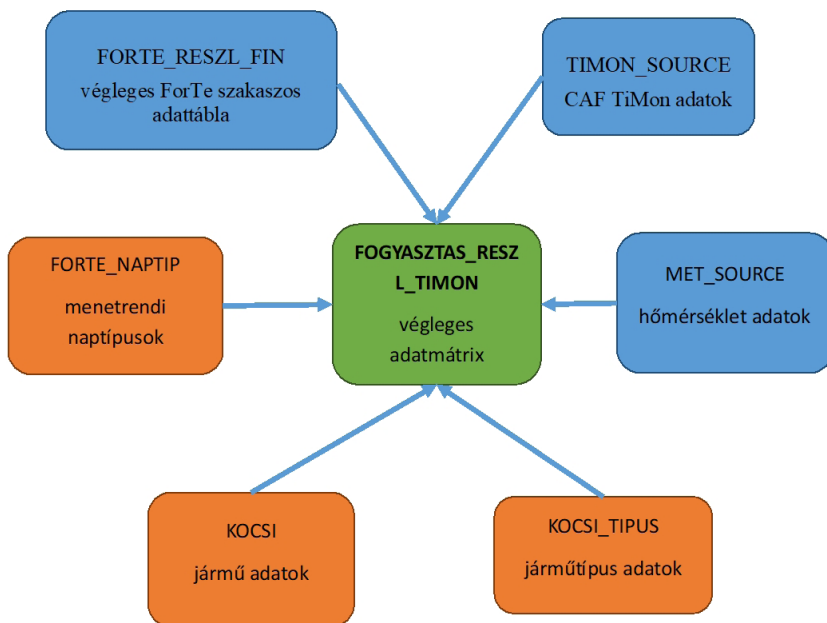
9. ábra

A HungaroMet adatok betöltése

A hőmérsékletek betöltése manuálisan is elvégezhető az adatbázis kliens alkalmazás használatával.

2.5 Végleges adatmátrix létrehozása

Az egységes Excelben feldolgozható adatmátrixot az az adatbázisból ODBC kapcsolattal, vagy MS SQL szerverből közvetlenül kell letölteni a folyamat végtáblájából. Az alábbi blokkvázlat mutatja az aktuális folyamat működését:



10. ábra

Az adatmátrix létrehozása

3. Felhasznált technológiák

3.1 Adatbázis-kezelő rendszerek

3.1.1 PostgreSQL 15

A PostgreSQL egy nyílt forráskódú adatbázis kezelő, mely az Oracle-hez közelítő képességekkel rendelkezik, ezért az első fejlesztésekhez célszerű volt a használata. Megfontolandó lehet a további igénybevétele vállalati körülmények között.

3.1.2 MS SQL Server

A BKV üzemeltet belső célokra MS SQL Server adatbázis kiszolgálót, melyhez a fogyasztásmérés lebonyolításához kaptunk hozzáférést, ezért az eddigi fejlesztéseket ide költöztetjük, mely egyben részleges újrafeljesztést is igényel.

3.2 ETL-re használt eszközök

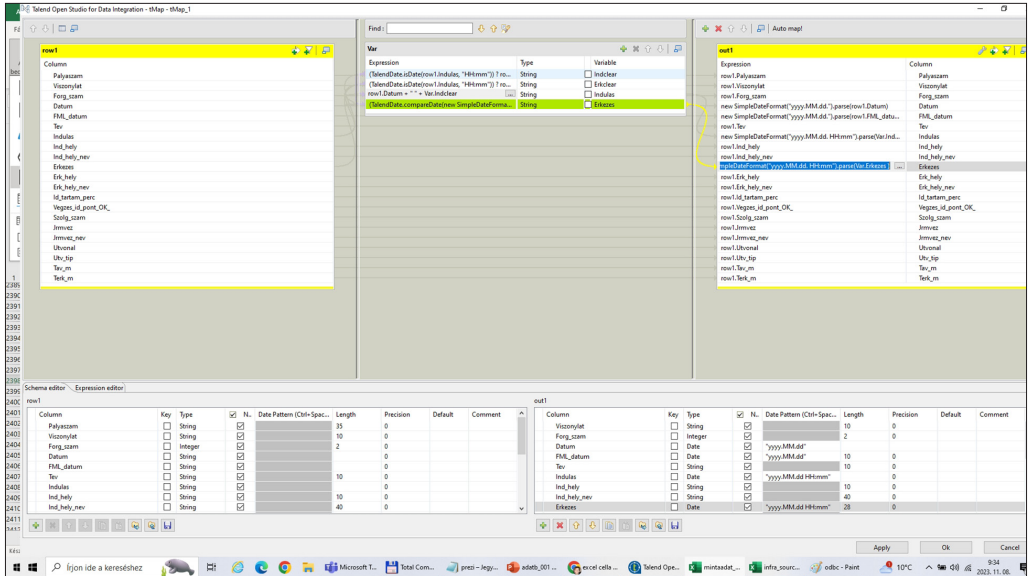
3.2.1 Talend Open Studio

Az adatok betöltéséhez a Talend Open Studio for Data Integration alkalmazás 7.3.1 verzióját használtuk.

Az Eclipse alapú Java nyelven íródott szoftverrel grafikus alapon beépített metaadat kezeléssel lehetséges adatbetöltő folyamatok, un. jobok készítése (ETL – Extract-Transform-Load).

A különböző adatforrások egyedi betöltésére saját jobokat készítettünk, ezek egymásutání lefuttatása után állt össze a kész adatbázis, melyből a megmért meneteket tartalmazó riport létrehozható.

Sajnálatos módon ez az alkalmazás megszűnt nyílt forráskódú felhasználásban, így a továbbiakban csak licenszelt formában érhető el. A legnagyobb kihívást ennek az eszköznek a pótlása jelenti.



11. ábra

Talend Open Studioval készített adat-összegezés

3.2.2 Python programozási nyelv

A 2024-es mérésekhez a folyamatokat újra kellett fejleszteni Python programozási nyelvben. Ez egy rugalmas fejlesztési lehetőségeket biztosító eszköz, rengeteg beépített funkcióval. Hátánya, hogy az interpretált feldolgozás miatt a futási sebesség nem lesz olyan gyors, mint egy natívan futó program esetében, azonban a Java-s Talend mellett nem jelentkezik különbség.

A fejlesztéshez a Microsoft Visual Studio Code[3] nevű szerkesztőszoftvert használjuk, ami a kódkiegészítéssel, tagolással, a kulcsszavak kiemelésével megkönnyíti a Talendnél lényegesebben bonyolult struktúrák áttekintését.

A Python adatbetöltések MS-SQL adatbázis-kezelő létrehozásával indulnak, majd a csv forrás-adatokat (Forte, TiMon) soronkénti feldolgozásával folytatódnak. A nehézséget az jelentette, hogy a betöltéshez szükséges SQL INSERT parancsok létrehozását le kellett programozni, a lefuttatásukat be kellett ütemezni.

A betöltés során az vált be a legjobban, ha 50 rekordot csoportosan 1 db INSERT parancs lefuttatásával töltöttünk be az adatbázisba, mivel minden egyes betöltés során az SQL parancs adatbázis-kezelő lefuttatása is további időt igényel, ezért egyedi soronként futtatott betöltés lassúnak bizonyult. 50 rekord felett az adatmennyiség miatt lassult le a folyamat, ezért általánosan a betöltések 50 rekordonként hívják meg az adatbázis-kezelőt.

```
195
196     #csv fájl olvasás
197     for ff in dir_list:
198         if ff.endswith(".csv"):
199             print (ff)
200
201     ##check loadstate be lett-e töltve már a fájl?
202     checksqlcomm = "select count(*) as cnt " + \
203         "from dbo.timon_inc_load ti " + \
204         "WHERE ti.FileName = '" + ff + "' " \
205         "and ti.EVR_VehicleNumber_Unsigned16_ = " + pszdir + ";"
206
207
```

12. ábra

Visual Studio Code Python bővítménnyel

Konklúzió

A rendszerek közötti átállás nem zökkenőmentes, de megvalósítható. A problémát egyelőre az jelenti, hogy a forrásadatok, főként a forgalmi adatok (ForTe, FUTÁR) nem mindig felelnek meg a valóságnak. Amennyiben forgalmi zavar jelentkezik, akkor a rendszerek nem egyértelműen rögzítik a valós eseményeket, így mivel a mérési egységek létrehozásánál a jármű nem ott tartózkodik, ahogy a ForTe, vagy FUTÁR adatban látható, akkor a mérés sem fog pontos értéket mutatni, mivel a két adat közötti legfontosabb kapcsolat a menetrendi kocsi pályaszáma, valamint a pontos idő.

A hibák feltárása folyamatos, de még sok fejlesztést igényel a mérési adatok pontosabbá tétele. A pontos villamosenergia-fogyasztási adatok megismerésével optimalizálhatjuk a hálózatot, ösztönözhetjük a járművezetőket a takarékos vezetésre, így minimalizálva az egyik legdrágább kincsünket, a villamos energiát.

Irodalomjegyzék

- [1] Közúti vasúti járművek villamosenergia fogyasztás mérése
- [2] Közúti-vasúti járművek energia-megtakarítási lehetőségeinek feltárása
- [3] <https://code.visualstudio.com/> (2024.06.15)

Kerék-sín kapcsolat vizsgálata a budapesti Nagykörúton

dr. Kiss Csaba¹
Kelemen Zsolt²

¹ BKV Zrt. Vasúti Üzemeltetési Igazgatóság, Villamos Üzemigazgatóság
Villamos Infrastruktúra Főmérnökség,
telefon: +36/70-390-8592
e-mail: kisscs@bkv.hu

² BKV Zrt. Vasúti Üzemeltetési Igazgatóság, Villamos Üzemigazgatóság
Villamos Járműműszaki Főmérnökség,
telefon: +36/70-390-9348
e-mail: kelemenzo@bkv.hu

Abstract

A budapesti villamosüzem megkezdte a kerék és sín együttműködési folyamat komplex vizsgálatát. A körülmények feltárása (első körben a nagykörúti viszonylaton és a Siemens Combino járművekkel), az információk begyűjtése után először statisztikai jellegű összefüggések vizsgálata történt, ami a további, részletesebb, analitikusabb kutatás alapja. A cél a karbantartási rendszerek optimalizálása, esetleg új megoldások bevezetése.

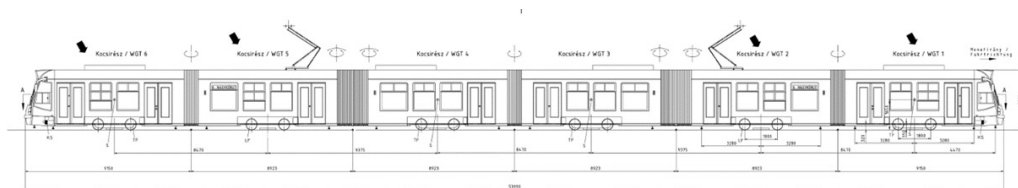
Kulcsszavak: kerék-sín kapcsolat, járműgépészet, infrastruktúra, üzemeltetés, kutatás

Bevezetés

A kerék-sín kapcsolat az egyik legbonyolultabb rendszerek közötti együttműködés a vasúti jármű működése során, mert a jelenségeit olyan mechanikai, rugalmasságtani és kenéstani összefüggések írják le, amelyek az üzemeltető mérnök gyakorlatában nehezen kezelhetők, ugyanis viszonylag kevés mérhető mennyiség van, amely bemenetként, peremfeltételként szolgálhatna az elméleti egyenletek megoldásához; és ezek híján ezek az egyenletek nem oldhatóak meg, vagy csak olyan közelítést adnak eredményül, amit gyakorlati döntésekhez, minősítésekhez felhasználni csak nagyon korlátozottan lehet.

1. A Siemens Combino Supra NF12B bemutatása

A BKV Zrt. a Siemens Combino Supra NF12B villamosokat 2006-ban és 2007-ben szerezte be. Ezek elsődlegesen a nagykörúti 4-es és 6-os viszonylaton álltak forgalomba, 2016 óta az 1-es viszonylaton is közlekednek.



1. ábra

A Siemens Combino villamos jellegrajza

A Siemens Combino villamos hat modulból áll, amelyet egy-egy forgóváz támaszt alá a modul közepén, jellegrajzát az 1. ábrán láthatjuk. Úgynevezett rövidcsuklós kialakítás, ami azt jelenti, hogy két-két szomszédos modul alkot egy szorosabb egységet és ez a három kétmodulos egység van összekapcsolva egy egybefüggő motorkocsivá. A két vezetőállásos és a két középső modul hajtott, a két áramszedős modul, futó forgóvázakkal van ellátva, és bár a forgóvázak szerkezete szükségszerűen különbözik, a főmozgást tekintve azonos módon működnek. Az 1-es és 2-es, a 3-as és 4-es és az 5-ös és 6-os modulok között úgynevezett rövidcsukló található, ez azt jelenti, hogy egyetlen forgáspont van, és abban a pontban a „Z” (függőleges) tengely körül tud elfordulni a csukló. A 2-es és 3-as és a 4-es és 6-os modulok között úgynevezett duplacsukló van, ezek pedig úgy viselkednek, mintha a kocsik egy csatlásszerkezettel lennének összekötve, vagyis a kapcsolódó modulok végein egy-egy forgáspont található, amelyek ráadásul nemcsak a „Z”, hanem az „Y” (keresztirányú) tengely körüli elfordulást is lehetővé teszik. [1]

Annak, hogy a klasszikusan viselkedő forgóvázak és a fent ismertetett csuklókapcsolatok lettek beépítve, az a következménye, hogy egy kétmodulos egység szabadságfokainak száma a főmozgást illetően 2: egyrészt a haladó mozgás, másrészt a kocsiszekrények elfordulása a forgóváz „Z” (függőleges) tengelye körül. Természetesen ez az elfordulás nem lehet korlátlan mértékű, hiszen a forgóváz több szerkezeti eleme (keresztirányú ütközők, szekunder rugózás, vonórúd stb.) határt szab ennek, de annál mindenképp nagyobb lenne, hogy a modulvégek kikerüljenek a járműszerkezetszelvényből, vagy akár az úrszelvényből is, valamint a jármű kocsiszekrényei a forgóváz egyenes futása mellett is jelentős kigyózó mozgást végeznének.

Ezt megakadályozandó a Siemens Combino villamos forgóváz-szekrény kapcsolatában két konstrukciós megoldás is történt:

- a szekunder rugónak jelentős keresztirányú, illetve torziós merevsége is van, így a forgóváz és a szekrény közötti elfordulás esetén a rugó nyíródik és elcsavarodik a függőleges tengelye körül. Az alakváltozásból adódóan egy csavarónyomaték ébred, amely az elfordulással ellentétes irányban hat, és igyekszik visszatéríteni a kocsiszekrényt a forgóvázal párhuzamos helyzetébe, [1]
- a kétmodulos egység forgóvázai egymással egy passzív működésű, hidrosztatikus rendszeren keresztül kapcsolatban vannak. Az úgynevezett becsuklástgátló rendszer, forgóvázanként két-két hidraulikus munkahengerrel van ellátva, amelyek a dugattyú mindkét oldalán munkatérrel rendelkeznek, és az adott forgóvázhoz tartozó munkahengerek esetén az ellentétes oldali, a másik forgóváznál pedig a csukló síkjára vetített tükörképes terek csővezetékekkel vannak összekötve. Ez azt eredményezi, hogy függetlenül a pálya pillanatnyi geometriájától, az egyik modul pontosan olyan mértékben próbál elfordulni a forgóvázához képest, mint a másik modul, illetve fordítva. A hidraulikus munkahenger karakterisztikája olyan, hogy együttműködve a szekunder rugó torziós merevségének hatásával, egyenes pályán stabilan a modulok szekrényét a forgóvázakhoz párhuzamos pozícióban tartja, de amikor az elől haladó forgóváz pályáivbe halad be, a nyomkarimán ébredő terelőerő hatá-

sára az első forgóváz elfordul a kocsiszekrényhez képest – de a becsuklógátló mechanizmus hatására a hátsó forgóváz is elfordul. [1]

A fentiekből következően a gyakorlatban is alapvetően igen kedvező futásjóság tartozik ezekhez a járművekhez. Ennek azonban kettő további következménye van:

- A Combino járműnek az összes kocsitípushoz képest lényegesen nagyobb a forgóváz-szekrény kapcsolatból származó visszatérítő erőhányada, hiszen a többi típuson (beleértve a hagyományos, magaspadlós járműveket és a CAF villamosokat is) csak egyszerű kenéssel ellátott csapsúrlódásból (a hagyományos járműveknél a forgótányérnál, a CAF-on a csuklónál) adódik lényegesen kisebb erő.
- A Combino járműveknél az ívek előtt a kétmodulos egységek hátsó forgóvázának nyomkarimái már, ívek után a vezető forgóváz nyomkarimái már és még hozzáérnek a sínszálhoz és jelentős terelőerőt fejtenek ki.

Összességében elmondható, hogy a fentiek alapján szerkezeti kialakításuknál fogva bár a Combino járművek futásjósága az alacsonypadlós villamosok mezőnyében kifejezetten jónak mondható, ennek ára a lényegesen nagyobb terelőerő [2]. Ez valahol mindenképpen fokozottabb kopást fog létrehozni, elsősorban a kerékabroncs és a sín keménységétől függ, hogy melyiken mekkora mértékben.

2. Padló alatti kerékeszterga

A BKV Zrt. Villamos Járműműszaki Főmérnöksége 2 padló alatti kerékesztergával rendelkezik. Az egyik Hungária kocsiszínpén található, SCULFORT TF-2000 típusú (2-7. ábra) CNC vezérlésű, a Combino járművek beszerzésével kapcsolatban telepítették. Ez az eszterga alkalmas a Combino és CAF járművek esztergálására. Portáltengellyel rendelkező járművek munkálhatók meg a kerékpárok kiszerezése nélkül. Így a megmunkálási idő Combino és CAF járművek esetén 1-1,5 műszak. Az eszterga egy utólagos átalakítás révén, ma már alkalmas a hagyományos tengellyel rendelkező járművek megmunkálására is. Az ehhez szükséges kiegészítő készülékek rendelkezésre állnak.



2. ábra

SCULFORT TF-2000 kerékpáreszterga a Hungária kocsiszínpén

A másik eszterga Baross kocsiszínbén található. Ez egy Rafamet UGE-180 típusú, CNC vezérlésű padló alatti kerékeszterga. Ezen az esztergán elsősorban a hagyományos tengellyel rendelkező járművek kerékszabályozása történik, de alkalmas az alacsonypadlós, portáltengelyes járművek megmunkálására is.

Mindkét eszterga azonos működési elvű:

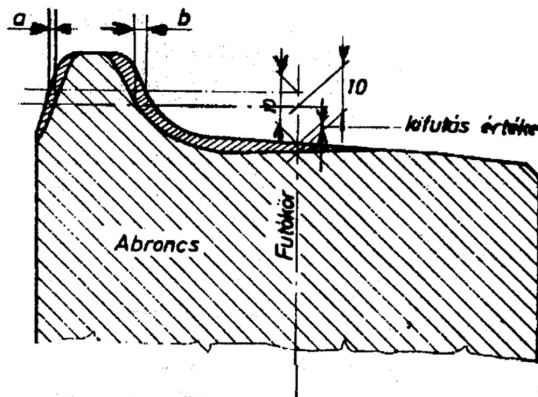
A megmunkálandó kerékpár rögzítését egy mérési ciklus követi, amely során rögzítésre kerülnek a kerékprofil nevezetes pontjai és a kerékátmérő. Ezekből az adatokból a program kiszámítja a profil teljes helyreállításához szükséges minimálisan leválasztandó anyagmennyiséget.

A kerékátmérők egymáshoz képesti különbségére szabvány vonatkozik. Az alacsonypadlós járművek egyes moduljai külön színtezhetők, így az átmérő különbség forgóvázon belül betartandó. A többi járműnél az egész járműre vonatkozó határértékeket is figyelembe kell venni.

Az anyagleválasztást újabb mérési ciklus követi. Erről mindkét gép jegyzőkönyvet készít, amely tartalmazza az esztergálás előtti és utáni mérési adatokat.

3. A járműkerék legjellemzőbb elhasználódásai

A három legjellemzőbb, üzemi kopási kép (3. ábrán bemutatva):



3. ábra
Kifutás és nyomkarimavékonyodás a kerékabroncon

- **kifutás:** a futófelület kopása, jellemzően a futókör síkjába eső tengelyű ív alakjában. A névleges kerékátmérő ezzel csökken, illetve a kerék kúpossága is változik, ami az egyenes pályán történő kígyózó mozgást („szinuszfutást”) befolyásolja. A kifutás lényegében a futásteljesítménytől függ, hiszen egyenes és íves pályán egyaránt is jelentkezik, tehát elkerülhetetlen, és legfeljebb konstrukciós paraméterek, mint a kerékabroncs vagy a sínszál anyaga befolyásolhatja
- **nyomkarima-vékonyodás:** amikor a jármű ívben halad, a nyomkarimán történik érintkezés, így a kerék és a sín között terelőerő ébred. Mivel ez a terelőerő merőleges az érintkező felületekre, ezért a felülettel párhuzamos súrlódó erő is keletkezik. Ez a csúszási súrlódó erő kopást fog okozni a jármű kerekén (is), amely úgy jelenik meg, hogy a nyomkarima egyre vékonyabb és meredekebb lesz. Bizonyos esetekben van érintkezés a nyomkarima kerékhátlap felőli oldalán is, itt is jelentkezhet kopás, de jellemzően a futófelület felőli oldalon történik a legnagyobb kopás
- **laposodás, sokszögösödés:** a kerék futófelületén lokális anyagleválás, a kúpos felületen egy síkfelület képződik. Oka jellemzően fékezéskor történő megcsúszás, amikor a kerék

szögsebessége jóval kisebb lesz a haladási sebességhez tartozó, fékezett gördüléshez tartozónál, vagy akár teljesen meg is áll. A régebbi típusokon, amelyekben nem található csúszásvédelem, ennek legfőbb oka a helytelen járművezetés, de a korszerű típusokon is előfordul, amikor az extrém kedvezőtlen tapadási körülmények között a mikroprocesszoros csúszásvédelem sem tudja tökéletesen megakadályozni a megcsúszást. A sokszögesezés, más néven poligonkopás, szintén a csúszásvédelemmel felszerelt járműveknél fordulhat elő.

A kifutás elkerülhetetlen, állandó jelenség, amely jóformán egyenesen arányos a futásteljesítménnyel, a nyomkarima vékonyodása pedig az ívekben jön létre, és több paraméter is befolyásolja. Viszont a laposodás, illetve a sokszögesezés a jármű rendellenes üzemállapotai során jön létre.

4. Járműpark minősítése a kerekek elhasználódása szempontjából

A jármű kereke a futómű egyik kulcsfontosságú része. Feladata lehetővé tenni a jármű gördülését, csúszástól többé-kevésbé mentes haladását, biztosítani a sín pár által meghatározott kényszerpályán való haladást, hordozni a jármű tömegét, átadni a súlyerőt a pályára és közvetíteni a hajtó- és fékezónyomatékokat a gépészeti berendezések és a kerék-sín érintkezési pont között. Emiatt műszaki állapotát fokozott figyelemmel kell az üzemeltetőnek kísérnie. Az MSZ-07-5003:1990 szabvány definiálja, milyen mennyiségeket, méreteket és állapotjelzőket kell ellenőrizni a kerék és kerékpár vizsgálata során. A kerék műszaki állapotának egyik legfontosabb jellemzője a kerékprofil állapota.

Az volt a célunk, hogy a számos kerékprofil-paraméterből, amelyek eltérő nagyságrendű, milliméterben mért méretek, egy egységes mérőszámot hozzunk létre, amely az adott járművet minősíti kerekei műszaki állapota szempontjából. Ehhez kettő paramétert választottunk ki, amelyek a kerék elhasználódását számszerűsítik:

- nyomkarimavastagság,
- kifutás.

A nyomkarimavastagság egy geometriai méret, a kopást tehát a névleges, esztergálás utáni méret és az adott időpillanatban felvett méret különbsége jelenti. A kifutás eleve kopás-jellegű méret, vagyis az eredeti futókörátmérő és a mért futókörátmérő különbségének a fele.

A nyomkarima-vastagságra és a kifutásra egy-egy minősítő számot írhatunk fel. Ez a szám az aktuális kopás értékének és a megengedett legnagyobb kopás hányadosa százalékban kifejezve.

Képlettel:

$$(1) \rightarrow m_k = \frac{\Delta r}{\Delta r_{max}} = [\%]$$

ahol:

m_k : kifutás minősítő szám,

Δr : kifutás pillanatnyi értéke,

Δr_{max} : kifutás megengedett legnagyobb értéke (5 mm).

$$(2) \rightarrow m_n = \frac{n_{a max} - n'_a}{n_{a max} - n_{a min}} = [\%]$$

ahol:

m_n : nyomkarima-vékonyodás minősítő szám,

$n_{a max}$: a nyomkarimavastagság megengedett legnagyobb értéke (26,9 mm),

$n_{a\min}$: a nyomkarimavastagság megengedett legkisebb értéke (19,9 mm),
 n'_a : a nyomkarimavastagság pillanatnyi, korrigált értéke.

Egy kerék általános műszaki állapotát a két minősítő szám számtani átlaga mutatja meg:

$$(3) \rightarrow m_{ke,n} = \frac{m_k + m_n}{2}$$

ahol

$k_{e,n}$: a jármű adott kerekének az azonosító száma.

Egy járműre jellemző kerékállapot minősítő szám a kerekek számtani átlaga.

A vizsgálati módszerben a nyomkarimavékonyodást és a kifutást a kerékesztergálások előtt és után felvett értékekkel számoljuk. Ezzel a megoldással a vizsgált időszakban egy-egy időpillanatban van meg az elhasználódás mértéke, mielőtt esztergálnák a kerekeket. Az esztergálási utáni első pillanatban a kereket 100%-os állapotúnak tekintjük függetlenül attól, hogy a névleges kerékprofiltól, amely eleve rendelkezik egy megadott, tizedmilliméterekben mérhető, megmunkálási tűréssel, milyen mértékben térnek el az esztergálás során ténylegesen kialakult méretei. Mivel körülbelül 9-10 havonta (kb. 50 000 km) van kerékesztergálás, jó közelítés, hogy a jármű üzemelése során az idővel arányos a kopás mértéke. Egy adott jármű számított minősítő száma egy tetszőleges naptári napra a következőképpen alakul:

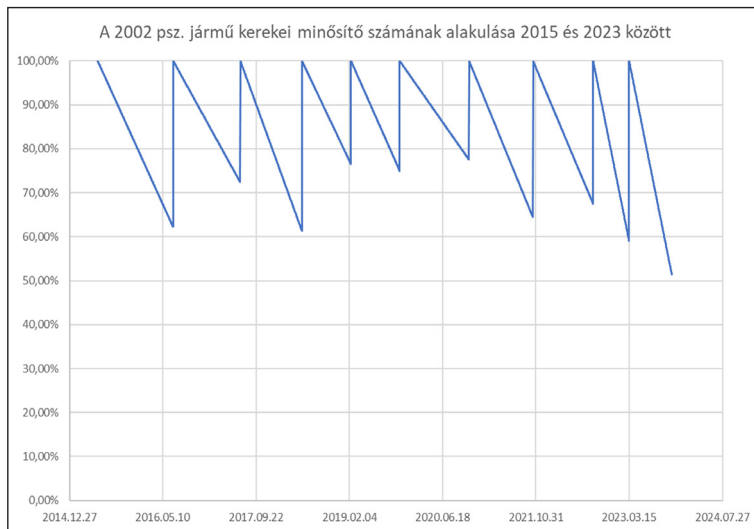
$$(4) \rightarrow m_{psz,sz} = 100 - \left| \frac{m_{psz} - 100}{d_{j,j+1}} \right| \cdot d$$

ahol:

d : a j -edik esztergálástól eltelt napok száma,

$d_{j,j+1}$: a j -edik és $j+1$ -edik esztergálás között eltelt összes nap száma.

Ezzel megkapunk egy folyamatot, ahol a teljes vizsgált időszakra, 2015 és 2023 között megvan az adott kocsi műszaki állapota. Minden egyes esztergáláskor újból 100%-os állapotú lesz, ahonnan aztán az üzemelés során folyamatosan romlik a következő esztergálásig. A 4. ábrán láthatjuk egy kocsi kerékállapotának alakulását 2015 és 2023 között.

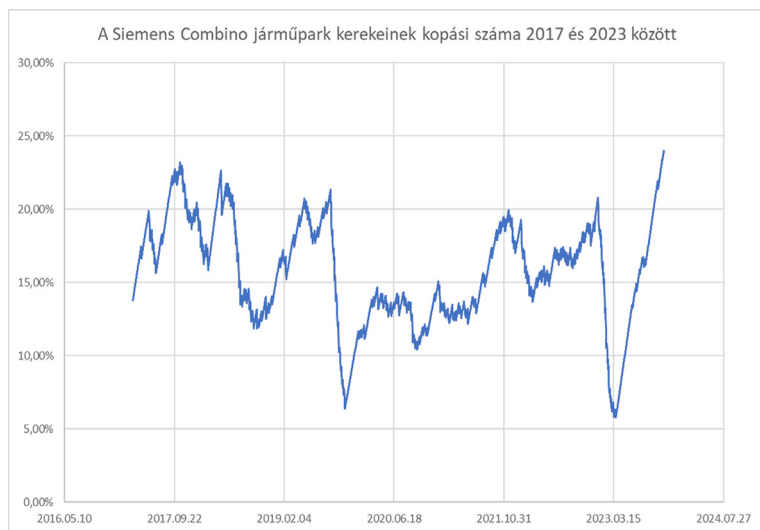


4. ábra

A 2002 psz. jármű kerekei minősítő számának alakulása 2015 és 2023 között

Az egész járműpark kerekeinek általános műszaki állapotát az egyes járművek kerekeinek minősítő számainak számtani átlaga mutatja meg. Ezzel megkaptunk egyetlen minősítő számot, amely a teljes Combino-flotta kerekeinek műszaki állapotát jellemzi.

A vizsgálat folytatásához bevezetjük a kopási számot, amely azt mutatja meg, hogy hány százalékban kopott a jármű kereke. Esztergálás után 0% az értéke, és ez növekszik folyamatosan, ahogy folyik az üzem. Az 5. ábrán látható ennek az alakulása a teljes járműparkra.



5. ábra

A Siemens Combino járműpark kerekeinek kopási száma 2017 és 2023 között

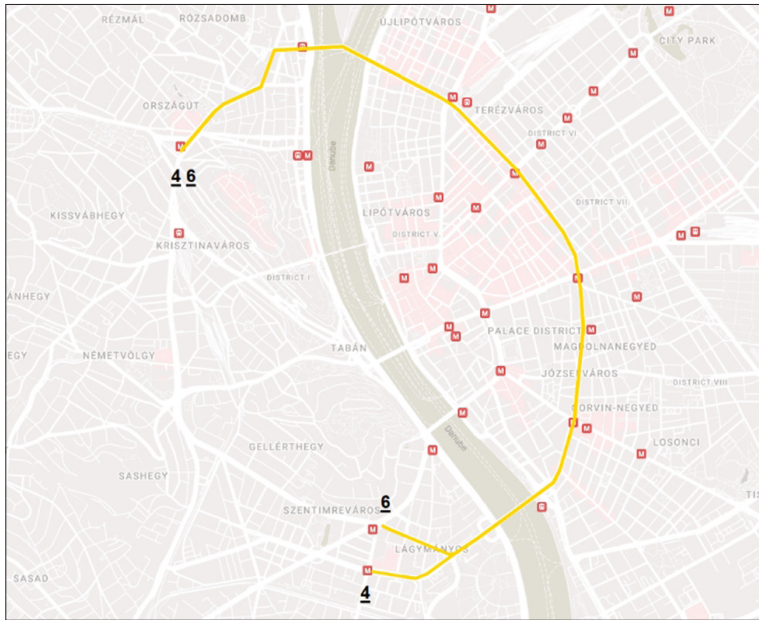
5. A nagykörúti vonal bemutatása

A 4-es és 6-os villamosok Budapest legnagyobb forgalmú viszonylatai, egy munkanapon 330-350 ezer utazás történik, és a csúcsidőben óránként összesen 30 indulás van.

A mai 4-es és 6-os villamos vonala nem egységes történetű, a budapesti, kötőtpályás közlekedés két legnagyobb társaságának egy-egy törzsvonala alkotja, amelyek a konkurenciaharc idején teljesen elkülönültek egymástól, de még a Budapest Székesfővárosi Közlekedési Részvénytársaság idején, az 1930-as években is felfedezhető volt a szétválasztás a Nyugati pályaudvarnál.

A Nyugati pályaudvar – Margit híd – Margit körút – Széna tér szakasz már az 1860-as évek végétől kezdett kialakulni lóvasúti formában. Ehhez képest a Nagykörút nagy részén, a Nyugatitól a Boráros térig tartó szakasz már eleve villamosvasútnak épült az 1880-as évek végétől kezdve. A Petőfi híd 1937-ben épült meg, amellyel a villamosgyűrű déli ága is átjutott a Dunán a mai Móricz Zsigmond körtéig. 1960-ban készült el a pálya az Október huszonharmadika utcában a Fehérvári útig, azóta a mai 4-es önálló szakaszán is közlekedik villamos.

A Széll Kálmán tér – Újbuda központ szakasz a BKV Zrt. vonalszámozási rendszerében a 10-es, az Irinyi József utca – Móricz Zsigmond körtér szakasz a 12-es számot kapta [4].

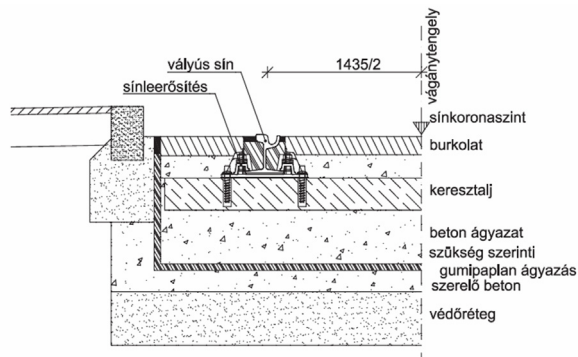


6. ábra

A pesti Nagyköriúton közlekedő viszonylatok vonalvezetése

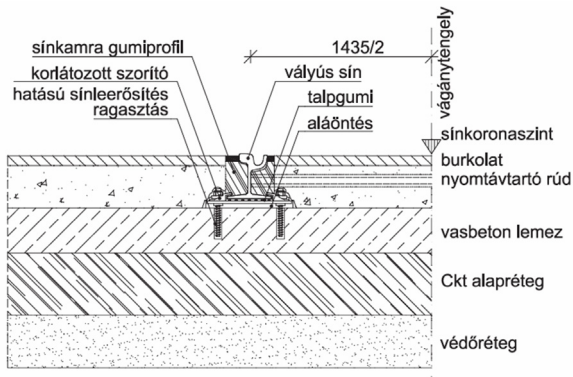
5.1 A felépítmény

Jelenleg a következő felépítményrendszerek vannak beépítve a vonalon: 59R2 sínrendszer, GEO sínleerősítéssel bebetonozott talpfán (7. ábra); 59R2 sínrendszer, gumiprofilokkal, Gantry leerősítéssel vasbeton lemezen (RAFS I., 8. ábra [5] [6]); 59R2 vagy 51R1 sínrendszer, Edilon Corkelast sínkörülvontéssel vasbeton lemezben (RAFS III., 9. ábra [5] [6])). A RAFS rendszerek a legkorszerűbb, nagy teherbírású, rugalmasan alátámasztott, folyamatos sínágyazású felépítményrendszerek, melyek közül az utóbbit az üzemeltető elvárásainak megfelelő rugalmasságúra lehet hangolni, és így a megfelelő ágyazó anyag kiválasztásával optimális rezgés- és zajcsillapítás érhető el [7].



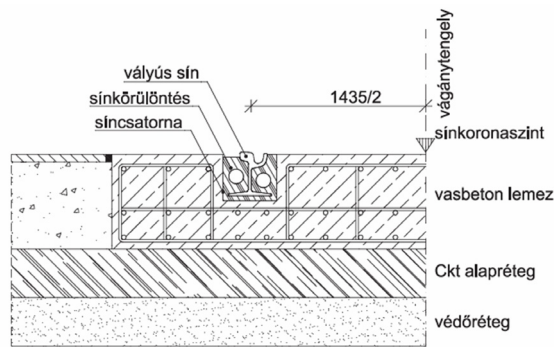
7. ábra

59R2 sínrendszer, GEO sínleerősítéssel bebetonozott ágyazatú



8. ábra

59R2 sínrendszer, gumiprofilokkal, Gantry leerősítéssel vasbeton lemezen (RAFS I.)



9. ábra

59R2 vagy 51R1 sínrendszer, Edilon Corkelast sínkörülöntéssel vasbeton lemezen (RAFS III.)

6. A mérővillamos

A 2018 óta méréseket végző mérővillamos, a 7476-os pályaszámú Ganz csuklós villamos (10. ábra) az infrastruktúra állapotát terhelés alatt vizsgálja. A felmérés során közel állandó sebességgel (15-30 km/h) halad, így a vizsgált szakaszok mérési eredményei összehasonlíthatók. Pályaállapotot vizsgáló mérőrendszerei egy – inerciális szenzor alapú – járműdinamikai és egy geometriai, mely utóbbi a pálya szokásos (hatóságilag előírt) geometriai mérései közül jelenleg még csak a nyomtávolságot méri (a többi geometriai érték mérésének kialakítása folyamatban van). Míg a geometriai mérések a pályáról közvetlen információt adnak, addig a járműdinamikai mérések a járműválaszt regisztrálják a pályán történő haladás közben.

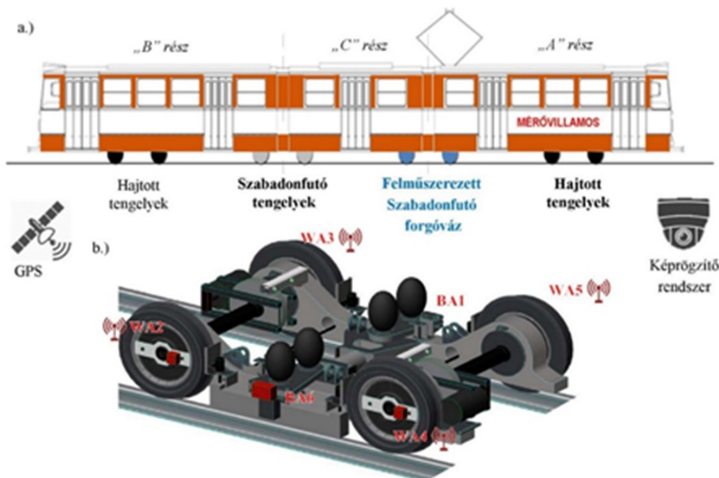


10. ábra

A 7476 pályaszámú mérővillamos

A pályahibák pontos lokalizálása a műholdas helyazonosítás (GPS), a jármű útjeladója által szolgáltatott pozíció információ alapján és a kezelő által rögzített markerek segítségével történik. A mérési adatok mellett videofelvétel is rögzítésre kerül. A mérés során a kamerakép és a pályamérési grafikonok külön monitoron jeleníthetők meg. A felműszerezett jármű „A” vége felőli szabadonfutó forgóvázára a járműdinamikai mérésekhez hat 3-tengelyű gyorsulásmérő szenzor került felszerelésre (11. ábra): négy a kerekeken (WA) rádiós adattovábbítással, kettő pedig a forgóváz-hossztartókon (BA). Egy további 3-tengelyű gyorsulásmérő szenzor került felhelyezésre a jármű padlójára a forgócsap közvetlen közelében a „C” kocsiszekrényrészben. Felszerelésre került továbbá egy 3 tengelyű (a 3 szabálytalan mozgást – bólintás, kigyózás, támolygás – érzékelni képes) giroszkóp is.

A fejlesztés alatt álló, érintkezésmentes geometriai mérőrendszer első eleme a nyomtávolságot mérő két felszerelt lézertérfigyelő egység.



11. ábra

A járműdinamikai mérőrendszer forgóvázra és kerekekre szerelt szenzorjainak elvi ábrája

A felsővezeték mérőrendszer mérései nem adnak információt a pálya és a sín állapotáról, ezért csak felsorolás szintjén említjük meg, hogy a mérővillamos rendelkezik ilyennel, és ezzel képes mérni:

- a felsővezeték magassági és oldal helyzetét,
- az áramszedőre ható erőket haladási és függőleges irányban,
- az áramszedő paletta 3 tengelyű (x, y, z) gyorsulás értékeit,
- az átfolyó áramot és feszültséget.

A mérésekkel párhuzamosan az áramszedő és környezetének hőkamerás, normál fényű tetőkamerás, a felsővezeték és az áramszedő kapcsolatát figyelő ún. gyorskamerás felvételek készülnek. A kocsiszekrény tetején elhelyezésre került egy eseménykamera, egy léghőmérő, egy adatgyűjtő egység, egy WIFI és egy GPS antenna.

A járműdinamikai mérőrendszer kerékre szerelt szenzorai érintő-, sugár- és tengelyirányú gyorsulásokat, a forgóváz-hossztartóra és a kocsiszekrényre szerelt szenzorai pedig a haladási irányban és a haladási irányra merőlegesen keltett gyorsulásokat mérik.

A járműdinamikai mérőrendszer állapotfelmérési módszerének célja nem a „mm” pontos pálya-geometria meghatározása, hanem a problémás helyek kimutatása, a hibák jellegének meghatározása és azok relatív súlyosságának megítélése.

6.1 A Dinamikai Minősítő Szám (DMSZ)

A pályaállapot-megítélés legfontosabb célja a vasúti vágány állapotának meghatározása a mérési értékekből, adott hosszon képzett minősítő számok alapján, vagy az egyes paraméterek lokális határérték túllépéseinek statisztikai vizsgálatával.

Jelen vizsgálatnál a pályaállapot általános minősítésére, értékelésére és összehasonlítására a leginkább megfelelő egy Nagykőrúti vágányok általános műszaki állapotát tükröző, jellemző mérőszám. Ez a mérőszám a járműfutás tulajdonságok alapján meghatározott, járműdinamikai mérések során nyert, nyers mérési adatokból képzett additív minősítő szám, a Dinamikai Minősítő Szám (DMSZ).

A DMSZ számítása a következőképp történik:

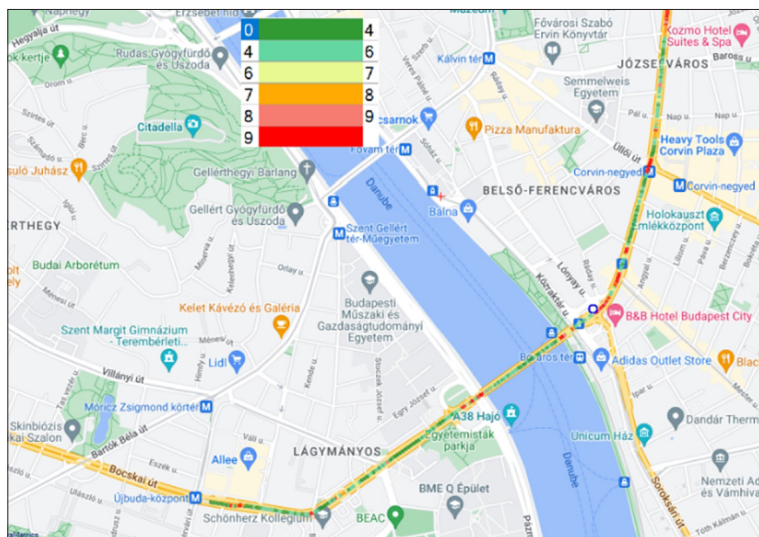
$$(5) \text{ „DMSZ”} = (1/5) \times \text{RollYaw} + \text{Vertacc},$$

ahol:

- „RollYaw”: a kigyózás/támolygás paraméterből, az előre definiált minősítési hosszon Peak to Peak elv szerint képzett minősítő szám.
- „Vertacc”: a függőleges értelmű nyers gyorsulásadatok összegzett értékéből, az előre definiált minősítési hosszon RMS elv szerint képzett minősítő szám.

A rezgésdiagnosztikán alapuló pályaállapot-minősítés rendkívül összetett. A szabálytalan járműmozgások, amelyeket a DMSZ egyetlen számba sűrít, sok különböző tényezőtől, azok együtthasátától függhetnek.

A 12. ábra illusztrálja a DMSZ értelmezését: egy vonal kisebb (6 m-es) szakaszokra bontott kiértékelését mutatja. Itt a DMSZ alapján az egyes pályaállapotok egyértelműen elkülöníthetők egymástól (a jó, átlagos és rossz szakaszokra).



12. ábra

Adott pályaszakasz DMSZ minősítése

A DMSZ színskálái a szemléltetést szolgálják. A zöld szín jó, a sárga átlagos, a piros szín pedig egy rossz pályaállapotot jelöl.

A DMSZ-t az elmentett nyers szenzoradatokból az irodai kiértékelő program számolja. A kiértékelő program lehetőséget biztosít a mért szakaszokon a mérési eredmények ábrázolása mellett a határérték átlépések jelölésére és az infrastruktúraadatok megjelenítésére (ívadat, felépítmény stb.).

6.2 A pálya minősítése

A BKV Zrt. vonalhálózatát a mérővillamos évente kétszer bejárja; a számítás kezdetekor tíz mérési adatai álltak rendelkezésre (áramszedő törés és a COVID-19 világjárvány miatt a 2020-ra tervezett mérések elmaradtak).

A mérővillamos az általa vizsgált vonalakat 6 méter hosszú szakaszokra osztja, és azokon minősíti az őt ért dinamikai hatások alapján a pálya állapotát a DMSZ értékével. A kezelhetőség és az adatmennyiség érdekében a 4-es villamos pályáját vizsgáltuk, és azt hat szakaszra osztottuk. Ezekre a szakaszokra a 6 méteres elemekből két jellemző DMSZ-értéket állapítottunk meg egy-egy, számtani átlagolás módszerével (mérési adatokból kalkulált DMSZ értékek): egyet-egyét a két vágányra.

Ezen a ponton tehát kilenc időpillanatban van kétszer hat DMSZ-értékünk, de nincs információ arról, hogy a pálya állapota hogyan alakult a közbenső időben. Az általunk alkalmazott modellben a pálya állapota háromféleképpen tud változni két ismert DMSZ-érték között:

- a normál napi üzem során lineárisan használódik el. A valóságban a vasúti pálya állapotát számos geometriai, merevségi, csillapítási és anyagminőségi érték befolyásolja, amelyeknek időbeni változása biztosan nem egyenletes, de a rendelkezésreálló mennyiségű és részletességű információ mellett ez jó közelítés. A lineáris függvény változójának egysége az 1 nap,

- a pályafelújítási célú vágányzárak idején állandó értékű. Ez a vágányzár első napján a lineáris függvényből adódó DMSZ értéke. Az egy-egy napos vagy éjszakai vágányzárakat nem vettük figyelembe,
- a pályafelújítási célú vágányzár utolsó napja és a forgalom felvételének napja között pedig egy ugrás történik, mégpedig úgy, hogy az új DMSZ értéke a vágányzár utáni első mérésről van visszszámolva lineáris függvénnyel, amelynek meredeksége a vágányzár utáni első és az azt követő mérésből adódik.

Képletekkel:

Egy tetszőleges nap DMSZ értéke egy pályaszakasgra:

$$(6) \quad DMSZ_{n,i} = DMSZ_n + \frac{DMSZ_{n+1} - DMSZ_n}{j} \cdot i$$

ahol:

- $DMSZ_{1'}, DMSZ_{2'}, \dots, DMSZ_{n'}, \dots, DMSZ_{j'}$: mérési adatokból kalkulált DMSZ értékek,
- n : a mérés sorszáma,
- $DMSZ_{n,1'}, DMSZ_{n,2'}, \dots, DMSZ_{n,i'}, \dots, DMSZ_{n,j'}$: számított DMSZ értékek,
- i : napok száma az előző mérés óta,
- j : két mérés között eltelt összes nap.

Pályafelújítási célú vágányzárak esetén:

- ha $i < k$

$$(7) \quad DMSZ_{n,i} = DMSZ_n + \frac{DMSZ_n - DMSZ_{n-1}}{j} \cdot i$$

- ha $i = k$

$$(8) \quad DMSZ_{n,k} = DMSZ_n + \frac{DMSZ_{n+1} - DMSZ_n}{j} \cdot k$$

- ha $k < i \leq l$

$$(9) \quad DMSZ_{n,i} = DMSZ_{n,k}$$

- ha $i > l$

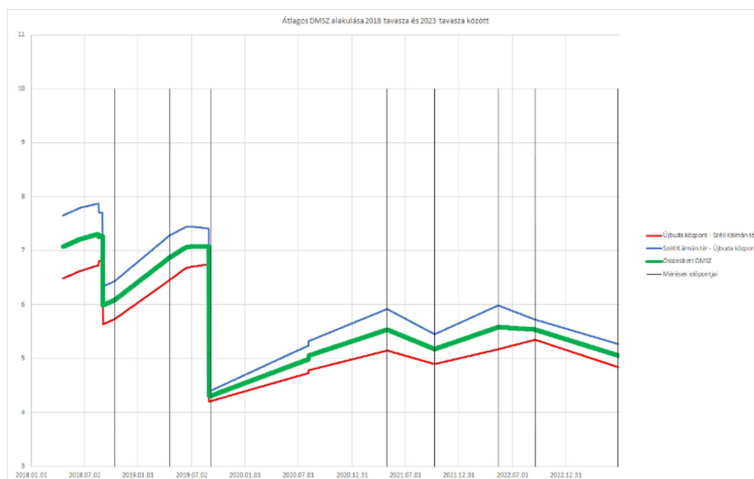
$$(10) \quad DMSZ_{n,i} = DMSZ_{n+1} - \frac{DMSZ_{n+2} - DMSZ_{n+1}}{j_{n+1} \cdot n + 2} \cdot (j - i)$$

ahol:

- k : vágányzár kezdeti napja az előző méréshez képest,
- l : vágányzár befejező napja az előző méréshez képest.

2018, 2019 és 2020 nyarán voltak nagyobb szabású pályafelújítások, ezek figyelembe lettek véve a számítás során.

Így már kétszer hat DMSZ-folyamatunk van a villamosvonal két vágányára. Ezeket a DMSZ-folyamatokat már lehet átlagolni az adott szakasz hosszával súlyozva, majd a két vágány átlagos értékeit szintén a mérési hosszra súlyozva újra átlagolni. A végeredményünk 2018 tavaszától 2023 tavaszáig egy folytonos számsor, amely tartalmazza a pálya pillanatnyi mért vagy számított állapotát. Ennek az alakulását a két vágányra, illetve összegezve a 13. ábrán mutatjuk be.



13. ábra

A pályáállapot alakulása 2018 és 2023 között

6.3 A sínprofil vizsgálata

A közúti vasúti gyakorlatban alapvetően három típusú sínt alkalmaznak: a nagyvasútnál járatos Vignol-sínt, a városi közlekedéshez praktikusán illeszkedő vályús kialakítású Phoenix-sínt, továbbá a tömbsínt [5] [6], amely abban különbözik a Phoenix-síntől, hogy nincs gerince. Előbbi sín-típus alkotta vágány a magas-, vagy nyitott vágány, utóbbi kettő a burkolt vágány alkotóeleme. A sínszál a vasúti felépítmény azon része, amely közvetlen kapcsolatban van a járművel, egész pontosan annak kerekével (és adott esetben sínfékjével). A jármű súlyereje, a vonó- és fékerő, valamint a terelőerő ezen keresztül adódik át a járműről a felépítményre. A gördülés önmagában is mindig legalábbis mikro-, kedvezőtlen esetben makroszűszással jár, az ívben haladás során pedig a nyomkarima és a sínfej oldala között szintén csúszósúrlódás keletkezik. Ahol csúszósúrlódás van, ott kopás is jelentkezik: a kerék és a sín egymást folyamatosan koptatja. A sínszál esetében több kopási jelenséget állapíthatunk meg:

- **magassági kopás:** tizedmilliméteres, milliméteres nagyságrendben kialakuló anyagvesztés általában a vonó- és fékerő kialakulásakor, illetve ívekben az oldalkopás társjelenségeként.
- **oldalkopás:** tizedmilliméteres, milliméteres nagyságrendben kialakuló, a sínszál oldalán jellemzően az ívekben egy jellegzetes kopási kép alakul ki, amelyet a járművek kerekeinek nyomkarimája okoz. Jellemzően az ív középpontjától távolabbi sínszálon jelenik meg, de nem kizárólagosan. A fenti két kopási kép a jármű futásjóságát rontja elsősorban.
- **hullámos kopás:** ezredmilliméterestől a milliméteres nagyságrendig kialakuló, a sínszálon hosszirányban periodikusan ismétlődő kopási kép, amely a jármű gördülésének következményeként alakul ki, jellemzően a sín futófelületén, de megjelenhet a vezetőfelületen is. Profilméréssel nem mutatható ki, de jelentősen befolyásolja a jármű futásjóságát és főleg az általa okozott zajterhelést, valamint a járműszerkezet és a felépítmény elhasználódását is felgyorsítja.
- **lokális kopások és károsodások:** ide sorolhatók a kivölgyelődött kötőhegesztések, kagylós kopások, melyek az előzőektől eltérően pár centiméteres vagy deciméteres hosszban jelen-

nek meg. Mélységük elérheti a milliméteres nagyságrendet, kisebb vagy nagyobb ütések mérve a kerékre.

A magassági és oldalkopásos sínek javítása kisebb mértékben felrakó hegesztéssel történik, de nagy mértékű kopás vagy egy többször alkalmazott javító hegesztés következtében elhasznált szerkezet miatt gazdaságosabb vagy egyedüli megoldás lehet a síncsere. A hullámos kopást sínmegmunkálással (síncsiszolással, sínköszörüléssel vagy sínmarással) lehet megszüntetni. A lokális sínhibákat kiköszörülés utáni felrakó hegesztéssel vagy – nagyobb kiterjedés esetén – síncserével lehet javítani [8].

2016 óta az MVK Zrt-vel a miskolci Zöld Nyíl projekt kapcsán kezdődött együttműködés, amely során évente kétszer kijelölt helyeken sínprofilmérést végzünk. Hasonlóképpen a Kossuth Lajos téri sínkenőberendezés működésének verifikálására.

Mivel a kopási folyamat lassú, ennek vizsgálata hosszútávú feladat. Hasonlóan a kerékpár esztergához, ami a kerékprofil nevezetes pontjai alapján minősíti a profilt, a jelenlegi infrastruktúra szakterület is nevezetes pontokat mér a pályaalapot leírására. A Calipri lézeres profilszkenner lehetőséget nyújt mind a teljes kerék-, mind a sínprofil vizsgálatára.

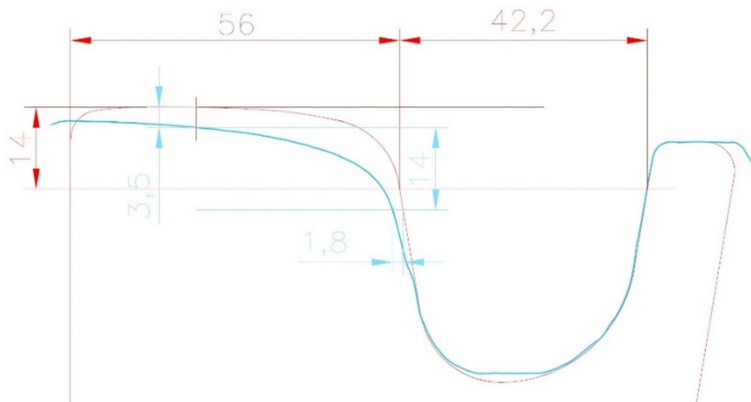
Annak érdekében, hogy minél hamarabb minél több információhoz jussunk, jelen vizsgálat kapcsán a 4-6 vonalon 22 darab mérési pontot jelöltünk ki.

A vizsgálat kezdő méréseit a szabványos sínprofilhoz illesztve láthatók a magassági- és oldalkopások számértékei, valamint a teljes profil alakja. Ezt szemlélteti a 14. ábra.

2023.10.25

59R2 szabványos

Rákóczi ív 19.pont R = 250 m



14. ábra

Sínprofil a 19. mérési ponton (a Rákóczi téren)

Az ábrán piros színnel jelölve látható a szabványos sínprofil. Ebben az esetben nem rendelkezünk etalon sínnel, amin a gyártáskori tényleges méretek lennének, mint a miskolci mérések során. A mért profil alakja kék színnel jelölt. A sínfej magassági kopása 3,5 mm, ettől a ponttól számított 14 mm-rel mélyebben mérhető az oldalkopás, ami ebben az esetben 1,8 mm. A vályú sínfej felőli oldalán megjelenik a kopás alatti fánc, amit a nyomkarima okoz. Előrehaladottabb

kopás esetén itt anyagkigyűrődés jelenik meg. A felhegesztés, mint sín élettartam hosszabbító eljárás az itt „ elvesztett ” anyagot pótolja.

A mérésorozatok segítségével végig lehet követni a sín életútját a beépítéstől a felhegesztés(ek) en át a sín sérüléséig nemcsak a nevezetes pontok méretei által, hanem a teljes profilra kiterjedően. Ennek ismeretében jobban tervezhető, ütemezhető a pályakarbantartó tevékenység: mely pontok tekinthetők kritikusnak az adott vonalon, mikor ér el egy meghatározott értéket, amikor beavatkozás szükséges, mennyi „ időtartalék ” van egy kritikus pályaszakaszban.

6.4 Hullámos kopás

Ez a fajta jelentős hatással van a jármű futására. A tapasztalatok szerint a futásjószág jelentősen romlik, a zaj pedig jelentősen nő, amikor a jármű végighalad az így kopott sínszálon.

A közelmúltban feltűnt egy olyan jelenség, amelyet a feltételezések szerint közvetlenül a hullámos kopás okozta vibrációhoz lehet kötni. A Siemens Combino villamosok futó forgóvázain a tengelyvégekre rugózatlanul felszerelt fékberendezés fokozott mértékű rázkódása azt okozza, hogy szinte mindegyik alkatrész elhasználódása nagyobb ütemű. A fékcsapok kopnak és vállasodnak, a fékbetétek tartólemezein elliptikussá válnak a körfuratok.

7. Az eredmények értékelése

7.1 1. Hipotézis: a járműpark kerekeinek műszaki állapota és a pályaállapot közötti összefüggés

Az elmúlt 8 év Combino kerékesztergálás adatainak rögzítését követően, a korábban már bemutatott módszerrel generáltuk minden jármű adott naptári napon feltételezett állapotának mérőszámát. Hasonló módszerrel elkészült a DMSZ értékek napi feltételezett értékének meghatározása is. Mivel mindkét mérőszámesetében a független változónk az idő, így egy grafikonon ábrázolva ezek szemléletesen összehasonlíthatók. Mivel a DMSZ mérőszám csak 2018.04.20 és 2023.11.03. közötti időszakra állt rendelkezésre, így az összehasonlítást is ezen intervallumban végeztük. A grafikon X tengelyén időarányosan feltüntetésre került mindhárom nagyobb sín sérüléssel járó pályafelújítás időintervalluma.

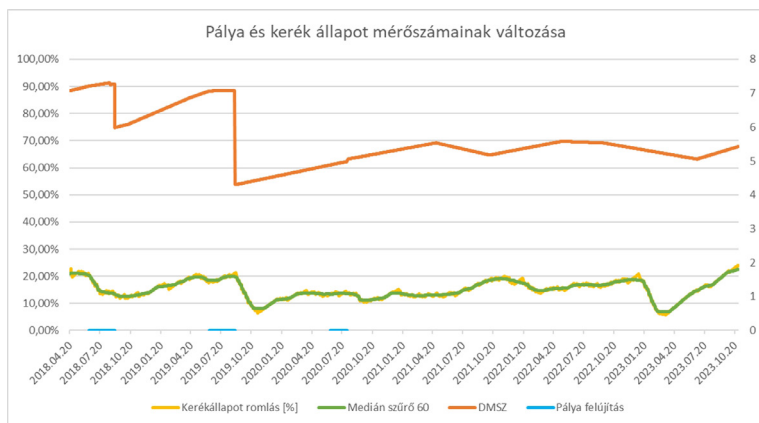
A két mérőszám időbeli változását a 15. ábra grafikonján jelenítettük meg.

A Combino járművek 16 éves karbantartása során megkezdődött a kerékabroncsok második csereciklusa. A megkezdett abronccserék és az ezzel párhuzamos, a többi járművet érintő időszakos kerékesztergálások együttes hatása, valamint a pályaállapotban történt pozitív változás együttes hatása mutatható ki a kerékállapotok 2023 év eleji javulásában.

A fentiek alapján a kerékállapot mérőszámot és a pályára vonatkozó dinamikus mérőszámot összehasonlítva elmondható, hogy van összefüggés a pálya állapot és kerékállapot időbeli lefutása között. Tehát az első hipotézisünk megerősítést nyer.

Az első két nagyobb volumenű pályafelújítás (2018-ban a teljes Nagykörúti vágányhálózat 26,2%-a, míg 2019-ben 18,6% került felújításra) okozta pályaaállapot javulás markánsan megjelenik (némi időbeli elcsúszással) a kerékállapotokban is szintén pozitív (javulás) előjellel. A 2020. évi pályafelújítás a vonal 0,9%-át érintette, így ez oly csekély mértékű, aminek hatása jelen módszerünkkel nem mutatható ki.

2019 után egy fokozatos romlás, illetve stagnálás mutatkozik a pályára vonatkozóan. Ez a változás érzékelhető a kerékállapot mérőszám vonatkozásában is. A 2019 év 10 %-os átlagos avulási értékről 2023 elejére meghaladta a 20 %-ot. A 2022. őszi és 2023. tavaszi közötti enyhe javulást a nagyobb gyakorisággal végzett kisléptékű karbantartási feladatok, valamint a több üzemszület alatt hosszabb szakaszon végzett sínköszörölések magyarázzák.



15. ábra

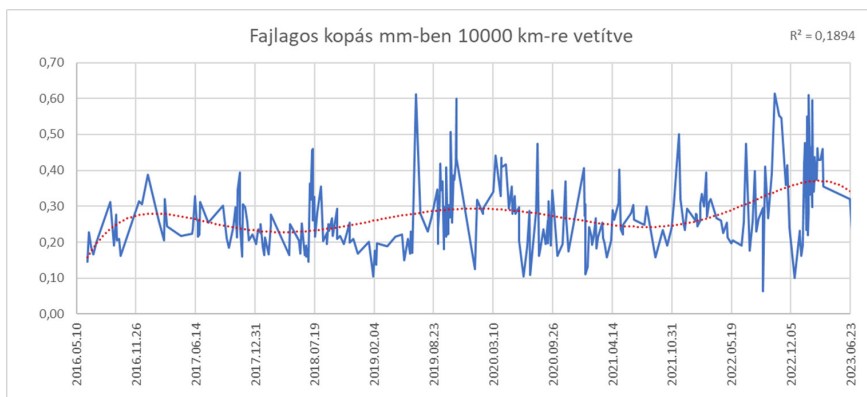
A Siemens Combino járműpark kerekeinek kopási minősítése és a Nagykörút pályaállapotának alakulása 2018 és 2023 között mediánszűrővel korrigálva

7.2 II. hipotézis: esetleges összefüggés a frissen beépített, új állapotú sínek és az esztergálási veszteség között

Az elképzelés az volt, hogy az általános kopási görbéből kiindulva, két egymással érintkező szerkezeti elem együttműködése, azon a szakaszon ideális, ahol a kezdeti bekopás már mindkét eszközön megtörtént. Előfordulhat, hogy ha a rendszer két eleme közül az egyiket vadonatúj állapotúra cseréljük, míg a másik marad már bekopott, üzemelő, akkor az új eszköz bekopási folyamata során a meglévő eszköz kopása is újra fokozódik.

Feltételezésünk szerint egy ideális kopási folyamat esetén a profil helyreállítása minimális esztergálási veszteséggel elvégezhető. Ha valami oknál fogva olyan szintű kopás éri az abroncsot, ami miatt az ideális esztergálási folyamat nem valósítható meg akkor ez a megnövekedett fajlagos esztergálási átmérővesztésből kimutatható. Hipotézisünk szerint ez az abroncskopás folyamatát negatívan befolyásoló ok a vizsgált vonal pályahálózatának több mint egynegyedét (26,2%) érintő síncsere lenne.

Az alábbi grafikonon az egyes járművek kerékesztergálásának fajlagos átmérővesztését mutatjuk be az esztergálások időpontjaihoz viszonyítva.



16. ábra

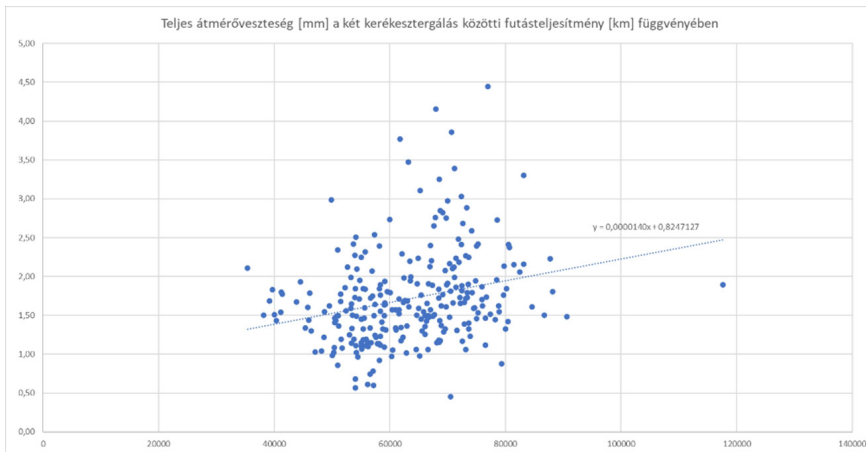
A fajlagos kopás alakulása 2016 és 2023 között

Látható, hogy a vizsgált időszakban a fajlagos esztergálási veszteség átlagos értéke 10 000 kilométerenként 0,23-0,36 milliméter között ingadozott. Síncserés pályafelújítások voltak 2018, 2019 és 2020 nyarán is, ám ezek hatása kimutatható módon nem jelenik meg a járművek kerekeinek elhasználódásának fokozódásában.

A síncserés pályafelújítások tehát átmenetileg sem jelentenek fokozott igénybevételt a járművek futóműveinek, így a második hipotézisünk nem nyert megerősítést, elvetettük azt.

7.3 III. hipotézis: a két esztergálás között futott kilométer és az esztergálási veszteség közötti összefüggés vizsgálata

Létrehoztunk egy olyan adatsort, amelyben összehasonlítottuk a teljes esztergálási veszteséget a két esztergálás között megtett futásteljesítménnyel. Azt kívántuk vizsgálni, hogy látszik-e valamiféle fokozott romlás a kerékprofiljait illetően olyankor, ha a kocsi nem kerül be a ciklusrend szerint előírt futásmennyiség után kerékesztergálásra, és emiatt a tökéletes profil helyreállításakor több anyagot kell leválasztani, vagyis nagyobb-e az átmérővesztés ilyenkor.



17. ábra

A teljes átmérővesztés a két kerékesztergálás közötti futásteljesítmény függvényében

Összesítve az adatokat azonban egy enyhén emelkedő trend mégis felfedezhető, amelyet a következőképpen értelmezhetünk:

- A névleges esztergálási futásteljesítmény, azaz 50 000 km elérése után, átlagosan 1,52 millimétert kell leesztergálni a kerekekből. Ha ezt a ciklusrendet lecsökkentjük például 35 000 kilométerre, a veszteség 1,31 milliméterre csökken. Ahhoz képest, hogy mekkora növekedést okozna a kerékesztergála leterheltségében, a járműfordulók átszervezésében a gyakoribb kerékesztergálás, ez a nyereség várhatóan szerény lenne, különösen a fennálló jelentős szórás figyelembevételével.
- Azonban az enyhén emelkedő tendencia miatt nem javasoljuk, hogy a kerékesztergálási ciklusrend betartásának fegyelme csökkenjen, hiszen elméletben minél később esztergálunk, annál többet veszítünk a kerékátmérő csökkenésével, természetesen a gyakorlatban itt is komoly szórás van.

Konklúzió

A kerék-sín kapcsolat komplex vizsgálata új megközelítést igényel az infrastruktúrával és a járműparkkal foglalkozó szakemberektől. Számos olyan paraméter, adat, pálya- és járműjellemző mérése, vizsgálata és feljegyzése szükségessé válik, amelyre korábban még nem vagy nem ilyen formában volt szükség. A legfőbb tapasztalat eddig az, hogy olyan információ-halmaz rejtőzik a témában, amelyhez való hozzáféréshez további, fokozott kutatás szükséges akár külső partnereket (felsőoktatási intézmények, kutató cégek) bevonva.

Azt már az eddig elvégzett vizsgálatokból is látjuk, hogy az esztergálási ciklus betartása fontos az optimális abroncs-élettartam elérése céljából. Tovább lehet növelni egy abroncs élettartamát, ha alternatív életutat alkalmazunk olyan típusoknál, amelyekre a fokozott kerékkopás jellemző. Az úgynevezett takarékos profilok abban nyújtanak segítséget, hogy az eredeti kerékprofil helyreállítása kisebb anyagvesztéssel és átmérőcsökkenéssel megoldható úgy, hogy a kerék számára megengedett üzemi paraméterek tartományában továbbra is a teljes élettartamban benne maradunk. A Siemens Combino kevésbé érzékeny ebből a szempontból, ellenben a CAF Urbos 3 villamosoknál ennek komoly jelentősége lesz. Ennek a részletes vizsgálata a jövőben megtörténik.

A pálya paramétereinek számszerű mérése nagy fejlődésen ment keresztül, de további fejlesztési irányok is kijelölhetők:

- a mérővillamos mérő- és kiértékelő rendszereinek fejlesztésével (pl. síndiagnosztika, szakértői kiértékelő rendszer) további információk nyerhetők a pálya állapotáról,
- a Calipri lézeres kerékabroncsmérő alkalmas a sínprofil mérésére és minősítésére, ehhez további szoftvermodulok beszerzése szükséges,
- a mágneses memóriavizsgálat (MMM) egy roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárás, amely nemcsak a már meglévő vagy éppen kialakuló repedések szűrhetőek ki, hanem azok a feszültséggyűjtő helyek is, ahol várhatóan repedés keletkezik, vagy legalábbis különleges figyelmet igényelnek.

A hullámos kopás vizsgálata szintén fontos része a kerék-sín kapcsolat elemzésének, ugyanis az fokozott visszahatással van a jármű futására és szerkezetének elhasználódására. Az eddigi gyakorlat szerint a Nagykörúton elvégzett sínköszörülés gyakoriságát tekintve az látszik, hogy az extrém nagy forgalom miatt a hullámos kopás a következő, általában egy év elteltével bekövetkező sínköszörülés időpontjára már érzékelhető nagyságúra, a járműveket fokozottan igénybe vevő mértékűre növekszik. Ezért indokoltnak látszik a nagykörúti sínköszörülés gyakoriságát az évenkénti egyszeri köszörülésről évente vagy másfél évente kétszerire emelni.

Továbbá gyakorlat, hogy az új sínek pályába építése után még a forgalomba helyezést megelőzően – vagy kevéssel azután – megtörténik a sínek köszörülése. Ezzel elérhető, hogy mentesek legyenek a felületi gyártási hibáktól és el legyen távolítva a hengerlési reves (az úgynevezett „hengerlési bőr”), melyek a sínen benyomódásokat, felületi egyenetlenségeket okozhatnak, és a felületi gyártási hibákhoz hasonlóan gyorsan nagyobb mértékű sínhibákhoz vezethetnek. Emiatt javasolt, hogy a beruházási munkák keretein belül és a karbantartási sínserelési munkákhoz kapcsolódóan sor kerüljön a beépített új sínek leköszörülésére. A továbbiakban érdemes azt megvizsgálni, hogy milyen ütemű a hullámos kopás kialakulása egy frissen köszörült sínen, hogy javaslatot lehessen tenni a megelőző sínköszörülési gyakoriságra.

A közúti vasúti járművek kerékpárjainak időszakos vizsgálatát szabályozó MSZ-07-5003-1990 számú nemzeti szabvány 2016.08.01-jén visszavonásra került, így jogi vonatkozásban jelenleg nincs országos érvényű szabályozás (MSZ vagy EN). Az elmúlt 7 év alatt több mint 50 000 mérési eredményt értékeltünk ki. A kiértékelés során bebizonyosodott, hogy néhány méret esetében

eltérünk a már visszavont 1990-es MSZ szabványtól. Szükséges lehet a középtávú jövőben olyan mérési utasítás kidolgozása, amely nemcsak a közúti vasúti járművek kerékkopási szélsőértékeit tartalmazza, hanem komplexen vizsgálja a jármű-pálya viszonyát, azok üzemeltetési határértékeinek együttes hatásait, ezzel jogalapot képezve az elavult magyar szabvány kiváltására.

Mindezek következtében a kutatást folytatjuk, a 2024. évben a fókusz a CAF Urbos járműveken és az 1-es, 3-as és 69-es villamosviszonylatokon lesz, valamint a fent említett témakörökben.

Irodalomjegyzék

- [1] Üzemeltetési kézikönyv járművezetőknek, Siemens, 2006
 - [2] Dr. Sostarics György – Dr. Balogh Vilmos: Vasúti járművek, Tankönyvkiadó, Budapest, 1991
 - [3] MSZ-07-5003:1990 Közúti vasúti járművek abroncsos és monoblokk kerékpárjainak időszakos vizsgálata, 1990
 - [4] Közúti Vasúti Pályaépítési és Fenntartási Műszaki Utasítás, P.1. II. kötet, 2019.
 - [5] Közúti Vasúti Infrastruktúra Tervezési Irányelvek, 2019.
 - [6] Közúti Vasúti Pályaépítési és Fenntartási Műszaki Utasítás, P.1. I. kötet, 2019.
 - [7] Kiss Cs.: Zaj- és rezgéscsökkentés aktuális helyzete a pályaszerkezeti elemek oldaláról a budapesti közúti vasúti villamos vonalhálózaton, CITY RAIL 2023 Tudományos Konferencia, XXIII. Városi Közlekedés Aktuális Kérdései Konferencia, Balatonfenyves, 2023. szeptember 6-7.
 - [8] Közúti Vasúti Pályafelügyeleti és Pályakarbantartási Utasítás, P.2. kötet, 2020.
-

Egy szemtanúk nélküli halálos baleset – bizonyítás mozaikokból

Vörös László Kartal

BKV Zrt. Vasúti Üzemeltetési Igazgatóság, Villamos Üzemigazgatóság
Vasútbiztonsági csoport (VBCS)
telefon: +36/70-390-9199
e-mail: vorosl@bkv.hu

Abstract

A cikk deduktív logikai gondolatvezetéssel a kriminalisztika alapelveinek felhasználásával egy konkrét, halálos kimenetelű közlekedési balesetvizsgálat körülményeinek bizonyítását mutatja be. A vizsgálat során az eljárásban olyan komplex láncolat épült fel, amely **szemtanú, illetve egyéb közvetlen bizonyíték hiányában is** kétséget kizáróan igazolta a baleset bekövetkezésének legfontosabb kérdését, a felelősség megállapítását.

Kulcsszavak: közlekedési baleset, gyalogos elütés, helyszíni szemle, bizonyítás, balesetvizsgálat, kriminalisztika

Bevezetés

A *balesetvizsgáló** – végezze munkáját bármely organizációnál (rendőrhatóság, közlekedésbiztonsági szervezet, egyéb közlekedési társaság) – tevékenységének szakmai alappillére a kriminalisztika. A kriminalisztika a nyomozás multidiszciplináris tudománya, feladata egy múltban történt esemény rekonstruálása és bizonyítása. Ez a tudományág a közlekedés területére a XX. században, a közlekedés ugrásszerű fejlődésével és így a sajnálatos események, balesetek megjelenésével tette be a lábát. Szempontjainak alapjait a bűnügyi nyomozás, illetve vizsgálat területéről hozta, majd dolgozta ki saját módszereit.

A bizonyítás a múltbeli valóság megismerése, egy objektív igazságkeresés annak érdekében, hogy megalapozottan lehessen állást foglalni a felelősség kérdésében.

A bizonyítás jellemző eszközei a közlekedésben:

- résztvevők, tanúk nyilatkozatai (személyi bizonyíték),
- járművek helye, helyzete,
- nyomok, anyagmaradványok,
- rongálódások (tárgyak esetében), sérülések (személyek esetén),

* Jelen cikk a **balesetvizsgáló** megnevezés alatt a közlekedés területén bekövetkező rendkívüli események, balesetek kivizsgálásában részt vevő személyeket érti. Szervezeti felépítéstől függően lehetnek baleseti helyszínelők, akiknek feladatai a helyszíni szemlére „korlátozódnak”. Lehetnek „sima” balesetvizsgálók, akik a helyszíni szemlén való megjelenés nélkül a baleseti helyszínelők által a helyszíni szemle során elkészített dokumentációt fogadják, majd az ügy jellegétől függően kezdeményeznek egyéb nyomozati cselekményeket. És lehet „komplex” balesetvizsgáló, aki a fenti két munkakör feladatait összevontan végzi. Tehát megjelenik a baleset helyszínén és elvégzi a helyszínelési feladatokat (fényképezés, helyszíni meghallgatás, nyomrögzítés), majd ezt követően – az ügyet sajátjaként kezelve – az általa felvett elsődleges adatokhoz továbbiakat szerez be (kamerafelvételek, telemetria adatokat, további meghallgatásokat szervez), majd ezek összességével egy (a helyszíni szemlénél) hosszadalmasabb, elmélyültebb, elemző munkát is végez.

- fényképek, videófelvételek (térfigyelő, fedélzeti),
- menetregisztrálók, GPS adatok, egyéb egzakt adatok (jelzőlámpa programterve).

A technikai lehetőségek fejlődésével együtt fejlődött a kriminalisztika is. A bizonyítás eszközei bővültek, azok egymáshoz való kapcsolata is finomodott, a *közvetlen* mellett felértékelődött a *közvetett* (indirekt) bizonyítás is, amelynek során az alátámasztandó tényre nem közvetlenül a meglévő bizonyítékokból következtetünk, hanem több lépésben, logikai műveletek révén jutunk el hozzá.

1. Kriminalisztikai alapok

A laikusok számára talán az első gondolat egy közlekedési baleset során, hogy volt-e szemtanú. Tehát volt-e a helyszínen olyan személy, aki (két jármű összeütközését feltételezve) az összeütközést *közvetlenül* látta? Amennyiben volt, és ezen személy (tanú) elmondása (nyilatkozata), illetve annak igazságtartalma konkordál valamely részes által előadottakkal, akkor az adott balesetben – nem feledve a kriminalisztikai kétkedést* – az elsődleges bizonyíték a tanú lesz.

A vizsgáló mindig kérdez!

Amennyiben adott egy szemtanú, akkor a következő kérdés, hogy ez a személy látta-e *közvetlenül* a baleset teljes mechanizmusát? Látta-e valamely járműre vonatkozó jelzőlámpát? Amennyiben részéről csupán az egyikük jelzőlámpája volt látható, akkor már el is indultunk a *közvetett* bizonyítás irányába.

* A kriminalisztikai kétkedés egy sajátos értékelési nézőpont, ami szakmai garanciát ad annak érdekében, hogy a vizsgáló elkerülje a látszat és a valóság közötti hasonlóságok eredményezte tévedést.



1. ábra

A szemtanú általi nyilatkozat tanulópéldája a kriminalisztikai kétkedésnek

Az 1. ábrán egy személygépkocsi fedélzeti kamerájának felvételéből látható két képkocka; az egyik a 12. másodpercből, a második kép a felvétel 17. másodpercéből. Az eltelt 5 másodperc alatt a kamera nézőpontjából tekintve az eseményre, azon mozgásváltozás nem látható, csupán a jelzőlámpa jelzéseképe változott meg. Egy esetleges szemtanú odapillantásának „Tilos volt!” vagy „Zöld volt!” kijelentésének szubjektív igazságtartalma mindkét esetben valós lehet, miközben az állítás nem biztos, hogy az esemény objektív valóságát tartalmazza.



2. ábra

Korreláció vagy kauzalitás

2. A baleset röviden

2023. februárjában a Kőrösi Csoma Sándor úton, az Ónodi utca elnevezésű megállóhelyre történő behaladásakor a 1575 pályaszámú villamos gyalogost ütött el. A baleset következtében a gyalogos olyan súlyos sérüléseket szenvedett, hogy a helyszínen az életét vesztette. A villamosvezető helyszíni nyilatkozata szerint a holdfényjelző szabad jelzésére haladt be a kereszteződésbe, majd a megállóhely elején a kijelölt gyalogos-átkelőhelyhez, azonban neki jobbról egy gyalogos a jelzőlámpa tilos jelzése ellenére a villamos elé behaladt. A helyszíni szemle, majd a vizsgálat során szembesültünk vele, hogy – a járművezetőnk nyilatkozatát alátámasztandó – szemtanú nem volt, és sem a balesetben érintett villamos nem volt kamerarendszerrel felszerelt, sem más olyan kamerafelvétel nem állt rendelkezésre, ami a balesetet lefolyását *közvetlenül* rögzítette volna.

3. A rendszerek

Jelen balesetnél a közvetett bizonyítási láncolatot szillogizmusra* hasonló többszörös logikai lépéseken keresztül építjük fel. A logikai lépéseket egyébként önállóan is létező, saját céllal működő rendszerek információinak bizonyítékaiból kapcsoljuk egymáshoz. Így a tényállás (a baleset melyik részese közlekedett valóban tilos jelzésen) az események logikus összefüggéseiből kerül megállapításra. A bizonyítás az alábbi, független rendszerekből nyert adatok egymásra épüléséből áll össze.

3.1 A menetregisztráló

A BKV Zrt. által üzemeltetett villamosok mindegyike** menetregisztrálójával van felszerelve. A forgalmi járatként közlekedő járművek öt különböző típusú menetregisztrálójára sebesség-út, il-

* Olyan következtetés, amelyben egy kijelentés (a konklúzió vagy következmény) két másikkól (a premisszákból vagy feltételekből) következik.

** A napi utasforgalomban részt vevő, ún. „forgalmi” járatok

letve sebesség-idő függvényében rögzítik a járművek közlekedését. Ezen felül típustól függően 8, 16, 19, 24, 256 számú jelet (pl.: menet- és fékparancs, fékberendezések, jelzőberendezések, utastéri ajtók állapota, éberségi berendezés, vészjelzők, vészfékek különböző állapotai) képesek rögzíteni.

Rekord	Idő	Sebes- ség	Részút	Utadat	Menet	Fék	Sin- fék	Pálya- csengő	Homok- szóró	Vész- fék	Csúszás- perdülés	A irány	B irány	Éber- ségi	Utastér- vészfék	Zöld- hurok	Aram 1	Aram 2	Hál. tesz.
1	10:40:27	0,000	0	12 760	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	275	666
2	10:40:27	0,000	0	12 760	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
3	10:40:28	3,270	0	12 760	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
4	10:40:28	5,357	1	12 761	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
5	10:40:29	7,444	2	12 762	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
6	10:40:29	9,531	4	12 763	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
7	10:40:30	11,618	5	12 765	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
8	10:40:31	13,845	7	12 767	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
9	10:40:31	15,932	10	12 769	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
10	10:40:32	18,019	12	12 772	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
11	10:40:32	20,106	15	12 775	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
12	10:40:33	22,193	18	12 778	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
13	10:40:33	24,141	23	12 782	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
14	10:40:34	26,228	26	12 786	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	405	666
15	10:40:34	26,256	27	12 787	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	303	666
16	10:40:35	28,315	32	12 791	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	303	666
17	10:40:35	30,542	37	12 797	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	303	666
18	10:40:36	30,855	40	12 800	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	359	303	666
19	10:40:36	30,865	40	12 800	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	150	303	666
20	10:40:36	30,959	41	12 800	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	150	118	666
21	10:40:36	31,272	44	12 803	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	118	666
22	10:40:36	31,377	44	12 804	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	666
23	10:40:37	31,898	49	12 808	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	666
24	10:40:37	32,629	55	12 815	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	666
25	10:40:37	32,803	56	12 816	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	124	0	666
45	10:40:50	49,535	213	12 973	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	181	158	666
46	10:40:50	49,013	216	12 975	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	181	258	666
47	10:40:50	47,708	222	12 982	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	303	258	666
48	10:40:50	47,447	224	12 983	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	303	258	666
49	10:40:51	45,957	230	12 990	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	303	415	666
50	10:40:51	45,658	231	12 991	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	445	415	666
51	10:40:51	45,360	233	12 992	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	445	415	666
52	10:40:51	44,715	234	12 993	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	445	415	666
53	10:40:51	44,071	235	12 995	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	445	415	666
54	10:40:51	43,426	236	12 996	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	445	415	808
55	10:40:52	42,781	237	12 997	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	445	415	808
56	10:40:52	42,717	238	12 997	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	445	415	808
57	10:40:52	42,640	238	12 997	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	445	415	691
58	10:40:52	42,026	239	12 998	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	445	392	691
59	10:40:52	41,258	240	12 999	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	199	392	691
60	10:40:52	40,490	241	13 001	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	199	392	691
61	10:40:52	40,402	241	13 001	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	324	392	691
62	10:40:52	39,609	242	13 002	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	324	514	691
63	10:40:52	38,728	243	13 003	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	447	514	691
64	10:40:52	37,847	244	13 004	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	447	514	691
65	10:40:53	34,507	248	13 008	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	447	514	691
66	10:40:53	33,394	249	13 009	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	447	783	691
67	10:40:53	32,281	250	13 010	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	447	783	691
68	10:40:53	32,170	250	13 010	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	447	675	691
69	10:40:53	30,055	252	13 011	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	447	675	691
70	10:40:53	26,715	255	13 015	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	447	675	691
71	10:40:54	24,072	256	13 016	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	447	675	691
72	10:40:54	22,645	257	13 017	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	547	675	691
73	10:40:54	21,219	257	13 017	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	547	675	691
74	10:40:54	19,062	259	13 018	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	547	675	691
75	10:40:54	16,280	260	13 020	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	547	675	691
76	10:40:54	14,192	261	13 020	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	547	675	691
77	10:40:55	11,688	261	13 021	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	547	675	691
78	10:40:55	8,839	262	13 021	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	547	675	691
79	10:40:55	8,696	262	13 021	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	547	675	691
80	10:40:55	7,411	262	13 021	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	393	675	691
81	10:40:55	5,983	262	13 022	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	393	675	691
82	10:40:55	5,914	262	13 022	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	393	406	691
83	10:40:55	5,287	262	13 022	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	222	406	691
84	10:40:55	4,592	262	13 022	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	222	218	691
85	10:40:55	3,896	262	13 022	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	222	218	691
86	10:40:55	3,823	262	13 022	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	93	218	691
87	10:40:55	3,165	262	13 022	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	93	78	691
88	10:40:56	0,974	263	13 022	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	93	78	691
89	10:40:56	0,000	263	13 022	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	93	78	691
90	10:40:56	0,000	0	13 022	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	93	78	691
91	10:40:56	0,000	0	13 022	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	93	78	691

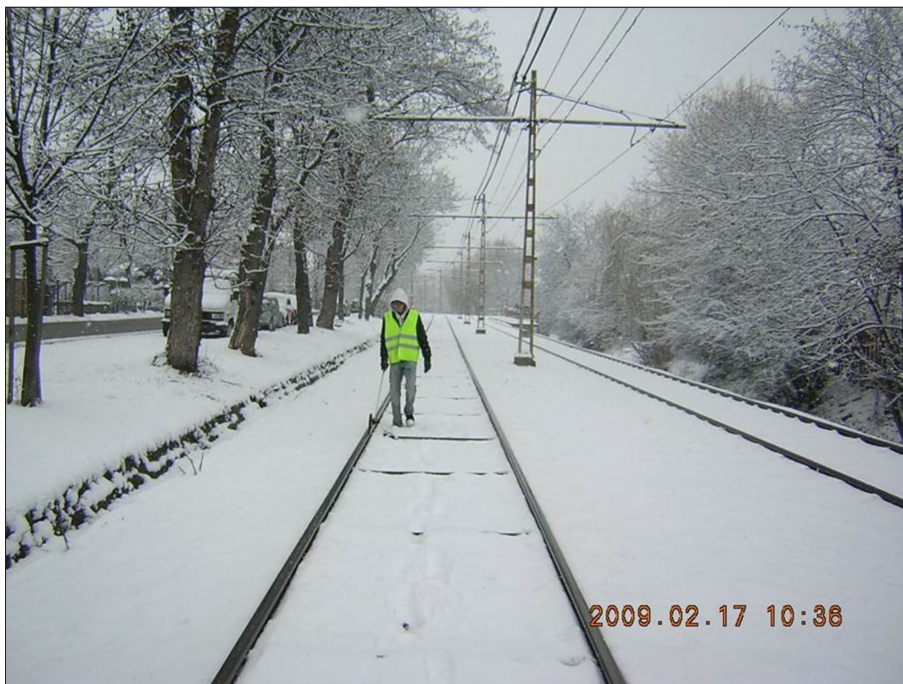
3. ábra

A balesetben érintett 1575 pályaszámú villamos menetregisztráló adatainak kivonata (a pirossal jelölt sorok részletes magyarázata a 4. fejezetben olvasható)

A menetregisztráló feladata, hogy a jármű közlekedési adatait rekordokba építve rögzítse. A menetregisztráló ezen rekordjai alapján utólag méterre pontosan meghatározható, hogy a villamospálya adott pontján milyen jellemzőkkel, milyen paraméterek alapján közlekedett a villamos. Értelemszerűen így az is meghatározható, hogy a balesethez közeledve milyen távolságon, milyen sebességgel haladt a jármű. Az is egyértelmű, hogy a menetregisztráló a járművön belüli zárt rendszer, nem „lát” ki abból, így a villamossal interakcióba kerülő egyéb közlekedőkre (esetünkben a gyalogosra) vagy jelzésekre (esetünkben a jelzőlámpa jelzésére) vonatkozóan nem képes információt hordozni.

3.2 A sematikus térkép

A menetregisztráló által rögzített számok önálló adatként nem értelmezhetőek. Ahhoz, hogy azokból (informatika alapfogalomként hivatkozva) értelmezett adat, vagyis információ lehessen, szükség van valamilyen helyazonosításra, vagyis a villamospályának egy előzőleg megfelelő eszközzel felmért térképére. Ezért Budapest teljes villamoshálózata méterpontossággal a mérésügyi törvényben meghatározottak szerint, „*a mérési feladat elvégzésére alkalmas hiteles mérőeszközzel vagy használati etalonnal ellenőrzött mérőeszközzel*”^{*} (kalibrált kerek távolságmérő) került felmérésre^{**}, amely alapján készültek el a sematikus térképszelvények.



4. ábra

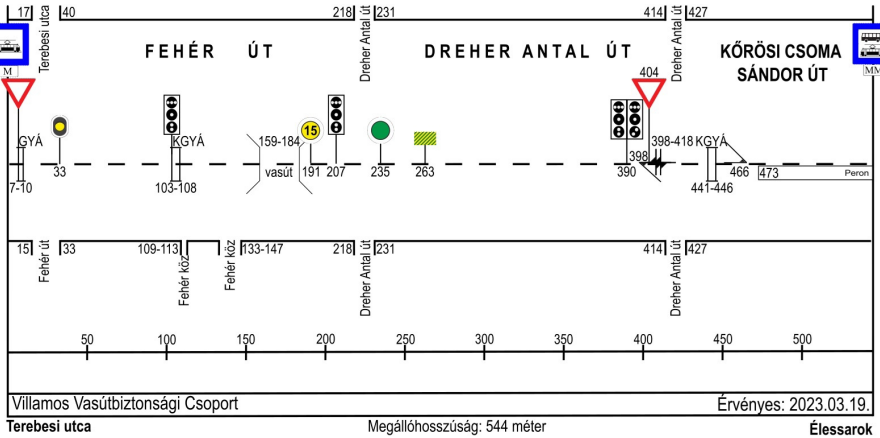
Térképfelmérés

A felmérés alapjai két megálló közötti útszakasz, amelynek távolsága adja a megállóköz távolságát. Az 5. ábrán egy példa látható a VBCS által használt sematikus térképszelvényre. Ezeken a

* 1991. évi XLV. törvény a mérésügyről 6. §, 2. bekezdés

** A pályán lévő forgalomtechnikai változások nyomon követése és ennek alapján a térképek naprakészen tartása folyamatos.

térképeken minden olyan infrastruktúra elem feltüntetésre kerül, amelyek a villamosokkal való közlekedésre kihatással vannak: kitérők, vágánykeresztvezdők, útátjárók, főjelzők, holdfényjelzők, egyéb jelzők: (pl. kihelyezett sebességkorlátozások), felsővezetéken elhelyezett elemek (szakaszszigetelők, szánszerkezetek, felsővezeték keresztvezdők). Ezek méterre pontos helye a térképszelvényen feltüntetésre kerülnek. Az így elkészült térképek segítségével azonosíthatók be a menetregisztrátumban rögzített útdatok.



5. ábra

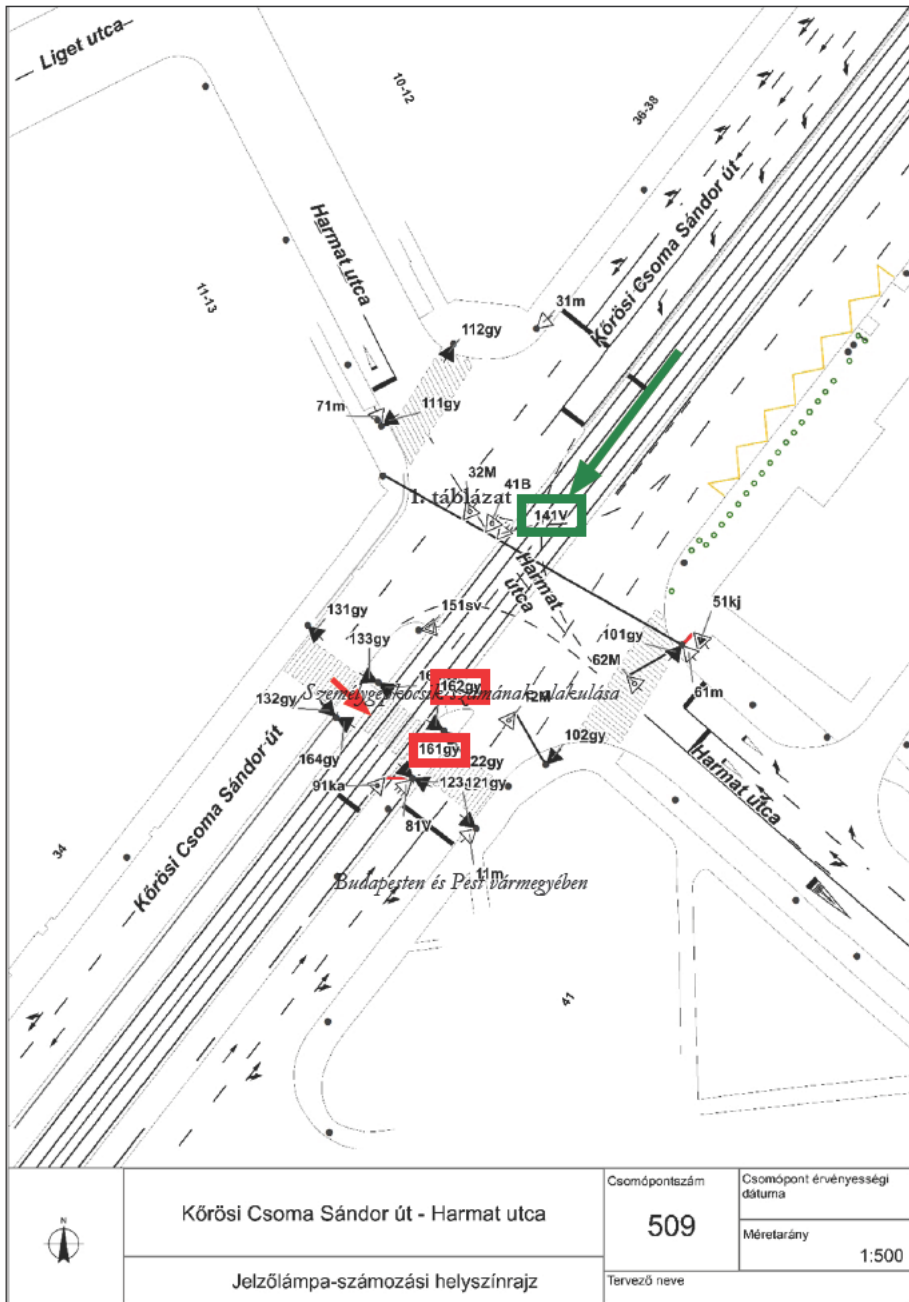
A 3, 28, 28A, 62, 62A viszonylatok közös szakaszán lévő egyik (nem a balesetben érintett) megállóköz térképszelvénye

Az 5. ábrán példaként szereplő sematikus térképszelvényen lévő objektumok:

- 7-10 méter útdat között GYÁ = Gyalogos átjáró,
- 33 méter útdat = Közúti fedezőjelző ellenőrzőjelzője,
- 103-108 méter útdat között KGYÁ = Kijelölt gyalogos-átkelőhely (kezdő vonalában holdfényjelzővel),
- 159-184 méter útdat között = Vasúti felüljáró,
- 191 méter útdat = Engedélyezett legnagyobb sebesség jelzőtábla,
- 235 méter útdat = Engedélyezett legnagyobb sebességgel járható pályaszakasz vége jelzőtábla,
- 263 méter útdat = Menetárammal járható szakaszszigetelő,
- 398 méter útdat = Csúccsal szemben érintett váltó kezdőpontja,
- 398-418 méter útdat között = Vágánykeresztvezdők,
- 466 méter útdat = Gyök felől érintett váltó kezdőpontja,
- 473 méter útdat = Megállóperon kezdete,
- valamint mindkét oldalon a becsatlakozó utak kezdete és vége.

3.3 Jelzőlámpa-számozási helyszínrajz és fázis-idő terv

A jelzőlámpával biztosított csomópontok balesetvizsgálati szempont szerinti legnagyobb előnye, hogy a megjelenő jelzések (fázisok) tervezetten, adott időintervallumban periodikusan ismétlődve jelennek meg, így ennek ismeretében a balesetkori fázisok rekonstruálhatók.

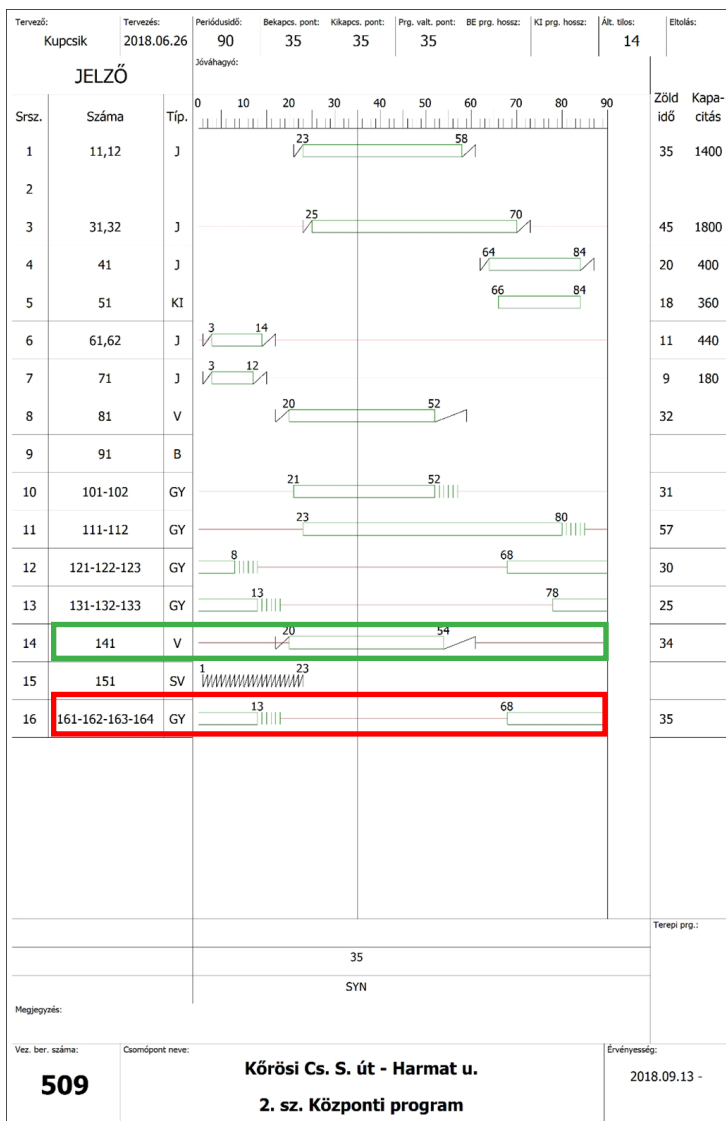


6. ábra

A balesetben érintett csomópontjának jelzőlámpa-számozási helyszínrajza

A csomóparti helyszínrajz a kereszteződés szerkezeti felépítését szemlélteti, azon a jelzőlámpák az adott közlekedő szemlélése felől irányhelyesen vannak ábrázolva, illetve a fázis-idő tervben történő azonosításhoz a jelzőlámpák (fejei) számozásra kerültek. A helyszíni szemle alapján

a villamos a **zöld** nyíllal jelölt irányból érkezett a csomópontba, és így rá az átengedő 141V számozású holdfényjelző jelzése az irányadó. A gyalogos a **piros** nyíl szerinti irányból lépett a villamospályára, és rá az áthívó típusú 161gy és 162gy számozású gyalogos jelzőlámpa vonatkozott.



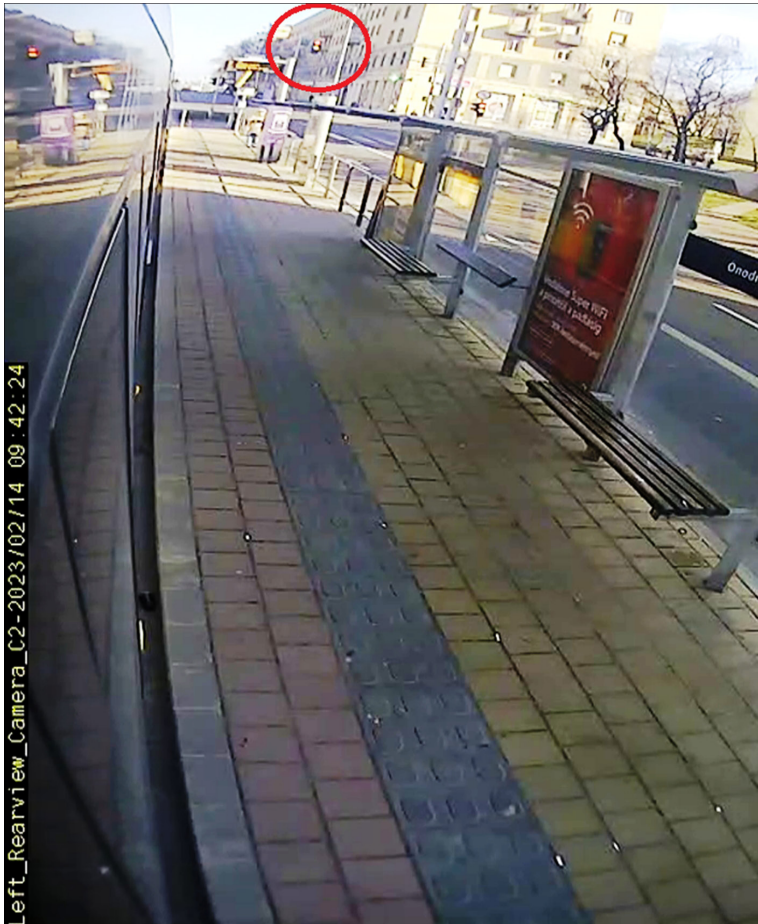
7. ábra

A balesetben érintett csomópont fázis-idő terve

A fenti terv szerint a csomópont periódusideje 90 másodperc. A jelzőlámpa-számozási helyszínrajz alapján a jelzők fázisai és az azon belüli idők (zöldidő, előkészítő idő, átmeneti idő, tilos jelzés ideje) intervallumainak kezdete és vége (vagyis, hogy a periódusidő hányadik másodpercére vonatkozik) szintén megállapítható.

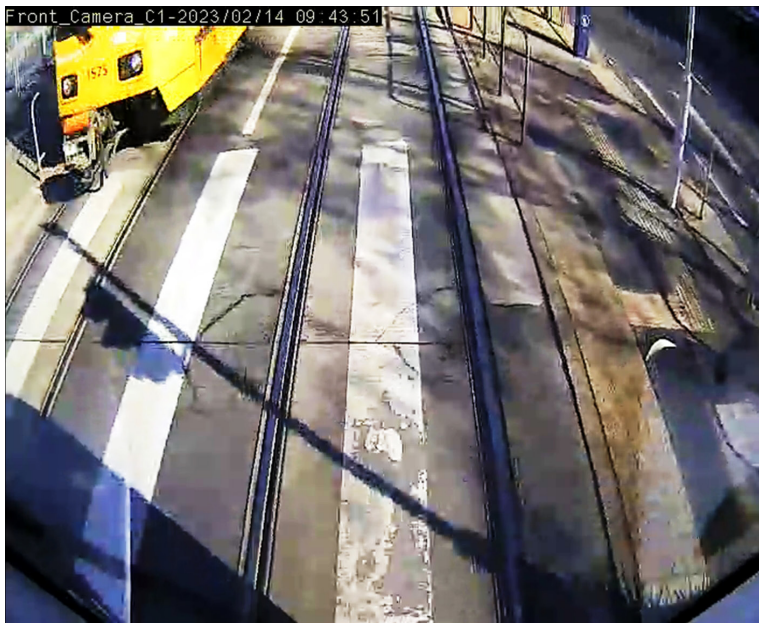
3.4 Villamos kamerafelvételek

Ahogy a bevezetésben már említésre került, a balesetben érintett villamos nem rendelkezett kamerarendszerrel, illetve a járművezetőnek sem volt saját használatú, hordozható menetfigyelő kamerája. Azonban a baleset előtt pár perccel a helyszínen, a balesetben érintett villamossal ellenkező irányban elhaladt a 2228 pályaszámú villamos, amely rendelkezett fedélzeti kamerarendszerrel. A balesetvizsgálat során ez a villamos beazonosításra került és utólag a releváns kamerafelvételek mentésre kerültek, amelyekből a lényegi részt ábrázoló képernyőképek a következők.



8. ábra

Vált a 12M számozású jelző

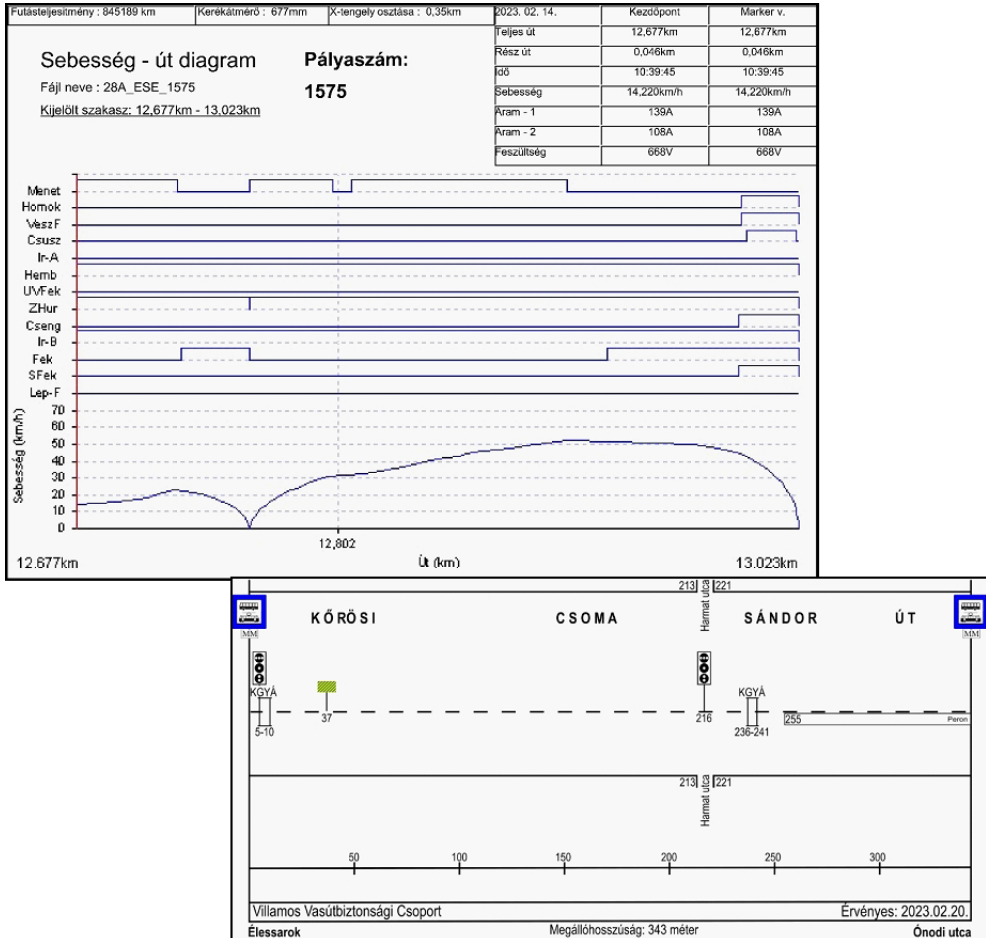


9. ábra

*A kamerával rendelkező villamos szembetalálkozik a balesetben érintett villamossal
(közvetlenül a baleset előtti megállóhelynél)*

4. A rendszerek összekapcsolása

A menetregisztráló berendezés kiolvasó programja a rekordokként rögzített adatokat képes sebesség-út függvényében grafikusán is megjeleníteni. A villamos így megrajzolt közlekedése látványosan összeilleszthető az érintett megállóköz méretarányosan beállított térképszelvényével. Ez a vizuális ábrázolás segíti a két rendszer közti kapcsolat megértését, egyben visszaautal a 3.2. *alfejezetre*, ahol már említésre került, hogy a térképek segítségével azonosíthatók be a menetregisztrátumban rögzített útatadatok.



10. ábra: A menetregisztráló és a tematikus térkép kapcsolata

10. ábra

A menetregisztráló és a tematikus térkép kapcsolata

Az előző fejezet „Vált a 12M számozású jelző” (8. ábra) mellett, hogy bemutatja a villamos kameraképét, annak időadatát összekapcsolja a fázis-idő tervvel is. A két rendszer időadata ezen időpillanat alapján szinkronizálható. Vagyis a kamerafelvétel képernyőképen látható 09:42:24 megfeleltethető a fázis-időterv – a 12M jelzőlámpának a pirosról piros-sárga jelzésre váltása alapján a – 21. másodpercének (1. táblázat 1. sora).

A feltárt időadatokat az áttekinthetőség érdekében egységes táblázatba rendezzük, és a göngyölt időpontokat soronként értelmezzük.

1. táblázat
Az időszinkronizálások összefoglaló táblázata

Ssz.	Cselekmény	Idő a 2228 kamerafelvétele alapján	Idő a 1575 menetregisztrálója alapján	A 90 másodperc periódusidejű fázis-idő terv ideje
1.	Vált a 12M jelzőlámpa (8. ábra)	09:42:24		21
2.	Találkozik a két villamos (9. ábra)	09:43:51	10:40:30	18
3.	A 1575 eléri a holdfényjelző vonalát		10:40:50	38
4.	Az elütés pillanata		10:40:52	40
5.	A villamos megállása		10:40:56	44

2. sor:

- A 2228 pályaszámú villamos a balesetben később részes villamossal (vele szemben közlekedve) az Élessarok megállóhelyénél találkozik.
- A találkozás képernyőképén (9. ábra) a 1575 pályaszámú villamos az Élessarok megállóhely után kijelölt gyalogos-átkelőhely kezdővonalát éri el, ami a valóságban (a sematikus térképen is látható) a megállóhelytől 5. méterre található.
- A 3. ábrán látható menetregisztráló kivonat „Részút” oszlopában látható, hogy az elindulást követő 5. méteren közlekedést a berendezés a 7. rekordban rögzítette. Így a két jármű találkozási lehetőséget nyújt a két jármű időadatának a rekordhoz tartozó időpont alapján történő szinkronizálásra.
- A 2228 pályaszámú villamos kamerafelvételenek előző sori időadatához képest 87 másodperc telt el.
- Mivel mindeközben az Ónodi utcai csomópont periódusideje „halad” tovább, ezért az eltelt 87 másodpercet az előző sor 21. másodpercéhez szintén göngyöljük.

3. sor:

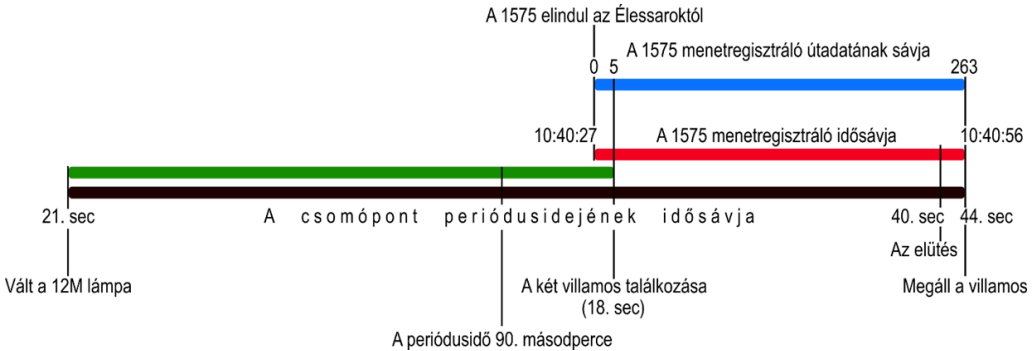
- A 10. ábrán látható sematikus térképszelvény alapján az Ónodi utcai kereszteződésben lévő holdfényjelző 216 méter útatadtnál található.
- A 3. ábrán lévő menetregisztráló kivonatból kiolvasható, hogy a 216 méter útatadatot a berendezés a 46. rekordban rögzítette, amelynek időadata a 10:40:50.
- Az előző sorhoz képest eltelt 10 másodperc a periódusidőhöz újból hozzáadódik.

4. sor:

- A helyszíni szemle adatai (a feltalált nyomok) alapján ismert, hogy a gyalogos elütése az 5 méter széles gyalogos-átkelőhely középvezetékében következett be.
- A 10. ábra sematikus térképszelvényéről leolvasható, hogy ez a gyalogos-átkelőhely 236-241 méter útatadatok között található, vagyis a gyalogos elütése a 238,5 méter útatadtnál történt meg.
- A menetregisztráló (3. ábra) pontosan 238,5 méter útatadra nem rögzített rekordot. Azonban a 238 és a 239 méter útatadra vonatkozóan is ugyanaz a másodperc (10:40:52) szerepel.
- Az előző sorhoz képest eltelt 2 másodperc a periódusidőhöz újból hozzáadódik.

5. sor:

- A villamos megállásának út- és időadata a menetregisztráló utolsó (89.) rekordjában szerepel.
- Az ehhez tartozó, az elütéstől eltelt 4 másodperc a periódusidőhöz újból hozzáadódik.

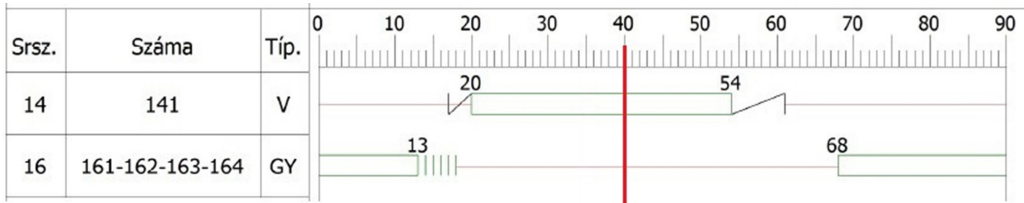


11. ábra

A különálló rendszerek idősávjai együtt ábrázolva

5. Melyik résztvevő haladt tilos jelzésen?

Tehát a gyalogoselütés a fázis-időterv periódusidejének 40. másodpercében következett be. A tervből megállapítható, hogy az érintett villamos részére 20-54 másodperc között volt szabadjelzés, míg a gyalogos számára releváns jelzőlámpa 18-68 másodperc között mutatott tilos jelzést.



12. ábra

A fázis-idő tervben jelölve az elütés pillanata

Balesetek esetén a felelősség az alábbiak szerint alakulhat:

1. csupán az egyik fél szegett olyan közlekedési szabályt, ami a baleset bekövetkezéshez vezetett,
2. a felelősség nem vagylagos, ezért előfordulhat, hogy mindkét közlekedő megszegett olyan közlekedési szabályt, ami a baleset bekövetkezésében szerepet játszott,
3. valamelyik résztvevő szegett közlekedési szabályt, de nem állapítható meg, nem áll rendelkezésre olyan bizonyíték, ami alapján meghatározhatjuk, hogy melyikük volt az,
4. egyik fél sem szegett közlekedési szabályt.

A tárgyalt baleset végkövetkeztetése az, hogy a villamos szabad jelzésen közlekedett, a gyalogos számára pedig az elütés pillanatában tilos jelzést mutatott a jelzőlámpa. A gyalogosok jelzőlámpájához tartozó KRESZ szabály* alapján ebben az esetben még nem biztos, hogy a gyalogos

* KRESZ 8. § A gyalogosforgalom irányítására szolgáló fényjelző készülékek

(1) A gyalogosforgalom irányítására szolgáló fényjelző készülék két (felül álló gyalogost mutató piros, alul haladó gyalogost mutató zöld fényű) lámpából áll, és sorrendben folyamatos zöld, villogó zöld, majd piros fényjelzést ad. A fényjelző készülék folyamatos zöld fény jelzésnél folyamatos, a villogó zöld fényjelzésnél szaggatott kiegészítő hangjelzést is adhat.

(2) Az (1) bekezdésben említett fényjelző készülék fényjelzéseinek a jelentése:

részéről megvalósult a szabályszegés. Ugyanis előfordulhat olyan eset, hogy egy idős, lassan mozgó gyalogos ténylegesen a szabad jelzés ideje alatt (akár a zöldidő utolsó másodpercében) kezdi meg az átkelést. Viszont szélesebb úttesten átkelése alatt elkezdhet villogni a zöld jelzés, majd az 5 másodperc múlva tilosra vált, és egy ezt követően érkező jármű üti el az ebben a pillanatban valóban tilos jelzésen az úttesten tartózkodó személyt. Ilyen esetben a gyalogos úttesten tartózkodása nem KRESZ szabályba ütköző. Viszont az érintett eseménynél nem ez történt, ugyanis a baleset helyszínén a zsilipes rendszerű jelzőlámpa-kialakításnak köszönhetően a gyalogosoknak a jelzőlámpa zöldideje alatt legfeljebb két forgalmi sávnyi szélességű úttestrészen kell átkelniük. Ráadásul a helyszíni nyomok alapján a gyalogos elütése a peronról történő lelépésekor közvetlenül történt, és ekkor számára már 22 másodperce tilos jelzést mutatott a jelzőlámpa.

Konklúzió

Az utóbbi években jelentősen megnövekedtek a közterületi térfigyelő kamerák, valamint a fedélzeti kamerával felszerelt járművek. A kamerafelvételek – sok esetben szinte minden egyéb vizsgálatot háttérbe szorító – egzakt információtartalma oly mértékben jelent meg a napi munkavégzésben, hogy annak hiánya esetén a vizsgálatot végző eszköztelennek érezheti magát. A résztvevők és/vagy tanúk nyilatkozataira épülő bizonyíték részben a tudatos torzítás, részben az emberi tényezőből adódó bizonytalanság miatt egyes esetekben nem képes „igazságot szolgáltatni”. A tárgyalt balesetnél a helyszíni szemle lefolytatása közben úgy tűnt, hogy a rendelkezésre álló bizonyítékok száma ismert, illetve kimerített. A balesetvizsgálatban alapesetben a vizsgálóbizottság vezetője és tagja vesz részt, de a VBCS közös irodai szolgálata során az esetek csoportszintű megtárgyalása mindennapos. Ennek során jutottunk el oda, hogy az egyébként különálló rendszerek adatait egy idősíkra helyezve keressük a felelősség kérdésére a választ.

A cikk a jelen keretek között nem tud kitérni rá, de a vizsgálat része továbbá a baleset során történő járműkezelés, a baleset járművezető általi elkerülésének vizsgálata, az esetleges járműműszaki vagy infrastrukturális hiányosságok feltárása, továbbá a járművezető baleset előtt megtett 8 km-e alatt esetlegesen elkövetett szabálysértések, gyorsajtások megállapítása, vizsgálandó a járművezető általános szabálykövetési hajlandóságát.

A BKV Zrt. villamos járműveinek mozgó járművel való ütközéses és gyalogos elütéses balesetei során járművezetőink felelőssége rendkívül alacsony. A baleseteket követő vasútbiztonsági vizsgálat teljeskörű, nem kizárólag valamely fél felelősségének megállapítására irányul. A vizsgálatok legfontosabb célja azonban kétségtelenül ez, hiszen ennek során a felelősség tisztázása az esetek túlnyomó többségében a járművezető mentális és jogi felmentésén kívül a vasútüzemeltető társaság pozitív megítélését is befolyásolja.

Jelen eset vizsgálatakor sem járműműszaki, sem infrastruktúra jellegű meghibásodást nem találtunk, a villamos vezetője a kialakult veszélyhelyzetben a más által okozott balesetveszély elhárítása érdekében előírt kötelezettségének eleget tett (a szabályok szerint működtette a pályacsengőt és a vészféket), illetve a járművezető által megtett utolsó 8 km során sem történt olyan szabálytalanság, ami arra utalt volna, hogy a járművezető a figyelmét nem a járművezetésre fordította volna, vagy a szabálykövetési hajlandósága ne lett volna megfelelő.

-
1. a folyamatos zöld fény szabad utat jelez: a gyalogos az úttesten áthaladhat;
 2. a villogó zöld fény az áthaladásra engedélyezett időtartam végét jelzi: a gyalogos az úttestre nem léphet, az úttesten levő gyalogos pedig köteles az áthaladást mielőbb befejezni;
 3. a piros fény az áthaladás tilalmát jelzi: a gyalogos az úttestre nem léphet.

MILLFAV jármű üzemeltetésének fenntartását célzó megoldások kidolgozása és igazolása

Dr. Hartványi Tamás¹ – Hudacsek Péter² – Olajos Tamás³ –
Dr. Turcsán Tamás⁴

¹ Revelator Kft.
telefon: +36 30 9291118
e-mail: tamas.hartvanyi@revelator.hu

² Alternatura Kft.
telefon: +36 30 3406938
e-mail: peterhuda@icloud.com

³ eCon Engineering Kft.
telefon: +36 30 8823246
e-mail: tamas.olajos@econengineering.com

⁴ eCon Engineering Kft.
telefon: +36 30 3523487
e-mail: tamas.turcsan@econengineering.com

Abstract

Az M1 viszonylaton jelenleg is közlekedő járművek 50 éve vannak forgalomban, ami jelentősen túllépte a gyártó által megadott 30 éves üzemeltetési határértéket. Mivel új járművek beszerzése még nem indult el, további legalább 8-10 éves időtávban szükségesnek látszik a jelenlegi járműpark üzemeltetése, miközben a járművek jelentős részében szerkezeti repedések jelentek meg. Előző publikációnkban bemutattuk azt a vizsgálsorozatot, amelynek célja a repedések okának feltárása, a járművek várható élettartamának meghatározása és a repedések megakadályozását biztosító beavatkozási lehetőségek kidolgozása volt. Jelen cikkünkben bemutatjuk azt a fejlesztéssorozatot, amelynek célja a repedések megakadályozását biztosító műszaki megoldások kidolgozása és kísérleti igazolása.

Kulcsszavak: M1 földalatti vasút, szerkezeti feszültség mérések, CAD modellezés, végeelemes szimuláció, vasúti jármű innováció

Bevezetés

Az M1 viszonylaton jelenleg is utasforgalmat bonyolító GANZ által gyártott 3 részes csuklós járművekre a gyártó 2.100.000 km-t, vagy 30 évet adott meg, mint üzemeltetési határértéket. Jelen pillanatban a járművek átlag életkora közel 50 év, valamint az átlag futásteljesítményük is meghaladta a gyártói ajánlásokat. A járművekkel az üzembehelyezésüket követően rövid idővel jelentkeztek futási, illetve szilárdsági problémák, melyeket már korábban is vizsgáltak ([1], [2], [3]).

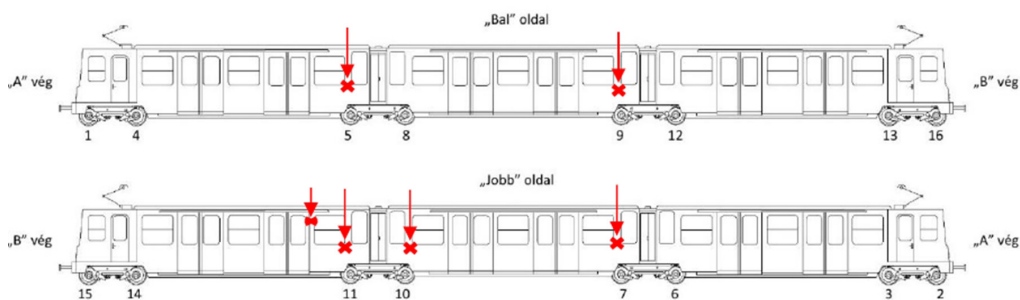
A Millfav járművek kocsiszekrény repedéseinek mérési és dokumentálási utasítása [4] alapján 2022-ben teljeskörű feltárást végeztek a járműparkon, és megállapították, hogy a probléma által a járműpark 78%-a érintett. [5] A BKV Zrt. 2022. évben lefolytatta a Millfav járművek vázszerkezetének vizsgálata tárgyú projektet [6], melynek keretén belül meghatározásra került a járművek várható élettartama. A projekt eredményei alapján kijelenthető, hogy a szerkezeti repedések nem az anyagtulajdonságok következtében alakultak ki, hanem a járműszerkezet meghatározott mechanikai kialakítása következtében jöttek, illetve jönnek létre. A gyökérok azonosításával 2023-ban a fenti projekt folytatásaként lehetőség nyílt az elvárt élettartam biztosításához szükséges műszaki beavatkozások kifejlesztésére.

A fejlesztési projekt végrehajtása során a vasúti jármű 3D modelljén végrehajtott végeelem szimulációval modelleztük a beavatkozások hatásait, melynek eredményei alapján elkészítettük a szerkezetek vizsgálati prototípusait. A prototípusokat beépítettük a 36-os számú szerelvénybe, és azok hatékonyságát statikus és dinamikus tesztek elvégzésével igazoltuk.

Jelen publikációban a fejlesztési folyamatot és annak eredményeit ismertetjük [7].

1. Előzmények

A járműszerkezet repedéseinek szempontjából meghatározó a járműszerkezet kialakítása, a kocsik közötti tetőkapcsolat és a csuklóalagút jellemző felépítése és üzem közbeni viselkedésük.



1. ábra

Jellemző repedési helyek

A 2022. évi Millfav járművek vázszerkezetének vizsgálatát, és a repedések okainak feltárását célzó projekt [6] főbb megállapításai:

- A végeelem szimuláció eredményei alapján a járműszerkezetben kialakításánál fogva gravitációs terhelés és a jármű gyorsulása hatására is feszültség ébred a jellemző repedési helyeken. Ehhez adódnak hozzá a merev tetőkapcsolat által létrejövő erőhatások.
- Megoldást kell találni az önhordó vázszerkezetben ébredő feszültségek jelentős mértékű csökkentésére.
- A mérések alapján a tetőkapcsolat jelentős, a pályasíkból a menetirányra keresztirányú erőt gerjeszt a kapcsolódó járműszerkezetekben.
- A vizsgálatok alapján megoldást kell találni a tetőkapcsolat merevségének oldására, lényegében a szekunder rugózás funkciójának kialakítására, amellyel a járműszerkezetet érő terhelések csökkenthetők lehetnek.

2. Fejlesztési és vizsgálati terv

A kutatási program a járműszerkezet kritikus pontjaiban ébredő igénybevételek csökkentésére, illetve az ezeket kiváltó erőhatások megszüntetésére irányult az alábbi két kulcsterületen:

1. a pályásíkra merőleges, gravitáció irányú erőhatások,
2. a járműtengely irányú csavarónyomatékok.

Az első pontban meghatározott erőhatásokkal szemben a járműszerkezet megfelelő pontjaiba történő beavatkozási lehetőségek feltárását és az alkalmazható szerkezeti elemek kifejlesztését tűztük ki célul. E beavatkozások segítségével a terhelt csomópontok feszültségmentesítését kívántuk megoldani. A pályásíkra merőleges, gravitáció irányú erők hatásainak csökkentése érdekében a vizsgálatok és a fejlesztés során a már felépített 3D modellen végzett végelem szimulációval dolgoztunk. A fejlesztés során heurisztikus módszerrel előállt beavatkozási javaslatok szerkezetre gyakorolt hatásait végelem szimulációs módszerrel vizsgáltuk meg. Az eredmények alapján döntöttünk a további fejlesztési irányokról, illetve iteratív módszerrel pontosítottuk a fejlesztési ötleteket, hogy azokból gyártható szerkezeti elemeket lehessen kifejleszteni. A fejlesztés során 9 lehetséges beavatkozási változatot vizsgáltunk meg az alábbi hatáscsoportokban:

- Hossztartó megerősítése (1 változatban).
- Oldallemez síkjában történő megerősítések (6 változatban).
- Nem az oldallemez síkjában történő megerősítések (2 változatban).

A második pontban meghatározott probléma megoldásaként a csavaró erőhatások kialakulásának megakadályozását tűztük ki célul. Ha ez sikerül, a járműszerkezetet mentesíteni tudjuk ezen erőhatásoktól, így a szerkezetben nem kell további beavatkozásokat végezni.

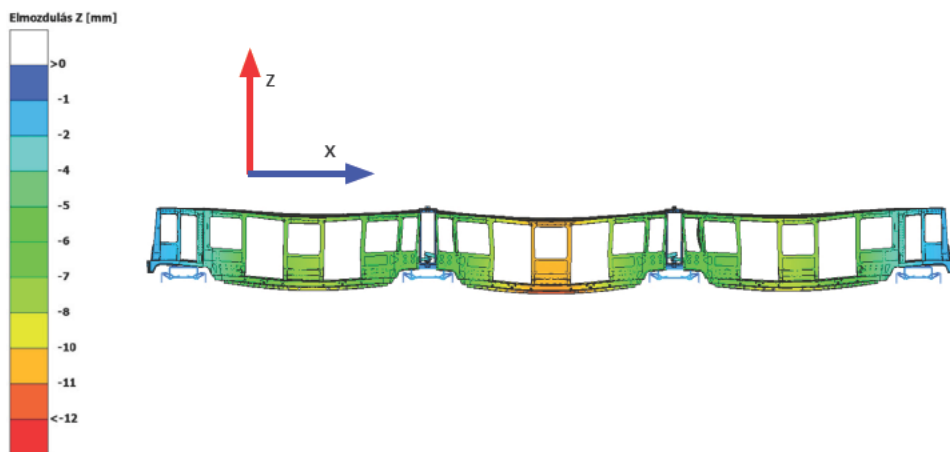
A járműszerkezetet csavaró igénybevételnek kitévő erőhatások csökkentése érdekében kísérleti munkamódszert választottunk.

Első lépésben igazoltuk azt az előzetes feltevést, hogy a szerelvény kocsijainak felső összekötő szerkezete túl merev, illetve geometriailag nem megfelelő kialakítású, ami miatt a kocsik egymáshoz képest ívben befeszülnek: ez az oka a kocsiszerkezeteket érő csavaró erőhatás kialakulásának. Ennek érdekében felszabadítottuk az egyik tetőkapcsolatot, és megmértük az összekötőcsapok szabad radiális irányú elmozdulásait.

Feltevésünk szerint a kapcsolat rugalmassá tételével a megfelelő szabadsági fok biztosítható lehet, ezért megvizsgáltuk annak lehetőségét, hogy ezt a célt a szilentek megfelelő átalakításával érjük el. A feltevésünk igazolását validáló eljárás során egy szerelvény összes tetőkapcsolati szilentjét kicseréltük előzetesen átalakított, kilágyított rugalmassági paraméterekkel rendelkező szilentekre, majd dinamikus mérésekkel igazoltuk azok viselkedését.

3. Szimulációs vizsgálatok

A Millenniumi Földalatti Vasút repedésvizsgálata azt mutatja, hogy jellemzően a szerkezet utasablakainak környezetében gyakori a repedések kialakulása. Ennek a problémának az analizálására készült egy szimuláció (2. ábra), amely mérnöki egyszerűsítések segítségével nem csak jelleghelyesen adta vissza a szerkezet viselkedését, de mérés által validálásra is került.



2. ábra

Z irányú elmozdulás gravitációs terhelés hatására 50-szeres nagyságban

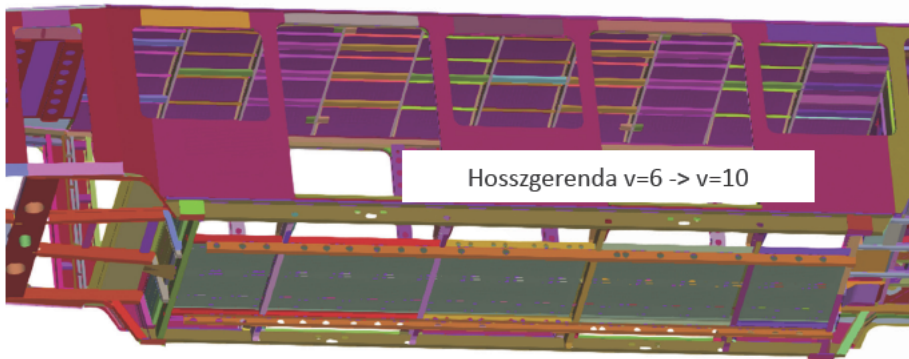
A vizsgálat megállapította, hogy az utasablakokban már az utastömeggel figyelembe vett gravitációs terhelés hatására jelentős feszültségek alakulnak ki, melyeket az oldal irányú erők csak növelnek.

3.1 Modellváltozatok ismertetése

A műszakilag megfelelő és a járművön lehetséges megoldás keresését heurisztikus módszerrel végeztük el, melynek során megismertük a szerkezet viselkedését a különböző változatok esetén. A megoldási lehetőségek között találtunk műszakilag nagyon hatékony változatokat, amelyeket azonban a vasúti járművön nem lehet alkalmazni. A javasolt megoldásnak a műszaki hatékonyság mellett olyannak kellett lennie, amely nem ütközik a jármű egyéb funkcióival és megvalósítása esetén nem változtatja meg a jármű jellegét.

1. változat: hossztartó merevítése

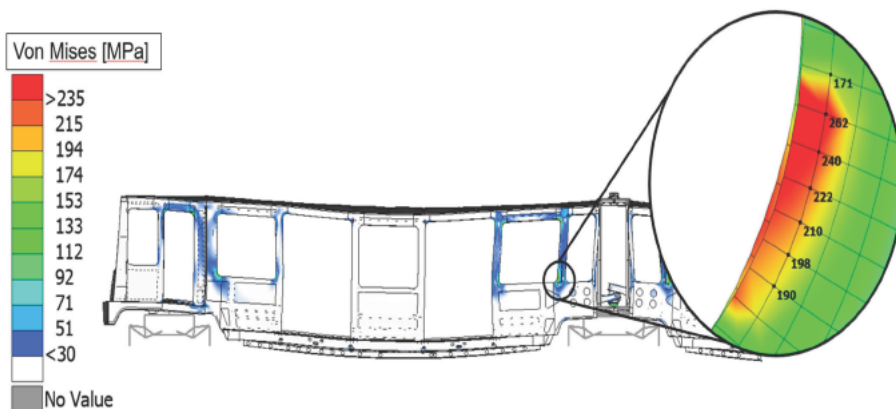
Az 1. változat esetén az került megvizsgálásra, hogy a hossztartó merevítése (vastagság növelése $v=6$ [mm]-ről $v=10$ [mm]-re) képes-e mérsékelni a kritikus ablaksarokban ébredő feszültségeket. (3. ábra)



3. ábra

Hosszgerendák vastagságának növelése

Elsőre meglepő módon az eredmények azt mutatják, hogy a feszültségek nemhogy csökkentek volna, de még 10 [MPa]-al növekedtek is. Ez ellentmondásos eredménynek tűnik. Ha jobban megvizsgáljuk a szerkezet deformációját, látható, hogy a nagy deformációt elszenvedő zóna az ablakoknál (kapcsolt végi utasablak és szerelőablak) jön létre (4. ábra). A hossztartó merevítése egyáltalán nem képes ennek a régióknak a merevségét növelni, sőt a merevítése csak tovább terheli a kritikus zónát.

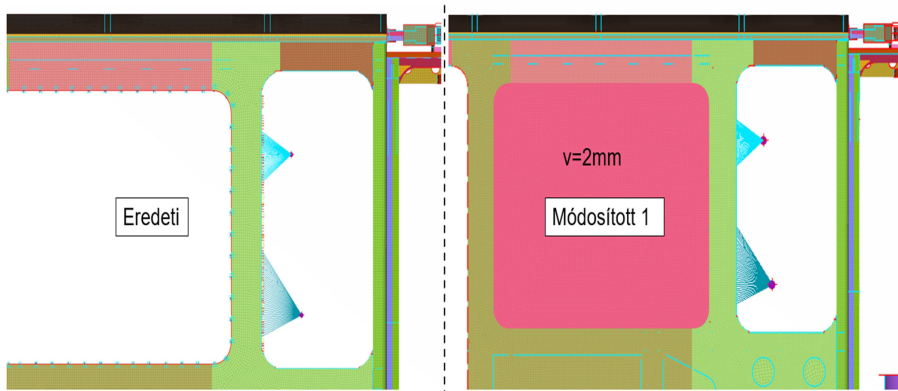


4. ábra

Az 1. változat esetén a szerkezet kapcsoltvégi utasablakában ébredő feszültségek

2. változat: az utasablak belemezélése

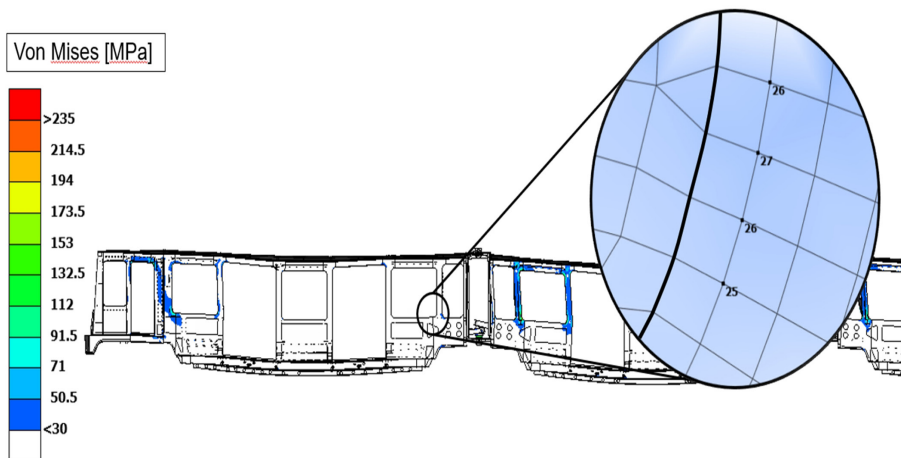
A szerkezet viselkedésének jobb megértéséhez és megvalósítható módosítások korlátainak meghatározásához a valóságban nem kivitelezhető, de a szimulációban rendkívül egyszerűen elvégezhető módosításokat vizsgáltunk. Először megvizsgálásra került az ablak „belemezélése”, mely a valóságban nem kivitelezhető, azonban információt ad arról, hogy miként változik a szerkezet deformációja az ablak környezetének megerősítésével (5. ábra).



5. ábra

Útasablak „belemezésének” vizsgálata szimulációval

Valamennyi szerkezeti módosítás esetén a behegesztésre került alkatrészek anyaga az eredeti váz anyagával megegyezően 210 [GPa]-os rugalmassági modulussal lett figyelembe véve.



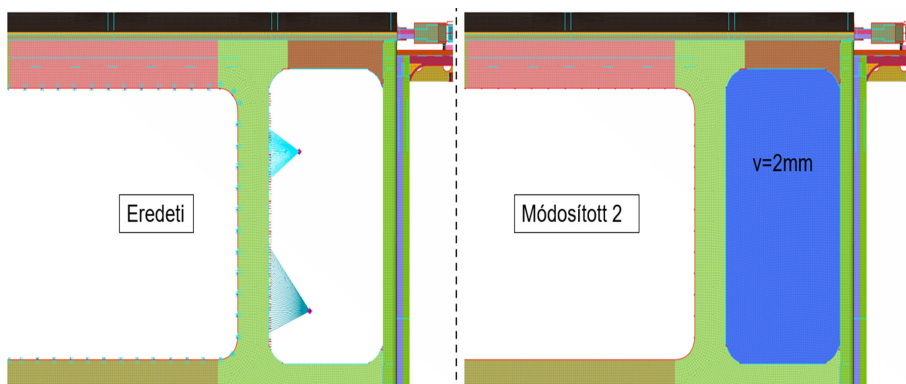
6. ábra

A 2. változat esetén a szerkezet kapcsolóvégi utasablakában ébredő feszültségek a gravitációs terhelés hatására

A 6. ábra mutatja, hogy a belemezés hatására a nagy feszültségértékek teljesen megszűntek, mivel az ablaksarok, mint geometriai feszültséggyűjtőhely megszűnt.

3. változat: a szerelőablak belemezése

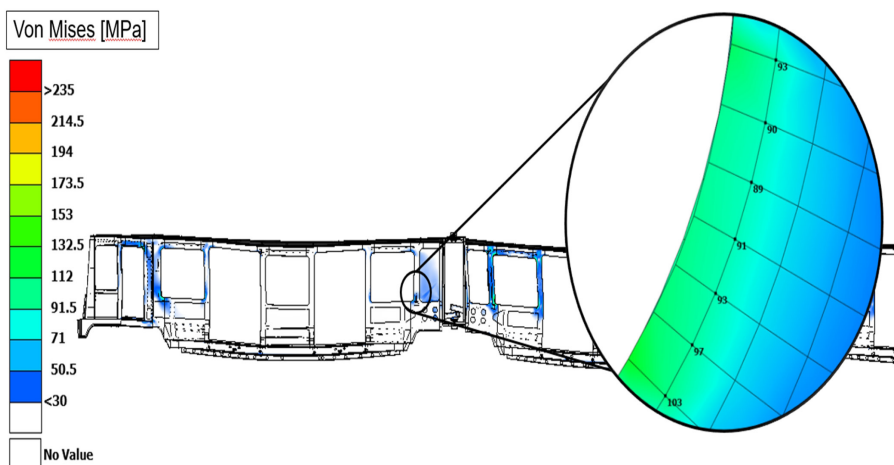
Harmadikként megvizsgálásra került a szerelőablak „belemezése”, amely a valóságban szintén nem kivitelezhető, azonban információt ad arról, hogy miként változik a szerkezet deformációja a szerelőablak környezetének megerősítésével (7. ábra).



7. ábra

Szereőablak „belemexelésének” vizsgálata szimulációval

A 8. ábra mutatja, hogy a 3. módosítás esetén a feszültség az eredeti vázszerkezethez képest 251-ről 103 MPa-ra, ~150 MPa-lal csökkent (143%), amely bőven meghaladja a minimum elvárt 50 MPa-os feszültségcsökkenési limitet. A továbbiakban ennek megfelelően olyan megoldások kerültek megvizsgálásra, melyek a szerelő és az utasablak környezetét erősítik és kivitelezhetők.

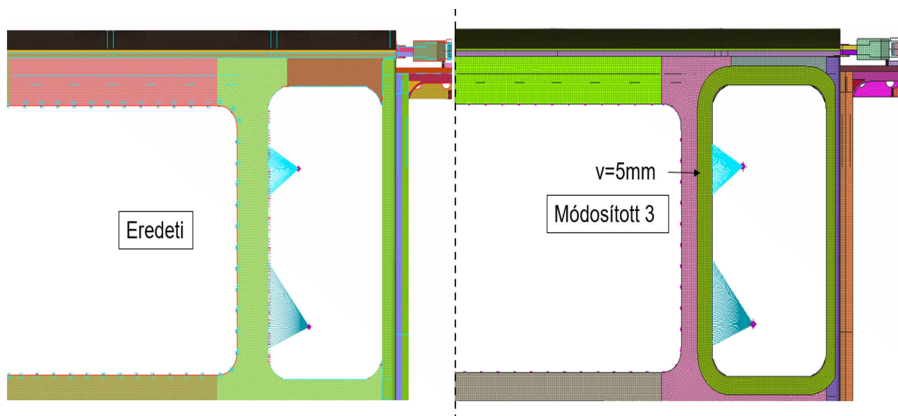


8. ábra

A 3. változat esetén a szerkezet kapcsolóvízi utasablakában ébredő feszültségek gravitációs terhelés hatására

4. változat: a szerelőablak merevítése ablakkerettel

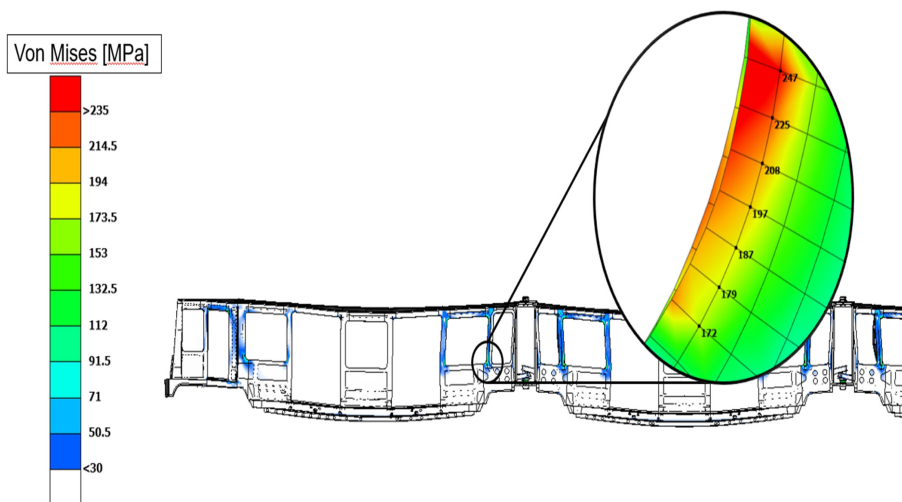
A 4. változatban az lett megvizsgálva, hogy a szerelőablak merevítése egy, az ablakkeretre kívülről felhegesztett 5 mm vastag lemezkarimával milyen hatással van az utasablakok sarkaiban ébredő feszültségekre és a vázszerkezet deformációjára (9. ábra). Ez a módosítás a valóságban is egyszerűen kivitelezhető és egyszeri felhegesztés után nem igényel többlet beavatkozást, viszont a vázszerkezet külső esztétikája sérülhet.



9. ábra

4. változat, szerelőablak merevítése 5 mm vastag lemez karimákkal

A 10. ábra mutatja, hogy a 4. változat esetén az utasablakok sarkaiban ébredő feszültség elhanyagolható mértékben, csupán 4 MPa-lal csökkent. Ez alig több, mint 1%-os feszültség csökkenés, amely nyilvánvalóan nem tudja meggátolni az repedések kialakulását.

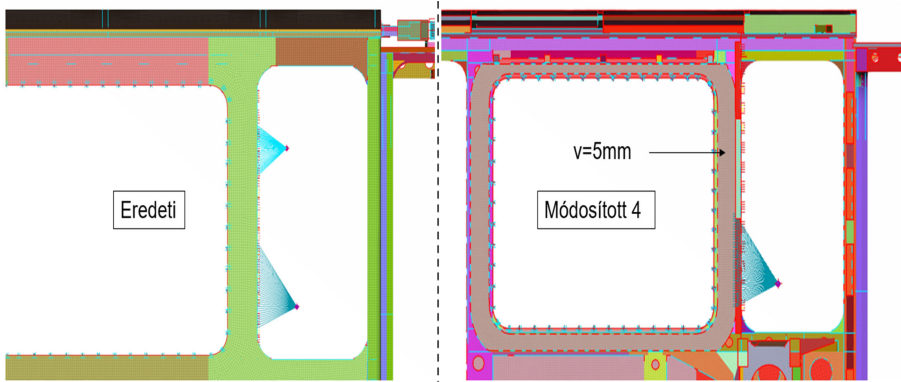


10. ábra

A 4. változat esetén a szerkezet kapcsolóvégi utasablakában ébredő feszültségek gravitációs terhelés hatására

5. változat: az utasablak merevítése ablakkerettel

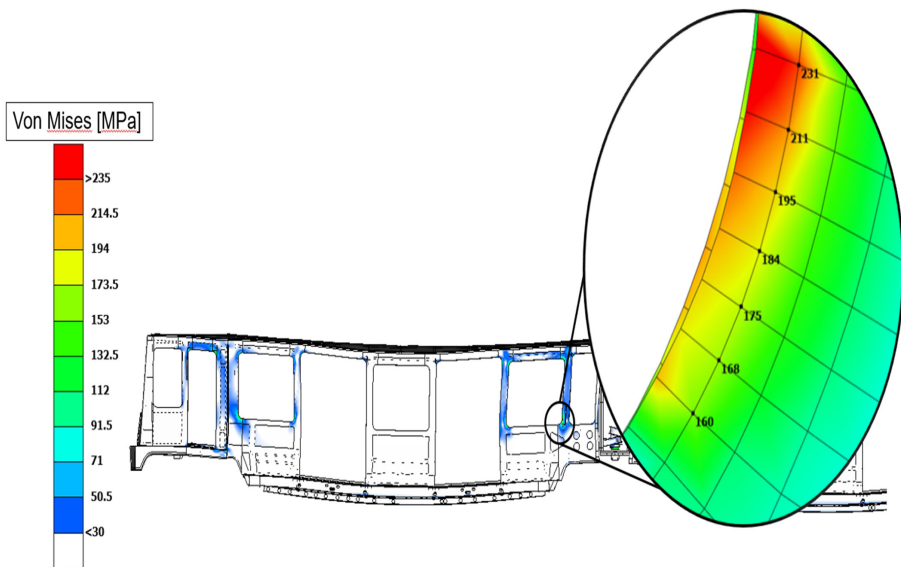
Az 5. változat esetén az lett megvizsgálva, hogy az utasablak merevítése a 4. verzióhoz hasonló módon az utastér felől egy 5 mm vastag acél karimával hogyan hat az utasablakok sarkaiban ébredő feszültségekre, a vázszerkezet deformációjára (11. ábra).



11. ábra

5. változat, utasablak merevítése 5 mm vastag lemez karimákkal

A 12. ábra mutatja, hogy a feszültség az utasablakok sarkaiban 20 MPa-lal csökkent. (8,6%) azonban az utas- és szerelőablak környezetének deformációja csak minimálisan mérséklődött az eredeti verzióhoz képest, így ez a módosítás sem tudja érdemlegesen mérsékelni a lehajlást, csökkenteni a feszültségeket.

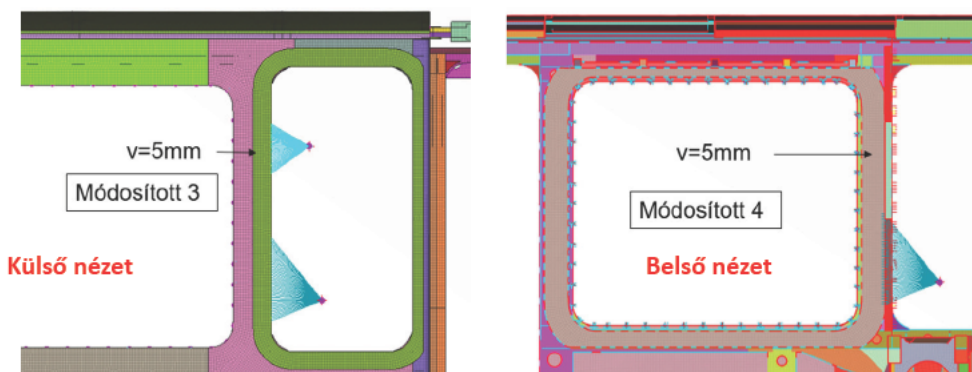


12. ábra

Az 5. változat esetén a szerkezet kapcsolóvízi utasablakában ébredő feszültségek gravitációs terhelés hatására

6. változat: az utasablak és a szerelőablak együttes merevítése ablakkerettel

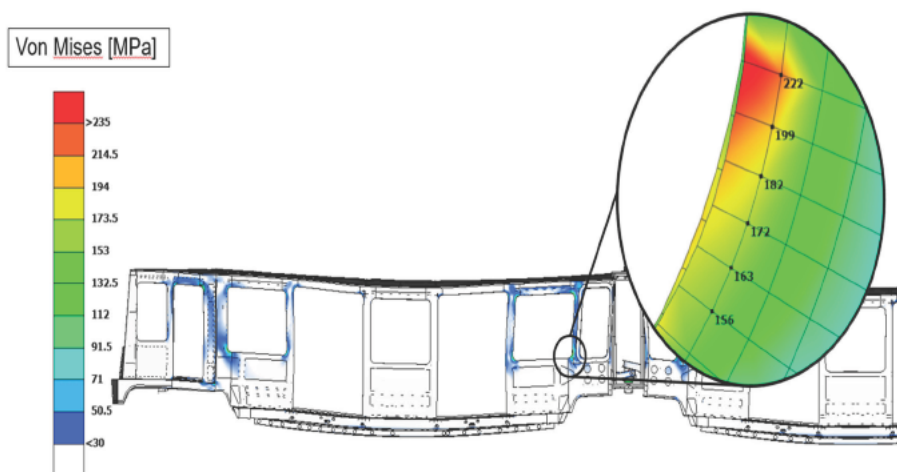
A következő 6. változat esetén a 4. és 5. változatok kombinált hatása került megvizsgálásra, melyben az utasablak belső oldalára és a szerelőablak külső oldalára egy 5 mm vastag acéllemezről készült ablakmerevítő karima került felhelyezésre (13. ábra).



13. ábra

6. változat, utas és szerelő ablakok merevítése 5 mm vastag lemez karimákkal

A 14. ábra mutatja, hogy a kritikus feszültség az utasablakban alig 30 MPa-lal csökkent (13%) a karimák felhelyezésének hatására: az utasablak oldalainak szögtorzulását nem tudta megfelelően gátolni a két karima, az ablakok közvetlen merevítése nem tűnik elégséges megoldásnak. Ez továbbra is elmarad a minimum elvárt 50 MPa-os feszültségcsökkenéstől.

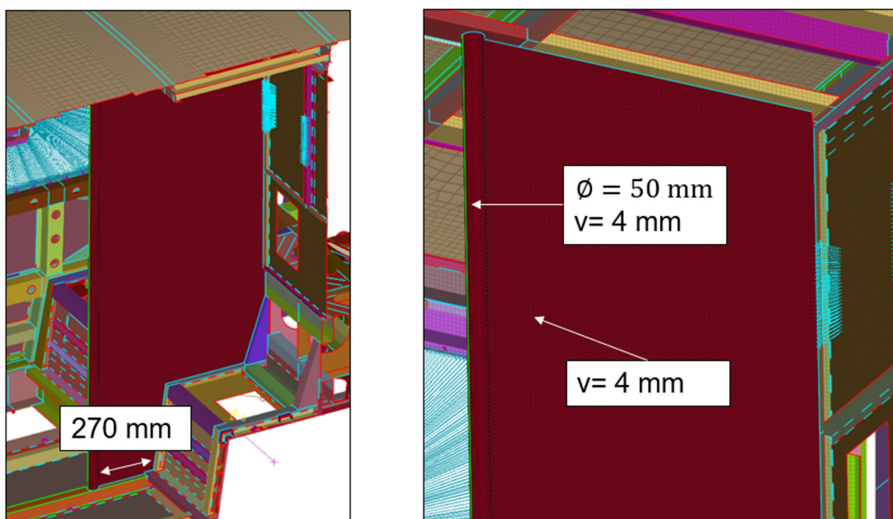


14. ábra

A 6. változat esetén a szerkezet kapcsolóvégi utasablakában ébredő feszültségek gravitációs terhelés hatására

7. változat: teljes válaszfal beépítése a kapcsolóvégi ülések közé

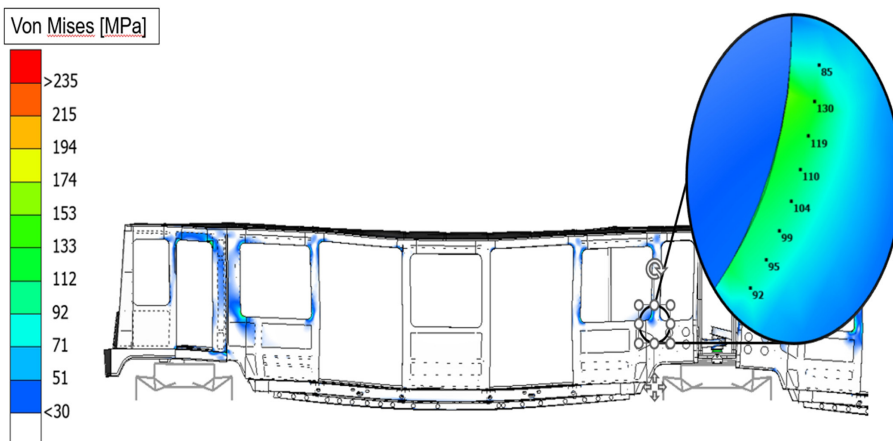
A 7. változat esetén egy olyan válaszfal és oszlop került elhelyezésre az utastérben, amely a kapcsolt véget belülről képes megtámasztani. Ehhez egy 4 mm vastag és 50 mm-es átmérőjű cső szelvény került beépítésre, mely az alváz és a tetőváz között teremt kapcsolatot, valamint az oszlop és a hátfal közti rész ki lett töltve egy 4 mm vastag lemezzel, (15. ábra) így az alváz, tetőváz és kapcsolt végi homlokváz között oszlanak meg a többlet erők.



15. ábra

7. változat, válaszfal a kapcsolóvégi ülések között

Mivel az oszlop és lemez hatására jelentős többleterők adódhatnak át a tetővázra, ezért a tetővázban az egymástól eltérő magasságban lévő hosszgerendákhoz behegesztésre került egy-egy acél háromszög elem a terhelés egyenletes elosztásához.



16. ábra

A 7. változat esetén a szerkezet kapcsolóvégi utasablakában ébredő feszültségek gravitációs terhelés hatására

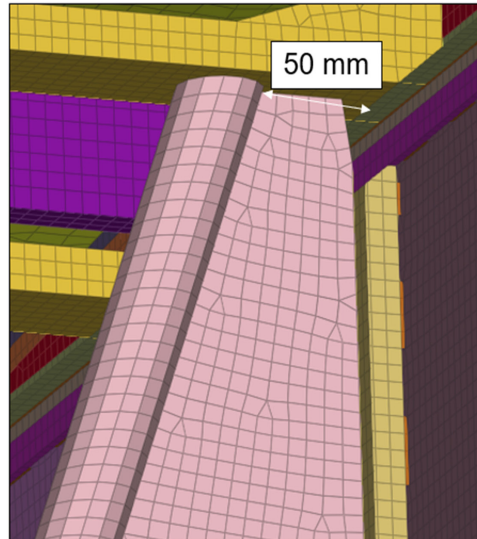
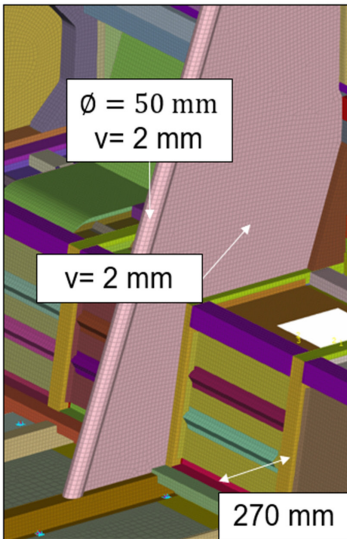
A 16. ábra mutatja, hogy az utasablak feszültségei ~ 120 MPa-lal (93%) csökkentek, így meghaladják az elvárt minimum 50 MPa-os feszültségcsökkenési limitet. A merevítő oszlop és az alváz találkozásánál nem lépnek fel kritikus feszültségek.

A 7. verzió alkalmas lehet az utasablakok sarkainál fellépő repedések keletkezésének megakadályozására. A szerelőablakba behelyezhető ablakfeszítő kerethez képest a megoldás előnye, hogy

egyszeri beavatkozást igényel, az üzemeltetés során nem igényel több teendőt, hátránya viszont az, hogy az utastér integritása sérül, jelentős mértékű beavatkozást igényel és esztétikailag kedvezőtlennek tekinthető.

8. változat: csökkentett méretű válaszfal beépítése a kapcsolóvégi ülések közé

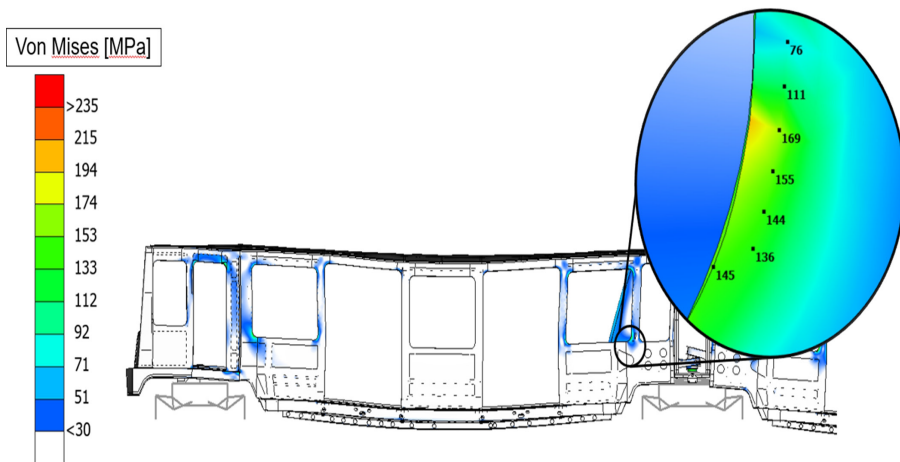
A 8. változat során a 7. változathoz kiindulva olyan válaszfal lett kialakítva, amely esztétikailag kedvezőbb, de továbbra is képes lehet jelentősen csökkenteni az utasablakok sarkaiban ébredő feszültségeket. Ehhez egy 2 mm vastag 50 mm átmérőjű acélcső, valamint egy 2 mm vastag lemez került beépítésre a kapcsolóvégi utasülések közé. Megerősítésre került a tetőváz is, melyet a 17. ábra mutat.



17. ábra

8. változat, ferde válaszfal a kapcsolóvégi ülések között

A 18. ábra mutatja, hogy a 8. változat hatására a feszültség körülbelül 80 MPa-lal (48%) csökkent. Ez kb. 40 MPa-lal kisebb, mint a 7. változat esetén. A 8. változat esetén is a feszültségcsökkenés az ablaksarkokban nagyobb, mint az elvárt minimum 50 MPa-os limit. Emellett a módosítások hatására nem lépnek fel további kritikus feszültségek a módosítások beépítésének környezetében. A megoldás hátránya, hogy az utastér integritása sérül, jelentős mértékű beavatkozást igényel és esztétikailag vitatható.

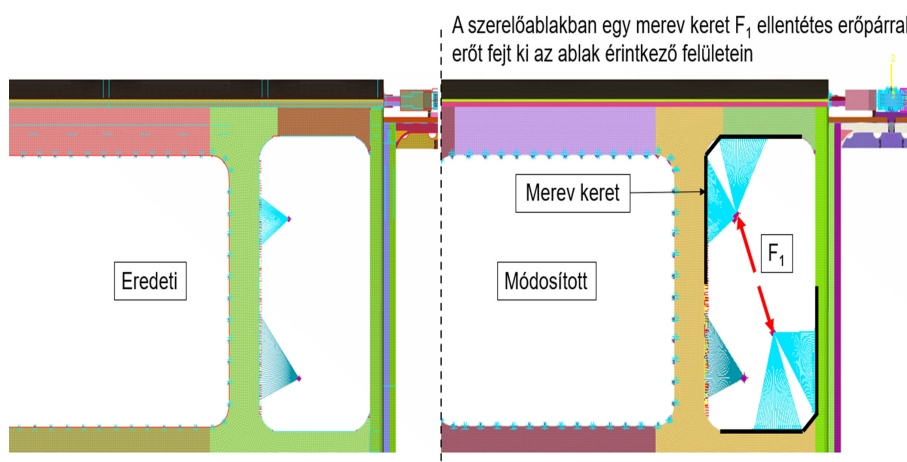


18. ábra

A 8. változat esetén a szerkezet kapcsolóvetéi utasablakában ébredő feszültségek gravitációs terhelés hatására

9. változat: a szerelőablak merevítése feszítő szerkezettel

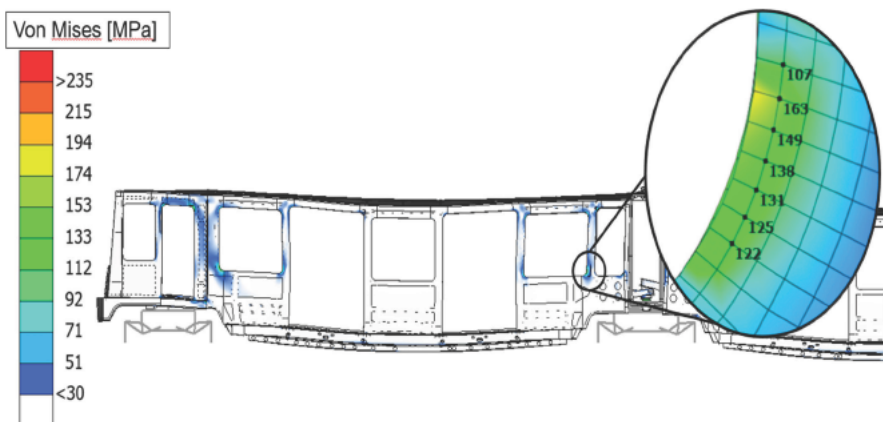
A 9. változat során egy olyan módosítást vizsgáltunk, amelynek beépítéséhez a korábbi megoldási javaslatokkal ellentétben nem szükséges a jármű jelentős átalakítása és az utastér integritása sem sérül. Mivel a 3. változatban vizsgált módosítás során az volt tapasztalható, hogy a szerelőablak merevségének növelése jelentősen képes csökkenteni az utasablakok sarkaiban ébredő feszültségeket. Mivel a szerelőablak használatára szükség van az üzemeltetés során, ezért az ablak teljes belemezelése nem lehetséges megoldás. A 9. verzióban ezért egy olyan megoldás lett kialakítva, amely ki-be szerelhető, így a szerelőablak használata a továbbiakban is biztosított, azonban képes a szerelőablak merevségét jelentősen megnövelni. A szerelőablakba a geometriai átló irányú feszítő szerkezetet helyezünk be, amelynek a dőlésszöge a függőlegeshez képest $\alpha=22,6^\circ$ (19. ábra).



19. ábra

9. változat, a szerelőablak előfeszítése

A 20. ábra mutatja, hogy a Von Mises feszültség a kritikus pontban 251 [MPa]-ról 163 [MPa]-ra csökkent, ami ~ 90 [MPa] körüli feszültségcsökkenés, ez meghaladja az elvárt minimum 50 [MPa]-os feszültségcsökkenést.



20. ábra

A 9. változat esetén a szerkezet kapcsolóvégi utasablakában ébredő feszültségek gravitációs terhelés hatására

A vizsgált modellváltozatok összehasonlítása

Az egyes verziók esetén az ablaksarkokban ébredő feszültségek és a feszültségcsökkenés az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat

Modellezési eredmények összefoglalása

Verzió száma	Verzió megnevezése	Kritikus feszültség [MPa]	Feszültségcsökkenés [MPa]
0	Eredeti	251	-
1	Hossztartó merevítése	262	-11
2	Utasablak belemezélése	27	224
3	Szerelőablak belemezélése	103	148
4	Szerelőablak merevítése 5 mm vastag karimákkal	247	4
5	Utasablak merevítése 5 mm vastag karimákkal	231	20
6	Utas- és szerelőablak merevítése 5 mm vastag karimákkal	222	29
7	Válaszfal a kapcsolóvégi ülések között 4 mm vastag lemezzel	130	121
8	Ferde válaszfal a kapcsolóvégi ülések között	169	82
9	Szerelőablak előfeszítése	163	88

Az 1. változat a hossztartó merevsége növelésének hatását mutatja, ami nem tudta mérsékelni a kritikus lokációban ébredő feszültségeket, sőt minimálisan növelte azokat.

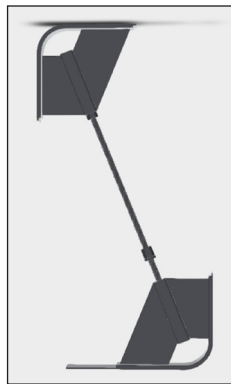
A 2. és a 3. változatok az utas, illetve szerelőablak belemezelésének hatását mutatta meg. Ezek a változatok a valóságban nem kivitelezhetők, mivel mind a szerelőablakra, mint az utasablakra szükség van, azonban a későbbi módosítások kialakításához megmutatták, hogy az ablakok merevségének megnövelése a kritikus feszültségek csökkenéséhez vezetnek.

A 4. és 5. változatokban az lett megvizsgálva, hogy minimális beavatkozással beépíthetők-e olyan acél keretek az utas, illetve a szerelőablak környezetébe, amelyek képesek jelentősen megnövelni az ablakok merevségeit, ezáltal csökkenteni a kritikus feszültségeket, mérsékelni az ablakok oldalainak szögtorzulását. Ezek a verziók azt az eredményt mutatták, hogy az ablakok karimákkal történő megerősítése nem elégséges, csak minimális merevítő hatással bírnak.

A 7. és 8. változatokban azt vizsgáltuk meg, hogy nagyobb méretű merevítőelemek beépítése az utastérbe kellő mértékben képes-e csökkenteni a kritikus feszültségeket. A merevítőoszlop és lemez beépítéséhez viszont további kisebb erősítések is szükségesek a jármű hátfalán és tetővázában, továbbá a válaszfal kialakítása esztétikailag kedvezőtlen és költséges.

A 9. változatban olyan előfeszítő szerkezetet vizsgáltunk, amely a szerelőablakba be- és kiszerezhető, így a szerelőablak használata a későbbiekben is biztosítva maradna. Az eredmények azt mutatták, hogy ez a változat képes lehet jelentős feszültségcsökkenést hozni a kritikus lokációkban, miközben nem hoz létre új kritikus lokációkat.

A későbbi mérések során a Megrendelővel egyeztetve a 9. változat validálását végeztük el, mivel ennek a verzióknak a kedvező mértékű feszültség csökkenés mellett további előnye, hogy beépítése minimális beavatkozást igényel a járművázba, így a validációs mérés is könnyedén kivitelezhető ezzel a verzióval. (21. ábra)



21. ábra

A validált átlós feszítő szerkezet ($\alpha=22,6^\circ$)

4. Kísérleti fejlesztések

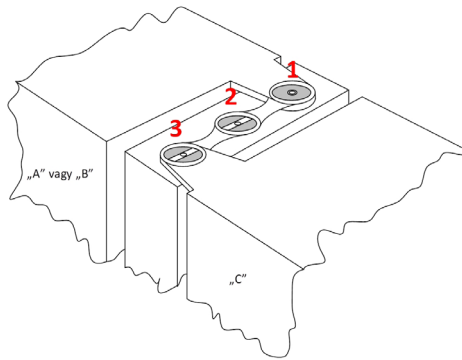
A 2022-es kutatási jelentés [6] a kocsiszekrényeket érő csavaró erőhatások okaként jelöli meg a felső kapcsolatok kialakítását. A járműszerkezetet csavaró igénybevételnek kitévő erőhatások csökkentése érdekében kísérleti munkamódszert választottunk.

A fentiek alapján megfogalmazzuk a következő hipotéziseket:

1. A kocsiszekrények közötti felső kapcsolatok geometriája nem biztosítja a járművek ívben történő szabad mozgását és ebből adódóan jelennek meg a csavaró igénybevételt okozó keresztirányú erők.
2. A keresztirányú erők kialakulása a kapcsolati elemek kötöttségének felszabadításával, rugalmas kapcsolat létrehozásával megakadályozható.

Kutatási programunk első lépéseként mérési programot dolgoztunk ki az első hipotézis igazolására. A mérés lényege az A – C járműegységek közötti tetőkapcsolatnak a pálya síkjában, a haladás irányára merőleges irányú kötöttségének feloldása.

Ha a feloldott helyzetben a csapok középpontja a pályáiban a pályasíkra merőleges irányban elmozdul az egyenes szakaszon elfoglalt helyzetéhez képest, ez igazolja az első hipotézis helyességét. A mérés célja volt továbbá a tetőkapcsolat feszülésmentes működésének biztosításához szükséges minimális úthossz megállapítása. A mérést bonyolította az, hogy közben biztosítani kellett a C járműegységnek a pályasíkra merőleges síkban való biztonságos megtámasztását.



22. ábra

Az Y irányú szabadsági fok biztosítása a 2 és 3 jelű szilentelek átalakításával

A mérés során a C járműegység A oldali kapcsolatát átalakítottuk, miközben a B oldali kapcsolaton nem változtattunk: ezzel tudtuk biztosítani a C járműegység megtámasztását a pályasíkra merőleges síkban. Az A – C felső járműkapcsolat módosított szerkezetét a 22. ábra mutatja. A mérési elrendezésben a tetőkapcsolat 22. ábráján 2 és 3 számmal jelölt szilenteit átalakítottuk oly módon, hogy azok a menetirányra merőleges irányba szabad elmozdulást tegyenek lehetővé a csapok számára. Az átalakított szilentekeket mutatja a 23. ábra.



23. ábra

Az eredeti és az átalakított szilentelek (balra a középső 2 számú, jobbra a szélső 3 számú szilent)

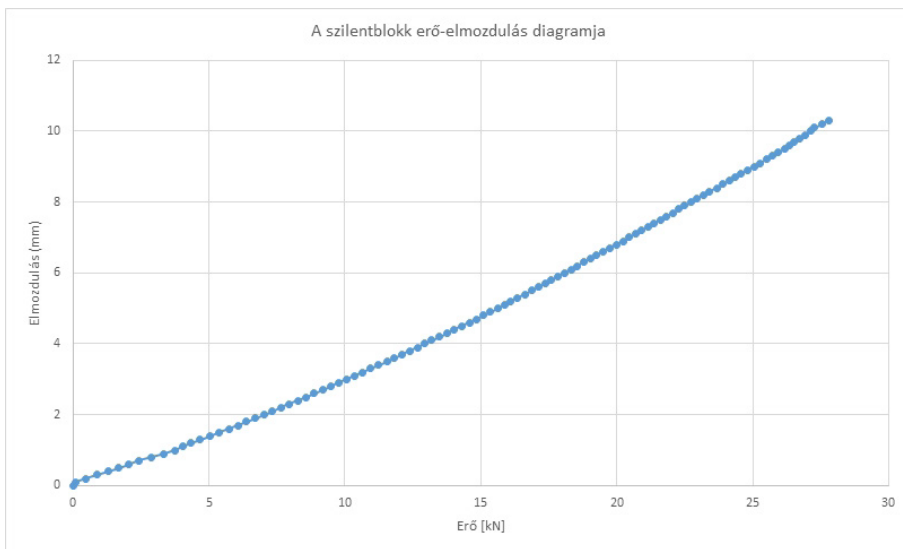
A várt radiális elmozdulások mértékének feljegyzése céljából a beépített szerkezetet mérőszalagokkal láttuk el, és az elmozdulást kamerával rögzítettük a mérőmenet során. A mérést 2023.08.11-én hajtottuk végre az M1 Millfav Mexikói úti járműtelepén. A középső csap legnagyobb menetirányra merőleges elmozdulása 41mm, a szélső csapé 32mm volt.

A mérés eredményeként megállapítottuk, hogy a csapok az ívben való haladáskor a menetirányra merőleges irányban jelentős mértékben elmozdultak ez egyenes szakaszon felvett helyzetükből. Ezt az elmozdulást a csatlószerkezet merevsége nem engedi, ezért az elmozduláshoz szükséges utat a járműszekrény szerkezeti rugalmassága biztosítja, ami a járműszekrény elcsavarodásához vezet. Az elcsavarodás tényét a [3] (2002) tanulmány is megállapítja a teljes járműflottán végzett geometriai mérések alapján. A mérés eredményei alapján az első hipotézist igazoltnak tekintjük.

A második hipotézisünk igazolásához megkerestük a szerkezet azon elemét, amelynek megfelelő átalakításával a kapcsolat rugalmassági biztosítható lehet. Úgy találtuk, hogy erre a szilentelek lennének a legalkalmasabbak: karakterisztikájuk átalakításával megfelelő elmozdulást tudnának biztosítani a csapok számára a C kocsi egység statikai stabilitásának feltétlenül szükséges biztosítása mellett.

A szilentelek eredeti szerepe a tengelyek radiális irányú alacsony amplitúdójú, magas frekvenciájú rezgéseinek csillapítása a vázszerkezet felé. A módosítás után elvárt karakterisztika ettől jelentősen eltér: radiális irányban magas amplitúdójú, alacsony frekvenciájú igénybevételnek kell megfelelni, amely inkább a gumirugótól elvárt tulajdonságokhoz áll közel.

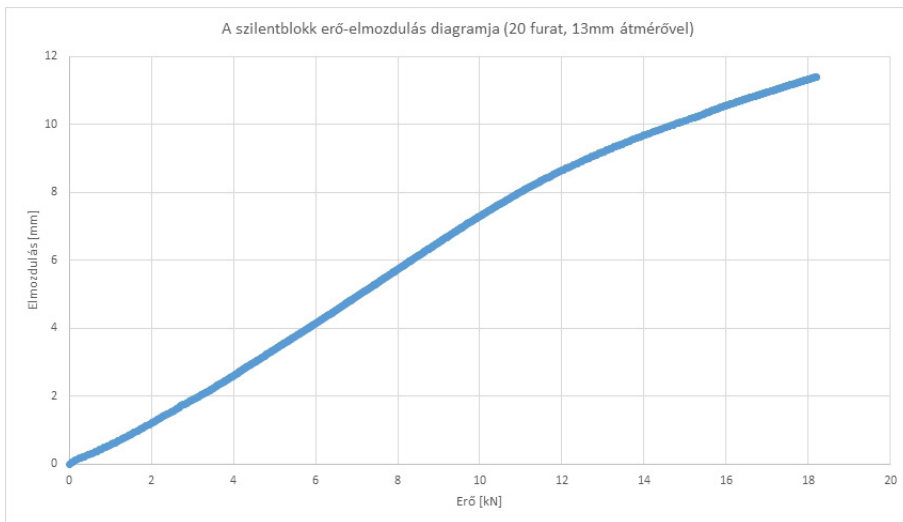
A megfelelő elasztikus tulajdonságok megállapításához először meg kellett határoznunk a szilent eredeti rugalmas tulajdonságait. Ezt a 2023.08.21-i laborméréssel tettük meg. A mérések eredményeképpen megállapítottuk, hogy a szilentben alkalmazott Shore A skála szerinti keménysége: 75. A szilentblokk erő-elmozdulás diagramját a 24. ábra mutatja.



24. ábra

A szilentrögzítő erő-elmozdulás diagramja

A hipotézis igazolásához szükséges elasztikus tulajdonságú szilentrögzítőt az eredeti szilentrögzítő gumibetéte alakrugalmasságának megváltoztatásával értük el. Ez lényegében a gumi betét furatokkal való kikönnnyítését jelentette, amely által az 25. ábra szerinti karakterisztikájú szilentrögzítőt alakítottunk ki.



25. ábra

A szilentrögzítő erő-elmozdulás diagramja 20 db 13 mm átmérőjű furattal

A járműbe való beépítéshez mindkét felső összekötő szerkezetben kicseréltük a szélső szilentrögzítőket, amelyhez összesen 4 db szilentrögzítőt alakítottunk át. Az átalakított szilentrögzítőket a 26. ábra mutatja. Az összekötő szerkezetek középső szilentrögzítőit nem módosítottuk.



26. ábra

A 20 db 13 mm átmérőjű furattal legyártott 4 db kísérleti szilent

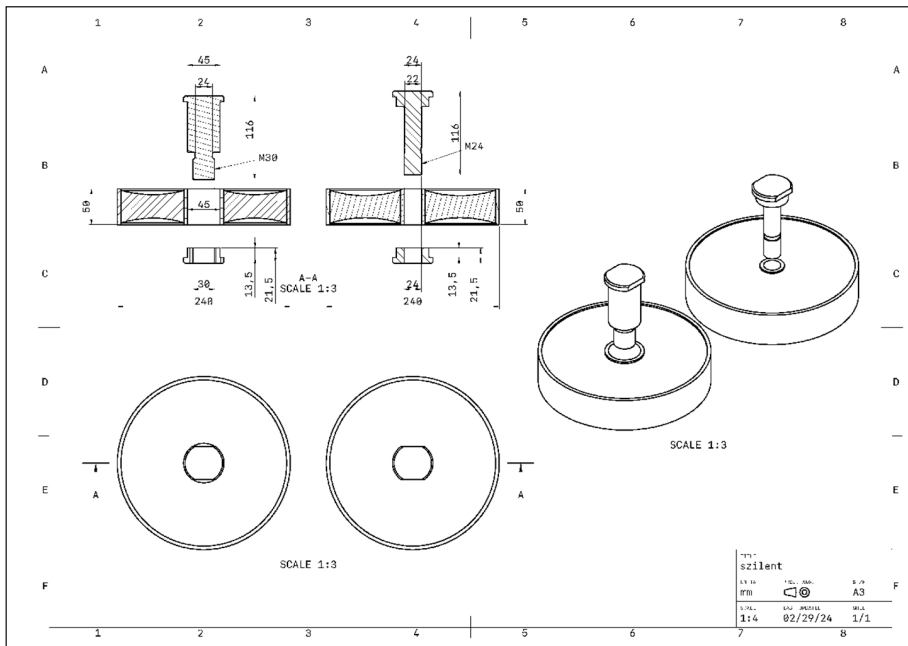
A szilentek felszerelése 2023.11.29-én történt a 36-os kísérleti szerelvénybe.

A próbameneten történt mérések eredményei alapján kijelenthetjük a következőket:

- A kilágyított szilent beépítése esetén a keresztirányú erők jelentős mértékben lecsökkennek.
- A kilágyított szilent beépítése esetén a mértékadó pontokban és irányban jelentkező feszültségek jelentős mértékben lecsökkennek.
- A mérési adatok alapján közel biztosan kijelenthető, hogy nem az ívben való haladáskor a középső kocsi kiborulását megakadályozó támasztóerő épül fel a piskóta idomban, hanem a jármű geometriai tervezési hibájából adódó befeszülés miatt jelentkeznek a nagy keresztirányú erők. Ha ez nem így lenne, nagyobb bedőlés mellett felépült volna ugyanaz a támasztáshoz szükséges erő a kilágyított szilent esetén is.

A mérés eredményei alapján a második hipotézist igazoltnak tekintjük.

A mérések alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a szilentek kísérleti átalakítása nem biztosítja a szükséges mértékű rugóutat, ehhez szükség van a szilentek geometriájának kismértékű átalakítására is. Méréseink eredményei alapján kijelenthetjük, hogy az alkalmazott 45 mm csapátmérő helyett kisebb is megfelelő lenne, így ezzel további rugóutat nyerhetnénk a szilentben. Javasoljuk a csapátmérő 20 mm-el való csökkentését, ami ± 10 mm-el növelné meg a szabad rugóutat. Az eredeti és a megváltoztatott geometriát mutatja a 27. ábra.



27. ábra

A módosított geometriájú csap és szilient

Konklúzió

A fejlesztési projekt eredményeként kifejlesztettük azokat a műszaki megoldásokat, amelyekkel a Millfav szerelvényeknél jelentkező vázszerkezeti problémák orvosolhatók, és így a járművek továbbüzemeltethetők. A projekt főbb megállapításai és következtetései:

1. Feltártuk a beavatkozási lehetőségeket a pályasíkra merőleges irányú erőhatásokra leginkább aktív feszültséggyűjtő pontok tehermentesítésére.
2. Olyan szerkezeti elemet fejlesztettünk ki (szerelőablakba építhető feszítőszerkezetet), amelynek segítségével megoldottuk a túlterhelt pontok szükséges mértékű feszültségmentesítését.
3. Mérésekkel igazoltuk, hogy a kifejlesztett szerkezeti elemeknek a szerelőablakba való beépítéséhez nem szükséges a járműszerkevény emeléssel történő tehermentesítése.
4. Feltártuk a kocsiszerkevények közötti felső kapcsolat geometriáját.
5. Megoldást dolgoztunk ki a kocsiszerkevények közötti felső tetőkapcsolat merevségének oldására, ezáltal nagymértékben csökkenthetők a kocsiszerkevényeket érő csavaró erőhatások.
6. Kifejlesztettünk egy, a kocsiszerkevények közötti felső kapcsolat merevségének oldását biztosító kapcsolati szerkezetet (módosított szilient).
7. A prototípus tesztekkel megtörtént a kifejlesztett műszaki megoldások verifikációja és hatékonyságának ellenőrzése.
8. Kidolgoztuk a javasolt fejlesztések bevezetésének és üzemeltetésének eljárásait.

Irodalomjegyzék

- [1] MFAV Szerelvények egyes szerkezeti elemeinek dinamikus szilárdságvizsgálata, VATUKI Budapest, 1977
 - [2] MILLFAV forgóvázkeret repedések javítása hegesztéssel MILL J2-3-1, VÜI Technológiai Osztály 1988, 812/251/1988.
 - [3] MFAV kocsiszekrények élettartam növelése, Kutatási jelentés 2002. április, SZIMF-TRAFFCO KFT. Győr
 - [4] MILLFAV járművek kocsiszekrényrepedéseinek mérési és dokumentálási utasítása, JM-000001-188 Mérési Utasítás, BKV 2022
 - [5] MILLFAV járművek kocsiszekrényrepedéseinek felmérése, Jegyzőkönyv, BKV Budapest, 2022.05.23.
 - [6] GANZ csuklós (MILLFAV) jármű vázszerkezetének vizsgálata a várható élettartam meghatározása céljából, Kutatási jelentés V2.1, ADL Consulting Kft., Budapest, 2022.12.30.
 - [7] GANZ csuklós (MILLFAV) jármű biztonságos üzemeltetésének fenntartását célzó eljárások kidolgozása és igazolása, Kutatási jelentés V2.2, Revelator Kft., Győr, 2023.12.29.
-
-

A káros externáliák minimalizálási lehetőségei a fővárosi közúti közösségi közlekedésben

Sütő Zsolt – járműműszaki osztályvezető

BKV Zrt. Autóbusz és Trolibusz Üzemeltetési Igazgatóság
e-mail: sutozs1@bkv.hu

Abstract

Napjaink „legforróbb” témája a közúti közlekedés káros hatásainak csökkentése, amire a haladó társadalmak rendre ugyanazokkal a válaszokkal szolgáltak, s hitüket egyoldalúan a technológiai fejlesztések várt áttörése mellett tették le. Az innovációk elegendően gyors térnyerésébe vetett remény ugyanakkor felmenteni látszik az egyes régiókat, nemzeteket, városokat, egyéneket az önálló felelősségvállalás alól, amely immár nem teszi lehetővé azt, hogy racionális helyzetfelismerés mellett érvényességre juttathassuk azon intézkedéseinket, amik az emisszió csökkentésében már ma érdemi szerepet vállalhatnak.

Mindezt alátámasztja, hogy régióinkban a helyváltoztatási és a kényelmi igények burjánzása az elektromos közlekedés begyűrűzése mellett is a káros hatások további fokozódását eredményezték. E nemkívánatos folyamat egyik indikátora, hogy a műszaki követelmények szigorodása minden korábbinál szélesebbre nyitotta az ollót az autóipar kínálata és a kereslet fizetőképessége között, ezzel a közúti járműállomány további leszakadását, a fenntartási költségek hatványozódását, s a korábban természetesnek tekintett megújulási ütem lassulását eredményezve.

Következtetésünket úgy a személyautók-, mint a közösséget szolgáló haszonjárművek piacán levonhatjuk, amelyek azonban városainkban szoros szimbiózisban vannak. E cikk célja, hogy rámutasson arra, hogy a közösségi közlekedés szolgáltatási színvonalának javítása révén még akkor is szerepet vállalhatunk az átfogóbb célok elérésében, ha a saját eszközrendszerünk megújítása során racionálisan nem törekedhetünk a finansziális korlátokon túlra látszó, egyszerre több lépcsőfokot átívelni szándékozó evolúciós lépésekre.

Természetesen őszintén a tükörbe nézni és az ambiciózusabb remények árnyékában a valós lehetőségeket meglátni félelmetes, ám mindezt enyhítheti az a felismerés, hogy a fejlődéshez, az élhetőbb városok megteremtéséhez nincs szükségünk csodákra; a megfelelő eszközök már ma a kezünkben vannak.

Kulcsszavak: *BKV, közösségi közlekedés, busz, TCO, teljes birtoklási költség, elektromos, CNG, járműstratégia*

Bevezetés

Vívódunk!

Egyre csak vívódunk, hiszen egyrészt érzékeljük, látjuk, s olykor már a felismerés szintjén tudjuk is, hogy a közvetlen környezetünket, tágabb perspektívában a bolygónkat károsító életmódunk nem fenntartható. Másrésztől a korábban megkérgesedett eszméink, tanításaink, vagy éppen a kivívott privilégiumainkhoz való ragaszkodás megnehezíti számunkra azt, hogy önmagunkon

hozzuk meg azokat a kompromisszumokat, a saját életmódunkban tegyük meg azokat a megszorításokat, amelyek közvetlen haszonhoz juttathatják a társadalmat, s végső soron bennünket. A generációink persze nem tehetnek erről! Egész egyszerűen az emberiség olyan gyorsan veselkedett neki a Föld elpusztításának, hogy az első közgazdaságtani vizsgánkat még jelesre teljesíthettük azzal, ha a folyamatos gazdasági növekedés víziójáról adtunk számot. Azonban mire felocsúdtunk volna, abban a rémálomban kezdhettük meg a munkánkat, amelyben a túlzott fogyasztás, a javak felesleges halmozása, az ipari termelés felfokozott fordulatszáma, a népességnövekedés és a mohó „nyugatias” igények globalizálódása a korábban tanult alkalmazhatóságát alapjaiban ásta alá.

*„Vannak problémák, amelyeket nem lehet ugyanazokkal
az eszközökkel megoldani,
mint amelyek által kialakultak.” (Albert Einstein)*

A problémát felismertük, ez pedig mindenkor a megoldás felé vezető út első stációja, a választ azonban már kissé elkapkodtuk, hiszen azt ismét a korábbi ösztöneink által vezérelve formáltuk.

- Elakadtunk? – Fejlesszünk a technológián, növeljük a hatékonyságot, generáljunk újabb igényeket, s a termelési volumen növelése mellett emeljük a gazdasági eredményeinken!

Egyebek mellett nem történt ez másként a járműiparban sem, ahol a közlekedési igények és módok átfogó felülvizsgálatával és jótékony befolyásolásával szemben szinte mindent egy lapra tettünk fel; a technológia további fejlesztésére, s az elektromos hajtások egyoldalú preferálására. Technokrata emberként persze ennek örülhetnénk is, azonban célkitűzésem szerint rámutathatok arra, hogy a műszaki vívmányok gyors elterjedésébe vetett hit kontraproduktív a fenn tartható módon hatékony, átfogó, s legfőképpen egyszerűbb megoldások felismerhetőségére és azok érvényesülni képes alkalmazására nézve.

Nem kérdés, az elektromos autók promóciója immár hitkérdés, ennek pedig sajátos lélektana van, amit sokszor úgy is nevezhetnénk: *krumplidobálás!*

Mondják, az ember erős stressz alatt gyorsan megöszül. Erre bizonyítékul szolgálhatott az is, hogy elbeszélések szerint a Pearl Harbor-i csata túlélői közül többen alig néhány óra alatt elvesztették a hajszínüket. Megtörténhetett, hiszen nincs is erősebb stresszhelyzet annál, midőn az ember kiszolgáltatott helyzetben kerül életveszélyes szituációba, a legkülönbözőbb szörnyűségeket élve át, aminek következményeként végül sokan idegösszeroppanást kaptak. Néhányan azonban megőrizték a józan eszüket. Ők főként azok közül az amerikai tengerészek közül kerültek ki, akik a konyháról a csatahajó fedélzetére sietve krumpliszemeket dobáltak a japán vadászgépek felé. Természetesen ennek a momentumnak semmiféle érdemi hatása nem volt a csata kimenetelére, de a katonákban azt az illúziót kelthette, hogy ha bármily csekély mértékben is, de befolyásuk volt a sorsuk alakulására, kontroll alatt tarthatták az események folyását.

Ezen anekdota nyomán jómagam „krumplidobálás”-nak hívok minden olyan meddő, önvédelmi célokat szolgáló tevékenységet, vagy intézkedést, amelynek a nagy képre ugyan érdemi hatása nincsen, de önmagunk megnyugtatósára szolgálhat azáltal, hogy a kontrollálhatóság illúzióját kelti. Ez pedig sokszor a túlzott remény táplálása miatt veszélyes, hiszen krumplidobálás mellett sokszor figyelmet sem kap az érdemi lehetőségek józan mérlegelése, amelyek pedig a csata egyértelműen vesztes pillanatával szemben immár a háború győztes kimenetelére koncentrálhatnak.

A csatamezőket messzire elhagyva lássuk hát, helyzetértékelésünk során milyen kockázatokkal kell szembenéznünk, s milyen eszközeink lehetnek szűkebb mozgásterünkben, Budapest közúti közlekedésében!

1. Az egyéni és a közösségi közlekedés kölcsönhatása

1.1 A járműipari fejlesztések hatása a keresletre

Tapasztalataim szerint a személyautók piacának szoros figyelemmel kísérése a közúti közösségi közlekedés szempontjából is tartalmi relevanciával bír, hiszen a haszonjárművekkel kapcsolatos trendek, ha időben késleltetve is, de ugyanazokat az utakat járják be.

A személyautók piacán megfigyelhető volt, hogy az emissziós előírások gyors ütemű szigorítása az egyéb külső tényezőktől való elméleti elszigetelés esetén is hosszan elnyúló recessziós időszakot idézett elő, mivel a növekvő műszaki tartalom árfelhajtó hatásainak eredményeivel a kereslet fizetőképessége nem tudott lépést tartani.

Noha első lépésben a növekvő műszaki elvárások miatt egyre drágább autók a papírforma szerint hatékonyabbá váltak, a „downsizing” (szó szoros fordításban „méretcsökkentés”) trendje az egyre kisebb hengerűrtartalmú motorokkal kevesebb valós megtakarítás mellett használati-értékbeni csorbulást és nagyobb meghibásodási valószínűséget eredményezett.

Hasonlóan árnyalt képet láthatunk az elektromos járművek esetében is, ahol a fejlesztések magas költségeinek kompenzálására a hangsúly sokkal inkább a nagyobb haszonkulccsal értékesíthető prémium és főként SUV rétegmodellek irányába tolódott, semmint az utcaképet meghatározó belépő szintű, elérhetőbb típusok felé.

Ezzel együtt az innovatív járművek egyelőre nem váltak képessé a korábbi volumenmodellek helyettesítő termékeivé válni, miközben az autó, mint presztízstermék továbbra is a teljesítményhajszára fogékony vásárlók kedvence maradt.

Mindezek eredőjeként a korábban népszerű belsőégésű modelleket a kommunikációs és marketinggépezetek nyomására (lásd: Volkswagen dízelbotrány) megvető vevők kivárára kényszerültek, hiszen fizetőképes kereslethez igazodó innovációk nem kerültek a piacra. A következmény? A beragadt járműpark további öregedése, a használt autók importjának erősödése, a modernebb használtautók karbantartásának elhanyagolása, végső soron pedig az, hogy az állomány korábban természetes megújulási folyamata is lelassult, azaz mindent egybevetve a rigorózus jobbító szándék csupán káros kimenetet szült.

1.2 A járműpark alakulása Budapesten és agglomerációjában

A fentieket megvilágítva elmondható, hogy a magyarországi személyautó állomány növekedése megállíthatatlannak tűnik, hiszen 2000 óta 2,36 millióról 4,17 millió darabra emelkedett a regisztrált járművek száma. Ezzel párhuzamosan a fővárosban és Pest vármegyében 827 ezerről 1,359 millióra bővült a flotta [1], miközben az eszközök életkora folyamatosan emelkedik. Magyarországi állományunk 2007 óta mintegy 6 évvel öregedett, ezzel pedig napjainkra az autóink átlagosan már ~16 évesek. [2]

Amennyiben górcső alá vesszük a lokálisan zéró emissziósra tekinthető elektromos autók forgalomba helyezési statisztikáit is, megállapítható, hogy a technológia térnyerése a hazai személyautó állomány növekedését ugyan 2022-ben és 2023-ban már 40-55%-ban kompenzálta [2], de ezzel együtt is érzékelhető, hogy a központi támogatások ellenére ez a káros externáliák konstans értéken tartására sem elegendő, a hátrányos hatások csökkentésében vívott csatában pedig csupán vaktöltény.

Az egyes járműegyedek felhasználási szokásairól ugyan érdemi statisztikával nem rendelkezünk, ugyanakkor megfigyelhető, hogy a zéró emissziós személyautók jellemzően második-harmadik kocsiként kerülnek a háztartásokba olyan felhasználási területeken, ahol az elvárt futásteljesítmény viszonylag alacsony. Ezzel szemben a káros hatások és az aktívabb alkalmazások dandárját azok az átlagosan ~16 éves járművek adják, amelyek kisebb lépcsőben, de nagyobb mennyiségben történő cseréjével az emisszió jelentősebb mértékben volna csökkenthető, mint néhány alacsonyabb kihasználtságú, szerényebb mennyiségű, de innovatívabb hajtással rendelkező eszköz forgalomba állítása útján, amelyek felárát sok esetben közpénzből igyekeznek kompenzálni a döntéshozók.

E tekintetben tehát az ösztönzők érvényesülési potenciálja a kitűzött társadalmi célok elérésére szerény, miközben a kiszolgáltatottabb társadalmi rétegek járműcseréjének kevésbé ambiciózus ösztönzése jelentősebb eredményeket ígér, mint a háztartásokba második-harmadik járműként kerülő elektromos autók fejlesztési költségeinek/gyártói profitjának közfinanszírozása.

Mindenesetre a fentieket összegezve megállapítható, hogy a járműpark megújulása mennyiségbeni növekedés mellett lassul, a személyautók számának emelkedését az innovációk térnyerése a régióinkban nem volt képes kompenzálni, vagy másként fogalmazva; a kínálat külső források bevonása mellett sem található kellő intenzitású fizetőképes kereslettel, ami a meglévő állomány öregedéséhez, további leszakadásához vezetett.

1.3 A közúti infrastruktúra fejlesztési korlátai

A fővárosi mobilitási igényeket nagyban indukálta az a folyamat, hogy a régió állandó lakossága Budapestről az agglomerációs települések irányába rendeződik át (a '90-es évek óta mintegy 300.000 fővel). [3]

Több járművel, többet autózunk tehát Budapest útjain. Azokon az utakon és azt a kiszolgáló infrastruktúrát igénybe véve, amelyeknek teljesítőképessége felülről korlátos, s bár az intelligens, valós idejű forgalomirányítási rendszerek bevezetése (végtelenül egyszerű példával élve pl. a Waze nevű navigációs szoftver használata) a forgalomsűrűség növekedésére a területi kihasználás hatékonyságának fejlesztésével időleges tüneti kezelésként szolgál, a közlekedési eszközök számának növekedése feltétlenül elkerülendő.

Ezek mennyiségi gyarapodásával és ebből következően áramlási sebességeik csökkenésével a káros környezeti hatások még a mind szigorúbb emissziós elvárások ellenére is növekszenek.

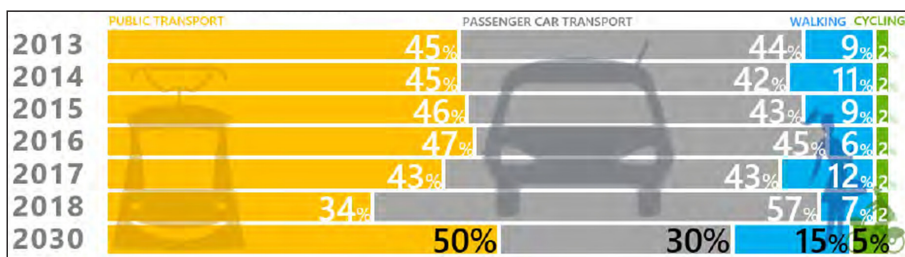
Érzelhető hát, hogy a személyautók hatékonyságának kikényszerített javítása önmagában nem megoldás a nagyvárosok közlekedésből eredő káros externáliáinak keretek közé szorítására. Sőt, az autóbirtoklás promóciója, presztízsértéke, társadalmi elismertsége az igények túlburjánzásához, a fosszilis energiahordozók keresletének töretlen növekedéséhez, az úthálózat kihasználtságának romlásához vezet.

1.4 A közösségi közlekedés érvényesülési potenciálja a klímacélokra

Azt, hogy a helyváltoztató személyek milyen közlekedési módot vesznek igénybe, a modal-split, azaz az egyes utazási módok teljes mintán belüli aránya mutatja meg, az 1.sz. ábránkon a megtett utaskilométerek arányában.

Látható, hogy a személyautók mennyiségi gyarapodása a közösségi közlekedés választásának háttérbe szorulásával járt. A 2016-ban tapasztalt 47%-os tetőpontról 2018-ra 34%-ra csökkent a megtett utaskilométerek aránya, miközben az egyéni autózásé 45-ről 57%-ra emelkedett. Ennek pedig egyenesági következménye a forgalomsűrűség növekedése, az áramlási sebesség csökkenése, az eljutási idők növekménye, s a káros externáliák burjánzása, de említhetnénk olyan to-

vábbi társadalmi kontraproduktív elemeket is, mint például a baleseti kockázatok növekedése, vagy éppen a stressz és az emisszió egészségkárosító hatásai.



1. ábra

A modal-split változása Budapesten (2013-2018) Forrás: Kerényi László Sándor, MOVECIT Final Conference előadása (2019. máj. 14., Budapest)

A helyváltoztatás igényének csökkentése, vagy időbeni szabályozásának hiányában ezen káros trendekre a közösségi közlekedés előnyben részesítése lehet gyógyír, amely a fenti tapasztalatok alapján a mind magasabb színvonalú szolgáltatások jogos fogyasztói igényeire nem volt képes időben reagálni.

Érzékletesen: jelen esetben a felszínen és a közúton maradván elmondható, hogy forgalomtechnikailag (területfoglaltság, stb.) 1 darab szóló autóbusz 2 darab személyautónak feleltethető meg. Azaz míg két személyautóban átlagosan 2,4 fő [4] halad át egy adott keresztmetszeten - köznapi értelmezésben például egy közlekedési lámpán -, addig a BKV utasszámlálási adatai alapján 1 db szóló autóbuszon átlagosan 32 fő, azaz mintegy 13-szor több utas juthatna át egy-azon ponton. A következmény: az áramló és álló területfoglaltság, a veszteségidők, s mindenemű káros hatások csökkenése.

S, hogy mit is jelenthet a közösségi közlekedés térnyerése az emisszió, így például a szén-dioxid kibocsátás tekintetében? A fenti példát folytatva a hivatásszerű utazások átlagosan 1,2 fő/személyautó foglaltságát [4], s az autóbuszok még komfortosnak számító 50%-os kihasználtságát figyelembe véve egyetlen egység autóbusz 35 személyautót is kiválthat az utakon. Ez pedig azt eredményezi, hogy ha a BKV kissé túlkoros flottájának átlagos emisszióját is vesszük figyelembe az élenjáró legmodernebb személyautók kibocsátásával szemben, akkor is 83,6 g/km CO₂-től kíméljük meg a környezetet. Ez egy 14 km-re ingázó, munkanapokon hivatásszerűen utazó személy esetében ~515 kg szén-dioxid megtakarítást jelent egyetlen évben.

Jól látható tehát, hogy a kisebb területen jelentkező nagyobb szállítási kapacitás előnyével a leghatékonyabb személyautó sem veheti fel a versenyt. A nagyvárosok közlekedési problémáira adandó kézenfekvő válasz tehát az, hogy a közösségi közlekedés arányát feltétlenül növelni kell, azaz a városok jóllétének szempontjából elsődleges prioritásnak a személyautóhasználati igények visszaszorításának kell lennie!

Ehhez pedig a közösségi közlekedést szervező szereplőknek már nem csupán az alapvető igényeknek való megfelelést kell célul kitűzniük, hanem azt, hogy esetünkben az autóbuszos szolgáltatási minőség az egyéni közlekedés versenytársa, önként választott alternatívája lehessen, hiszen

*„A fejlődött város nem az, ahol a szegényeknek is autójuk van,
hanem ahol a gazdagok is a közösségi közlekedést veszik igénybe.”
(Enrique Penalosa)*

2.A közösségi közlekedés fejlesztésének ars poetica-ja

Mint minden egyéb területen, a közlekedés kapcsán is elmondható, hogy a káros hatások leginkább a fogyasztás csökkentésének útján eliminálhatók a leghatékonyabb módon. Nincsen kevésbé környezetkárosító megoldás, mint a meg nem valósult utazás, amelyre korunk vívmányai számos korszerű lehetőséget kínálnak; mint például az otthoni munkavégzés lehetőségének megteremtése, a tárgyalások online lebonyolítása, vagy éppen az interneten összpontosuló bevásárlások áruinak terítő járatokkal való kézbesítése.

Második lépcsőben hatalmas potenciál rejlik a lokális helyváltoztatási igények időbeni szétterítésében, ami a forgalomsűrűség, a zsúfoltság és ezzel az eljutási idők javításában érvényesülhet például az egyazon gócpontokban elhelyezkedő intézmények, irodaépületek, gyárkomplexumok műszakjainak széthúzása útján.

Mindazonáltal az utazási igény ébredése esetén az előzőekben már megállapításra került, hogy a közösségi közlekedésben az utasok által érzékelt szolgáltatási színvonalat mihamarabb növelni kell annak érdekében, hogy a lakosság az egyéni autóhasználattal szemben a buszokra önként választható alternatívaként tekinthessen.

Az igények legmagasabb szintű prioritásai ugyanakkor az alábbiak:

- Hozzáférhetőség,
- Biztonság,
- Utazási idő, pontosság és kiszámíthatóság,
- Higiénia,
- Kihasználtság, tömegérzet, komfort,
- A járművek műszaki-esztétikai színvonala.

Érzékelhető, hogy a járműállomány hajtásláncainak milyensége legfeljebb csak a listánk végén kulloghat, azaz e tekintetben csak akkor állhatunk rá képzeletbeli ugródeszkánkra, s tehetünk szert addicionális vonzó hatásra, amennyiben az alapvető elvárásokra vonatkozó kritériumokat már teljesíteni váltunk képessé.

Ahhoz azonban, hogy a további potenciális fejlesztéseink célt ne téveszthessenek, közületi szereplőként érdemes néhány peremfeltételt a társadalmi igények figyelembevételével és morális értékrendünk leszögezésével már a kezdő lépéseket megelőzően lefektetnünk, ha úgy tetszik, mint „ars poetica” kinyilatkoztatnunk.

1. Az utazóközönség elvárásai nem szegmentálhatók, minden ügyfél és régió egyformán fontos.
2. A célnak a szolgáltatási színvonal egységes emelésének kell lennie!
3. Az utasok által érzékelt szolgáltatási színvonal olyan, mint amit a flotta leggyengébb járműegyede képes közvetíteni az ügyfelek számára.
4. A környezeti káros hatások csökkentése során a flotta összegzett externáliáinak minimalizálása az elvárás.
5. A fejlesztések motivációja nem lehet kizárólagosan a jövőbeni technológiák áttörésébe vetett pusztá hit, azokat racionális, tudományos alapokra szükséges helyezni!
6. Az ösztönzők felhasználási intenzitása nem lehet magasabb a várt társadalmi hasznoknál!

3. A különböző hajtásláncú autóbuszok összehasonlítása

3.1 Az optimális birtoklási időtartam meghatározása újonnan beszerzésre kerülő autóbuszok esetén

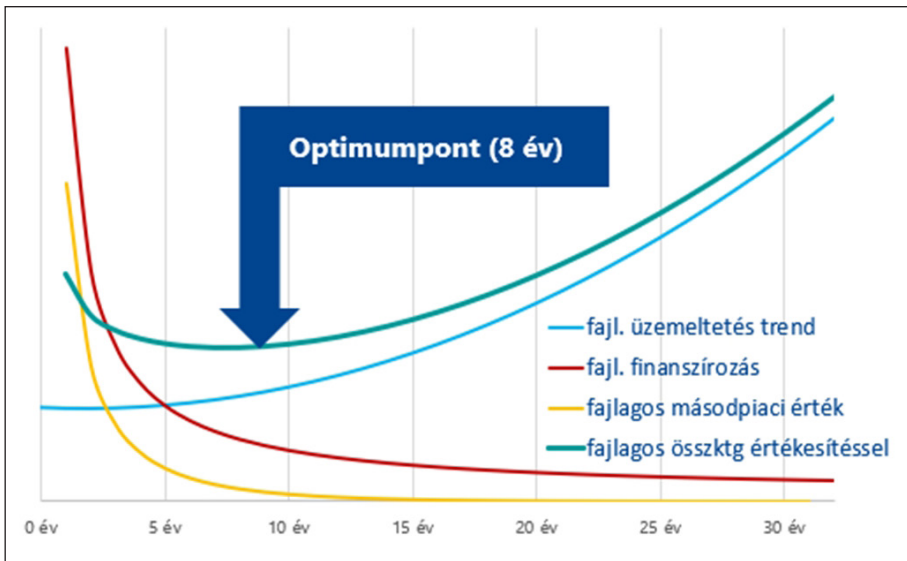
A járműgazdálkodási feladatkörök talán egyik legnehezebb és legvitathatóbb pontja a hasznos birtoklási időtartam optimumának meghatározása. Különösen igaz ez akkor, ha különböző termék-ciklusban járó, eltérő hajtásláncokkal szerelt járművek összehasonlító elemzéséről beszélünk.

Figyelembe véve, hogy jelen tárgyalásunk alkalmával az azonos feltételek melletti összevetésre törekszünk, célszerűnek tűnik olyan egységesen értelmezett intervallumot meghatározni, amely a különböző technológiákkal szemben a lehető legkevesebb diszkriminációt feltételez.

Akár személyes tapasztalatunk is lehet az, hogy egy-egy műszaki termék meghibásodására a legnagyobb valószínűséggel vagy kevéssel az üzembe helyezését követően, vagy a tervezett élettartama vége felé közeledve kell számítanunk. A laikus felhasználók intuícióit a műszaki tudományok is megerősítik, a termékek meghibásodási rátája, megbízhatósága és ezzel üzemeltetési költségeik változása az ún. kádgörbével szemléltethető leginkább.

A kezdeti bejáratásból, bekopásból eredő jelentősebb kiadások üzemeltetőként kevésbé elkerülhetők, azonban a gazdaságos élettartam tekintetében kereshetjük azt a pontot, amely előtt a meghibásodások bekövetkezési valószínűsége, s ezzel a karbantartási, üzemeltetési kiadások progresszív emelkedésnek indulnának, vagy másként; a fizikai elhasználódás mértéke drasztikusan gyorsulna.

Végtelenül idealizált tankönyvi példa szerint álljon itt 2. ábránkon a beruházási és üzemeltetési költségek eredőjeként előálló fajlagos költségek diagramja.



2. ábra

*A beruházási és üzemeltetési költségek összegzése a termék-élettartam során
(saját szerkesztés)*

Mint az ábrán látható, a beruházási/finanszírozási költségek degresszív módon csökkennek a tárgyi eszköz élettartamának növekedésével. Az üzemeltetési költségek kezdetben lassan, majd később gyorsabban emelkednek, amely a fenntartási, karbantartási költségek növekedésében és a megbízhatóság csökkenésében érhető tetten, hiszen érzékelhető, hogy a karbantartási költségek alakulása és a meghibásodási ráta függvénye között összefüggés mutatható ki, azok egyenesen aránylanak egymáshoz.

Már nincs is más dolgunk, mint megkeresni a beruházási és üzemeltetési költségek eredőjeként előálló összegzett költségek függvényének minimumát, vagy ha úgy tetszik inflexiós pontját, amelyet a vízszintes tengelyre tükrözve megkapjuk a gazdaságos birtoklási időintervallumunkat. A BKV Zrt. autóbusszflottájának üzemeltetési költségeit, illetve a már lebonyolított beruházási eljárások eredményeit, s további piackutatások során kapott indikatív ajánlatokat figyelembe véve ezen függvényünk minimuma 10 évre adódik, amely tovább csökkenthető abban az esetben, ha az eszközök 8 éves életkoruk melletti 20%-os maradványértékét, mint likvid másodpiaci árat tekintve azok használtan való értékesítésének lehetőségével is kalkulálunk.

Akár jól értelmezhető tételként is definiálhatnám, hogy egy jármű optimális birtoklási időintervallumának vége ott van, ahol az aktuális piaci árak szerinti értékvesztés átalányát felül nem múlja a fenntartási és üzemeltetési költségeinek átalánya, hiszen ettől a ponttól kezdve jobban megéri majd újabb járművet vásárolnunk, mint a változó költségeink növekményét elszenvendünk.

Jóllehet, a tapasztalati ismereteink és vizsgált tényezők mindegyike időben változó, de a 8-10 évre tervezett élettartam elemzésünk szerint mégis helyes, s az egyes hajtásláncokkal szemben a lehető legkevesebb diszkriminációval járó peremfeltételként szögezhető le.

Fentiek szerint az alábbi következtetések vonhatók le:

- Az autóbusszok esetében az összegzett költségek minimuma, illetve a lehető leggyorsabb forgási sebesség biztosítása mellett az elérhető szolgáltatási színvonal maximuma 8-10 éves birtoklási időtartam mellett szavatolható.
- Egyetlen technológia alkalmazása sem fenntartható abban az esetben, ha a flotta 8-10 évben maximalizált forgási sebességének megvalósításához szükséges tőke az üzemeltető gazdasági szereplő számára kiszámítható és tervezhető módon nem biztosítható az állomány folyamatos és ütemezett megújítása érdekében.
- **Következésképpen a flotta által elérhető lehető legmagasabb szolgáltatási színvonal és birtoklási költségek minimalizálása abban az esetben szavatolható, ha a mindenkori állomány évi 10-12,5%-a új járművekkel kerülhet frissítésre.**

A továbbiakban kísérletet teszek arra, hogy az egyes hajtásláncok közötti hierarchiai sorrendet a teljes birtoklási költségeik egy kilométerre vetített fajlagos adatainak egymáshoz viszonyított arányaival jelenítsem meg.

A különböző hajtásmódok teljes birtoklási költségének (TCO) számításakor figyelembe kell venni:

- a jármű bekerülési árát,
- (a beruházási konstrukciótól függő kamatot)
- a technológiák funkcionális egyenértékűségét,
- az infrastruktúra fejlesztési költségeit,
- az energiaköltséget,
- a karbantartási költségeket,
- az optimális birtoklási időtartam becslésénél figyelembe vett mindenkori maradványértékét.

3.2 Az „egységjármű” fogalmának bevezetése

Magyarázatot érdemel, hogy az autóbusz járműegyedek futásteljesítményére, továbbá a karbantartási költségeire is jelentős hatást gyakorolnak az üzemeltetés paraméterei. Fővároszerte így értelemszerűen a járművek különböző terhelésnek vannak kitéve, ami különböző üzemanyag-fogyasztást és karbantartási igényt jelent, így típusonként, sőt, járműegyedenként vizsgálva is magas lehet az összegzett költségek szórása. Ennek eliminálására a rendelkezésre álló adatok akkumulálásával került létrehozásra az idealizált „egységjármű”, amely TCO értékek elemei a valós járművek TCO adatainak megfelelő arányú beszámításával épülnek fel.

A forgalmi elvárásoknak megfelelően az egységjármű alatt ezúttal új gyártású, 10 éves hasznos élettartamra tervezett, átlagosan évi 60 000 km futásteljesítményű szóló autóbuszokat értünk. Az egységjármű tehát így az az optimális, fiktív kialakítású – ezúttal egyszerűsítésképpen – szóló autóbusz, amellyel a teljes forgalmi igény bármely, egy járműre jutó része kielégíthető, és az egységjárművek sokaságának kumulált TCO-ja a célkitűzés szerint jól modellezi, közelíti a tényleges flotta kumulált TCO-ját.

3.3 A forgalmi egyenérték korrekciós tényezőjének bevezetése

Midőn az előzőekben felsorolt fix és változó költségelemek a teljes birtoklási költségen belül triviálisnak tekinthetők, a funkcionális/forgalmi egyenértékes tényezőnk kifejtésre szorulhat.

A forgalmi, kiadott járműmennyiséghez szükséges állományi járművek szükséges darabszámát nem csupán az egyes technológiák megbízhatósága determinálja, de a különböző innovációk azon műszaki korlátai is, amelyek egyazon szállítási teljesítmény elérését is befolyásolják. Így az adott forgalmi járműdarabszám kiadásához szükséges elméleti állományi járműdarabszám meghatározásakor a különböző működési elvű hajtáslánccal szerelt autóbuszok műszaki tartalomtól függő paramétereit is számításba kell venni.

A különböző működési elvű hajtáslánccal rendelkező autóbuszok esetében tehát eltérés mutatkozik a rendelkezésre állási mutató tekintetében is – ami a meghibásodások gyakoriságával és kijavítási idejével függ össze – továbbá bizonyos alternatív hajtások hatótáv-korlátai miatt a leghosszabb járműfordulók és az operatív átcsoportosítások többletjárművek nélkül teljesíthetlenné válnának.

A forgalmi érték meghatározásakor ennek megfelelően az alábbi faktorokat kell figyelembe venni:

- forgalmi események, balesetek miatti tartalékképzés,
- meghibásodások gyakorisága, kijavításuk időszükséglete miatti tartalékképzés,
- hatótáv-korlátok, műveleti idők és operatív átcsoportosítási korlátok miatti tartalékképzés.

Az ezen tényezők szorzatával meghatározott forgalmi egyenérték célkitűzésünk szerint megmutatja, hogy azonos mennyiségű forgalmi egységjármű kiadásához, azonos szállítási teljesítmény biztosításához mennyi állományi egységjárműre van szükség. A forgalmi járműigény és a forgalmi egyenérték tényezőjének szorzata ennek megfelelően meghatározza az adott technológiához tartozó minimális állományi járműigényt.

A forgalmi egyenértékkel korrigált egységjármű tehát a továbbiakban azt az autóbust jelenti meg, amely eltérő műszaki paraméterei ellenére ugyanazon forgalmi igények kielégítésére, szállítási kapacitás biztosítására képes.

A forgalmi egyenérték szempontjából a fentiek eredőjeként az 1. táblázat szerinti korrekciós tényező került meghatározásra.

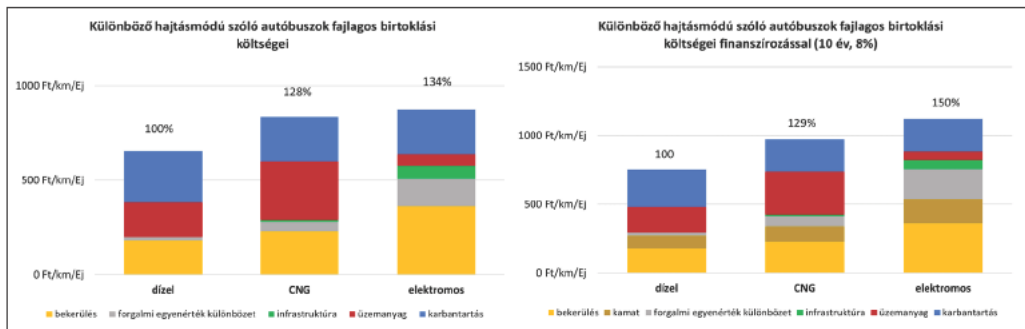
1. táblázat

A forgalmi egyenérték korrekciós tényezőinek összegzése

Hajtásmód	Forgalmi események, balesetek	Műszaki rendelkezésre állás	Technológiai korlátok	Forgalmi egyenértékes korrekciós tényező
Dízel	1,05	1,05	1	1,1
CNG	1,05	1,15	1,03	1,23
Elektromos	1,05	1,2	1,15	1,4

3.4 Az innovációk teljes birtoklási költségén alapuló versenyképessége

Fentieket összefoglalva a 10 éves birtoklási költségek évi 60.000 km-re történő fajlagosítása mellett az alábbi eredményre juthatunk. 3. ábránkon látható, hogy a szélsőséges értékeket felvevő elektromos autóbuszok közvetlen összehasonlításban mintegy kétszeres beruházási költséggel társulnak, a funkcionális egyenértékűséget is figyelembe véve pedig már 2,5-szeres terhekkel szembesülnek az operátorok. Érzékelhető, hogy járműveinknek a változó költségek elvárt megtakarításai során jelentős eredményekre kell szert tenniük. Így adódik, hogy a teljes birtoklási költségeik tekintetében végül csupán ~30 százalékos felárral társulnak.



3. ábra

Különböző hajtásláncú szóló autóbuszok birtoklási költségei

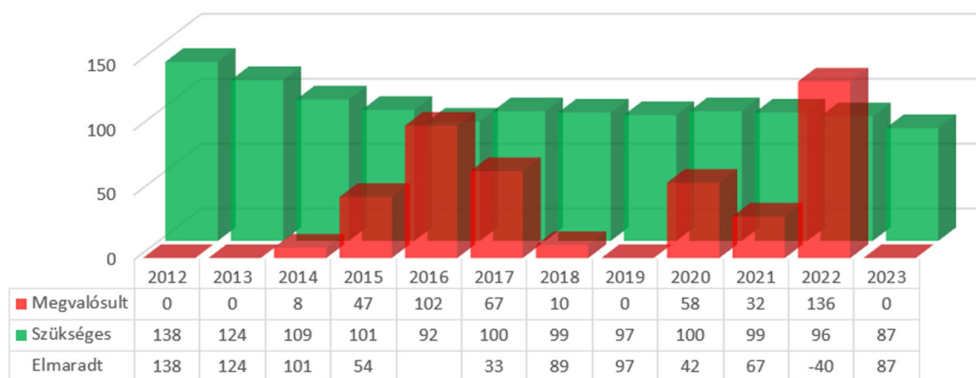
Romlik azonban a helyzetük abban az esetben, ha az eszközöket finanszírozás útján szerezzük be, hiszen ez esetben a hajtásláncaink közötti olló tágabbra nyílik. Szemléletesen: egy ~100 millió forintos dízel autóbusz 10 éves futamidő és 8%-os kamat melletti beszerzése esetén ~150 millió forintos végösszeggel néznénk szembe, míg egy ~200 millió forintos elektromos autóbuszunk ~300 millió forintos teherrel súlytana bennünket; azaz a beszerzési ár 100 millió forintos különbözete végül azokban az esetekben is 150 millió forintra hízik, midőn az elektromos buszunk tökéletes helyettesítő termékévé vált belsőégésű járművünknek.

Fentieket összegezve elmondható, hogy az elektromos átállás jelenlegi helyzetértékelésünk alapján abban az esetben volna csak lehetséges, ha a költségvetésünket 30-50%-kal növelnénk, mindamelllett, hogy ehhez a későbbi megtakarítások lehetőségét megteremtve a beruházási kereteinket 100-150%-kal szükséges bővítenünk.

Érzékelhető, hogy üzemeltetői nézőpontból az élenjáró technológiák bevezetése csak jelentős támogatásokkal volna észszerűnek tekinthető, a belépési korlát áttörését azonban sokszor csak a remény táplálja, hiszen mint azt a 4. ábrán is láthatjuk, a birtoklási költségek minimalizálását

és a lehető legmagasabb szolgáltatási színvonal megvalósítását lehetővé tevő ~10 éves forgási sebesség elérését még olcsóbb technológiát képviselő autóbuszok beszerzése útján sem nyílt lehetőség megvalósítani, így jelenleg a BKV Zrt. állományának 46%-a nem tesz eleget a leszögeztet peremfeltételnek megfelelő életkori kritériumunknak. Ezzel együtt az új járművekre vonatkozó mennyiségi igényeknek előtérbe szükséges kerülniük az innovációk öncélú preferálásával szemben.

Szükséges és megvalósult autóbusz-beszerzések a BKV Zrt.-nél 10 évben maximalizált birtoklási időtartam mellett (2012-2023)



4. ábra

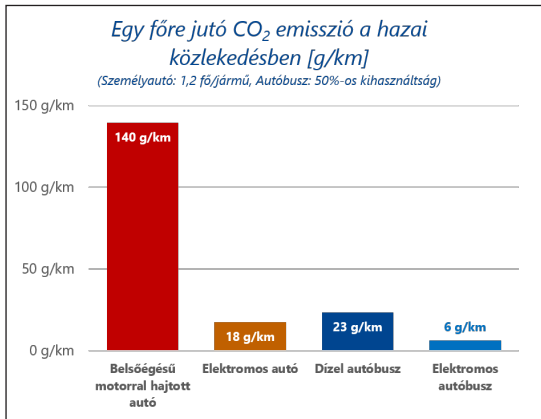
Szükséges és megvalósult új járművek beszerzése 10 évben maximalizált birtoklás esetén

Ugyanakkor feltehetjük magunknak a költői kérdést: morálisan elvárható-e a társadalomtól, hogy külső ösztönzők vagy közvetlen tőkeinjekció útján nagyobb mértékben támogasson egy projektet annál, mint amennyi közvetlen, vagy közvetett hasznot annak megvalósulásától egyáltalán remélni lehet? Vajon azonos tőkeigény mellett találnánk-e olyan magasabb prioritású vezérfonalat a szociális háló szövetén, amely a kitűzött céljainkra nézve jelentősebb eredményekkel kecsegtet például a klíma-, vagy az egészségvédelem vonatkozásában?

4. Járműgazdálkodási preferenciák a jelen helyzetértékelése alapján

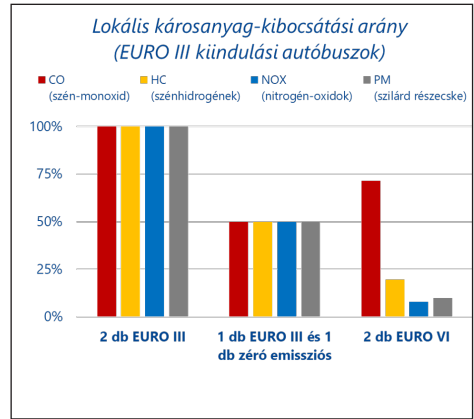
Ahhoz, hogy a páni rémületünkben folytatott krumplidobáláson felülemelkedjünk, érdemes visszatérnünk ahhoz a gondolathoz, hogy milyen indítatásból is kezdeményeznénk az autóbusz-közlekedés elektromos átállását. Természetesen a fő szempontunk a káros externáliák csökkentése, amely a döntéshozók szempontjából elsődlegesen a szén-dioxid kibocsátás minimalizálásának szándékában ölt testet. Mint azonban az az 5. ábránkon látható, e tekintetben a közösségi közlekedés elsődleges szerepvállalása nem abban rejlik, hogy az általa használt eszközök a kor csúcstechnikáját képviselik-e, hanem abban, hogy jelentőségének, kínálatának, szolgáltatási színvonalának növelése a folyamatosan gyarapodó és időszódó személyautó-használat burjánzásának ellenpólusaként tud szolgálni. Számos jótékony multiplikátorhatásunk mellett még egy dízel autóbusz fajlagos kibocsátása is egy elektromos személyautóéval képez egy nagyságren-

det (a hagyományos személyautóénak mintegy hatodát), s az elektromos autóbuszok innen már csak brutális beruházások árán képesek kismértékben jobban óvni a levegőnket. Így levonható a következtetés, miszerint a közösségi közlekedési eszközök potenciálisan megnyerő, átcsábító hatása fontosabb, mint az, hogy az alkalmazott hajtásaincaink a kor csúcstechnológiáját képviselik-e.



5. ábra

Egy fő/ km-re vetített CO₂ kibocsátás közlekedési módonként



6. ábra

Lokális emisszió egységnyi forrásból elektromos és dízel járművek beszerzése esetén

Tovább menve, egészségügyi szempontból és a város élhetősége szempontjából a szén-dioxidnál is nagyobb problémát jelent az EURO-normák által szabályozott mérgező anyagok kibocsátása. Természetesen lokális, darab-darab összefüggésben az elektromos autóbusz bármilyen egyéb hajtásmódnál jobban teljesít. Azonban a jelenlegi állapotot figyelembe véve az egységnyi beruházásból megvalósítható ártalomcsökkenés, a határ-externália mértéke még korszerű dízel autóbuszok forgalomba állításával a legkedvezőbb, hiszen azonos beruházási forrásból kétszer annyi korszerű dízel autóbusz beszerzése összességében még abban az esetben is kevesebb károsanyag-kibocsátást eredményez, ha az elektromos autóbuszok emisszióját valóban zérusként fogadjuk el. Erre világít rá a jobboldali 6. ábránk. A bal oszlopaink 2 db EURO 3-as buszunk kibocsátását illusztrálják a gázokat alkotóikra bontva. Középső oszlopaink egy rendszerben maradó korszerűtlen jármű és egy nagyvonalúan zero emissziós elfogadott elektromos busz kibocsátását szemlélteti, jobb oldalon pedig két modern dízel autóbusz kibocsátását összegezzük.

Következésképp, midőn a BKV autóbusz-flottájának mintegy harmadát EURO 3, vagy rosszabb besorolású eszközök alkotják (~300 darabos mennyiségben), korlátos beruházási források esetén a káros hatások is új dízel autóbuszok beszerzésével csökkenthetők leginkább mindaddig, amíg ezen járműegyedek kiváltásra nem kerülnek.

Látható hát, hogy a véges forrásokat még akkor használnánk fel a leghatékonyabban, ha elektromos autóbuszok vásárlása helyett inkább kétszer annyi dízelt bocsátanánk az utazóközönség rendelkezésére.

5. A rendeleti környezet kontraproduktív hatása a közösségi közlekedés fejlődésére

Az Európai Tanács 2019/1161. számú irányelve, majd ennek nyomán a 397/2022. (X. 20.) Kormányrendelet szigorított normák mellett irányozza elő a főváros, vagy a megyei jogú városok számára, hogy a beszerezni kívánt buszok a 2025 végéig terjedő első referenciaidőszakban leg-

alább 53%-ban, majd 2026-tól kezdődően 75%-ban tiszta üzemű járművek legyenek. A minimális beszerzési célérték felének kibocsátásmentes nehézgépjárművek beszerzése révén kell eleget tenni, míg a fennmaradó arány tekintetében a fentiekben vizsgált CNG technológia alternatívát képezhet.

Mint azonban az a kifejtettek alapján érzékelhető, a rendelet az egyes szolgáltatók állományának aktuális állapotát és valós fejlesztési lehetőségeit nem mérhette fel, s nem szegmentálhatta. Mindez természetesen az operátorok beruházási lehetőségeinek korlátossága esetén a közösségi közlekedés színvonalának fejlesztési törekvései ellen hat, hiszen mint azt a személyautó-állomány öregedésének példáján is láttuk, az evolúciós lépcsőfokokat átugrani szándékozó rigorózus irányelvek figyelmen kívül hagyták azt, hogy fizetőképes kereslet híján a flották természetes megújulási képessége csorbát szenved, mely esetben a tovább-üzemeltetett járművek műszaki állapotának romlása mellett a változó költségek progresszív növekedése is törvényszerűen társadalmi kárként könyvelendő el.

Konklúzió

A közösségi közlekedés esetében a műszaki fejlesztések egyoldalú prioritizálásának köszönhető, továbbrajzó káros hatások multiplikátor hatásai komplexek, hiszen az externáliák csökkentésében a jellegében ütőképes szolgáltatási szektor az innovációkat nem képes fizetőképes kereslettel támogatni, ezzel pedig a személyautó-használati igények expanziója ellen hatni, vagy azt érdemben ellensúlyozni.

Szűkebben értelmezett vonatkozásunkban megállapítható, hogy az eszközbeszerzések során az új autóbuszokra vonatkozó mennyiségi igények és az összegzett költségek minimalizálására törekvő rövidebb birtoklási időtartamok elérése még fontosabb, mint az innovatív hajtások egyoldalú preferálása, hiszen az utasok által érzékelt primer szolgáltatási minőség fejlesztése előrébb való annál, minthogy néhány promotált járműegyed korunk műszaki csúcsát képviseli-e.

Ezzel együtt kijelenthető, hogy a technológia fejlesztésének és a termelés növelésének kizárólagos prioritizálásával szemben a káros hatások csökkentésének leghatékonyabb eszközei alapvetően nem műszaki, technológiai jellegűek, hanem a városok mobilitására sokkal inkább mint egy, a közlekedési módokon átívelő rendszerre kell tekintenünk.

A járműstratégiát meghatározó szakembereknek javasoljuk, hogy a fejlesztések során az összegzett káros externáliák csökkentését és a társadalmat leginkább szolgáló alternatívák feltárását tekintsék fő szempontjuknak a fenntarthatóság, a kiindulási állapot és a reális finanszírozási lehetőségeik figyelembevételével.

Irodalomjegyzék

- [1] 24.1.2.2. A közúti gépjárművek száma vármegye és régió szerint, december 31. (ksh.hu) (2024.06.20.)
- [2] 24.1.1.26. A személygépkocsi-állomány átlagos kora gyártmányok szerint (ksh.hu) (2024.06.20.)
- [3] 22.1.2.1. A lakónépesség nem, vármegye és régió szerint, január 1. (ksh.hu) (2024.06.20.)
- [4] <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/pdf/lakossagikozlekedes12.xls> (2024.06.20.)

A közösségi közlekedés fejlesztési irányjai Debrecen városában

Dr. Tóth Szabolcs

DKV Debreceni Közlekedési Zrt.
telefon: 30/4455001
e-mail: toth.szabolcs@dkv.hu

Abstract

Debrecen közösségi közlekedése jelentős múltra tekint vissza, a lakosság előszeretettel használja a városi mobilitás ezen formáját. A helyi közlekedés immár 140 éve alatt több jelentős mérföldkövet érintve változott, fejlődött, azonban kijelenthető az, hogy az elmúlt években hasonlóan más városokhoz is több negatív tényező befolyásolta a szolgáltatás fenntartását. A pandémia hatásai, valamint a szomszédban zajló háború és a kialakult gazdasági helyzet nagy mértékben sújtotta és befolyásolja jelenleg is a közlekedési ágazatot. A pandémia idejében meghozott intézkedések következtében jelentős mértékben megváltoztak az utazási szokások, majd a vírushelyzet normalizálódását követően szinte azonnal a kibontakozó gazdasági válság hatásaira kellett reagálni. A többszörösére megugró energiaárak következtében az elektromos futásteljesítményt kellett racionalizálni. Ezen tényezők mellett a szolgáltatóknak kevés erőforrás jutott fejlesztési célok megvalósítására. A korlátozottabban elérhető belső és külső források nagy mértékben befolyásolták a beruházások irányát, lehetőségét. Ezekben az években saját forrásból a DKV Zrt. elsődlegesen az utazási szokások mérésére, a valós idejű utastájékoztató fejlesztésére koncentrált. A szűkösebb esztendőik ellenére külső forrásból több projekt is megvalósulhatott. Az elektromos autóbuszok beszerzése mellett a dízel flotta cseréje is elindult és kijelenthető, hogy 2024 év végére meg is fog valósulni.

Kulcsszavak: közösségi közlekedés, közlekedésfejlesztés, innováció

Bevezetés

Amikor egy város életében megjelenik valamilyen új, valamilyen addig még nem ismert közlekedési forma vagy fejlesztés, az mély nyomot hagy az ott élő emberekben. Ezt az érzést adják vissza számunkra a Debrecen Újság 1911. március 17.-i számában megfogalmazott gondolatok is: „Fürge, gyorsjárású villamoskocsik futották be tegnap a várost. Az a friss festésű sárga szín valami új érzéseket resonált bennünk. ...úgy tetszik, mintha megváltozott volna ennek a városnak a képe. Ez az új, ez a lármás zakatolás mintha felrázta volna tespedt nyugalmából. ...Egy kicsit tagadhatatlanul kezdünk fejlődni. ...Debrecent nem fogják azért kikuplézni, mert itt...a kisvonat szaladgál s egy helyen fél órát áll.... Remélhetőleg ezután már nem állunk meg, hanem haladunk villamos sebességgel.” [1]

A jövőbeni fejlesztési irányokat megfogalmazni nem lehetséges anélkül, hogy a helyi közlekedés múltjára ne tekintenénk vissza. A debreceni közösségi közlekedés jelentős hagyománnyal bír, az idei évben ünnepli 140 éves évfordulóját. 1884. október 2.-ai indulása óta a város közlekedése sok mindent megélt, mind a kötöttpályás, mind az autóbuszos személyszállítás sok változáson ment keresztül az eltelt évtizedek során. Ilyen mérföldkő volt, amikor a kezdetekben még gőz-

és lóvontatással üzemelő közlekedést a megnövekedett utazási igények hatására 1911-ben a villamos közlekedés váltotta fel. A fejlesztéseknek köszönhetően a lakosság megszerette és előszeretettel választotta az utazás ezen formáját. A századforduló mintegy 700 ezres utasszáma megsokszorozódott és az 1950-es évekre meghaladta a 30 millió főt, míg napjainkban megközelíti a 90 milliót.



1. ábra

Debreceni villamosok forgataga az Aranybika szálloda előtt

Forrás: DKV archívuma

A villamosközlekedés folyamatos fejlesztésével a vonalhálózat Debrecenben végül 1956-ra érte el legkiterjedtebb állapotát, amikor a teljes hossza 36,2 km volt. Az itt élők emlékeiben él az a kép, amikor a várost még 7 villamosvonal hálózta be. Az 1950-1960-as években élte fénykorát a villamosközlekedés a városban, amely a 70-es években, ma már hibás döntésnek minősíthetően került leépítésre a szárnyvonalak leállításával. 1975. június 23.-tól a városban a villamos közlekedést a megmaradt egyetlen vonal képviselte egészen 2014. február 26.-ig, amikor a város lakossága birtokba vehette az „új” 2-es vonalat.



2. ábra

Az „új” 2-es villamos
Forrás: DKV archívuma

Az autóbuszos személyszállítás tekintetében a helyközi közlekedés népszerűségére alapozva a helyi szolgáltatás viszonylag később, 1927 tavaszán indult el. A DKV jogelődje a Debrecen Helyi Vasút a kezdetekben kisebb sikerrel, ráfizetéssel üzemeltette a három útvonalon járó helyi járatot. Az alacsony utaskihasználtságnak köszönhetően jelentősebb fejlesztéseket nem élt meg az ágazat ebben az időszakban. A háborút követően a helyi autóbuszos szolgáltatást a MÁVAUT, majd a Volán 6. számú vállalata, későbbi nevén a Hajdú Volán látta el egészen 2009.-ig. A város 2008-ban pályázatot írt ki a szolgáltatás ellátására, melyet a DKV Zrt. és az Inter Tan-Ker Zrt. közös ajánlata nyert el, így a cívisváros autóbuszos közlekedésében 2009. július 01.-től újabb fejezet nyílt [1].



3. ábra

*Volvo autóbusz a Segner téren
Forrás: DKV archívuma*

Debrecen jelenleg óriási változáson esik át több szempontból is, átalakul városszerkezetileg, az itt élő lakosság, az itt dolgozók és tanulók száma nagy mértékben növekszik. Ezen tényezők természetesen kihatnak a közlekedésre is, a jelentkező kihívásokra időben fel kell készülni, a már körvonalazódó problémákat kezelni szükséges. A közösségi közlekedés fenntartása, működésének zavartalan biztosítása egy fejlődő város életében nem kérdőjelezhető meg. A városi mobilitásban betöltött szerepe a jövőben várhatóan még jobban felértékelődik, tapasztalva az egyre inkább növekvő utazási igényeket és a városok útjainak szűkös kapacitását. Ezen lehetőségeket és megoldandó feladatokat felismerve a szolgáltatás folyamatos fejlesztése elengedhetetlen az elérhetőség javítása, a lakosság minél jobb kiszolgálása érdekében.

1. Fejlesztési irányok Debrecenben

Városunk gazdasági, oktatási, egészségügyi, kulturális szempontból is központi szerepet tölt be a régióban. Az elmúlt évek dinamikus fejlesztéseinek köszönhetően új ipari parkok épültek, a betelepülő nagyvállalatok által nyújtott lehetőségek a munkavállalók számára is vonzóak, ennek következtében új lakóövezetek nőnek ki a városban és agglomerációjában. Az előzetes várakozások szerint a munkavállalók száma mintegy 30 ezer fővel, míg a lakosság mintegy 50 ezer fővel fog növekedni a következő években. Folyamatosan emelkedik az oktatási intézményekben tanulók száma is, a Debreceni Egyetem hallgatóinak száma jelenleg meghaladja a 30 ezer főt. Közlekedés szempontjából is egyre növekszik a város súlyponti szerepe köszönhetően a város

földrajzi elhelyezkedésének, hiszen több megyeszékhellyel kiváló az összeköttetése. Az elmúlt években megvalósított autópálya, vasúti korszerűsítések, valamint a jól prosperáló repülőtér is segíti Debrecen régióközponttá alakulását [2].

A város helyi közösségi közlekedésében az elmúlt két évtizedben jelentős változások és fejlesztések történtek. Az autóbuszos szolgáltatás konstrukciójának egyedi ugyanakkor hatékony megválasztása lehetővé teszi egy modern és környezetbarát dízel flotta üzemeltetését. A trolibusz hálózat mintegy négy évtizedes fenntartása mellett a Zöld Busz mintaprojektjében való részvételnek köszönhetően a teljesen elektromos autóbuszok üzemeltetése terén is gyűjthetjük tapasztalatainkat. A 2-es villamos 10 évvel ezelőtti elindulása nagymértékben segíti elő a napi üzemelés fenntartását, valamint megalapozza jövőben lehetőségeinket a kötöttpályás divízió további fejlesztésében. A DKV a szolgáltatás elérhetőségének javítására is több területen tett meg lépéseket. Ilyenek voltak többek között a 2017 évben bevezetett elektronikus értékszelvény vásárlási lehetőség, az utastájékoztató on-line platformokon történő elérhetőségének biztosítása, valamint a járművek felszerelése korszerű utasszámláló berendezésekkel az utazási szokások mérésére és a kibocsátás optimalizálására.

Debrecen dinamikus gazdasági előrehaladása, valamint a helyi közösségi közlekedésben a közelmúltban megvalósított lépések egyértelműen megalapozzák a közlekedés fejlesztési irányait is. Megfelelően és időben szükséges reagálni a megnövekvő mobilitási igényre mind a településen belüli, mind az agglomerációból érkező forgalmat tekintve. Az infrastrukturális beruházások mellett a szolgáltatás elérhetőségének javítása is célként vannak meghatározva a város jövőbeni terveiben [3].

2. Debrecen város fenntartható városi mobilitási terve

A város dinamikus gazdasági növekedésével párhuzamosan az elmúlt években nagy hangsúlyt fektetett a közlekedés fejlesztésére és jövőbeni lehetőségeire is. Ezen elképzelések megjelennek a város stratégiai dokumentumaiban, így a Debrecen 2030 településfejlesztési koncepcióban, illetve a Fenntartható Városfejlesztési Stratégiában. A közúti fejlesztéseken túlmutatóan ezen tervekben megjelennek a közösségi közlekedés fejlesztésére irányuló projektek is, kiemelten:

- az intermodalitás fejlesztése,
- a régi 1-es villamosvonal rekonstrukciója és új 3-as vonal építése,
- az elővárosi és városi vasúti közlekedés,
- az új ipari és lakóövezetek bevonása a közösségi közlekedésbe,
- utasszámlálással a kibocsátás optimalizálása,
- a szolgáltatási színvonal növelése,
- modern járműállomány biztosítása,
- az utastájékoztató korszerűsítése.



4. ábra

Petőfi téri találkozó
Forrás: DKV archívuma

A város stratégiai terveiben megfogalmazott célkitűzések megvalósításához elengedhetetlen volt a 2016 évben elkészített Fenntartható városi mobilitási terv (SUMP) megújítása, melynek munkálatai 2023 évben zajlottak. Mintegy 80 érintett bevonásával, több, mint 2 ezer lakos kérdőíves kikérdezésével, forgalom és utasszámlálással zajlott a helyi közlekedés vizsgálata. A kapott eredmények elemzése alapján kerültek kidolgozásra a komplex javaslatcsomagok, több átfogó és specifikus cél került meghatározásra a hozzájuk tartozó indikátorokkal. A SUMP-ban közel 160 intézkedés került definiálásra, amelyek a város élhetőségének és versenyképességének biztosítását célozzák meg [4]. A kiemelt projektek között szerepel több közösségi közlekedést érintő fejlesztés is, amely többek között az alábbi területeket érintik:

- trolibuszközlekedés,
- kötöttpályás közlekedés,
- energetikai infrastruktúra,
- elővárosi vasút,
- forgalmi decentrumok,
- forgalomirányítási központ.

Ezen fejlesztések célja a közösségi közlekedésben a fenntarthatóság megteremtése, a zöld megoldások további bevezetése, a modal split-ben betöltött arány növelése, a kibocsátott kapacitások optimalizálása, az eljutási idők és az átszállási kapcsolatok javítása, a digitális megoldások fejlesztése. A meghatározott célok elérése érdekében alapvető és első lépésként a megújított SUMP-ot a társadalmi egyeztetést követően 2023 decemberében Debrecen Megyei Jogú Város Önkormányzatának Közgyűlése elfogadta, mely dokumentum kiindulási pontja minden egyes jövőbeni nagyobb fejlesztésnek.

3. Utasszámlálás, utazási szokások alakulásának vizsgálata

A szolgáltatás fenntarthatóságának kulcseleme, valamint a SUMP-ban meghatározott kiemelt jövőbeni célok egyike a rendelkezésre álló kapacitások elosztásának optimalizálása, melyhez elengedhetetlen az utazási szokások mérése. Mindamellett, hogy az elmúlt években a pandémia, a gazdasági hatások miatt az utazási szokások megváltoztak és az arányok elmozdultak az egyéni közlekedés irányába, a városban dolgozók számának emelkedésével növekvő mobilitási igény jelentkezik. Új járatok indítására került sor, újabb városrészek bevonásával, továbbá menetrendi

optimalizálások történtek. Ezen intézkedésekhez elengedhetetlen az utazási szokások folyamatos vizsgálata, elemzése, a bevezetett menetrendi módosítások hatásának visszamérése.

A DKV elsősorban az autóbusz vonalak utasszámlálására koncentrálva a dízel autóbuszflotta cse-re és az elektromos autóbusz beszerzés kapcsán kezdett el telepíteni nagy számban korszerű utasszámláló berendezéseket. A járművekre elhelyezett eszközök 2022. január 14.-től üzemelnek, 2024 évre már összesen 43 db (4 db eCitaro szóló, 17 db csuklós, 22 db szóló) autóbuzson állnak rendelkezésre. A járművek a vegyes forda szerkezetnek köszönhetően napi szinten több és más-más viszonylatot tudnak mérni, amely ugyanakkor azt is jelenti, hogy csak korlátozottan irányíthatók adott viszonylat folyamatos mérésére. A közel két és fél év alatt mintegy 350 ezer járat mérése történt meg, melyek adatai a menetrendi korrekcióknál és javasolt módosításoknál, illetve azok elvetésénél kerültek figyelembevételre.

Az Automatic Passenger Counter (APC) egy olyan érzékelő rendszer, amely képes azonosítani a fel- és leszállásokat az autóbuszok ajtajainál. Az így keletkező adatok kerülnek feldolgozásra és tárolásra, amely egy webalkalmazáson keresztül érhető el. Többféle szűrés készítése lehetséges, mellyel többek között adott járatra, viszonylatra, indulási időkre, megállóhelyekre készülnek kimutatások. Az adatokból időszaki riportok készülnek, különböző vizualizációkon keresztül kerülnek megjelenítésre a szükséges információk.



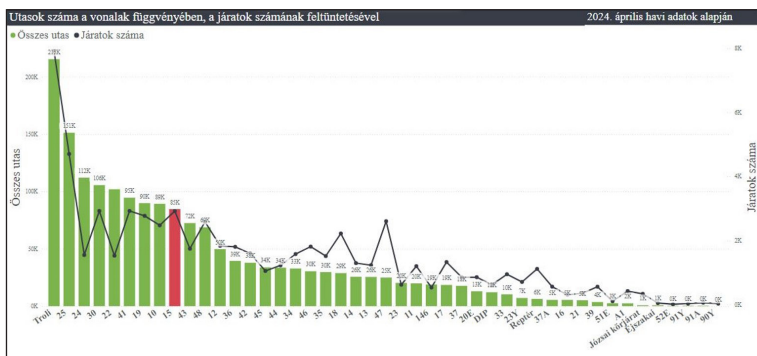
5. ábra

Járatonkénti utasszámlálások elemzése

Forrás: DKV elemzés

A vizualizációk alapján készülnek el a döntéseket előkészítő javaslatok és végül vezethetők be intézkedések az alábbi területekhez kapcsolódóan:

- utasforgalmi adatok összehasonlítása,
- lakossági/megrendelői kérések, panaszok kivizsgálása,
- járatoptimalizálási javaslatok (indulási/érkezési idők),
- munkáltatói igények vizsgálata/visszamérése,
- szóló/csuklós arány meghatározása/optimalizálása,
- megállóhelyek kihasználtsága/átszállási lehetőségek javítása,
- új vonalhálózat kialakítása,
- bevezetett módosítások visszamérése.



6. ábra

Utasszámok alakulásának vizsgálata a vonalak függvényében

Forrás: DKV elemzés

Az utazási szokások elemzését a szolgáltatás fejlesztéséhez elengedhetetlennek tartjuk, ugyanakkor ezzel lényegében a kínálatot mérjük meg és csak korlátozottan tudjuk előzetesen megbecsülni egy változtatás hatását. Nem mutatható ki az egyének pontos utazási szokása, az, hogy mikor, honnan és merre szeretne eljutni. Ehhez az utasszámláláson kívül további felmérések is szükségesek lesznek a jövőben.

4. Az infrastruktúra és járműállomány fejlesztési irányai

Az infrastruktúra és a járműállomány tekintetében Debrecen város közösségi közlekedésében már több jelentős fejlesztés valósulhatott meg. Ilyen mérföldkövek voltak az egységes, EURO 5-ös környezeti besorolású autóbuszflotta 2009 évi üzembehelyezése, a 2-es villamos vonal megépítése, a kiszolgáló telephely rekonstrukciója és az új villamosjárművek 10 évvel ezelőtti elindulása.



7. ábra

A megújult Salétrom utcai telephely

Forrás: DKV archívuma

Az idő múlásával ugyanakkor megoldandó feladatként állnak előttünk az autóbusz, a trolibusz valamint a villamos divízióhoz kapcsolódó különböző kihívások. Az autóbuszflotta megújítását 2024 év végére valósítja meg Társaságunk, az öregedő trolibusz állomány cseréje is célul lett kitűzve, illetve az 1-es villamosvonal teljes rekonstrukciója és új villamosjárművek beszerzésére irányuló projekt is az előkészítés fázisában tart.

5. Autóbusz flottacsere

Debrecen városa 2021 évben hozta meg azt a döntését, hogy több ütemben váltja le a városban 2009 óta üzemelő dízel autóbuszflottát. Az autóbuszok rendelkezésre állását és cseréjét bérleti szerződés keretében az Inter Tan-Ker Zrt. biztosítja a DKV Zrt. részére. A menetrend ellátásához szükséges 119 darab dízel autóbusz üzembehelyezése 3 év alatt több ütemben történik meg. 2022 évben összesen 30 darab alacsonybelépésű Mercedes Benz Reform szóló, valamint 10 darab alacsonypadlós Mercedes-Benz Conecto G csuklós autóbusz került forgalomba. A következő évben 4 ütemben, összesen 39 darab Mercedes-Benz Conecto szóló autóbusszal a teljes szóló állomány lecserélésre került. A csuklós flotta megújítása további 30 darab járművel folytatódott 2024 évben, amely októberben zárul, amikor az utolsó 10 darab jármű áll majd üzembe. A dízel flotta mellett a rendelkezésre álló autóbusz állomány egészét a 2022 évben a HUMDA támogatásával beszerzett 12 darab Mercedes-Benz eCitaro elektromos busz, illetve a menetrendi és különjárat feladatokat végző 4 darab saját tulajdonú dízel autóbusz adja.



8. ábra

Mercedes-Benz Conecto autóbuszok

Forrás: DKV archívuma

A teljes flottacsérével és átalakítással éves szinten jelentős üzemanyagfelhasználás és károsanyagkibocsátás csökkenést és ezzel költségmegtakarítást irányzott elő a Társaság. Az eddigi adatok alapján az új, korszerűbb autóbuszok fogyasztása a szóló járművek esetében mintegy 25%-kal, a csuklós járművek esetében 20%-kal kedvezőbb. Ez összességében azt eredményezi, hogy az e-buszokkal kiegészített flotta 24%-kal kevesebb gázolaj felhasználást tesz lehetővé, amely éves szinten mintegy 1 millió liter üzemanyag megtakarítást jelent. Az alacsonyabb fogyasztásnak köszönhetően a károsanyagkibocsátás terén éves szinten 2500 tonna CO₂ csökkenéssel kalkulálunk.

Az e-busz üzemeltetés közel két éves tapasztalatait tekintve, több konklúziót is le lehet vonni. Eddig elsődlegesen osztott fordákban, alacsonyabb futásteljesítmény mellett üzemeltettük az e-buszokat, főképp a csúcsidőszakokban. Így lehetőségünk nyílt a napközbeni töltésre, ameny-

nyiben azt a járművek igényelték. A pozitív üzemeltetési tapasztalatok mellett megállapítható, hogy magasabb átlagos fogyasztási értékeket értünk el, amely 1,5 kWh/km. Annak ellenére, hogy elektromos járművek üzemeltetésében több évtizedes tapasztalattal bírunk, ezen fogyasztási érték is alátámasztja azt, hogy a járművezetők további képzése elengedhetetlen, a vezetési stílus elemzésével a fogyasztás csökkentését szükséges megcélózni.



9. ábra

Mercedes-Benz eCitaro autóbusz

Forrás: DKV archívuma

A járművekhez tartozó töltő infrastruktúra jelenleg 12 darab telephelyi és 2 darab indítóhelyi berendezést jelent. A „töltési szokásainkat” tekintve megállapítható, hogy az e-busz flotta mintegy 50%-os bővítése nem igényelné újabb töltők telepítését, így a flotta ebbe az irányba tervezett további fejlesztése csak megfelelő forrás kérdése.

6. 1-es villamosvonal és közös pályaszakasz teljes rekonstrukciója

A városi stratégiákban megfogalmazott kötőpályás közösségi közlekedés fejlesztési elképzelések megvalósításának alapjait a 2-es vonal építéskor megvalósított telephelyi infrastruktúra szolgáltatja [5]. A SUMP-ban megjelenik több olyan projekt terv is, amelyek a közösségi közlekedést helyezik előtérbe. A további villamosvonalak tervezett kialakítása mellett, jelenleg a legkézelfoghatóbb projekt az 1-es villamosvonal teljes rekonstrukciója.

Az 1-es villamosvonal és a közös pályaszakasz felújítása IKOP Plusz-1.2.-23 program részeként kerülhet megvalósításra 2029 évvégéig történő befejezéssel. A projekt előkészítő munkái már megkezdődtek, első feladatok közé tartozik a 2014. évben elkészített részletes megvalósíthatósági tanulmány átdolgozása.



10. ábra

KCSV 6 típusú villamos a közös szakaszon

Forrás: DKV archívuma

A projekt tervezett műszaki tartalmát tekintve kiterjed az 1-es villamospálya Kálvin tér-Kálvin tér közötti teljes vonalhosszán a vágányhálózat pályaszerkezeteinek átépítésére és felújítására, valamint a Petőfi téri végállomáson síncserére elvégzésére. A Petőfi tér és a Debrecen Plaza közötti közös vonalszakaszon a villamospálya értéknövelő felújítása síncserével és beton pályaburkolat kialakításával kerülhet megvalósításra. A tervek szerint átépítésre kerül a Péterfia utcai hosszgerendás, vasbeton kispanel burkolatú pályaszerkezet rugalmas alátámasztással rendelkező, folyamatos sínágyazású szerkezetre, beton pályaburkolattal és vágányvíztelenítés kialakításával. A pályaszerkezet kialakítása során a vonatkozó műszaki előírásokat betartva a jelenlegi 3 méter vágánytengely távolság megnövelésre kerül 3,2 m-re. Az Ajtó utca és a Nagyerdei körút közötti szakasz, jelenleg vasbeton pályalemezes, vasbeton panel burkolatú szerkezetén szintén értéknövelő felújítás történik, síncserével és beton pályaburkolat kialakításával. A tervekben szerepel a Pallagi úti, közúttól elzárt vasbeton keresztaljas, 48-as sínrendszerű, zúzottkő ágyazatú pályaszerkezet átépítése rugalmas alátámasztású folyamatos sínágyazású szerkezetre, valamint füvesített pályaburkolat kialakítása [6].



11. ábra

Pallagi úti szakasz

Forrás: DKV archívuma

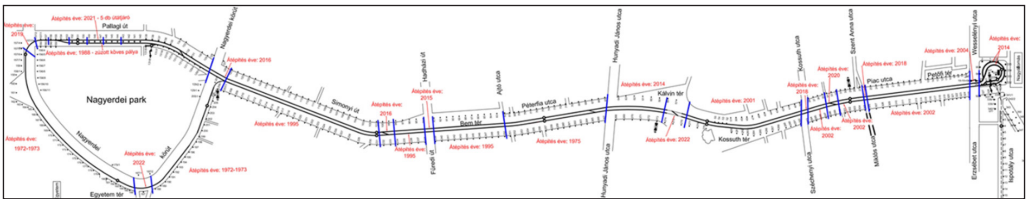
A Nagyerdei körúton a vasbeton kispanel burkolatú, keresztaljas, zúzottkőes pályaszerkezet átépítése rugalmas alátámasztású folyamatos sínágyazású szerkezetre, a Klinikák és az Egyetem

között füvesített pályaburkolattal, míg a többi szakaszon betonburkolat és vágányvíztelenítés kialakításával.

A projekt során a nagyobb keresztező közúti forgalmú csomópontokban EDILON típusú, vagy azzal egyenértékű pályaszerkezet építése valósul meg. A jelenleg léggábeles áramviszavezetési és optikai kábelek a pályaszerkezetben védőcsövekben kerülnek elhelyezésre. Teljes felújítás vár a megállóhelyekre is, valamennyi villamos megállóhely peronja akadálymentesítve kerül átépítésre. A jelenlegi felsővezeték rendszer állapot ellenőrzését követően az érintett szakaszokon a felsővezeték tartó oszlopok cseréje is megvizsgálásra kerül.

Az energiaellátó hálózat a várhatóan megnövekedő energiaigény meghatározásával felülvizsgálatra kerül, akár a jelenleg üzemelő Blaháné utcai áramátalakító gépház modernizálásával vagy teljes kiváltásával.

A menetidő csökkentése érdekében a forgalomirányító jelzőlámpákkal ellátott csomópontokban megvizsgálásra kerül a villamosközlekedés előnyben részesítésének lehetősége. Az autóbusz-, és a villamosközlekedés közötti átszállási kapcsolat javítás érdekében a Klinikai Központ Nagyerdei Campus, valamint az Egyetem elnevezésű megállóhelyeknél közös megállóhely kerülhet kialakításra.



12. ábra

Az 1-es villamospálya nyomvonala

Forrás: DKV archívuma

A tervek alapján kilenc darab 100%-ban alacsonypadlós villamos jármű beszerzésére kerül sor, amelyek kialakításukban egyenértékűek lesznek a Debrecenben jelenleg üzemelő CAF Urbos 3 típusú járművekkel azok hosszúságát, szélességét és férőhely-kapacitását tekintve. A projekt műszaki tartalmának meghatározása során vizsgálatra kerül az önjáró üzemmódra is képes járművek üzemeltetésének és beszerzésének lehetősége is.

A projekt megvalósításával garantálható az 1-es villamosvonal zökkenőmentes üzemeltetése, az utazási komfort jelentős javítása, hiszen korszerű alacsonypadlós, klimatizált járművekkel biztosítható a szolgáltatás a jövőben. Ahogyan az az elektromos közlekedés részarányának növelésénél is, úgy az 1-es vonal rekonstrukciója kapcsán is felmerül, hogy a vontatáshoz szükséges áram megújuló forrásból származó energiából kerüljön biztosításra. Ennek megvalósítására a város már megtette a kezdeti lépéseket, így teljes mértékben reális az az elképzelés, hogy néhány éven belül a teljes helyi közösségi közlekedés üzemeltetésének áramigénye napenergiából származik majd.

Konklúzió

Debrecen városának felgyorsult ütemű gazdasági fejlődése a helyi és agglomerációs közlekedésben megköveteli a jelentősebb beavatkozásokat. Annak érdekében, hogy a város élhető maradjon, és az itt élők, valamint az ide látogatók minél gyorsabban elérhessék kitűzött úticéljaikat, a közösségi közlekedésnek kiemelt szerepet kell kapnia. A városi mobilitásban előttünk álló kihívásokat idejében felismerve a stakeholderek feltárták a fejlesztési lehetőségeket és a különböző

stratégiai tervekben meghatározták a pontos irányokat. A városban a közösségi közlekedésben rejlő lehetőségek kihasználása érdekében több projekt megvalósítása került meghatározásra. Ezen célok közül több már a megvalósítás kezdeti stádiumába jutott el.

A város ipari parkjainak és lakóövezetinek optimális kiszolgálása érdekében a járműállomány jelentős része rendelkezik utasszámláló berendezésekkel. Ezen eszközök alkalmasak a járatok kihasználtságának elemzésére és további menetrendi intézkedések alátámasztására. Használásával és az adatokból származó információk megfelelő elemzésével kialakítható akár egy új, a város eddigi és jövőbeni változásait lekövető vonalhálózat is.

A szolgáltatás és az eljutási idők javítására a város közeljövőben megvalósítandó céljai között több elképzelés is szerepel. A nagyvárosi közlekedésben a legkézenfekvőbb lehetőségek egyike a kötöttpályás közösségi közlekedési hálózat fejlesztése. A kelet-nyugati irányban tervezett 3-as vonal kialakítását prioritásban megelőzi az 1-es villamosvonal teljes rekonstrukciója. A vonali infrastruktúra jelenleg elavult, részleteiben már nem gazdaságos a felújítása, így indokolt a teljes átépítés mielőbbi megkezdése. A pályarekonstrukciója mellett új járművek is segítik majd a komfortos utazást és a lakosság utazási igényeinek még nagyobb szinten történő kiszolgálását.

Irodalomjegyzék

- [1] Beretvás K. – Gara K.: A múltra épülő jövő, DKV Debreceni Közlekedési Zrt., Debrecen, 2014.
- [2] Debrecen 2030, Debrecen Megyei Jogú Város településfejlesztési koncepciója, 2020.
- [3] Debrecen Megyei Jogú Város Fenntartható Városfejlesztési Stratégiája, 2021.
- [4] Debrecen Megyei Jogú Város Fenntartható Városi Mobilitási Terve, 2023.
- [5] Tóth Sz.: A közúti vasúti és trolibusz közlekedés fejlesztésének irányai Debrecen városában, City Rail tudományos konferencia: együttműködésben a XXI. városi közlekedés aktuális kérdései konferenciával, Közlekedéstudományi Egyesület, 2021., pp. 50-61.
- [6] Debreceni 1-es villamos vonal komplex rekonstrukciója részletes megvalósíthatósági tanulmány, 2013.

Budapest és vonzaskörzetének gazdasági, társadalmi összefüggései, különös tekintettel a közlekedési szokások változására

Jangel Mátyás¹ – Dr. Káposzta József² – Dr. Tóth Tamás³

^{1,2,3} BKV Zrt. Stratégiai Főosztály

e-mail: ¹jangelma@bkv.hu, ²kaposztaj@bkv.hu, ³tothta@bkv.hu

Abstract

Budapest és vonzaskörzete Magyarország gazdasági és társadalmi életének központja, a változások motorja. A Fővárosban és vonzaskörzetében összpontosul az ország lakosságának 30%-a, munkaerőpiacának 25%-a, valamint a gazdasági termelés és szolgáltatások kiemelkedő hányada. A budapesti agglomerációban számos nagyvállalat, multinacionális cég és tudásintenzív munkahely található, illetve Budapest kulturális és turisztikai centrum is, amely vonzza a látogatókat a világ minden tájáról. Mindezekből jól látható, hogy a régió gazdasági és társadalmi fejlődését számos tényező befolyásolja, melyek közül az egyik meghatározó tényező a közlekedési infrastruktúra, hiszen a hatékony közlekedési hálózat elengedhetetlen a munkaerő mobilitásának, a gazdasági kapcsolatok kiépítésének és a turizmus fellendülésének biztosításához. Az elmúlt éveket figyelembe véve, a gazdasági tényezők változása jelentősen befolyásolta a Főváros közlekedését és ebben a tömegközlekedés helyzetét is. Az elmúlt évtizedben a foglalkoztatottak száma, azok foglalkoztatásának presztízse is jelentős változáson ment keresztül, így a közlekedési helyzet is gyökeresen megváltozott. A gépkocsik egyre nagyobb arányú használata mellett a tömegközlekedés számainak stagnálását figyelhetjük meg, míg az egyéb alternatív közlekedési struktúrák (kerékpár, motor, gyalog) is növekedésnek indultak. Mindezen változások is azt mutatják, hogy a téma szakmai szempontból is tartogat olyan kutatási irányt, ami eredményeivel segítheti a következő évtizedek közlekedés stratégiai irányainak kidolgozását. Tanulmányunkban ezen összefüggésekre keressük a válaszokat.

Kulcsszavak: agglomeráció, szuburbanizáció, centrum-periféria, utazási szokások, tarifareform

Bevezetés

A világ legtöbb városára igaz, hogy nagyrészt autóközpontú. A városokban megtett kilométerek több mint 50 százalékát gépjárművel teszik meg és többnyire személygépkocsival. Az elmúlt évtizedekben szoros összefüggés mutatkozott a GDP növekedése és az egy főre jutó autók számának növekedése között. Jellemző az a trend, miszerint a társadalom gazdagodásával szignifikánsan növekszik a személygépkocsik száma is. Ez természetesen a nagyobb mobilitás mellett nagyobb járműforgalmat és több károsanyag-kibocsátást is eredményez. Számos városban már elérte a fordulópontot, vagy már túl is vagyunk rajta, hiszen a gazdasági változások a centrumok esetében hatványozva eredményezik a motorizáció növekedését. Mindezek alapján látható, hogy a kérdés nem tűr halasztást, hiszen a fenntartható közlekedés, a zöld gazdaság növekedése mind itt kopogtat az ajtón. Az ország fejlődése szempontjából alapvető a közlekedési infrastruktúra fejlettsége, állapota. A társadalom és gazdaság igényein alapuló közlekedés-fejlesztés befolyásolja a gazdasági, társadalmi folyamatokat, miközben az általa támogatott

fejlődés alakítja magát a közlekedést is. A közlekedés alapjaiban befolyásolja egy adott ország helyzetét és a társadalom közérzetét [1].

Ezek a növekedési trendek nagy valószínűséggel a jövőben is folytatódni fognak, ami a közlekedési rendszerek jelentős átalakulásához vezethet, így a közlekedés egyre inkább a hatékonyság és a hozzáférhetőség felé fog elmozdulni. Magyarországon is megfigyelhetők ezek a változások. A KSH adatai szerint 2022-ben belföldi forgalomban legtöbben (37%) személygépkocsival utaztak, de a kerékpározás (13%) és a gyaloglás (12%) is népszerű volt. A tömegközlekedést ebben az évben az utazók 11%-a használta. A változások üteme valószínűleg eltérő a különböző hazai városokban és régiókban, de a trend egyértelmű: a közlekedési szokások folyamatosan és gyorsan változnak. Fontos megjegyeznünk, hogy ezek csak általános trendek, és az egyéni közlekedési szokások nagymértékben eltérhetnek, de a motorizáció térnyerése továbbra is megkérdőjelezhetetlen [2].

A gazdasági fejlődés sajátos hatást gyakorol a lakhatásra Budapest és vonzáskörzete viszonylatában. A fővárosi ingatlanár-robbanás, az ugyanakkor szétterülő városszerkezet, a gazdasági centrumra jellemző magas munkaerő igény azt eredményezte, hogy a városkörnyéki laksűrűség radikális növekedése mellett a napi munkába járás határa távolabbra került. Az elmúlt 10-12 évben a gépkocsik száma Budapesten és Pest megyében is közel 40%-kal, 400 ezer járművel nőtt. A gazdasági fejlődés több, mint 200 ezer új munkahelyet teremtett a fővárosban, a Budapestre ingázó munkavállalók száma közel megduplázódott. A közlekedési kapacitások ezzel nem tudtak lépést tartani; a közút- és parkoló hálózat növelésének komoly területigénye van, amit csak a lakóövezetek, a történelmi városrészek kárára lehetne – időlegesen – kielégíteni. A közösségi közlekedés fejlesztési üteme főleg az elővárosi viszonylatokon megtorpant, pénzügyi okokból a városhatáron megállt. [2].

1. Centrum és periféria reláció kérdéseinek összefüggése

A központi helyek elméletének kialakulását egységesen 1933-ra, egy német geográfus Walter Christaller könyvének megjelenési időpontjára tehetjük. Az eredeti Christaller-féle megfogalmazásban a központi helyek elméletének lényege, hogy a gazdaságban számtalan tevékenység, funkció létezik, így funkciók célszerű tevékenységeinek körzetei különbözőek. Bizonyos funkciókat már kis számú lakos esetében is célszerű és szükséges biztosítani, míg más funkciók ellátása csak magasabb lélekszám, nagyobb körzet esetében szervezhető meg gazdaságosan. Ennek megfelelően a települések funkcionális kategóriákba sorolhatók, ahol a magasabb kategóriába tartozó település bizonyos funkciók ellátását biztosítja az alacsonyabb kategóriába tartozó települések számára, miközben egyben maga is valamennyi alacsonyabb fokú funkcióval rendelkezik [3]. A települések különböző szintű funkcióinak tehát egyben különböző szintű ellátási körzetek is megfelelnek, amelyek mindegyike az alacsonyabb funkciójú körzetekből valamely egész számú mennyiséget foglal magába. A központi helyek elmélete, mint gondolati rendszer és megközelítési mód, rendkívül széles körben terjedt el. Nem nehéz felfedezni e koncepció nyomait a magyar településhálózati koncepción sem. Az alapvető gondolatmenet itt is azonos. A településeket funkció nélküli, alap fokú, közép fokú, és felsőfokú központ kategóriákba sorolták be, amelyekhez megfelelő nagyságú ellátási körzetek tartoznak. Minden felsőfokú körzet több közép fokú, hasonlóképpen minden közép fokú körzet több alap fokú körzetet foglal magában. Az általános elv megegyezősége mellett azonban észre kell vennünk a különbségeket. A valóságos magyarországi séma sokkal lazább, szabálytalanabb, mint a Christaller modell. Mindenek-

előtt vannak benne közbenső központok, különböző kategóriájú, részleges funkciójú települések, amelyek megfelelnek a valóság sokszínűségének. [4].

Ezen központi helyek elméletének tovább gondolása révén jött létre a centrum-periféria modellek vizsgálati irányai, ami Immanuel Wallerstein nevéhez fűződik, aki a világrendszer-elméletében annak különböző területeit centrumra, perifériára, valamint a kettő közötti átmenetet félperifériára osztotta. A modell főbb jellegzetességei között megkülönböztette a térbeli egyenlőtlenviszonyok kifejezésére szolgáló *duális elméleti* modellt, ami a kettősség és a térelemek egymáshoz fűződő kapcsolatán alapuló nincs centrum periféria nélkül, se periféria centrum nélküli összefüggéseket mutatja [5]. Modellje alapján a növekedési pólusokat nevezik el *centrumoknak, vagy centrumtérsegeknek*, amik, mint növekedési pólusok folyamatosan, dinamikusan erősödnek, a többiek pedig *perifériákká* fognak süllyedni. A két elem között erős aszimmetrikus függőség alakul ki, miszerint a növekedési pólus:

- kihasználja a periféria nyersanyagát és munkaerőjét,
- biztosítja termékének periférián való felvevőpiacát,
- töretlen fejlődéssel írhatók le,
- illetve fenntartja a perifériák távolságát a fejlődés gyorsaságának vontatottságán keresztül.

Ezek alapján a centrumtérsegek dominánsan beavatkoznak a perifériák életébe, gazdasági társadalmi működésüket megbolygatva fenntartják fejlődési tendenciájukat annak érdekében, hogy biztosítsák jövőbeli vezető pozíciójukat. Míg a növekedési pólusok kimondottan az ipari országok térszerkezetének fejlődésére vonatkoznak, addig a centrum és a periféria modellek főként a fejlődő országok problémái felé fordulnak [6].

Friedman centrum-periféria modelljében a közgazdasági szemlélet mellett a társadalmi, a magatartásbeli és a politikai összefüggéseket is figyelembe veszi, így integrálja a korábbi növekedési modellek felismeréseit. A fejlődés elméletét a területi összefüggésekben dolgozta ki, hiszen kiinduló tézise az, hogy az emberi tevékenységek és azok társadalmi interakciói térségformálók, ugyanakkor a térségek jellemzői is meghatározzák ezeket a cselekvéseket, kapcsolatokat. A fejlődés egyrészt alakítja a térszerkezetet, másrészt a területi kapcsolatok rendszere befolyásolja a fejlődési folyamatot. A fejlődést diszkontinuitív (hézagos, szakaszos), kumulatív folyamatként határozza meg, amely lényegében az innovációk sorozataként, majd azok klasztereiként, az innovációk átfogó rendszereként értelmezhető. Ennek alapján a fejlődés megkülönböztethető a növekedéstől, amit egy adott rendszer értelmezve ezt a gazdasági és a politikai rendszerekre egyaránt - szerkezeti változások nélküli expanziójaként határoz meg. Az innovációk Friedman szerint az új ötleteknek vagy eddig nem ismert javaknak és eljárásoknak egy adott társadalmi rendszerbe történő eredményes bevezetését jelenti. Ezek az új ideák, javak, eljárások keletkezhetnek egy adott rendszeren belül vagy átvehetők más rendszerekből, de jelentősen befolyásolják a centrum és a periféria kapcsolatrendszerét [7].

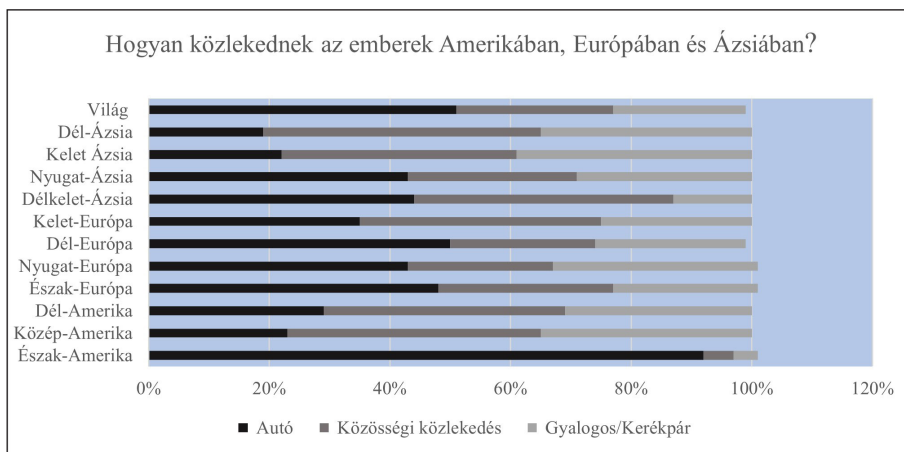
Magyarországon a gazdaságilag kiemelt centrum szerep jól modellezhető Budapest esetében, hiszen számos gazdasági és társadalmi mutató is meghatározóan befolyásolja a főváros nemzetgazdaságban betöltött szerepét. A fővárosi térség értékeit több dolog is bizonyítja: Budapest, ahogy az európai fővárosok is a kultúra, a tudomány, az oktatás, az innováció terei, a globális versenyképesség letéteményesei. Az ország fejlődésének a motorja, történetileg is kiemelt szerepet játszott a gazdasági, a társadalmi modernizációban. Hazánkban ez a térség koncentrálna az ország meghatározó gazdasági erőit és jövőbeni potenciáit. Itt képződik a nemzeti jövedelem 40%-a, itt kerül befizetésre az összes állami adóbevétel több mint harmada. 2000-ben Budapesten volt a külföldi érdekeltségű vállalkozások 53,75%-a és az országban bejegyzett külföldi

működő tőke 58%-a, ami az elmúlt 20 év alatt tovább gyarapodott. Jelenleg a külföldi érdekelt-ségű vállalkozások nem egész 61%-a és az országba érkező külföldi tőke 54%-a található itt [8]. Budapest társadalmi szerkezete számos sajátosságot mutat, hiszen itt koncentrálódik a képzett, felsőfokú végzettséggel rendelkező népesség számottevő hányada. Az országos 23%-kal szem-ben a fővárosi térségben 35,5% a felsőfokú képzetek aránya. A budapesti metropolisztérségben kétszerese a diplomások aránya a többi régióhoz képest, így a kutatás-fejlesztési potenciál 67%-a ide koncentrálódik. Itt kell megállapítanunk, hogy a Visegrádi Négyek Budapesten kívüli három fővárosában ez az arány jóval magasabb, így a regionális lemaradás ezen a téren jelentős.

2. Az utazási szokások átalakulása Budapesten és környékén

A XXI. század elején Budapest és környékének utazási szokásai drámai változásokon mentek ke-resztül. Az autóforgalom növekedése, a közösségi közlekedés fejlődése, a környezetbarát meg-oldások elterjedése, a technológiai innovációk, valamint a COVID-19 járvány hatásai mind hoz-zájárultak ahhoz, hogy az utazási minták átalakuljanak. Célunk alaposan bemutatni és elemezni ezeket a változásokat, valamint azok hatásait és tanulságait.

A közlekedési szokásokat vizsgálva a világ 3 földrészén igen heterogén kép tárul elénk, az 1. ábra jól mutatja, hogy a különböző földrészek és azon belüli területek között igen nagy eltérések mutatkoznak a közlekedési szokásokban, pl. a kilencven százalék fölötti autó használattól (Észak-Amerika) a húsz százalék alatt (Dél-Ázsia) autó használatig mutatható ki óriási különbség, ami a fejlettségi különbségekkel is magyarázható, valamint az alternatív közlekedési lehetőségek számosságával és minőségével is összefüggésben van (1. ábra).



1. ábra

Közlekedési szokások a világ 3 földrészén [9]

Meglátásuk szerint az utazási szokások átalakulása Budapesten és környékén a XXI. század elején egy igen sokrétű folyamat, amely számos tényező, köztük az autóhasználat növekedése, a közös-ségi közlekedés fejlesztése, a környezetbarát megoldások terjedése és a technológiai innovációk hatására történt. A következőkben sorra vesszük azokat az elemeket, amelyek markáns hatást gyakoroltak/nak a rendszerek működésére, a változási folyamatok ki- illetve átalakulására.

2.1. Közösségi közlekedés fejlődése, növekvő autóforgalom

A közösségi közlekedés fejlesztése az egyik legfontosabb válasz volt a növekvő autóforgalom kihívásaira. Budapest tömegközlekedési hálózata jelentős modernizáción ment keresztül az elmúlt években. Új, modern villamosok, metrók és buszok álltak forgalomba, amelyek javították az utazási élményt és a rendszer megbízhatóságát. Ezenkívül a hálózat bővítése is fontos szerepet játszott. A 4-es metró megnyitása például jelentősen javította a város kelet-nyugati irányú közlekedését, és tehermentesítette a felszíni hálózatot.

Az egyik szembetűnő változás az autóforgalom jelentős növekedése volt. Az autótulajdonlás aránya az elmúlt évtizedekben folyamatosan növekedett, ami a forgalom növekedéséhez és a dugók gyakoribbá válásához vezetett, különösen Budapest belvárosában. Az autók számának növekedése súlyosbította a parkolási problémákat is, mivel a rendelkezésre álló parkolóhelyek száma nem tartott lépést a növekvő igényekkel. A parkolóhelyek iránti verseny különösen érezhető a belvárosi területeken, ahol a sűrű beépítés és a korlátozott helyek miatt gyakran nehéz szabad parkolóhelyet találni. A közlekedési infrastruktúra fejlesztése szükséges volt ahhoz, hogy lépést tartson a változó utazási igényekkel. Számos új út és híd épült, hogy enyhítsék a forgalmi dugókat és javítsák a város közlekedési hálózatát, ugyanakkor a közúti infrastruktúra bővítése önmagában nem oldja meg hosszú távra a kapacitáshiányból / túlzott igényből adódó torlódások problémáját. Az intermodális közlekedési központok létesítése, amelyek összekapcsolják a különböző közlekedési módokat, mint például a vasút, busz, és villamos, szintén jelentősen hozzájárult a közlekedési rendszer hatékonyságának növeléséhez.

2.2. Technológiai innovációk, környezetbarát közlekedés

A technológiai innovációk is jelentős hatással voltak az utazási szokásokra. Az utazástervező, valós idejű információt nyújtó mobilalkalmazások és digitális jegyvásárlási lehetőségek révén az utazási tervek könnyebbé és kényelmesebbé váltak. Az okostelefonok elterjedése lehetővé tette az utasok számára, hogy valós időben értesüljenek a menetrendekről, késésekről és alternatív útvonalakról. Budapest egyre inkább okos város megoldásokat is alkalmaz, amelyek intelligens közlekedési rendszerek révén segítik a forgalom irányítását és a közlekedési adatok valós idejű feldolgozását. Az utóbbi években egyre nagyobb hangsúlyt kaptak a környezetbarát közlekedési megoldások is. A kerékpározás népszerűsége jelentősen megnőtt, amit a város új kerékpárutakkal és bérbicikli rendszerekkel támogatott. Az elektromos járművek elterjedése szintén hozzájárult a környezetbarát közlekedési megoldások terjedéséhez. Az elektromos autók és buszok nemcsak a légszennyezést csökkentik, hanem csendesebb és fenntarthatóbb közlekedési lehetőséget is kínálnak, ugyanakkor a parkolási torlódási problémákra az elektromos személygépkocsik nem adnak választ.

2.3. COVID-19 hatása és a turizmus hatása

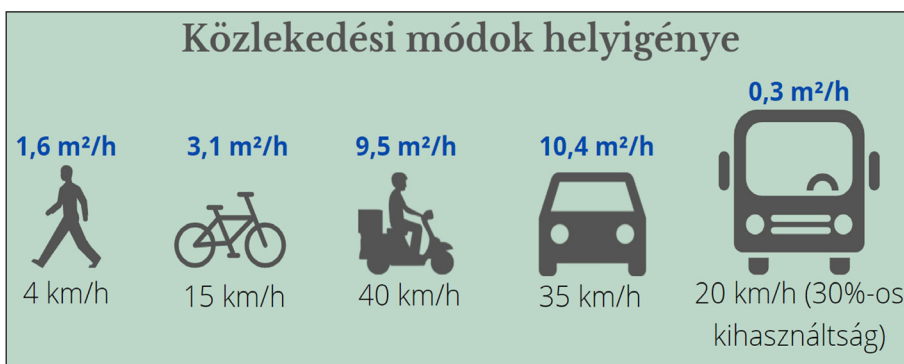
A COVID-19 járvány szintén jelentős hatással volt az utazási szokásokra. A pandémia idején a tömegközlekedés használata drasztikusan csökkent, mivel az emberek tartottak a zsúfoltságtól és a fertőzés kockázatától. Ennek következtében a kerékpározás és gyaloglás népszerűsége nőtt, mivel ezek biztonságosabb és egészségesebb alternatívákat kínáltak. A tömegközlekedési rendszerek számos új biztonsági intézkedést vezettek be, például a rendszeres fertőtlenítést és az utasok közötti távolságtartást biztosító intézkedéseket.

Budapest turisztikai vonz ereje az elmúlt években folyamatosan növekedett, ami növelte az utazási igényeket és a közlekedési hálózat terhelését, különösen a nyári hónapokban. A turisták nagy száma miatt különleges közlekedési megoldások is megjelentek, mint például a turista-

buszok és hajójáratok, amelyek a városnézés élményét javítják. Ezek az új közlekedési formák nemcsak a turisták kényelmét szolgálják, hanem segítenek tehermentesíteni a hagyományos közlekedési hálózatot is.

2.4. Alternatív közlekedési módok, mikromobilitás

A megnövekedett autóhasználat az egészségügyi hatások mellett a városi közlekedés zsúfoltságában is megmutatkozik, ahhoz, hogy az alternatív eszközökben rejlő potenciál képes legyen az úgynevezett kilométer-kannibalizációra az egyéni motorizált közlekedéssel szemben, a városoknak proaktív szerepet kell vállalniuk a mikromobilitás elősegítésére, mely így a közösségi közlekedés „első és utolsó kilométerének” megoldásában jelentős szerephez juthat. Az elektromos rollerek, kerékpárok és egyéb eszközök okozta forgalomnövekedés dilemmájára Valenca et al. [10] is felhívja a figyelmet, véleménye szerint a politikai döntéshozók és a társadalmi szereplők számára komoly kihívást jelent a közlekedési terek újraelosztása a méltányosság és fenntarthatóság elveinek figyelembevételével. Kiemeli továbbá, hogy jelen pillanatban nincs meglévő módszertan és irányelv a megosztott mobilitás piaci szolgáltatóinak üzleti tervezésén túl arra, hogy mi alapján lehet meghatározni a mikromobilitási eszközök számára a jövőben átalakítandó terület elvárt méretét és ezek a döntések milyen hatással lesznek a közlekedés egészének minőségére. Az International Transport Forum 2021. évi mikromobilitás-méltányosság és fenntarthatóság kérdéskörben kiadott összegzésében felhívja a figyelmet a különböző közlekedési módok helyigényére, melyet az alábbi 2. ábra szemléltet [11].



2. ábra

*Közlekedési módok helyigénye (saját szerkesztés)**
 Forrás: [12]

Az alternatív közlekedési eszközök térnyerését jól mutatja hazánkban is, hogy a BKK a város több pontján alakít ki úgynevezett mikromobilitási pontokat a budapesti közösségi közlekedés elősegítésére, mellyel egy modern város változó igényeit szeretné kielégíteni. Véleményünk szerint a tömegközlekedés és mikromobilitás nem egymás alternatívájaként, hanem egymás kiegészítőjeként van jelen a közösségi közlekedésben, melynek alátámasztására a jövőben további kutatásokat tervezünk. Fejlődés várható a jövőben a Z generáció erőteljesebb véleménynyilvánítási képességéből adódóan a környezetvédelem és a modern megoldások terén, továbbá az élhető városok kialakításában és a mobilitás új irányzatainak megalkotásában is idővel egyre nagyobb

* Az ábra egy napi oda-vissza utazás és a munkaidő alatti parkolás egy főre jutó közlekedési helyigényét mutatja óránkénti átlagban a használt eszköz függvényében 6 km megtett utat és 8 óra parkolást figyelembe véve

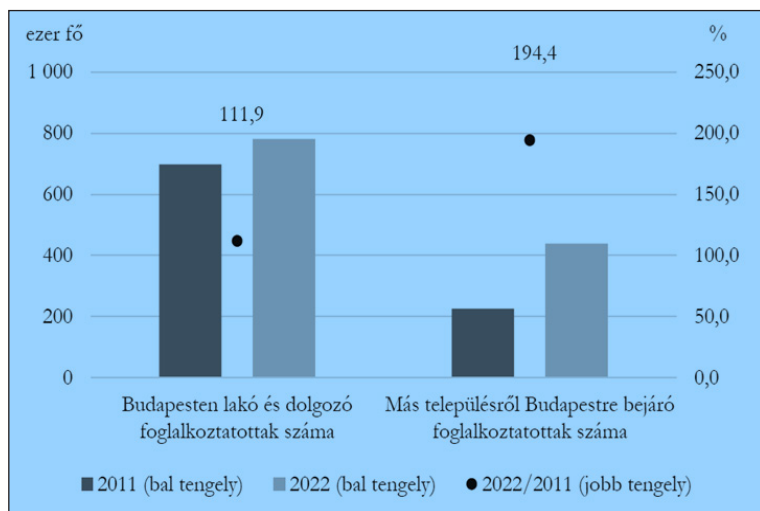
szerepük lesz. A modern mobilitási megoldások a jövőben még számos területen fogják éreztetni hatásukat, jó eséllyel örökre megváltoztatva a jelenlegi ismereteinket és gondolkodásunkat a közlekedés alapvető paradigmáiról, egyben lehetőséget adva olyan új üzleti modellek megjelenésére, melyek a fenntarthatósági törekvéseket a jelenlegi formuláknál hatékonyabban képesek támogatni. [13].

A multimodális közösségi közlekedés megoldásai kiválóan alkalmasak a kereslet áthelyezésére a személyautókról az alternatív mobilitási eszközökre. Ez hosszú távon elősegíti a fenntartható közlekedés fejlődését, amelyben kiemelt szerepe lesz a tömegközlekedésnek és a mikromobilitási eszközöknek.

Ezek az átalakulások tükrözik a város és a környező régió folyamatosan változó igényeit és prioritásait. A változások azt mutatják, hogy Budapest és környéke dinamikusan alkalmazkodik az új kihívásokhoz és lehetőségekhez, miközben igyekszik fenntarthatóbb és élhetőbb közlekedési rendszert kialakítani.

3. Az utazási szokások változása Budapesten és vonzaskörzetében

Míg a budapesti népesség a legutolsó népszámlálás óta 3%-kal, mintegy 51 ezer fővel csökkent, addig az agglomeráció népessége 6,5%-kal, 103 ezer fővel növekedett. A városkörnyéki lakosság szám növekedésénél sokkal nagyobb ütemben nőtt a foglalkoztatás 2012. és 2022. között Budapesten (3. ábra).

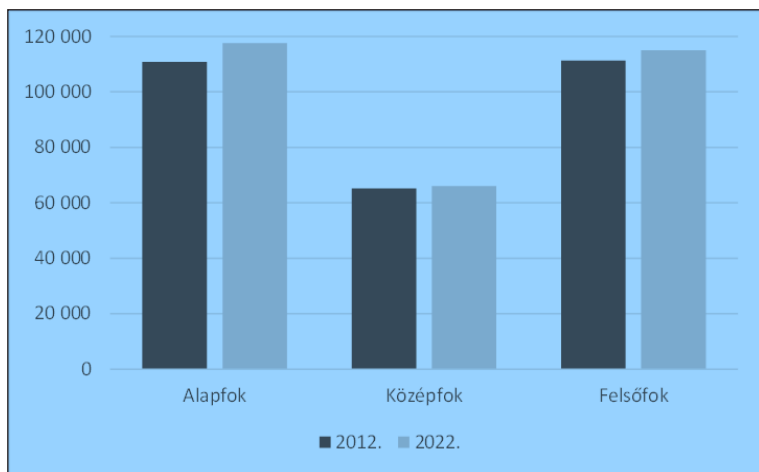


3. ábra

A helyben lakó és a más településekről érkező Budapesten foglalkoztatottak száma

Forrás: [14]

Nappali tagozaton a fővárosban tanulók száma ennél lényegesen kisebb mértékben emelkedett (4. ábra).



4. ábra

A helyben lakó és a más településekről érkező Budapesten tanulók száma

Forrás: [15]

A gazdasági fejlődéssel párhuzamosan emelkedett a gépjárművek száma is a térségben. Míg Budapesten belül a növekedés üteme lelassult, addig Pest vármegyében töretlenül bővül a járműpark (1. táblázat). Budapesten ma 1000 lakosra 426 személygépkocsi jut, Pest vármegyében ez az érték 486. Sajnálatos, hogy a járműállomány átlagéletkora igen magas, így a károsanyag kibocsátási jellemzői is kedvezőtlenek.

1. táblázat

Személygépkocsik számának alakulása Budapesten és Pest vármegyében

Személygépkocsik száma				
	2012.	2019.	2022.	2023.
Budapest	565 563	684 197	710 752	712 555
Pest vármegye	422 107	568 012	618 051	645 978
Változás 2012-höz	100%	127%	135%	138%

Forrás: [16]

A Covid világvárvány idején a gazdasági folyamatok kényszerű visszaesése miatt mind a termelés, mind az utazási igény csökkent. Az alternatív foglalkoztatási formák elterjedését a járvány jól katalizálta; a nem jelenléti jellegű munkahelyeken elterjedt, és kisebb-nagyobb mértékben a mai napig jellemző a távmunka, ami csökkenti a munkába járás célú utazási igényeket.

Az orosz-ukrán konfliktus nyomán 2022-ben elszabadult energia árak visszafogták az üzemanyag iránti keresletet is. A 2022 decemberéig fenntartott hatósági benzin- és gázolajár ugyan részben tehermentesítette a magánszemélyeket (az összesített fogyasztás Budapesten és Pest vármegyében gyakorlatilag elérte a 2019. évi szintet), az üzemanyagfelhasználás növekedési üteme azonban e két tényező hatására 2023-ra megtorpant (2. táblázat).

2. táblázat

Benzin- és motorikus gázolaj fogyasztás és jellemző fogyasztói ár alakulása Budapesten és Pest vármegyében

Benzin üzemanyagfogyasztás (millió liter)				
	2012.	2019.	2022.	2023.
Budapest	309	378	344	327
Pest vármegye	255	342	340	352
Változás 2012-höz	100%	128%	121%	120%
Jellemző ár Ft/l	407-449	347-414	481	577-655

Forrás: [17]

Gázolaj üzemanyagfogyasztás (millió liter)				
	2012.	2019.	2022.	2023.
Budapest	305	399	370	330
Pest vármegye	309	569	639	598
Változás 2012-höz	100%	158%	164%	151%
Jellemző ár Ft/l	415-446	373-422	481	562-721

Forrás: [17]

A közösségi közlekedésben résztvevők száma a Covid világvárvány hatására jelentősen csökkent (3. táblázat). Az utasforgalom 2022-re megközelítette a járvány előtti szintet. 2023-ra a hazai belföldi vasúti - a menetdíjbevételekből szorzószámokkal képzett - utasszám jelentősen növekedett. Az utazáshoz köthető bevételek – a tarifa változatlanlansága ellenére – látványosan nőttek (3. táblázat).

3. táblázat

A Budapest-környéki és a MÁV-Start belföldi vasúti utasforgalom és az utazásokhoz köthető bevételek alakulása

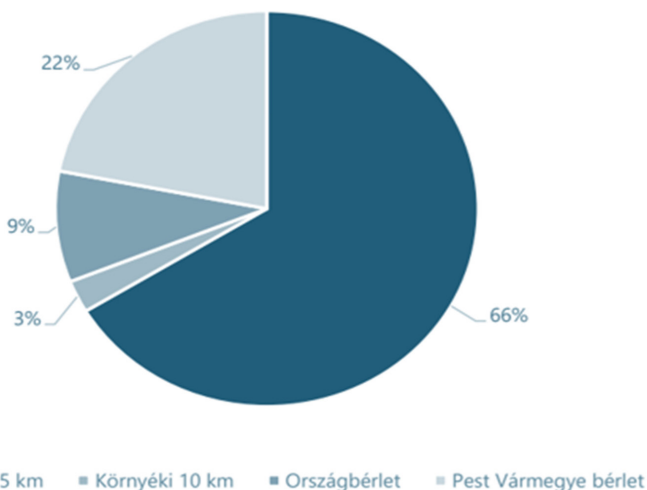
Budapesti és környéki utasszámok (millió) és menetdíjbevétel				
	2012.	2013.	2022.	2023.
BKK+HÉV+"kék"Vo lánbusz	1372	1351	1210	1310
Változás 2012-höz	100%	98%	88%	95%
Bevétel (millió Ft)	69 100	42 600	69 025	n.a.

Forrás: [18]

MÁV-Start belföldi utasszám (millió) és menetdíjbevétel			
	2016.	2022.	2023.
Fizető	108	103	143
Díjmentes	29	29	29
Változás 2016-hoz	100%	96%	126%
Bevétel (millió Ft)	37 291	44 184	49 079

Forrás: [18]

A vasúti bevételek növekedéséhez 2023-ban hozzájárult a 2023 májusában bevezetett ország- és vármegyebérlet is. Az új díjtermék lehetővé tette, hogy az egyes megyehatárokon belül, illetve országosan korlátlan számú helyközi utazást bonyolítsanak a tulajdonosok gyakorlatilag a 10, illetve a 30 kilométeres övezeti bérlet árán. Az új bérletek már 2023-ban is népszerűek lettek; a budapesti közellkörnyéki települések kivételével a fővárosi agglomerációban megérte ezeket vásárolni a munkavállalóknak. A fővárosból kiinduló „kék” agglomerációs autóbuszok bérletes utasainak kétharmada még az 5 kilométeres övezeti bérletet vásárolta meg 2023 őszén (4. ábra). 2023-ban összesen 4.070.797 vármegye- és országbérlet talált gazdára. A legtöbb, a nappali és esti tagozatos diákok által 1.890 forintért váltható havi országbérletből fogyott (több, mint 1,4 millió). A vármegyebérletekből Pest vármegyében vették a legtöbbet, közel 750 ezret.

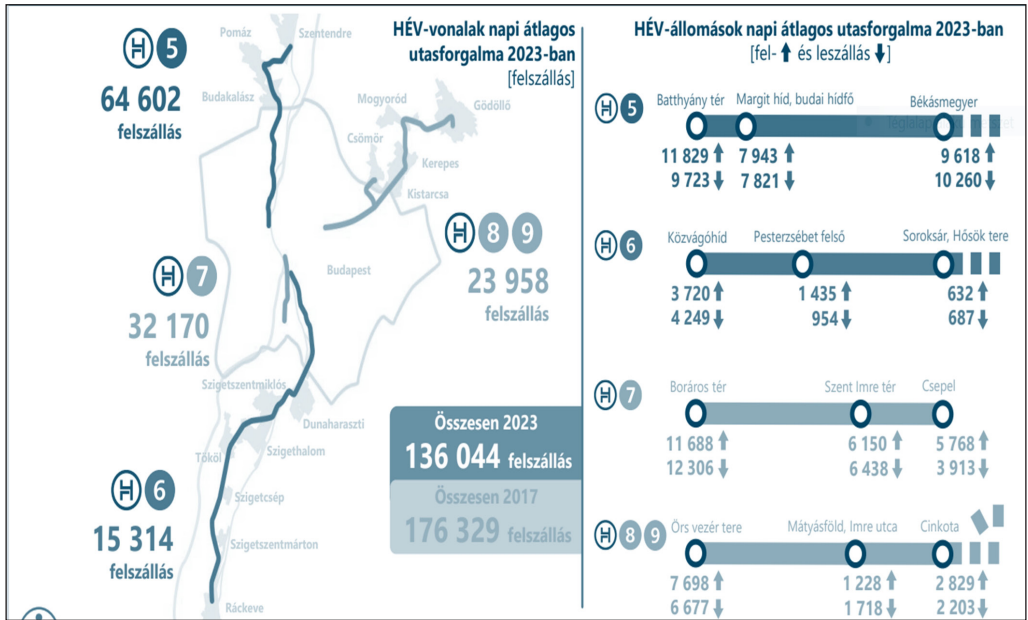


5. ábra

Bérlethasználati szokások az agglomerációs „kék” buszokon 2023. őszén

Forrás: [19]

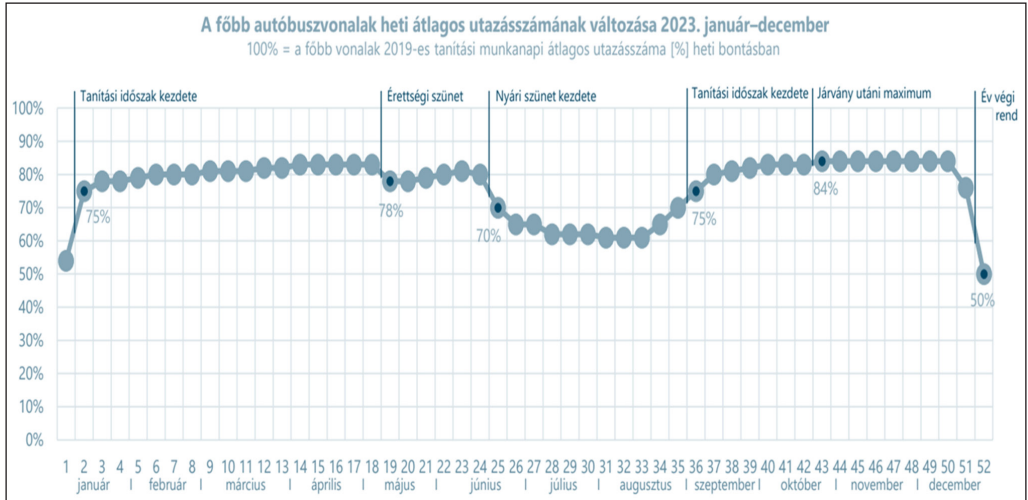
A növekvő utasforgalmi értékeket azonban kritikával kell kezeljük. Az elvégzett utasszámlálások nem teljesen támasztják alá a forgalom növekedését. A HÉV hálózaton utazók száma 2017-ben mérthez képest 23%-kal csökkent 2023-ra. Budapest 10 jellemző autóbuszvonalán a forgalom 2023-ban csak a Covid előtti szint 84%-át érte el, miközben a budapesti autóforgalom a vizsgált útszakaszokon gyakorlatilag meghaladta a Covid előtti szintet (5-6-7. ábrák).



6. ábra

A budapesti HÉV vonalak munkanapi felszállászáma 2017-ben és 2023-ban

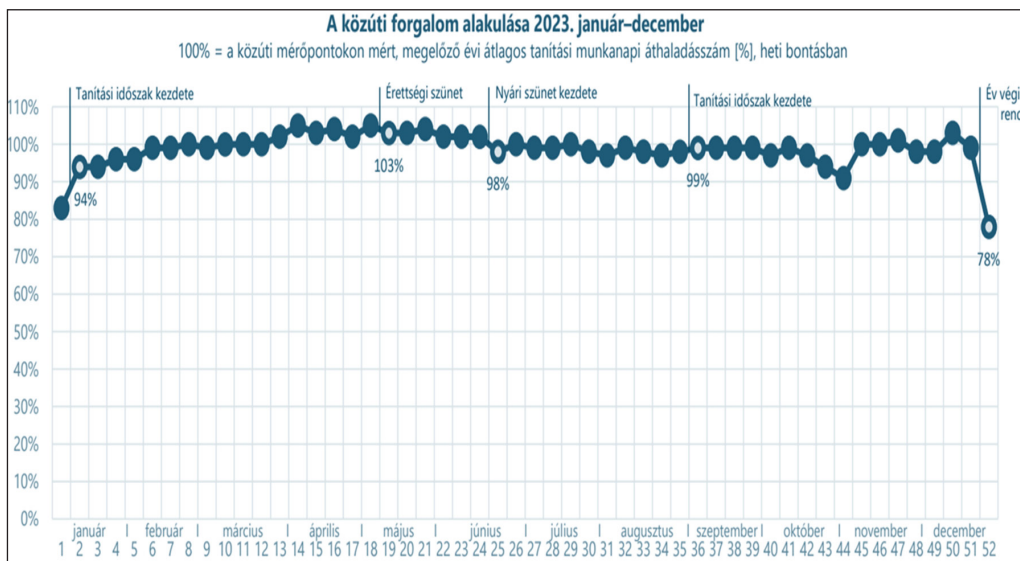
Forrás: [20]



7. ábra

A főbb budapesti autóbuszvonalak heti átlagos utasszáma 2023-ban a 2019. évi utasszám %-ában

Forrás: [21]



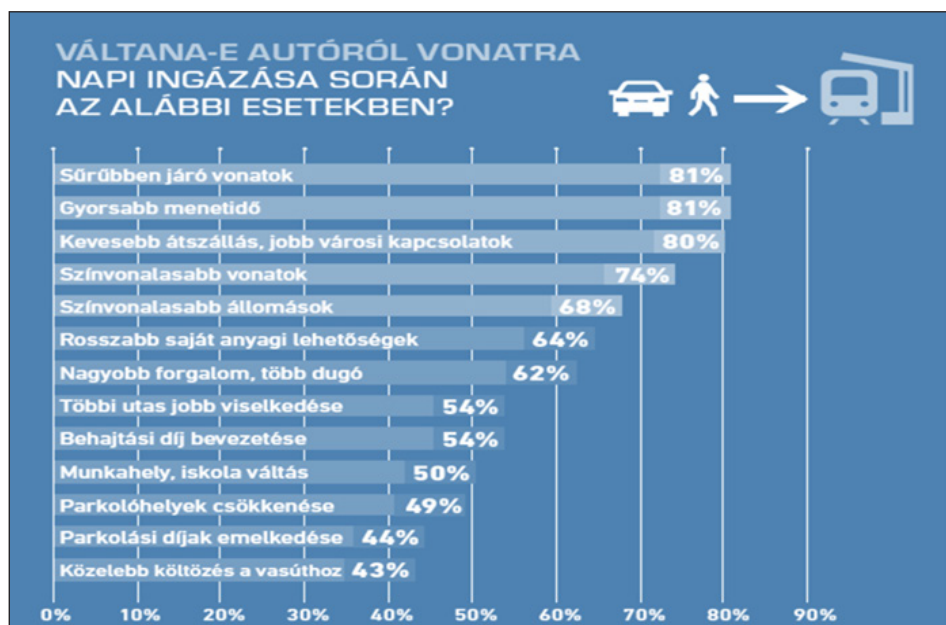
8. ábra

A közúti forgalom alakulása 2023-ban a 2019. évi forgalom %-ában

Forrás: [22]

3.1. A módváltás alakulása

Budapest közigazgatási határát egy átlagos munkanapon irányonként 310–340 ezer, azaz összesen 620–680 ezer egyéni gépjármű lépi át. Egy autó átlagos kihasználtságát 1,2 és 1,3 közötti értékre becsülve ez összesen 780–860 ezer utazást és fele ennyi ingázót jelent. Ebből a forgalomból 210–230 ezer járműnek keletkezik parkolási igénye a fővárosban naponta. [23] Közösségi közlekedéssel ezzel szemben kb. 180-200 ezren érkeznek naponta a fővárosba. Jelenleg mintegy 5.000 P+R férőhely található Budapest határain belül, ezt egészíti ki a budapesti agglomerációban addicionális 5.000 P+R férőhely. Az utazás jelentős részét az ingázók dugóban töltik: naponta átlagban 37 percet. Ez évente 300 milliárd forint gazdasági kárt okoz a társadalomnak. Miközben a közösségi közlekedés kínálata Budapesten belül évről-évre – változó mértékben ugyan – növekszik, a városkörnyéki közlekedésben a közlekedési folyosók úgy vasúton, mint közúton csúcsidőben kapacitáshatáron túltelítettek; így a városhatárt átlépő közösségi közlekedési kínálat érdemben nem tudott lépést tartani az utazási igényekkel. Beszédesebb, hogy jobb kínálat esetén jelentősen, akár 80%-kal növelhető lenne a közösségi közlekedést használók száma, ezzel a személygépkocsit használó ingázók száma akár harmadával is csökkenne. A módváltást leginkább a kínálat mennyiségi és minőségi javításával, az utazási idő csökkentésével lehetne elérni (9. ábra).



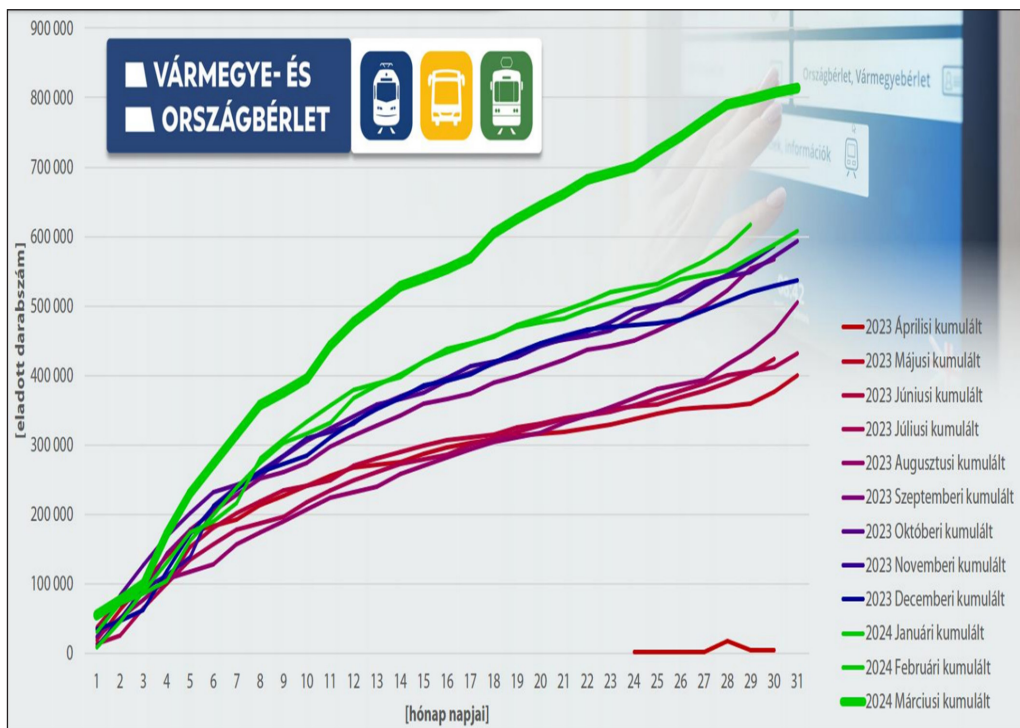
9. ábra

Mi szükséges ahhoz, hogy személygépkocsi helyett a vonatot válasszák a napi ingázáshoz?

Forrás: [24]

3.2. A tarifareform hatásai

2024. március 1-jétől új fejezet kezdődött a hazai közösségi közlekedésben. A kormány átfogó tarifareformot hajtott végre – mintegy átvágva a kérdés gordiuszi csomóját. Leegyszerűsödtek a kedvezmények, a távolsági övezetek szerinti bérletjegyeket felváltotta a vármegye- és országbérlet. A Pest vármegyére érvényes bérlet és az országbérlet Budapest közigazgatási határan belül a BKK megrendelésére közlekedő járatokon is érvényes. A teljes árú Budapest-bérletek havi ára 500 forinttal csökkent; érvényessége a közigazgatási határon belül megmaradt a MÁV-Start személyvonatokon és a Volánbusz „sárga” elővárosi járatain. Annak a budapestinek, aki akár csak havi egy alkalommal utazik a fővároson kívülre, már megéri a vármegye bérletet vásárolni; diákok esetében a 90%-os szociális menetdíjtámogatásra tekintettel akár az országbérlet váltása is szóba jöhet, hiszen a korábbi 3.450 forintos diák Budapest bérlet helyett 1.890 forintért az országbérlet Budapest mellett az egész ország helyközi hálózatán érvényes. Az új bérletfajták és az új árak alapvetően változtatták meg a piacot. 2024 márciusában a teljes árú Budapest bérlet értékesítése 17%-kal (mintegy 55 ezerrel) csökkent. Ugyanakkor a februári mennyiség kétszeresét, 147 ezer teljes árú és a februári mennyiségnél 133%-kal több, 144 ezer kedvezményes Pest vármegyebérletet értékesítettek. A 10. ábrán jól látható, hogy a tarifareform hatására ezen bérletek havi eladása mintegy 200 ezerrel nőtt 2024. februárhoz képest.



10. ábra

Vármegye- és országbérlet értékesítési adatok

Forrás: [25]

A márciusi értékesítési volumen alapján úgy becsülhető, hogy a BKK saját menetdíjbevételei éves szinten mintegy 18-20 milliárd forinttal csökkennek. A Pest vármegye és az országbérletek értékesítéséből (és a kedvezményes bérletek után járó SZMT-ből) ez a veszteség részben pótolható lesz.

Konklúzió

Mint már említettük, a közlekedési infrastruktúra az egyik meghatározó tényező a települések működtetése szempontjából, hiszen a hatékony közlekedési hálózat elengedhetetlen a munkaerő mobilitásának, a gazdasági kapcsolatok kiépítésének és a turizmus fellendülésének biztosításához. Az elmúlt időszakot vizsgálva számos komplex hatás befolyásolta a budapesti közlekedési folyamatok átalakulását, ezek számos elemét a tanulmányunkban elemeztünk, keresve ezen hatások kiváltó okait és gazdasági társadalmi következményeit. Célunk volt alaposan bemutatni és elemezni ezeket a változásokat, valamint azok hatásait és tanulságait. Az autóforgalom növekedése, a közösségi közlekedés fejlődése, a környezetbarát megoldások elterjedése, a technológiai innovációk, valamint a COVID-19 járvány hatásai mind hozzájárultak ahhoz, hogy az utazási minták átalakuljanak. Az utazási szokások változásának Budapesten és vonzáskörzetében, melybe beletartozik a módváltás alakulása, valamint a tarifareform hatásainak kezdeti eredményeit is összegeztük.

Míg Budapesten belül a növekedés üteme lelassult, addig Pest vármegyében töretlenül bővül a járműpark. Az alternatív foglalkoztatási formák elterjedését a járvány jól katalizálta; a nem jelenléti jellegű munkahelyeken elterjedt, és kisebb-nagyobb mértékben a mai napig jellemző a távmunka, ami csökkenti a munkába járás célú utazási igényeket.

Miközben a közösségi közlekedés kínálata Budapesten belül évről-évre – változó mértékben ugyan – növekszik, a városkörnyéki közlekedésben a közlekedési folyosók úgy vasúton, mint közúton csúcsidekben kapacitáshatáron túltelítettek; így a városhatárt átlépő közösségi közlekedési kínálat érdemben nem tudott lépést tartani az utazási igényekkel. Beszédes, hogy jobb kínálat esetén jelentősen, akár 80%-kal növelhető lenne a közösségi közlekedést használók száma, ezzel a személygépkocsit használó ingázók száma akár harmadával is csökkenne. A módváltást leginkább a kínálat mennyiségi és minőségi javításával, az utazási idő csökkentésével lehetne elérni.

A tarifareform hatására az ország- és vármegyebérletek havi eladása márciusra mintegy 200 ezerrel nőtt 2024. februárhoz képest, A márciusi értékesítési volumen alapján úgy becsülhető, hogy a BKK saját menetdíjbevételei éves szinten mintegy 18-20 milliárd forinttal csökkennek, melyet az új bérletekből jutó részesedés részben kompenzál. Természetesen a különböző bérlet-típusokra vonatkozó értékesítési adatok hosszabb időtávra vonatkozó kimutatásainak majdani feldolgozása után változhat majd a kép, amit jelenleg láttunk.

Irodalomjegyzék

- [1] Kovács, Z.; Farkas, J.; Lennert, J.; Szabó, B.; Egedy, T. (2022): Az urban sprawl (városi szétterülés) és a területhasználat változásának vizsgálata a budapesti városrégióban – múlt, jelen, jövő. *city.hu Várostudományi Szemle* 2(3), 53–74.
- [2] Lőrinc B.- Káposzta J. (2024): Foglalkoztatás és mobilitás a budapesti munkaerő-piaci vonzásokörzetben, *STUDIA MUNDI – ECONOMICA* 11:1 pp. 68-78, 11 p.(2024)
- [3] García Nicolás, C. (2016): Territorial competitiveness and the European investment plan against regional inequality. *Journal of Regional Research*, Vol. 35, pp. 177-201.
- [4] J. Malczewski (2009): Central Place Theory. *International Encyclopedia of Human Geography*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.01042-7>
- [5] André Dauphiné (2017): *Theories of Geographical Locations. Geographical Models with Mathematica*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-225-0.50006-3>
- [6] Káposzta, J. (2007): *Regionális gazdaságtan*. Tankönyv, DE ATC AVK, Debrecen, pp. 273.
- [7] Nemes Nagy J. (2009): *Terek, helyek, régiók A regionális tudomány alapjai*. Akadémiai Kiadó, 350 p. ISBN: 9789630586566
- [8] Káposzta, J.; Tóth, T. (2023): A közösségi közlekedés szerepe a térgazdaság versenyképességében.: A centrum-periféria reláció nemzetgazdasági összefüggéseinek kapcsolatrendszeri In: *Közlekedéstudományi Egyesület - Közlekedéstudományi Egyesület (szerk.) Ember a városi közlekedésben: City Rail 2023 Tudományos Konferencia, Budapest, Magyarország : BKV Zrt., Közlekedéstudományi Egyesület (KTE) (2023) 204 p. pp. 31-46.*
- [9] Pallavi Rao (2024): *How People Get Around in America, Europe, and Asia* (visualcapitalist.com) (2024) Letöltés dátuma: 2024.06.03.
- [10] Valenca G. – Moure F. – Morais de Sá A. (2021): Main challenges and opportunities to dynamic road space allocation: From static to dynamic urban designs, *Journal of Urban Mobility*, 2021/1

- [11] International Transport Forum, Micromobility, Equity and Sustainability, Summary and conclusions, ITF Roundtable Reports, OECD Publishing, 2021/185 Roundtable
- [12] Töröcsváry, I.; Jangel, M.; Mészáros-Pintér, Sz.; Tóth, T. (2023) A mikromobilitás szerepe a fenntartható közösségi közlekedésben - új trendek és hatások, In: Horváth, Balázs; Horváth, Gábor (szerk.) XIII. International Conference on Transport Sciences / XIII. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia, Győr: Multimodality and sustainability / Multimodalitás és fenntarthatóság, Győr, Magyarország: Közlekedéstudományi Egyesület (2023) pp. 280-292, 13 p.
- [13] KSH 2024, https://www.ksh.hu/stadat_files/okt/hu/okt0036.html Letöltés dátuma: 2024.06.13.
- [14] KSH 2024, https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0040.html Letöltés dátuma: 2024.06.11.
- [15] www.petroleum.hu/dokumentumok/uzemanyag-statisztikak/ Letöltés dátuma: 2024.06.11.
- [16] NAV 2024, https://nav.gov.hu/adatbazisok/adostatisztikak/jovedeki_statisztikak Letöltés dátuma: 2024.06.12.
- [17] KTE - Új megoldások a közösségi közlekedésben Bikal, 2023. november 8-9.. A nagyvárosi közösségi közlekedési vonalak integrációja; Chifiriuc Péter előadása, <https://ktenet.hu/wp-content/uploads/2023/08/Chifiriuc-Peter.pdf>, Letöltés dátuma: 2024.04.16.
- [18] BKV 2024, BKV forgalmi beszámoló; BKK Zrt. Éves jelentés 2013 és 2022.
- [19] Új megoldások a közösségi közlekedésben Bikal, 2023. november 8-9. Kihívások a MÁV-Start Zrt. előtt; Mosóczi László előadása, <https://ktenet.hu/wp-content/uploads/2023/08/Dr.Mosoczi-Laszlo.pdf>, Letöltés dátuma: 2024.04.16.
- [20] BKK 2024, A budapesti HÉV vonalak munkanapi felszállószáma 2017-ben és 2023-ban, <https://bkk.hu/downloads/22872/> Letöltés dátuma: 2024.06.09.
- [21] BKK 2024, A főbb budapesti autóbuszvonalak heti átlagos utasszáma 2023-ban a 2019. évi utasszám %-ában, <https://bkk.hu/downloads/23913/> Letöltés dátuma: 2024.06.09.
- [22] BKK 2024, A közúti forgalom alakulása 2023-ban a 2019. évi forgalom %-ában <https://bkk.hu/downloads/23913>, Letöltés dátuma: 2024.06.11.
- [23] BKK Egységes Forgalmi Modell (EFM) és a BFVT Budapest és a fővárost körülvevő agglomerációs települések viszonya c. tanulmányterv (2023. május)
- [24] Miniszterelnökség – ITM - BFK – MÁV – Trenecon – Főmterv – KTI: Budapesti Agglomerációs vasúti stratégiai társadalmi egyeztetési anyag, 22. oldal
- [25] KTE Regionális közlekedési konferencia Debrecen 2024. április 3-4 Hegyi Zsolt: A tarifareform alulnézetből c. előadása, https://ktenet.hu/wp-content/uploads/2024/01/3_Hegyi-Zsolt.pdf, Letöltés dátuma: 2024.06.11.
-
-

**A Konferencia előkészítésében és lebonyolításában résztvevő
KTE és BKV Zrt. munkatársak:**

Dr. Horváth Balázs, Dr. Tóth János,
Orosz Balázs, Kaposvári Lilla,
Szabó Orsolya, Szijártó Klarissza,

Nagy László, Tóth Csaba,
Tóth Mónika, Koósz Gábor László,
Molnár Virág, Bende Borbála,
Pete Zsófia, Szépvölgyi Norbert Balázs,
Kerti László, Danis Gábor,

Kálmán Zsolt

