

VÁROSI MOBILITÁS

–

TUDATOS
MÓDVÁLASZTÁS

–

ELEKTRIFIKÁCIÓ



XXVI. VÁROSI KÖZLEKEDÉS
AKTUÁLIS KÉRDÉSEI

City Rail 2026

Szakmai Konferencia

Balatonfenyves
2026. szeptember 9-10.

City Rail 2026
Szakmai konferencia

Elektronikus változat

**„VÁROSI MOBILITÁS – TUDATOS MÓDVÁLASZTÁS –
ELEKTRIFIKÁCIÓ”**

**CITY RAIL 2026
SZAKMAI KONFERENCIA**

**EGYÜTTMŰKÖDÉSBEN
A XXVI. VÁROSI KÖZLEKEDÉS AKTUÁLIS KÉRDÉSEI
KONFERENCIÁVAL**

Balatonfenyves

2026. szeptember 9–10.

**CITY RAIL 2026 SZAKMAI KONFERENCIA
EGYÜTTMŰKÖDÉSBEN
A XXVI. VÁROSI KÖZLEKEDÉS AKTUÁLIS KÉRDÉSEI KONFERENCIÁVAL**

Első nap (2026. szeptember 9. szerda)

	Főépület (üdülői étterem)	Szekció termek ("A" épületi rendezvényterem és Csónakház épülete)
8:30 – 10:00	Regisztráció, szállás elfoglalása	
10:00 – 10:30	Köszöntők	
10:30 – 11:10	Plenáris előadások	
11:10 – 11:30	Szünet	
11:30 – 12:50	Plenáris előadások	
12:50 – 14:10	Ebéd a Főépületben	
13:20 – 14:10		 Magyar Közlekedési Szövetség közgyűlése (zártkörű rendezvény a "Csónakház" épületében)
14:10 – 15:10	Kerekasztal beszélgetés Kis- és középvárosaink közösségi közlekedésének szervezése, finanszírozása	
15:10 – 15:30	Plenáris előadások	
15:30 – 15:50	Szünet	
15:50 – 16:35	I. szekciós előadások	II. és III. szekciós előadások
16:35 – 17:00	Felkészülés az opcionális programra	
17:00 – 20:00	Program lehetőség: Balatonfenyvesi Gazdasági Vasút meglátogatása (különvonattal Csisztafürdő végállomásig és vissza)	Egyéb program lehetőség: szabadidő, felkészülés a Gálavacsorára
20:00 – 20:30	Felkészülés a Gálavacsorára	
20:30 – 22:30	Gálavacsora a Főépületben	
22:30 – 23:59		Kötetlen beszélgetési lehetőség a Söröző épületében

Második nap (2026. szeptember 10. csütörtök)

	Főépület (üdülői étterem)
8:00 – 9:00	Reggeli a Főépületben
9:00 – 11:20	Plenáris előadások
11:20 – 11:40	Szünet
11:40 – 13:55	Plenáris előadások, felmerült kérdések megválaszolása
13:55 – 14:00	Konferencia zárása, elköszönés
14:00 – 15:00	Ebéd a Főépületben

A programváltozás jogát a szervezők fenntartják!



BUDAPESTI
KÖZLEKEDÉSI
KÖZPONT

A Magyar Tudományos Akadémia 200 éves fennállásának ünnepi programsorozatába illeszkedve a Konferencia több előadása élő közvetítésre kerül a BKV YouTube csatornáján



„VÁROSI MOBILITÁS – TUDATOS MÓDVÁLASZTÁS – ELEKTRIFIKÁCIÓ”

A XXVI. Városi Közlekedés aktuális kérdései és a CITY RAIL 2026 Szakmai Konferencia résztvevőinek köszöntése

A szervezők és magam nevében is nagy örömmel, tisztelettel köszöntöm Önöket! Engedjék meg, hogy figyelmükbe ajánljam a XXVI. Városi Közlekedés aktuális kérdései és a CITY RAIL 2026 Szakmai Konferencián elhangzó előadásokat, valamint jelen Kiadványunkat, amely több előadói cikket is tartalmaz.

Rendezvényünk évről évre megújuló mottói jól tükrözik a közösségi közlekedéssel szembeni társadalmi és technológiai elvárások változását. A hangsúly mára az egyszerű utasszállításról a komplex, fenntartható és magas színvonalú mobilitási szolgáltatások megteremtésére helyeződött át. Idei mottónk – **„VÁROSI MOBILITÁS – TUDATOS MÓDVÁLASZTÁS – ELEKTRIFIKÁCIÓ”** – különösen időszerű.

Az elmúlt időszak ismét bebizonyította, hogy szűkebb és tágabb környezetünket gyors, sokszor radikális változások formálják, amelyekből adódó új feladatok a sokszor forráshiányos működés közepette súlyos kihívások elé állítják a közlekedési ágazat szereplőit. Az ilyen körülmények közötti tisztes helytállás mellett azonban ne feledjük, a közlekedésnek nem csupán követnie kell a városfejlődést, hanem aktívan alakítania is azt. Szakemberként és döntéshozóként közös felelősségünk olyan mobilitási környezet kialakítása, amely javítja az életminőséget, hozzájárul a fenntarthatósághoz és támogatja a gazdasági fejlődést.

Nem hagyhatjuk szó nélkül a munkánkat egyre inkább meghatározó klímaváltozás hatásait sem. Az idei év különösen próbára tette a felkészültségünket. Mindannyian megtapasztalhattuk a rendkívüli hőség és a kánikula idején történő szolgáltatásnyújtás nehézségeit, de visszaemlékezhetünk a komoly havazások okozta nehézségekre is. Ezek a leküzdött infrastrukturális és humán kihívások rávilágítottak arra, hogy a klímaváltozás hatásai közvetlenül érintik a mindennapi munkánkat, és a jövőben még nagyobb rugalmasságot követelnek meg tőlünk. Meggyőződésem, hogy ezekre a kihívásokra csak közösen, nyílt szakmai párbeszéddel, tapasztalataink és bevált gyakorlataink megosztásával adhatunk megfelelő válaszokat. Erre kiváló lehetőséget teremt az immár hetedik éve közös rendezésű **Városi Közlekedés** és az üzemeltetési kérdésekre fókuszáló **CITY RAIL** konferenciasorozat. A két rendezvény egymást erősítő programjai lehetőséget biztosítanak arra, hogy a különböző területeken dolgozó szakemberek megosszák egymással tapasztalataikat, és közösen keressenek válaszokat a jövő kihívásaira. A Konferencián – teljesség igénye nélkül – képet kapunk a hazai városok közösségi közlekedését érintő legégetőbb strukturális, finanszírozási és technológiai kihívásairól, valamint a szektor legfontosabb aktuális kérdéseiről. Bízom benne, hogy a konferencia valamennyi résztvevője új szakmai ismeretekkel, hasznos tapasztalatokkal és inspiráló együttműködésekkel gazdagodik. Arra biztatok mindenkit, hogy osszuk meg egymással tudásunkat, folytassunk konstruktív szakmai párbeszédet, és közösen gondolkodjunk a városi mobilitás jövőjéről, lehetőségeiről.

Szeretnék köszönetet mondani az előadóknak a megtartott előadásaiért, külön is kiemelve a jelen kiadványban megjelenő magas színvonalú szakmai cikkeket publikáló előadóinkat, akik időt és energiát szántak szakmai ismereteik, tapasztalataik ilyen módon történő megosztására is.

Köszönet illeti továbbá a BKV Zrt., a Közlekedéstudományi Egyesület és a BKK Zrt. azon munkatársait, akik a szervezésben és megvalósításban egyaránt aktív szerepet vállalva járultak hozzá a konferencia zökkenőmentes-ségéhez, sikeréhez.

Kívánok mindannyiuknak tartalmas szakmai eszmecseréket, inspiráló gondolatokat és eredményes együttműködést!

Balatonfenyves, 2026. szeptember 9-10.

Héri József
vasúti üzemeltetési
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.*

“URBAN MOBILITY – CONSCIOUS TRANSPORT CHOICES – ELECTRIFICATION”

Welcome to the 26th Conference on Current Issues in Urban Transportation and the CITY RAIL 2026 Professional Conference

On behalf of the organizers and myself, it is my great pleasure and honour to welcome you all. Allow me to draw your attention to the presentations delivered at the 26th Conference on Current Issues in Urban Transportation and the CITY RAIL 2026, as well as to this Publication, which also includes several articles by the speakers. The ever-evolving themes of our event each year clearly reflect the changing social and technological expectations regarding public transportation. The focus has now shifted from simple passenger transportation to creating complex, sustainable, and high-quality mobility services. This year's motto — “URBAN MOBILITY – CONSCIOUS TRANSPORT CHOICES – ELECTRIFICATION” — is particularly relevant.

Recent events have once again demonstrated that our immediate and broader environments are shaped by rapid, often radical changes, and the new tasks arising from these changes pose serious challenges to stakeholders in the transportation sector, who often operate with limited resources. However, while striving to perform admirably under these circumstances, we should not forget that transportation must not only keep pace with urban development but also actively shape it. As experts and decision-makers, it is our shared responsibility to create a mobility environment that improves quality of life, contributes to sustainability, and supports economic development.

Nor can we fail to mention the effects of climate change, which are increasingly shaping our work. This year has particularly put our preparedness to the test. We have all experienced the difficulties of providing services during periods of extreme heat and prolonged heat waves, but we can also recall the challenges caused by heavy snowfall. These infrastructure and human resource challenges we have overcome have highlighted that the effects of climate change directly impact our daily work and will require even greater flexibility from us in the future.

I am convinced that we can only provide adequate responses to these challenges by working together, engaging in open professional dialogue, and sharing our experiences and best practices. The Urban Transportation and CITY RAIL conference series—now in their seventh year of joint organization and focusing on operational issues—provide an excellent opportunity for this. The mutually reinforcing programs of the two events provide an opportunity for professionals working in various fields to share their experiences and jointly seek answers to the challenges of the future.

At this conference, while not attempting to provide an exhaustive overview, we will gain insight into the most pressing structural, financial, and technological challenges facing public transport in Hungarian cities, as well as the key issues currently shaping the sector.

I am confident that all participants will leave the conference enriched with new professional knowledge, valuable experience, and inspiring opportunities for cooperation. I encourage everyone to share their expertise, engage in constructive professional dialogue, and think together about the future of urban mobility and the opportunities that lie ahead.

I would like to express my sincere gratitude to all presenters for their valuable contributions to the conference. I would especially like to acknowledge those speakers whose high-quality professional articles are published in this volume and who have devoted additional time and effort to sharing their expertise and experience in this form.

We would also like to thank the staff of BKV Zrt., the Transport Science Association for Transport (KTE), and BKK Zrt., who played an active role in both the organization and implementation of the conference, thereby contributing to its smooth running and success.

I wish you all fruitful professional discussions, inspiring ideas, and productive collaboration throughout the conference.

Balatonfenyves, 9-10 September 2026

József Héri
Deputy CEO for Railway Operations
BKV Zrt.

Following the conference, the professional materials will be available at the websites of BKV Zrt. and KTE (<https://www.bkv.hu> and <https://ktenet.hu>)

City Rail 2026 Konferencia

Balatonfenyves

2026. szeptember 9–10.

Tartalom

Bevezető gondolatok	3
Introductory Thoughts	4
Tartalomjegyzék	5
Konferencia program	7
Cikkek – Kivonatok	
A BKV nemzetközi tükrében, avagy kevesebből többet – A Társaság ereje belülről fakad: emberek, zöld megoldások, innováció <i>Biró Dávid, Mészáros-Pintér Szilvia</i>	13
A „KÖZÖSégi” közlekedés változásai Debrecen városában <i>Dr. Denke Zsolt és Dr. Tóth Szabolcs</i>	27
A stuttgarti közösségi közlekedés egy kihívása és az arra adott válasza egy nem tősgyökeres budapestitől <i>Krausz Márton</i>	37
Telefonos futásjóságmérés bevezetése az üzemeltetésben és a minőségbiztosítási folyamatokban <i>Kelemen Zsolt</i>	47

Tömegközlekedési mozgólépcsők és felvonók üzemeltetési tapasztalatai <i>Csomai-Kürtössy Roland</i>	57
A budapesti fogatlankerekű vasút – az adhéziós vasútüzem lehetőségének vizsgálata <i>Dr. Hartványi Tamás - Rózsahegyi Károly</i>	69

Támogatóink

Ventus-953
since 1983

MTA 200 ÉVES
A MAGYAR
TUDOMÁNYOS
AKADEMIA

TUBA
TUDOMÁNYBARÁT TELEPÜLÉS

real
City

networker

DELL Technologies

INGRAM MICRO®

PLTS
Ipari Mérnöki Iroda
Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

HC Linear®
K+F MEGOLDÁSOK | SINCE 1990

innotéka
tudomány • innováció • zöldkörnyezet

KONFERENCIA PROGRAM

szeptember 9., szerda Levezető elnök: Prof. dr. habil Horváth Balázs főtitkár (KTE)

8³⁰ Regisztráció

10⁰⁰ Megnyitó



Köszöntő (KTE)

Dr. Fónagy János

KTE elnök

Köszöntő (BKV)

Dr. Takács Péter

vezérigazgató, BKV Zrt.

A Szervezőbizottság köszöntője (KTE)

Eur. Ing. Bősze Sándor

KTE főtitkárhelyettes

10³⁰ A városi közlekedés használóinak és tervezőinek érdekei a gyakorlatban

Prof. dr. habil Horváth Balázs

tanszékvezető (SZE)

10⁵⁰ MÁV Személyszállítás a megújulás küszöbén, járműfejlesztési trendek, kihívások

Dr. Kormányos László

vezérigazgató (MÁV Személyszállítási Zrt.)

11¹⁰ – 11³⁰ Szünet

11³⁰ Beruházási irányok a technológiai fejlődés és a gazdasági környezet sajátosságainak tükrében

Dr. Nemecz Gábor

beruházási és műszaki fejlesztési főosztályvezető (BKV Zrt.)



11⁵⁰ Fővárosi közösségi közlekedés helyzete, várható jövője

Kiss Ambrus

főigazgató, (Főpolgármesteri Hivatal)



12¹⁰ Energiagazdálkodás és a megújuló energiák hasznosítási lehetőségei a városi közlekedésben

Dr. Felsmann Balázs

*egyetemi docens
(Budapesti Corvinus Egyetem)*



12³⁰ Az MKSZ szerepe és új dimenziói

Dr. Várszegi Gyula

alapító, elnök (MKSZ)



*A Millenniumi Kisföldalatti újra-értelmezendő hálózati szerepe
(MKSZ tanulmány)*

Eur. Ing. Bősze Sándor

főmérnök (Közlekedés Kft.)

12⁵⁰ Ebédszünet

13²⁰ Magyar Közlekedési Szövetség (MKSZ) Közgyűlése
(Zártkörű rendezvény a „Csónakház” épületében)

14¹⁰ Kerekasztal beszélgetés (KTE)

Témája:

**Kis- és középvárosaink közösségi
közlekedésének szervezése,
finanszírozása**

Szekcióvezető:

Dr. Tóth János

tanszékvezető (BME)

társelnök (KTE)

Szűcsné Posztovics Ilona

polgármester

(Tatabánya Megyei Jogú Város)

Király István

üzemeltetési vezető

(Paksi Közlekedési Kft.)

Bárdy Péter

alpolgármester

(Gödöllő Megyei Jogú Város)

Bartha László

ügyvezető igazgató (V-Busz Kft.)

**15¹⁰ Tervezett infrastruktúra és jármű
fejlesztési projektek Budapesten
a következő években**

Horváth László

beruházási igazgató (BKK Zrt.)

**15³⁰ – 15⁵⁰ Szünet kávéval, frissítővel, aprósüteménnyel a Főépületnél
és az „A” épületben**

Indulás a kiválasztott szekciós előadás helyszínre:

Szekció I.: Főépület (helyben)

Szekció II.: az „A” épület rendezvényterme

Szekció III.: Csónakház épülete



I. szekció

Moderátor: Tarsoly András igazgató (BKK)

(helyben, a Főépületben kialakított teremben)

**15⁵⁰ Elektromos járműfejlesztési tervek
a következő időszakban Budapesten**

Rácz Zoltán

*Infrastruktúra és Jármű Projektroda
vezető (BKK Zrt.)*

**16⁰⁵ Járműtöltési kihívások az elektromos
járművek forgalomba állásával
kapcsolatban**

Haidekker Dániel

*Mobilitásstratégiai projektvezető
(BKK Zrt.)*

16²⁰ Elektromos buszok forgalomba állásához kapcsolódó infrastruktúra fejlesztések és tapasztalatok

Körmendi Anikó
Ügyvezető Igazgató
(ArrivaBus Kft.)

16³⁵ Felmerülő kérdések megbeszélése

Felkészülés az opcionális programra

Opcionális szakmai programlehetőség

17⁰⁰ – 20⁰⁰

A program részletesebb ismertetése a szekcióülések programjait követő részben található

II. szekció

(az „A” épület rendezvénytermében)

Moderátor: Nagy László (BKV Zrt.)

15⁵⁰ A Tömegközlekedési mozgólépcsők és felvonók üzemeltetési tapasztalatai

Csomai-Kürtössy Roland
mozgólépcső szakszolgálatvezető
(BKV Zrt.)

16⁰⁵ M2 metróvonal Puskás Ferenc Stadion állomás 0,8 kV-os tervezési feladatai

Kovács Lajos
ügyvezető igazgató
(Infoplan Mérnökiroda Kft.)

16²⁰ A budapesti villamosközlekedés forgalombiztonsági helyzete, a balesetmegelőzés érdekében végzett üzemeltetői tevékenységek

Mészáros András
forgalmi üzemviteli mérnök
(BKV Zrt.)

16³⁵ Felmerülő kérdések megbeszélése

Opcionális szakmai programlehetőség

17⁰⁰ – 20⁰⁰

A program részletesebb ismertetése a szekcióülések programjait követő részben található

III. szekció

Moderátor: Tóth Csaba (BKV Zrt.)

(a Csónakház épületében kialakított teremben)



Berczik András (1924-2014) közlekedésmérnök, urbanista, egyetemi oktató emlékére

Elismerései: Hild János emlékérem, Reiter Ferenc, Jáky József és Palóczi Antal díj

15⁵⁰ A budapesti fogatlankerekű vasút – az adhéziós vasútüzem lehetőségeinek vizsgálata

Rózsahegyi Károly

villamos vontatási szakszolgálatvezető (BKV Zrt.)



Dr. Hartványi Tamás

egyetemi docens (Széchenyi István Egyetem)

16⁰⁵ Okostelefon mint mérőeszköz, futás-jóság vizsgálata és következtetések járműállapotra

Kelemen Zsolt

járműtechnológiai mérnök (BKV Zrt.)



16²⁰ UrbosCopilot – Villamoskarbantartás AI-asszisztenssel

Pap Richárd

pályakezdő mérnök (BKV Zrt.)



16³⁵ Felmerülő kérdések megbeszélése

Opcionális szakmai programlehetőség

17⁰⁰ – 19²⁰

A MÁV-csoport által üzemeltetett Balatonfenyvesi Gazdasági Vasút meglátogatása (különvonattal Csisztafürdő végállomásig és vissza).

A konferencia helyszínéről Indulás a BKV Zrt. különjáratú turistabuszával, majd érkezés a konferencia helyszínre ugyanígy.

Balatonfenyves GV → Csisztafürdő → Balatonfenyves GV
17:30 18:30 - 18:40 19:40



20³⁰ – 22³⁰ Gálavacsora (Főépületben)

22³⁰ – 23⁵⁹ Kötetlen beszélgetés (Söröző épületében)

Szeptember 10., csütörtök

Levezető elnök: Eur. Ing. Bősze Sándor főtitkárhelyettes (KTE)

8⁰⁰ – 9⁰⁰ Reggeli

9⁰⁰ A készülő NKS aktuális állása
a modellezés szerepe a tervezésben.

Dr. Munkácsy András
kutatási központ vezető (KTI)

Kelen Csaba
(KTI)

9²⁰ A NIS2 és a 2027-től alkalmazandó
Kiberreziliencia rendelet a vasúti
szektorra

Feldmann Márton
*vasúti-automatizálás üzlet igazgató
(Prolan Zrt.)*

9⁴⁰ „KÖZÖSSégi” közlekedés változásai
Debrecen városában

Dr. Tóth Szabolcs
vezérigazgató (DKV Zrt.)

10⁰⁰ A szegedi kötőtpályás közlekedés
aktuális kérdései

Dr. Németh Zoltán Ádám
*közösségi közlekedési és vasút-
biztonsági vezető (SZKT Kft.)*

10²⁰ A stuttgarti tömegközlekedés kihívásai

Krausz Márton
*Betriebstechnische Anwendungen
BMt (SSB Stuttgart)*

10⁴⁰ Az e-jegy kezelés megvalósításának
előfutára: a Pay&Go pilot projekt
tapasztalatai üzemeltetői szemmel

Radócz Zoltán
*metró biztosítóberendezés
szakszolgálatvezető (BKV Zrt.)*

Lantos Balázs
üzletfejlesztési senior munkatárs

Sztahura Ida
üzletfejlesztési szakértő (BKK Zrt.)

11⁰⁰ Rugalmas igényvezérelt közlekedés
a BKK hálózatába integráltan-
DREAM_PACE projekt,
Csobajbusz, 274-es vonal
Elektronikus vezérlés
a metróközlekedésben

Varga Dávid
alapító (RealCity)

Forgács Péter
operatív igazgató (Networker Kft.)

11²⁰ Szünet

11⁴⁰ A BKV nemzetközi tükörben, avagy kevesebből többet: A Társaság ereje belülről fakad: emberek, zöld megoldások, innováció

Mészáros-Pintér Szilvia

stratégiai és szervezetfejlesztési osztályvezető (BKV Zrt.)

Biró Dávid

stratégiai szakértő (BKV Zrt.)

12⁰⁰ Az adatalapú karbantartási rendszerek evolúciója (szakirodalmi áttekintés és gyakorlati példa bemutatása)

Dr. Járási Éva Zsuzsanna

digitális fejlesztési és adatelemzési osztályvezető (BKV Zrt.)

Dr. Ágh Csaba

adatelemzési szakértő (BKV Zrt.)

12²⁰ Budai fonódó villamoshálózat második ütem megvalósítása

Hernádi Péter

*projektvezető
Swietelsky Vasúttechnika Kft.*

12⁴⁰ A közlekedéstervezés társadalmasítása milyen módon segíti a városok fejlődését.

Keszthelyi Tibor

*elnök-vezérigazgató
(Főmterv Zrt.)*

13⁰⁰ A magyar közlekedéspolitika irányai és főbb projektjei

Vitézy Dávid,

miniszter, Közlekedési és Beruházási Minisztérium (KBM)



13⁴⁰ Felmerülő kérdések megbeszélése

13⁵⁵ Konferencia összefoglalása, zárása, elköszönés

Eur. Ing. Bősze Sándor KTE főtitkárhelyettes

Dr. Döbrei István stratégiai és beszerzési igazgató (BKV Zrt.)



Ebéd 14⁰⁰-tól 15⁰⁰-ig



A Magyar Tudományos Akadémia 200 éves fennállásának ünnepe
– Tudománybarát Település – programsorozatába illeszkedve
a lenti logóval jelölt konferencia előadások élő közvetítésre kerülnek a
BKV Zrt. YouTube-csatornáján.



Jelen program változtatásának jogát a szervezők fenntartják!

A BKV nemzetközi tükörben, avagy kevesebből többet – A Társaság ereje belülről fakad: emberek, zöld megoldások, innováció

Biró Dávid¹
Mészáros-Pintér Szilvia²

¹ BKV Zrt. Stratégiai és Beszerzési Igazgatóság,
stratégiai szakértő
telefon: +36/70-390-8643
e-mail: birod@bkv.hu

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

Abstract

A folyamatos fejlődés szükségszerű feltétele a rendszeres megméréstetés: összehasonlítjuk teljesítményünket, eredményeinket, tulajdonságainkat másokkal, és ezáltal felfedezzük, hogy miben, hogyan lehetnénk egyre jobbak. A BKV Zrt. a folyamatos fejlődést tűzte ki célul, ennek megfelelően rendszeresen hasonlítja össze teljesítményét más országok közösségi közlekedési ágazatban tevékenykedő üzemeltető vállalataival. Ebben a cikkben bemutatjuk a legújabb nemzetközi összehasonlítás eredményeit, megvizsgáljuk, hogy miben teljesít jól a BKV Zrt. és mely területeken van további fejlődési potenciál. Az elemzés alapján megállapítható, hogy a kritikus pénzügyi helyzet ellenére a BKV Zrt. versenyképes, minőségi szolgáltatást tud nyújtani, amit szakképzett munkavállalóinak és remek alkalmazkodóképességének köszönhet. Ki kell hangsúlyozni azonban, hogy az üzemeltetési hatékonyság és egyben a szolgáltatási színvonal növeléséhez a járműpark és a kapcsolódó infrastruktúra további modernizációja szükséges. A feltételek rendelkezésre állása esetén, a BKV Zrt. a fenntarthatóság szemléletével és a digitalizáció vívmányaival képes arra, hogy innovációs tudásközponttá váljon.

Kulcsszavak: BKV, benchmarking, közösségi közlekedés, szervezetfejlesztés, fenntarthatóság

Bevezetés

A közösségi közlekedés napjainkban egyszerre szolgáltatási, gazdasági és társadalmi kérdés. A nagyvárosi mobilitási igények kiemelt fontossága, a fenntarthatósági elvárások erősödése, valamint a munkaerőpiaci és finanszírozási kihívások egyaránt arra ösztönzik a közlekedési vállalatokat, hogy működésüket folyamatosan fejlesszék és alkalmazkodóképességüket erősítsék. A fejlődési irányok kijelölésének megalapozottságát, illetve az eredmények mérhetőségét is elősegíti, ha a szervezetek rendszeresen értékelik saját teljesítményüket, és azt más, hasonló feladatokat ellátó vállalatok eredményeivel vetik össze.

A nemzetközi benchmarking ezért a modern vállalatirányítás egyik fontos eszköze. Segítségével objektív képet kaphatunk arról, hogy egy szervezet mely területeken teljesít kiemelkedően,

hol marad el a nemzetközi gyakorlattól, illetve milyen fejlesztési irányok kínálhatnak további előrelépési lehetőségeket. A közösségi közlekedési ágazatban ennek különös jelentősége van, hiszen az üzemeltetők hasonló kihívásokkal szembesülnek, miközben eltérő gazdasági, műszaki és szabályozási környezetben működnek.

1. Benchmarking tevékenység a BKV Zrt.-nél

A benchmarking napjaink szervezeti működésének egyik kulcsfontosságú módszertani eszköze, amely strukturált összehasonlításon keresztül támogatja a teljesítmény javítását, a hatékonyság növelését és a stratégiai döntéshozatalt. A rendszeres összehasonlítás hozzájárul ahhoz, hogy a szervezet tudatosabban reagáljon a környezeti változásokra, és proaktívan alakítsa saját fejlődési pályáját, ezért a BKV Zrt. számára kiemelt jelentőséggel bír.

1.1 Mi az a benchmarking?

A módszer elterjedésében meghatározó szerepet játszott Robert C. Camp, aki 1989-ben a benchmarkingot a legjobb gyakorlatok feltárásának, megértésének és szervezeti adaptációjának módszereként írta le. [1] E megközelítés azóta széles körben elterjedt, és ma már számos vállalat használja teljesítményének kontextusba helyezése céljából.

A benchmarking számos területen sikerrel használható. Egyrészt a teljesítménymenedzsment alapvető eszköze, mivel lehetőséget biztosít a kulcsindikátorok, például a pontosság, rendelkezésre állás vagy költséghatékonyság összehasonlítására, és ezáltal támogatja a tényadatokon alapuló irányítást. [2] Másrészt hozzájárul a hatékonyság és az eredményesség javításához azáltal, hogy feltárja a teljesítménybeli eltéréseket, és konkrét fejlesztési irányokat jelöl ki. Emellett a benchmarking a szervezeti tanulás egyik fontos formája is, hiszen más szervezetek bevált gyakorlataira épít. [3] Más vállalatokkal történő összevetés lehetőséget teremt olyan megoldások azonosítására, amelyek sikeresen adaptálhatók. Ez nemcsak a működési hatékonyságot javítja, hanem hozzájárul az innovációs képesség erősítéséhez is.

Az állami és önkormányzati szektorban külön kiemелendő előny az átláthatóság és az elszámoltathatóság növelése. A benchmarking révén a szolgáltatások teljesítménye összehasonlíthatóvá és értelmezhetővé válik a fenntartók, a döntéshozók és a közvélemény számára is. Ez erősíti a közpénzek felhasználásának kontrollját, és hozzájárul a bizalom növeléséhez.

A benchmarking folyamatának fő lépései közé tartozik az összehasonlítás tárgyának és mutatóinak meghatározása, a benchmark-partnerek kiválasztása, az adatgyűjtés és validáció, a teljesítményrések elemzése, a fejlesztési intézkedések kidolgozása, valamint az eredmények nyomon követése. [1] [4] A korszerű megközelítések mindemellett a kvantitatív mutatók mellett egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a kvalitatív tényezőkre, például a szervezeti kultúra, az ügyfélélmény és az innovációs képesség vizsgálatára is.

1.2 A benchmarking tevékenység korlátai

A benchmarking alkalmazása – számos lehetséges előnye mellett – nem mentes a kihívásoktól. Jelentős problémát jelenthet az adatok eltérő definíciókból és mérési módszerekből fakadó korlátozott összehasonlíthatósága, valamint a működési környezet különbségeinek figyelmen kívül hagyása. E kihívások kezelésére a szakirodalom egyre inkább a kontextusérzékeny benchmarking megközelítését emeli ki. [5] Ez a szemlélet a benchmarking módszertanának érettebb formája, amely figyelembe veszi a strukturális és környezeti sajátosságokat. Alkalmazása különösen indokolt a közösségi közlekedésben, ahol a működési feltételek jelentősen eltérhetnek, és a teljesítmény csak ezek figyelembevételével értelmezhető megalapozottan.

1.3 Összehasonlító elemzések a BKV Zrt.-nél

Felismerve a benchmarking tevékenység hasznát, a BKV Zrt. az elmúlt 5 évben rendszeresen készített összehasonlító elemzéseket. Ezek általában külföldi közösségi közlekedési vállalatokkal való összehasonlítást foglaltak magukban, de előfordult, hogy az elemzés kiegészült magyar vállalatok működésének bemutatásával is.

Habár a benchmarking tevékenységnek megvannak a korlátai, a közösségi közlekedés terén számos olyan mutatószám van, amelyek objektív mércéül szolgálhatnak a vállalati teljesítmény megítéléséhez és elősegíthetik a szolgáltatásminőség tudatos fejlesztését.

2. A legfrissebb nemzetközi kitekintés eredményei

A BKV Zrt. legfrissebb összehasonlító elemzése 2026. év elején készült el. A benchmarking tevékenység sikerességének feltétele, hogy megfelelő viszonyítási alapot válasszunk ki. Mivel az összehasonlító elemzés alapvetően a vállalatok belső adottságaira fókuszál, ezért érdemes a külső adottságokban lévő különbségeket a minimálisra csökkenteni, így az összehasonlításhoz a kulturálisan és méretben is hasonló prágai (DPP), varsói (ZTM, fővárosi tulajdonban működő közlekedési vállalatok), pozsonyi (DPB), bécsi (Wiener Linien) és a berlini (BVG) közösségi közlekedési vállalatok működését hasonlítottuk össze a BKV Zrt. működésével.

Az elemzések nagyrészt a vállalatok nyilvános adatszolgáltatásaiból merítenek információt, melyek évente egyszer frissülnek, ennek megfelelően a legfrissebb jelentéshez – a vállalatok beszámolási rendjéből adódóan – a 2024. évi adatokat használtuk fel. [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] Meg kell említeni, hogy néhány város esetében az általunk az összehasonlításhoz szükségesnek vélt adatok nem álltak teljesskörűen rendelkezésre, ennek megfelelően egyes mérőszámok esetében az összehasonlítás nem terjed ki az összes vizsgált városra.

Az összehasonlítás során nagy hangsúlyt helyeztünk a vállalatok belső adottságainak vizsgálatára: a költség szerkezetek elemzésére, az eszközállomány bemutatására, a munkavállalók megoszlásának vizsgálatára és a szervezeti struktúra áttekintésére. Ezek az elemzések információt szolgáltathatnak a BKV Zrt. számára akár egy hatékonyabb működési forma kialakításához, mely alapja lehet a költségek további racionalizálásának és a rugalmasabb, gördülékenyebb működésnek.

2.1 Mire lehetünk büszkék?

A közösségi közlekedés működőképessége a városi lét nélkülözhetetlen feltétele, a fenntartható, „zöld” város hajtóereje. Budapest versenyképességéhez és élhetőségéhez szükség van a jó minőségű közösségi közlekedésre, és a BKV Zrt. büszkén mondhatja el magáról, hogy a főváros mobilitási rendszerének meghatározó tagja.

2.1.1 Utazások száma

A közösségi közlekedés minőségének egyik legfontosabb fokmérője az, hogy hányan használják, és ezen mutató alapján a BKV Zrt. teljesítménye elismerésre méltó.

Habár a vizsgált városok között van a magyar fővárosnál sokkal nagyobb méretű és lényegesen több lakossal rendelkező is, de az utasszám tekintetében a BKV Zrt. az élvonalas, ahogy az a következő táblázatban is látható:

1. táblázat

A vizsgált vállalatok 2024. évi utasszám adatai

(2024. évi adatok)	Budapest	Bécs	Berlin	Varsó	Prága	Pozsony
	BKV Zrt.	Wiener Linien	BVG	ZTM	DPP	DPB
Utasszám	1 172 869 000	872 000 000	1 109 000 700	956 270 488	976 766 000	282 452 000

A BKV Zrt. 1.172.869.000 utasával még a lényegesen nagyobb berlini BVG-t és a közösségi közlekedésben gyakran etalonnak tekintett Wiener Linien-t is megelőzi. Az utasszámokat bemutató táblázattal kapcsolatban említésre méltó, hogy Pozsony esetében a többi városénál lényegesen alacsonyabb utasszámot a metró hiánya okozza, ami a metróágazat kiemelt fontosságát is mutatja.

2.1.2 Mennyibe kerül?

Az alábbi táblázatban látható a vizsgált városok éves összköltsége, illetve az utasszámhoz viszonyított fajlagos költségek nagysága:

2. táblázat

A vizsgált vállalatok 2024. évi összköltség és fajlagos költség adatai

(2024. évi adatok)	Budapest	Bécs	Berlin	Varsó	Prága	Pozsony
	BKV Zrt.	Wiener Linien	BVG	ZTM	DPP	DPB
Költségek összesen (Ft)	247 583 000 000	n.a.	781 219 350 000	365 775 977 548	437 644 000 000	62 514 751 204
Fajlagos költség (Összköltség/utasszám) (Ft)	211	n.a.	704	383	448	221

A fajlagos költség mutatója jelen esetben lényegében azt mutatja meg, hogy az adott vállalat milyen költségből valósít meg egy utazást. A táblázatból látható, hogy a budapesti adatok a pozsonyival körülbelül egy szinten vannak, és a többi város adatainál lényegesen alacsonyabbak. A külföldi vállalatok adatairól kiegészítő információ, hogy a pozsonyi közösségi közlekedés összköltségét a fajlagosan drága metróközlekedés hiánya jelentősen csökkenti, illetve a bécsi adatok nem elérhetőek.

Az alacsony fajlagos költség láttán felmerül a kérdés, hogy ennek van-e hatása a szolgáltatás megbízhatóságára. Ezzel kapcsolatban megvizsgáltuk a metró menetteljesítési mutatókat Budapesten, Berlinben, Prágában és – az összehasonlítás kiterjesztése céljából – Londonban. [7] [12] [14] Az eredményeket az alábbi táblázat mutatja:

3. táblázat

Metró menetteljesítési mutatók (2024)

Metró menetteljesítési mutatók			
BKV	London	Berlin	Prága
99.9%	90.9%	93.8%	99.9%

Megállapíthatjuk tehát, hogy jelenleg a BKV Zrt. képes arra, hogy kevés pénzből nyújtson minőségi szolgáltatást a társadalom széles köre számára, elszállítsa az utasokat a város egyik pontjából a másikba biztonságosan, gyorsan, kiszámíthatóan, pontosan.

2.2 Miben van további fejlődési lehetőség?

A közösségi közlekedési vállalatok belső tulajdonságainak fontos eleme az eszközállománya, amely alapvetően meghatározza a működési kereteket, a lehetőségeket, a teljesítmény volumenét és a szolgáltatás minőségét. Egy közlekedési vállalatnak feltétlenül szüksége van megfelelő infrastruktúrára és járműállományra a minőségi szolgáltatáshoz.

Ezen a téren azonban a BKV Zrt. helyzete kedvezőtlen, amint azt a következő táblázat illusztrálja:

4. táblázat

A vizsgált vállalatok 2024. évi eszköz- és infrastruktúra adatai

(2024. évi adatok)	Budapest	Bécs	Berlin	Varsó	Prága	Pozsony
	BKV Zrt.	Wiener Linien	BVG	ZTM	DPP	DPB
Összjárművek száma	2 022	1 717	3 181	2 404	2 764	875
Autóbusz járműflotta mérete	864	486	1 566	1 408	1 213	491
Autóbusz átlagéletkora	12	n.a.	5	9	7	n.a.
Járműtípusok száma	31	n.a.	9	n.a.	12	21
Trolibusz járműflotta mérete	141				37	173
Trolibuszok átlagéletkora	9				1	n.a.
Trolibusz típusok száma	9				2	7
Metró járműflotta mérete	414	736	1 234	540	730	
Flotta átlagéletkora	11	n.a.	n.a.	9	19	
Járműtípusok száma	5	n.a.	n.a.	3	2	
Villamos járműflotta mérete	603	495	381	456	784	211
Flotta átlagéletkora	39	n.a.	n.a.	18	15	n.a.
Járműtípusok száma	11	n.a.	n.a.	n.a.	7	6
Metró vonalak száma	4	5	9	2	3	
Metró hálózat hossza (km)	39	83	155	41	65	
Villamos vonalak száma	41	28	22	25	36	5
Villamos hálózat hossza (km)	149	227	320	360	580	43

A járműállomány átlagéletkorának elemzése fontos információkat szolgáltat az üzemeltető vállalatok helyzetéről. Az elöregedett járműpark gyakran a beruházási források hiányának egyik indikátora, ami a BKV Zrt. esetében is megfigyelhető. A budapesti vállalat autóbusz- és villamosflottájának átlagéletkora a vizsgált szolgáltatókéhoz viszonyítva kedvezőtlenebb képet mutat. Bár a metróágazat helyzete ezen a téren a többi ágazathoz képest kedvezőbbnek tűnik, a Millenniumi Földalatti Vasút (MILLFAV) járműállományának 50 évet meghaladó életkora jelzi az eszközállomány elöregedését.

Az új járművek komfortosabbak, energiatakarékosabbak, környezetkímélőbbek és kevesebb karbantartást igényelnek, ezért nemcsak a szolgáltatás minősége, hanem a költségtakarékosság szempontjából is fontos lenne a járműpark megújítása.

Pozitívként emelhető ki, hogy a BKV Zrt. autóbusz-állománya teljes mértékben alacsonypadlós, ugyanakkor üzemeltetési szempontból az állomány összetétele nem tekinthető optimálisnak, mivel a járművek jelentős része meghaladja a gazdaságos üzemeltetés szempontjából ideálisnak tartott 8 éves korhatárt. A villamos járművek hasznos élettartalma 30 év, de a BKV járművei ezt az értéket több esetben is jelentősen túllépik. A MILLFAV és a Fogaskerekű járművei egyaránt 50 évnél idősebbek, emellett a villamosüzemben továbbra is magas a korszerűtlen, magaspadlós járművek aránya.

A bemutatott adatok jelentős elmaradásra mutatnak rá, ami az eszközállomány mielőbbi megújítását indokolja. Ugyanakkor a vizsgált városok beruházási mutatói ezt egyelőre nem tükrözik, amit a következő táblázat is alátámaszt:

5. táblázat

A vizsgált vállalatok 2024. évi beruházási adatai

(2024. évi adatok)	Budapest	Bécs	Berlin	Varsó	Prága	Pozsony
	BKV Zrt.	Wiener Linien	BVG	ZTM	DPP	DPB
Beruházások, fejlesztések (Ft)	2 031 703 000	401 478 110 000	n.a.	61 839 281 504	180 736 942 800	42 403 306 000

A táblázat egyértelműen rámutat arra, hogy a BKV Zrt. beruházási forrásai nagyságrendekkel alacsonyabbak a többi közlekedési vállalat beruházási számadatainál: míg a bécsi Wiener Linien több mint 400 milliárd Ft összegű beruházási forrásból gazdálkodhatott 2024-ben, addig a BKV Zrt. esetében az összeg alig haladta meg a 2 milliárd forintot.

2.3 A vállalatok szervezeti struktúrája

A vállalatok szervezeti struktúrája a működés hatékonyságát alapvetően befolyásoló belső adottság, ezért ennek összehasonlításából is hasznos következtetéseket lehet levonni.

Kiemelendő azonban, hogy az összehasonlítás sok esetben nehézségekbe ütközik, ugyanis az intézményrendszeri sajátosságok jelentős befolyással vannak a vállalatok működési keretére.

2.3.1 Milyen struktúrák jellemzők Európában?

Első lépésként indokolt bemutatni a vizsgált vállalatok méretét, amelyet az alábbi táblázatban szereplő létszámadatok szemléltetnek:

6. táblázat

A vizsgált vállalatok 2024. évi HR adatai

(2024. évi adatok)	Budapest	Bécs	Berlin	Varsó	Prága	Pozsony
	BKV Zrt.	Wiener Linien	BVG	ZTM	DPP	DPB
Teljes létszám (fő)	9 412	9 537	14 265	n.a.	11 254	2 427
Járművezetők összesen (fő)	3 686	4 737	6 271	n.a.	4 522	1 388
Autóbusz és trolibusz-vezetők száma (fő)	2 380	n.a.	n.a.	n.a.	2 359	1 131
Metró járművezetők száma (fő)	337	n.a.	n.a.	n.a.	700	

(2024. évi adatok)	Budapest	Bécs	Berlin	Varsó	Prága	Pozsony
	BKV Zrt.	Wiener Linien	BVG	ZTM	DPP	DPB
Villamosvezetők száma (fő)	956	n.a.	n.a.	n.a.	1 463	257
Fizikai dolgozók száma járművezetők nélkül (fő)	4 102	n.a.	3 507	n.a.	3 117	724
Szellemi dolgozók száma (fő)	1 624	n.a.	4 487	n.a.	3 615	315

Láthatjuk, hogy a legkisebb, pozsonyi vállalat is több mint 2.400 főből áll, míg a többi vállalatnál nagyságrendileg 10.000 munkavállaló látja el a feladatokat, sőt, a berlini vállalatnál a munkavállalók száma a 14.000-et is meghaladja (a varsói adatok nem szerepelnek, mivel több vállalat vesz részt az üzemeltetésben). Tehát megállapíthatjuk, hogy az üzemeltetők nagyvállalatok, melyeknél a megfelelő szervezeti felépítés kialakítása a működőképesség alapfeltétele.

Kiemelt figyelmet érdemel a nem járművezető fizikai állomány létszáma. A BKV Zrt.-nél ezen munkavállalók aránya a teljes létszámon belül magasabb, mint a többi vizsgált vállalatnál, amely döntően az eszközállomány sajátosságaiból fakad, tekintettel arra, hogy az előregedett, heterogén járművek és a korszerűsítésre szoruló infrastruktúra fokozott karbantartási igénnyel járnak.

A szervezeti struktúrákat alapvetően meghatározza, hogy a közlekedésszervezői feladatok az üzemeltető vállalaton belül vagy attól elkülönülten jelennek meg. A vizsgált városok esetében – Budapesthez hasonlóan – a közlekedésszervezés mindenhol elkülönül a járműüzemeltetéstől, ugyanakkor eltérések mutatkoznak abban, hogy az egyes vállalatok egy vagy több ágazat működtetését látják el. Összességében az integrált modell a gyakoribb, de Varsóban a busz-, villamos-, metró- és elővárosi vasúti szolgáltatások üzemeltetése külön vállalatok között oszlik meg.

Említésre méltó még a bécsi holdingmodell, mely alapvetően meghatározza a Wiener Linien működését. Ez a holdingmodell az osztrák főváros közmű- és infrastrukturális ellátásának szervezeti alapja. A Wiener Stadtwerke egy komplex, több iparágat lefedő közműholding, amely egyesíti az energiaellátást, a távhőszolgáltatást, az elektromos hálózatot, a temetkezési szolgáltatásokat, az IT-infrastruktúrát és a közösségi közlekedést.

A vállalatok hatékonyságának és szervezeti integrációjának egyik fontos eszköze a folyamatmenedzsment tevékenység. A Wiener Linien például nagy szervezeti mérete, a közlekedési ágazatok eltérő működése és az infrastruktúra komplexitása miatt 2024-ben elindította saját folyamatmenedzsment-megújítási programját. A program célja egy olyan vállalati folyamatarchitektúra kialakítása volt, amely megteremti a kapcsolatot a különböző funkcionális területek között, és amely a vállalat minden munkavállalója számára érthető és használható.

A megvizsgált vállalatokról tehát általánosságban véve elmondható, hogy miközben támaszkodnak a funkcionális szervezeti struktúrából adódó magas szintű szakmai kompetenciájukra, törekednek a horizontális integráció és a folyamatszintű irányítás növelésére. Emellett jól látható trend, hogy az operatív feladatok prioritása mellett a vállalatok működése során a stratégiai szemlélet egyre jobban érvényesül. Ez természetesen nem meglepő, mivel az egyre inkább fókuszba kerülő fenntarthatósági célkitűzés megköveteli a hosszú távú szemléletet a vállalati döntéshozatal során.

2.3.2 A BKV Zrt. szervezeti struktúrája

A BKV Zrt. szervezeti felépítése több ponton hasonló a vizsgált üzemeltető vállalatokéhoz. A struktúra alapvetően divizionális, ugyanakkor funkcionális elemeket is tartalmaz. A két fő üzemeltetési

terület, az Autóbusz- és Trolibusz Üzemeltetési Igazgatóság, valamint a Vasúti Üzemeltetési Igazgatóság jelentős önállósággal működik, magas fokú decentralizáltság mellett.

Az integrált működés számos előnyt biztosít, például az egyes ágazatok tevékenységének összehangolását, valamint a méretgazdaságosságból fakadó kedvező hatásokat. Ugyanakkor mindez feltételezi az üzemeltetési területek közötti hatékony kommunikációt, ezért – akárcsak a külföldi vállalatoknál – a BKV Zrt.-nél is kiemelt jelentőséget kapott a horizontális információáramlás erősítése.

Az összehangolt működés érdekében a BKV Zrt.-nél a folyamat alapú szemlélet kialakítása és folyamatos fejlesztése zajlik, amelynek fontos eleme az egyes szervezeti egységek közötti kapcsolódási pontok feltérképezése, ezzel is támogatva a hatékony együttműködést.

Kiemelendő, hogy a BKV Zrt. folyamatosan törekszik működésének fejlesztésére, amely számos esetben szervezeti átalakításokat is maga után von. Ennek megfelelően, a vállalat 2025 második felében szervezeti változásokat eszközölt, a változtatások egyik alapvető célja az volt, hogy elválassza az ágazatspecifikus szakmai tevékenységeket a támogató jellegű tevékenységektől. Az új működési modellre való átállás első és egyben legfontosabb lépése a Szolgáltatás Támogató Igazgatóság és a szolgáltatás támogató vezérigazgató-helyettesi pozíció létrehozása volt. Az újonnan létrejövő vezérigazgató-helyettesi szervezet alá betagozódott minden olyan szervezet, amely támogató tevékenységet végez vagy a társaságirányítás, vagy az üzemeltetés számára (a Gazdasági Igazgatóság kivételével, mely a szigorú gazdasági kontroll biztosítása céljából továbbra is önálló szervezeti egység maradt). A támogató tevékenységek üzemeltető területektől történő leválasztása és külön szervezeti egységbe való koncentrálása elősegíti, hogy az üzemeltető ágazatok még inkább a járművek és a kapcsolódó infrastruktúra még magasabb színvonalú műszaki üzemeltetésére tudjanak fókuszálni.

2.3.3 Milyen módosítási lehetőségek merülnek fel?

A BKV Zrt. szervezeti struktúrájában bekövetkező változások a megújulási folyamat kezdeti lépéseinek tekinthetők. A nemzetközi gyakorlatok alapján a társaság számára egy Szolgáltató Központ kialakítása is lehetséges fejlesztési irányként merül fel. E modell révén a támogató funkciók – így különösen a humánerőforrás-gazdálkodás, a pénzügy és az informatika – egy integrált, méretgazdaságosan működő egységben koncentrálhatók, ezáltal tehermentesítve az operatív ágazati vezetést.

Annak érdekében, hogy ez a lehetőségként felvetett Szolgáltató Központ ne pusztán centralizált költségként működjön, hanem tényleges szolgáltatói szemléletet érvényesítsen, megfontolandó egy belső elszámolóáras rendszer alkalmazása. Ez hozzájárulhatna a támogató folyamatok költség- és értékviszonyainak átláthatóbbá tételéhez, valamint lehetőséget teremthetne azok piaci alapon működő külső szolgáltatókkal történő összevetésére – például a bérszámfejtési szolgáltatások esetében. Az így kialakuló összehasonlíthatóság ösztönzőleg hathatna a hatékonyság folyamatos javítására.

3. Versenyképesség korlátok között – szakértelem és alkalmazkodóképesség

A nemzetközi benchmarking eredményei első ránézésre ellentmondásos képet rajzolnak ki a BKV Zrt.-ről. A Társaság egy rendkívül összetett, több közlekedési alágazatra – villamos-, metró-, autóbusz- és trolibusz-ágazat – épülő szolgáltatási rendszert üzemeltet. A járműállomány és az infrastruktúra heterogenitása, több eleme esetében pedig magas átlagéletkora önmagában jelentős üzemeltetési kihívást jelent. Emellett a közösségi közlekedési ágazatban Magyarországon is – az európai trendekhez hasonlóan – jelentős munkaerőhiány tapasztalható, különösen

a fizikai munkakörök és a járművezetői állomány utánpótlása terén. A képzett szakemberekért folytatott munkaerőpiaci verseny kiélezett. Emellett a Társaság alulfinanszírozottsága, valamint korlátozott beruházási lehetőségei is nehezítik a hatékony működést.

Mindezek ellenére a BKV Zrt. nemzetközi összehasonlításban is versenyképes teljesítményt nyújt. Budapest közösségi közlekedési hálózata európai léptékkal mérve is sűrű, jól elérhető rendszert alkot, amely magas szolgáltatási lefedettséget biztosít a város lakosai számára. A rendelkezésre állási és menetrendszerűségi mutatók számos területen kedvezően alakulnak, ami az üzemeltetés stabilitását és a szervezet szakmai felkészültségét igazolja. Bár az utasélményt jelentősen befolyásolja a járműpark és az infrastruktúra állapota, az elégedettségi felmérések eredményei azt mutatják, hogy a szolgáltatás megítélése összességében kedvező.

A Fővárosi Önkormányzat 100%-os tulajdonában álló társaságként a BKV Zrt.-nek a minőségi szolgáltatás biztosítása mellett kiemelten fontos feladata a rendelkezésre álló közforrások optimális felhasználása is. A BKV Zrt. az elmúlt években folyamatosan arra törekedett, hogy a rendelkezésre álló forrásokat a lehető leghatékonyabban használja fel. A Társaság egyik erőssége, mely az üzemfolytonosságot a rendkívül kritikus finanszírozási helyzetben is biztosította, az a gazdálkodási fegyelem.

A benchmarking vizsgálatok egyik legfontosabb tanulsága, hogy a Társaság eredményeit jelentős részben nem a bőséges pénzügyi erőforrások, hanem a magas szintű szakmai tudás, a munkatársak elhivatottsága és köteleességtudata, a szervezet egészét átható felelős munkavégzés, valamint az üzemeltetés hatékonyságát támogató műszaki és technológiai innovációk iránti nyitottság és azok eredményes alkalmazása alapozza meg.

A BKV Zrt. esetében a forráshiányból fakadó működési korlátok azonban már olyan mértékűvé kezdenek válni, melynek ellensúlyozására a szakmai felkészültség és az elkötelezett munkavégzés már nem elegendő. Hosszútávon az üzemeltetési hatékonyság és egyben a szolgáltatási színvonal további fejlesztése már nem elsősorban hatékonyabb működési, hanem fejlesztési és beruházási kérdés.

3.1 A humán erőforrás mint stratégiai versenyelőny

A BKV Zrt. legfontosabb erőforrását munkavállalói jelentik. A közösségi közlekedés biztonságos és megbízható működése magas szintű szakértelmet igényel valamennyi szakterületen, a járművezetőktől kezdve a karbantartó szakembereken át a mérnöki és támogató funkciókig.

A Társaság hosszú távú működőképességének egyik alapja az erős vállalati kultúra, amely a szakmai elkötelezettségre, a felelősségvállalásra és az együttműködésre épül. A közösségi közlekedés fenntarthatóságának záloga azok az emberek, akik képesek ezt a járműparkot és a kapcsolódó infrastruktúrát magas színvonalon üzemeltetni, magát a közösségi közlekedési szolgáltatást nyújtani. A BKV Zrt. sem működhetne elkötelezett, kiváló munkatársai, szakemberei nélkül. Két-séget kizáróan a közösségi közlekedés egy emberi erőforrás igényes ágazat, példának okáért a BKV Zrt. munkatársainak közel 90%-a személyes jelenlétet igénylő munkakörben dolgozik.

Az ember érték, éppen ezért a Társaság stratégiaileg kiemelt feladatként tekint a humánerőforrás megszerzésére, képzésére és megtartására. Ennek megfelelően a BKV Zrt. a rendelkezésre álló források korlátossága mellett kiemelt figyelmet fordít a munkakörülmények fejlesztésére, a szakmai utánpótlás biztosítására, valamint a bérek versenyképességének javítására. A Társaság biztos foglalkoztatást nyújt, a hatályos törvényeknek megfelelően. Az elmúlt években pedig dinamikus bérfejlesztéseket hajtott végre (2022-ben: 15%, 2023-ban 16%, 2024-ben: 13,5%, 2025-ben: 9% és 2026-ban 9,2%).

Különös jelentősége van annak a szakmai tudásnak, amelyet a Társaság évtizedek alatt halmozott fel. Számos olyan kompetencia található házon belül, amely más üzemeltetőknél gyakran

külső szolgáltatók bevonását teszi szükségessé. A saját műszaki szaktudás nemcsak költséghatékonysági előnyt jelent, hanem növeli az üzembiztonságot és a szervezet önállóságát is. Jó példa erre a korszerű CAF villamosok karbantartásához és javításához kapcsolódó tudásbázis, amelynek jelentős része a Társaságon belül rendelkezésre áll. Ezt tovább erősíti a BKV Vasúti Járműjavító Kft. CAF villamosok összeszerelésében való sikeres részvétele.

A BKV Zrt. kiemelt figyelmet fordít a munkavállalók képzésére, legyen szó iskolarendszerű képzésről, jogszabály által előírt kötelező képzésről, szakmunkásképzésről vagy nyelvi képzés támogatásáról. Igen egyedi helyzetet teremt, hogy a Társaság jelentős számú munkavállalójának munkaköre az üzemeltetés jellegéből adódóan speciális tudást, helyismeretet, gyakorlatot, illetve továbbképzést igényel, például a járművezetőké is.

3.2 A folyamatos alkalmazkodás képessége

A BKV Zrt. versenyképességének másik meghatározó eleme az alkalmazkodóképesség. Az elmúlt években a Társaság egyszerre szembesült gazdasági, munkaerőpiaci, energiahatékonysági és technológiai kihívásokkal. A BKV Zrt. ezekre a változásokra képes volt reagálni és megőrizni működőképességét, illetve szervezeti szinten is a megújulás útjára lépett.

Az egyik legnagyobb kihívás a forráshiány, mely kényszerűségből likviditási intézkedések sorozatos alkalmazását tette és teszi szükségessé a mai napig, folyamatos válságmenedzsment zajlik a cégnél, sikerrel.

Az átalakuló környezethez való alkalmazkodás részeként megkezdődött a szervezeti működés felülvizsgálata és a hatékonyságnövelést célzó reorganizáció. A finanszírozási nehézségek mellett olyan egyéb tényezők is indokolták a szervezet reorganizációjának szükségességét, mint a rohamtempóban fejlődő technológia, a gyökeresen átalakuló munkaerőpiac, vagy a külső és belső elvárásként is megjelenő, megújulásra való készség további erősítése. Az elvégzett vizsgálatokra, szakmai ismeretekre és üzemeltetési tapasztalatokra támaszkodva, valamint a Társaság által végzendő jelenlegi és rá váró új feladatokra tekintettel a szervezet átalakításának első üteme 2025. augusztus 01-jén megkezdődött. Több mint 30 szervezeti egység került megszüntetésre. Az életbe lépő szervezeti változás az első lépés volt egy olyan működési modell felé, mely megteremti a lehetőségét annak, hogy az üzemeltetési feladatok kiemelésre, a nem ágazatspecifikus tevékenységek pedig centralizálásra kerüljenek, továbbá a támogató folyamatok hatékonyságának növelésével a székházban egy olyan belső szolgáltatói központ jöjjön létre, mely versenypiaci körülmények között is megállja a helyét.

A digitalizáció ugyancsak egyre meghatározóbb szerepet játszik a Társaság működésében. Ennek jelentőségét mutatja, hogy önálló szervezeti fókusz jelent meg a digitális fejlesztések koordinálására. A digitális technológiák használata egyre inkább létkérdéssé válik, segítségükkel gyorsabban tehető a folyamatok, növelhető a hatékonyság, csökkenthetők a költségek. Kulcsfontosságú a főfolyamatok digitális támogatása, amelyhez a folyamatosan fejlődő IT technológia naprakész alkalmazása elengedhetetlen. A hatékony és minőségi szolgáltatásra való törekvés alapelveire figyelemmel, kiemelten az üzemeltetési területekre koncentrálva, prioritásként kell kezelni a BKV Zrt.-nél rendelkezésre álló hatalmas adatvagyon üzemeltetés optimalizálási célú felhasználását. Az említett kihívásokra válaszul a BKV Zrt. létrehozta a Digitális Fejlesztési és Adatelemzési Osztályt, mely társasági szinten fogja támogatni a digitális transzformációt és az adatvezérelt működésre való átállást, erősíteni fogja a vállalaton belüli tudásmegosztást, és növelni fogja a Társaság működési környezetében megjelenő kihívásokra való reakcióképességét.

Az alkalmazkodóképesség talán egyik legjobb példája a járműállomány részleges megújításának módja. A korlátozott beruházási lehetőségek ellenére a Társaság több esetben is olyan megoldásokat talált, amelyek lehetővé tették a szolgáltatási színvonal javítását és a flotta korszerűsítését

anélkül, hogy jelentős új fejlesztési forrás állt volna rendelkezésre. A BKV Zrt. tartós bérlet formájában beszerzett új maximidi Mercedes-Benz Citaro K típusú buszokból álló flottája a legjobb példa erre. Az új járművek hozzájárulnak az utazási komfort és az utaselégedettség növeléséhez, továbbá kulcsszerepük van az esélyegyenlőség biztosításában, a klímacélok elérésében, illetve az energiahatékonyság javításában is. Ugyanakkor ez a konstrukció nem minden esetben alkalmazható és nem a leggazdaságosabb megoldás. Hosszú távú használat esetén a járművek megvásárlása előnyösebb a bérletnél, mivel az eszközök tartósan a szervezet tulajdonában maradnak és annak vagyonát gyarapítják.

3.3 A fenntarthatósági szempontok integrálása

A BKV Zrt. fejlődésének fontos eleme a fenntarthatósági szempontok mind szélesebb körű integrálása a vállalat napi működésébe.

A világ jelenleg a fenntarthatatlanság irányába halad, ezt a trendet kell valahogyan megfordítani. Hazánk városaiban – más európai nagyvárosokhoz hasonlóan – szembe kell nézni a klímaváltozás hatásaival, valamint az egyre növekvő gépjárműforgalom okozta nehézségekkel, amelyekre hatékony és fenntartható válaszokat kell adni. A tömegközlekedési ágazat stratégiai jelentősége az európai és hazai környezeti és mobilitási kihívások kezelésében vitathatatlan. Az uniós országok, köztük Magyarország által 2050-re kitűzött klímasemlegességi cél rendkívül ambiciózus, annak eléréséhez jogszabályban rögzített intézkedések szükségesek.

Az Európai Unió irányelvei a magyar jogrendbe a számvitelről szóló 2000. évi C. törvény (Számviteli törvény) módosítása, illetve 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 (ESG törvény) hatályba lépése által kerültek átültetésre. Az előbbi Fenntarthatósági jelentés, az utóbbi ESG beszámoló készítésének kötelezettségét írja elő, és ezen törvények hatálya a BKV Zrt.-re is kiterjed. Ennek megfelelően Társaságunk 2026-ban elkészítette első, a 2025. üzleti évre vonatkozó ESG beszámolóját, illetve ehhez kapcsolódóan Belső felelősségvállalási stratégiáját és Társadalmi felelősségvállalási stratégiáját is.

A fejlődés a fenntarthatóság irányába nem jön magától, hanem tenni kell érte – a BKV Zrt. ezt a filozófiát követi nap mint nap. Az elkészült ESG beszámoló mögött álló rengeteg munka a vállalat fenntartható fejlődés melletti elkötelezettségét és annak eredményeit is tükrözi.

A BKV Zrt. 2014 óta vesz részt a Virtuális Erőmű Program (VEP) 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 begyűrűző energiaválság pedig még inkább arra készítette a Társaságot, hogy működését még energiahatékonyabbá tegye. Több telephelyén napelemeket helyezett ki, a BKV Vasúti Járműjavító Kft.-nél pedig kiépítésre került egy geotermikus fűtési rendszer, melynek köszönhetően kiváltásra került a korábbi gázalapú fűtés. Elindult a smart metering rendszer kiépítése, mely növeli az energiaszolgáltatás átláthatóságát és hozzájárul a hosszú távú energiahatékonysági és fenntarthatósági célok eléréséhez. Az energiatakarékosági intézkedések a költségmegtakarítás mellett a CO₂ kibocsátás csökkentését is elősegítették.

A telephelyeket a Társaság 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.

A fenntarthatóság elveinek érvényesítése túlmutat a környezetvédelmi és energiahatékonysági szempontokon. Szerves részét képezi a társadalmi felelősségvállalás, a munkavállalók megtartását és fejlődését elősegítő humánpolitika, továbbá a pénzügyileg felelős, átlátható és etikus vállalati működés biztosítása is. A fenntarthatóság három pillérének együttes érvényesítése biztosíthatja, hogy a BKV Zrt. hosszú távon is stabil, megbízható és társadalmi szempontból értéket teremtő közszolgáltató maradjon.

4. A fenntartható fejlődés alapfeltétele

A benchmarking eredményei egyértelműen rámutatnak arra, hogy a BKV Zrt. versenyképességének további erősítéséhez a humán és szervezeti erősségek önmagukban már nem elegendők. A következő fejlődési szakasz alapfeltétele a járműállomány és a kapcsolódó infrastruktúra átfogó modernizációja. Külső finanszírozású, szigetszerű, eseti beavatkozások ugyan segítik a Társaságot, de nem elegendők az üzemeltetett közlekedési rendszer műszaki állapotának elvárt szintű, maradéktalan biztosításához.

A járműpark megújítása nem pusztán esztétikai vagy komfortkérdés. Közvetlen hatással van az üzembiztonságra, az energiahatékonyságra, a karbantartási költségekre és az utasélményre is. Hasonlóképpen meghatározó az infrastruktúra fejlesztése, különösen azoknál a rendszereknél, amelyek a fővárosi közösségi közlekedés gerincét alkotják.

Ezen fejlesztések megvalósításának kulcsa a megfelelő mértékű, kiszámítható ütemben rendelkezésre álló források biztosítása. A gazdasági fenntarthatóság nem csupán a napi működés finanszírozását jelenti, hanem azt is, hogy a Társaság rendelkezzen a szükséges beruházási lehetőségekkel a jövő kihívásaira való felkészülés érdekében. Csak így biztosítható a fenntartható fejlődés és a hosszú távú nemzeti klímacélok eléréséhez való hozzájárulás.

A Millenniumi Földalatti Vasút fejlesztési projekt, az M2 akadálymentesítése és egyúttal a mozgólépcsők cseréje, a Fogaskerekű rekonstrukciója, a Tiszta jármű irányelv teljesítése mentén megvalósítandó közúti járműbeszerzések – e-busz, troli –, a villamosflotta megújítása mind ide tartozó szükséges fejlesztések. Ezek a beruházások nemcsak korszerűbb és környezetbarátabb szolgáltatást eredményezhetnek, hanem jelentősen javíthatják az utasélményt és az üzemeltetés hatékonyságát is.

5. Jövőkép

A megváltozott külső környezetben és a technológiai felgyorsuló világban a BKV Zrt.-nek egyre inkább versenypiaci szereplőként kell működnie, az eddigieknél is gyorsabb és erőteljesebb lépésváltásra van szükség, melyhez elengedhetetlen a működés további dinamizálása és a versenypiaci szemlélet erősítése. A BKV Zrt. jövőképe egy olyan modern közszolgáltató vállalat képe, amely szakképzett és elkötelezett munkavállalóira építve, innovatív megoldások alkalmazásával, a fenntarthatósági szempontokat következetesen érvényesítve biztosítja Budapest közösségi közlekedésének működését.

A versenypiaci szemléletnek megfelelően folyamatosan növelni kell a szolgáltatás színvonalát, a szolgáltatás középpontjába az utast kell helyezni, komfortos, tiszta és biztonságos járművekkel pontosan, megbízhatóan kiszolgálni az igényeit. A legfontosabb azonban az utasbiztonság garantálása, melyben a BKV Zrt. kiválóan teljesít. A közlekedésbiztonság a szolgáltatás minőség-

ge, a város élhetősége és a gazdaságos üzemeltetés szempontjából egyaránt fontos. A BKV Zrt. ahogyan eddig, úgy a jövőben is folyamatosan képezi munkavállalóit – modern szimulátorokat is alkalmazva – és együttműködik más üzemeltető vállalatokkal, valamint a forgalomszervezőkkel és közútkezelőkkel, hogy a közlekedés során tapasztalt észrevételek megosztása által a szükséges forgalomtechnikai beavatkozások elvégezhetők legyenek.

A BKV Zrt. küldetése, hogy egy biztonságos, megbízható, fenntartható és versenyképes közösségi közlekedési szolgáltatást nyújtó társaság maradjon, akire a piac szereplői partnerként tekintenek; egy olyan vállalat, amely képes támogatni a Fővárost a közösségi közlekedés fejlesztésére és a környezet védelmére irányuló törekvéseiben.

A BKV Zrt. ugyanakkor nem csupán eszközparkja révén lehet sikeres. A vállalat legfontosabb értékei továbbra is a munkavállalók szakértelme, a szervezet alkalmazkodóképessége és a felhalmozott műszaki tudás maradnak. Amennyiben ezek az adottságok megfelelő fejlesztési forrásokkal párosulnak, a Társaság a jövőben nemcsak hatékony üzemeltetőként, hanem a közösségi közlekedési ágazat meghatározó innovációs tudásközpontjaként is pozicionálhatja magát.

A vállalatban lévő szakmai tudást és üzemeltetési tapasztalatot felhasználva fontos, hogy a közösségi közlekedés fejlesztését célzó beruházási projektekben erősítsük a BKV Zrt. szerepvállalását, annak érdekében, hogy az üzemeltetői igények és a beruházási tartalom jobban összehangolásra kerüljön, ezáltal elősegítve a főváros közösségi közlekedési rendszerének fejlődését. A szervezeten belül megtalálható egyedülálló mérnöki tudás kétséget kizáróan a nemzetközi piacon is értékesíthető.

Ahhoz, hogy digitális és innovációs tudásközpontként pozicionálhassa magát a Társaság, szükséges a meglévő humán erőforrásunk fejlesztése, valamint új munkavállalók bevonása. A versenyképes, vonzó, innovatív munkahely megteremtését kell fókuszba helyezni. Jelenleg a BKV Zrt.-nek fel kell készülnie arra, hogy a munkavállalóinak legalább 30%-a 10 éven belül nyugdíjba megy, ami egy generációváltást fog eredményezni a szervezetben. Elő kell segíteni a különböző generációk közti hatékony együttműködést, egy új mentorszemléletű program kialakításával meg kell teremteni a tudás átadásának és megőrzésének feltételeit, illetve nagy hangsúlyt kell fektetni a digitális kompetenciák fejlesztésére. Célunk, hogy az innovációra való nyitottság és az ötletmenedzsment tevékenység a vállalati kultúra szerves részévé váljon.

A BKV Zrt. célja egy stabil, modern, fenntartható és támogató munkáltatói környezet kialakítása – a munkavállalói visszajelzésekre építve –, amely méltányos bérezésen, a munkavállalók egészségének és jóllétének támogatásán, valamint kiszámítható életpályamodellen és folyamatos képzési lehetőségeken alapul.

Mindezek mellett folyamatosan felül kell vizsgálni a Társaság folyamatait és modernizálni a szervezeti struktúrát a vállalat stratégia céljainak elérése érdekében. A szervezetfejlesztés jelenlegi fókuszba az üzemeltető területek profilidegen tevékenységeinek és funkcióinak azonosítása, valamint azok leválasztása a szakmai alaptevékenységekre való koncentráció erősítése és a működési hatékonyság növelése érdekében. Ezzel párhuzamosan egy olyan támogató működési modell kialakítása, amely magasabb színvonalon, egységesebben és hatékonyabban szolgálja az üzemeltető területek működését, hozzájárulva a szervezet teljesítményének és eredményességének javításához.

A versenykörnyezetben működő vállalatoknak folyamatosan felül kell vizsgálniuk folyamataikat, és gazdasági érdekeiket szem előtt tartva értékelniük kell az egyes tevékenységek belső ellátásának (insourcing) vagy kiszervezésének (outsourcing) lehetőségét, ezáltal rugalmasan és dinamikusán alakítva üzleti modelljüket. A BKV Zrt. egyes tevékenységek insourcing lehetőségének vizsgálatát követően mind az őrzés-védelmi, mind a takarítási tevékenység visszaszervezéséről döntött. A döntést nemcsak a felelős gazdálkodás szempontjai indokolták, hanem az is, hogy a biztonság

és a tisztaság színvonalának emelésével növelhető az ügyfélelégedettség, illetve a munkavállalói elégedettség is.

Mindezzel párhuzamosan folytatni kell az energiahatékonyságot javító intézkedéseket és a digitális átállást a Társaságnál.

Összefoglalva, a Társaság célja, hogy továbbra is egy biztonságos, megbízható, fenntartható és versenyképes közösségi közlekedési szolgáltatást nyújtó társaság maradjon, amelyre a piac szereplői – megrendelő, tulajdonos, utasok, beszállítók, társadalom – hosszú távon is stabil partnerként tekintenek, tovább építve a fenntartható, energiahatékony és utasfókuszú közlekedést Budapesten.

Konklúzió

A nemzetközi összehasonlítás eredményei alapján megállapítható, hogy a BKV Zrt. a korlátozott erőforrások, az előregedő infrastruktúra és a jelentős működési kihívások ellenére is versenyképes teljesítményt nyújt. Ennek alapját elsősorban a munkavállalók szakértelme, a szervezet alkalmazkodóképessége, fenntarthatóság iránti elkötelezettsége, valamint a felelős gazdálkodás jelenti.

A hosszú távú fejlődés feltétele ugyanakkor a működési és fejlesztési források megfelelő mértékű és ütemezett rendelkezésre állása. A humán tőke, a fenntarthatósági szemlélet és az innováció képessége már ma is adott a szervezetben. A következő lépést a fejlődés útján az jelentené, ha ezek az erősségek a szükséges jármű- és infrastruktúra-fejlesztésekkel párosulnának. E feltételek teljesülése esetén a BKV Zrt. nemcsak megőrizheti versenyképességét, hanem a magyar és nemzetközi közösségi közlekedési szektor meghatározó, innovatív szereplőjévé is válhat.

Irodalomjegyzék

- [1] Camp, R. C.: Benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance, ASQC Quality Press, Milwaukee, WI, 1989.
- [2] Kaplan, R. S. – Norton, D. P.: The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action, Harvard Business School Press, Boston, MA, 1996.
- [3] Argote, L.: Organizational Learning: Creating, Retaining and Transferring Knowledge, Springer, Heidelberg, 2013.
- [4] Spendolini, M. J.: The Benchmarking Book, AMACOM, New York, NY, 1992.
- [5] World Bank: A Framework for Urban Transport Benchmarking, The World Bank, Washington, DC, 2006.
- [6] <https://www.bvg.de/dam/jcr:70a93fa8-74b3-4b45-917f-41d7494576fa/bvg-geschaeftsbericht-2024.pdf> (2025.11.17.)
- [7] <https://www.bvg.de/dam/jcr:27ceb5b8-a738-400e-b288-0044d523d050/2025-05-05-bvg-in-zahlen-2024.pdf> (2025.11.17.)
- [8] https://www.wienerlinien.at/o/document/betriebsangaben_2024_deutsch_web (2025.11.17.)
- [9] <https://www.profil.at/wirtschaft/wiener-linien-verdreifachen-jahresverlust/403082104?utm> (2025.11.17.)
- [10] <https://www.ztm.waw.pl/raporty-roczne-ztm/> (2025.11.17.)
- [11] https://www.ztm.waw.pl/wp-content/uploads/2025/02/www_BIULETYN-GRUDZIEN_2024.pdf (2025.11.17.)
- [12] https://www.dpp.cz/cs/data/V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD%20zpr%C3%A1vy/Annual%20report/dpp_vz_2024_eng_05.pdf (2025.11.17.)
- [13] <https://dpba.blob.core.windows.net/media/Default/Dokumenty/Vy%CC%81roc%CC%8Cna%CC%81%20spra%CC%81va%20za%20rok%202024.pdf> (2025.11.17.)
- [14] <https://content.tfl.gov.uk/travel-in-london-2024-annual-overview-acc.pdf> (2025.11.17.)

A „KÖZÖSSégi” közlekedés változásai Debrecen városában

Dr. Denke Zsolt¹ és Dr. Tóth Szabolcs²

¹ MÁV Magyar Államvasutak Zrt.
e-mail: denke.zsolt.laszlo@mavcsoport.hu

² DKV Debreceni Közlekedési Zrt.
e-mail: toth.szabolcs@dkv.hu

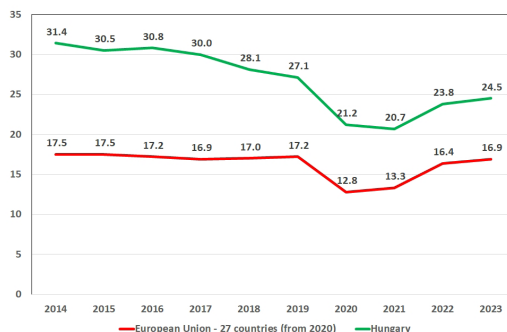
Abstract

Az utazási szokások jelentős változáson estek át az elmúlt években. A COVID hatása, a háborús helyzet miatt kialakuló energiaválság és ellátási bizonytalanság az egyéni közlekedés irányába terelte a lakosságot. Egyre több gépjármű került hazánkban is forgalomba, egyre többen preferálták a mobilitás ezen formáját. A közösségi közlekedés részaránya jelentős csökkenést élt meg mind országosan, mind a városi közlekedésben. Ennek negatív következményei egyre gyakrabban tapasztalhatók az országos és városi utakon fokozódó nagyságú torlódások kialakulásának és az eljutási idők növekedésének, valamint a környezeti terhelés növekedésének formájában. A kedvezőtlen tendencia mérséklésére, megfordítására elengedhetetlenné vált a közösségi közlekedés népszerűségének növelése. Ennek érdekében a 2023 évi tarifareform kapcsán közös tarifarendszer került kialakításra a helyközi közösségi közlekedésben. A közös bérletrendszer sikerének köszönhetően először a főváros, majd több vidéki nagyváros, köztük Debrecen is a bevezetés mellett tette le a voksát.

Kulcsszavak: tarifareform, közös tarifa, közösségi közlekedés, közlekedésfejlesztés

Bevezetés

Az elmúlt évtized mobilitási szokásait vizsgálva alapvetően megállapítható az, hogy a közösségi közlekedési eszközök használatának arányában az Európai Unióban jelentős, míg hazánkban kisebb mértékben csökkenő tendencia figyelhető meg [1]. A helyközi és városi közlekedésben az EU országainak átlagához képest még mindig jelentős eltérés mutatkozik, mely alapján hazánkban még mindig nagyobb arányban használják a közösségi eszközöket (1.ábra).

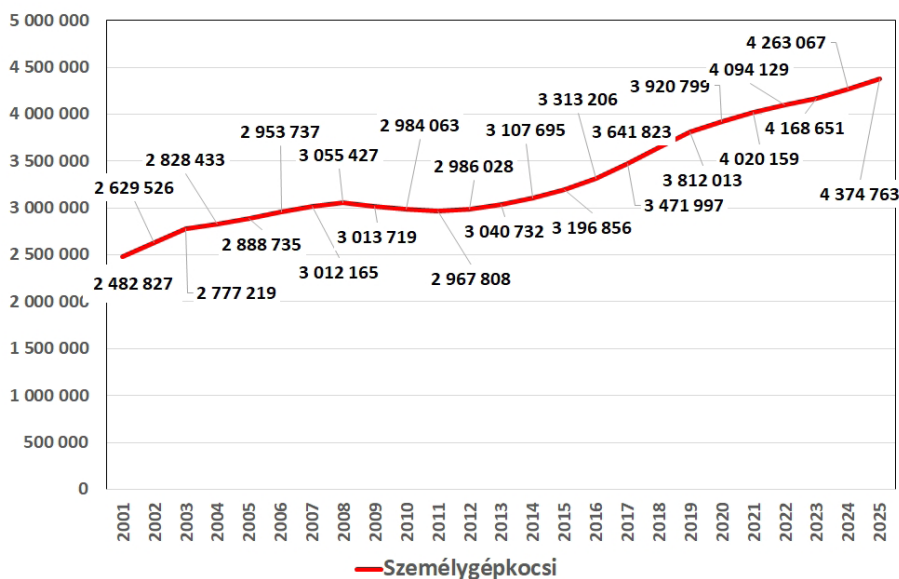


1. ábra

a közösségi közlekedés részaránya 2014-2023 évek között az EU-ban és hazánkban

Forrás: Eurostat

Az utazási szokások változására több tényező hat, ugyanakkor a pandémia negatív hatásai a közös térben történő utazásban egyértelműen megfigyelhető. Modal split tekintetében országos szinten a közösségi közlekedők aránya a 2019. évi 39%-ról 29%-ra esett vissza 2021-re [2]. Ez az arány Budapesten 48%-ról 38%-ra történő csökkenést mutat. A fővárosi szolgáltatás kibocsátás arányaiban magasabb volumene mellett, az eltérés másik oka valószínűleg az, hogy a vidéki városokban a kisebb távolságok miatt más, alternatív mobilitási módokkal váltották ki az utazásokat. Másik tényező az egyéni utazási mód növekedése, amely tükröződik abban is, hogy a személygépjárművek száma 15%-kal nőtt 2025 évre a pandémia előtti évhez képest, 3.812 ezerről 4.375 ezer regisztrált járműre [3] (2. ábra).



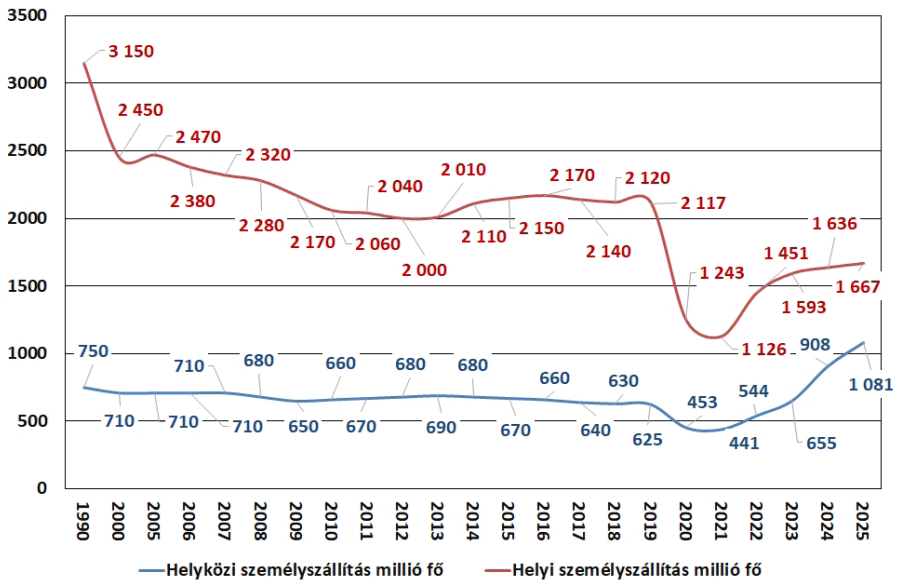
2. ábra

Személygépjármű állomány változása hazánkban

Forrás: KSH

Azonban a városok útjain tapasztalható tumultus többeket az egyéni közlekedés más alternatívái felé terelnek. Az elmúlt években a kerékpáros forgalom folyamatos felerősödése tapasztalható a városokban, hiszen sokszor gyorsabb eljutási idővel lehet számolni, mint az autós vagy közösségi közlekedéssel történő utazások esetében. A kerékpárutak fejlesztésével is egyre többen használnak kerékpárt vagy más kétkerekű eszközt [4]. Egy 2025 évi kutatás szerint a teljes lakosság 60%-a szokott kerékpározni, továbbá megfigyelhető az, hogy a tavasztól ősziig terjedő időszakban jelentős mértékben megugrik a kerékpározók száma [5].

A városi mobilitás változásai, az egyéni közlekedés további térnyerése megmutatkozik a közösségi közlekedésben is, főleg a pandémiás időszakot érintően. 2019 évben 2.742 millió utassal szemben 2020-ban 1.696 millió utazás valósult meg a közösségi eszközökön [2]. A helyközi közlekedés visszaesése 27,5%-os volt 2019-ről 2020-ra, míg a helyi közlekedésben 41,3%-os mértékű utazáscsökkenés volt hazánkban (3. ábra).



3. ábra

Közösségi közlekedésben elszállított utasok számának változása hazánkban
Forrás: KSH

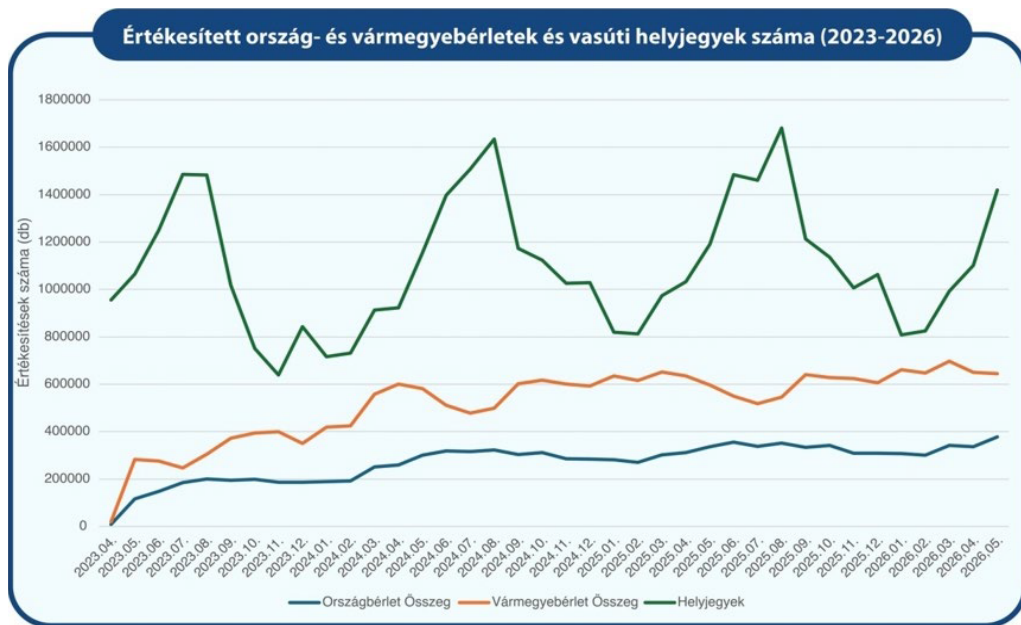
Nem volt ez másképp Debrecen városában sem, az utasszámok a COVID előtti időszakhoz képest mintegy 60%-kal estek vissza, majd az azt követő években csak lassú visszarendeződés kezdődött el. Országos tekintetben 2023 évben 1.995 millió utazás, 2024 évben már 2.544 millió, míg 2025-ben 2.748 millió utazás valósult meg.

A közösségi közlekedési szakma a pandémiát követően válságos helyzetben találta magát, amelyre gyors válaszokat kellett adni. A jármű- és infrastruktúra elengedhetetlen és időszerű fejlesztésének megkezdése mellett, a szolgáltatás elérhetőségének javítása volt a fókuszterület.

1. Tarifareform

A városi mobilitásban tapasztalható nehézségek azt kívánják meg, hogy a közösségi közlekedés népszerűsítéséért a városok és a szolgáltatók közösen tegyenek. A közös tarifa egy olyan lehetőség, amellyel az utazás nagymértékben leegyszerűsödik, a városi és az agglomerációs közlekedési rendszerek átjárhatósága jelentős mértékben javul, mely az utas számára költségek tekintetében is egy jelentős könnyebbséget jelent.

A Kormány, valamint az Építési és Közlekedési Minisztérium döntése értelmében a MÁV-START, a Volánbusz, a MÁV-HÉV, a GYSEV helyközi járatainak igénybevételére egy közös díjtermék került bevezetésre 2023. május 1-től. A vármegye- és országbérlettel Magyarországon a helyközi közösségi szolgáltatásban egy megfizethető, sőt a kedvezményes bérletre jogosultaknak egy jelentősen kedvezőbb árú havi bérlettel lényegesen elérhetőbbé vált az utazás. Az intézkedés hatása egyértelműen megmutatkozik a számokban is, hiszen a helyközi szolgáltatásban 2022-ről 2025 évre megduplázódott az utasszám. Az új lehetőség népszerűnek bizonyult, 2023 évben már meghaladta 30 millióval a pandémia előtti 625 millió utazást, 2025 évben már több mint 1.081 millió utazás valósult meg [5].



4. ábra

Ország- és vármegyebérletek értékesítési volumenének változása

Forrás: MÁV-csoport

A bevezetés évében, nyolc hónap alatt több, mint 4 millió értékszelvény fogyott, az új díjtermék szinte teljes mértékben átvette a régebbi termékek helyét, 10-ből 9-szer már ezeket vásárolták az utasok. Az értékesítési adatok folyamatosan növekvő tendenciát mutattak, 2025 évben már több, mint 11 millió fogyott ezen bérletekből, míg napjainkban már meghaladják a havi 1 milliós számot (4. ábra).

2. A közös tarifa rendszer kiterjesztése

A helyi közlekedés irányába lassabb visszavándorlás volt tapasztalható a pandémiát követő időszakban. A 2019-ben mért 2.117 millió éves utazással szemben, 2023-ban még 1.593 millió utazás valósult meg, amely a 2019 évhez képest 524 millió utassal kevesebb volt. A következő évek utasszám növekedésének üteme is kisebb volt a helyközi szolgáltatásban tapasztaltakhoz képest, 2025-ben 1.667 millió utazás valósult meg, mely továbbra is 80%-a a pandémia előtti értéknek [2]. A számok tükrében várható volt, hogy a helyi közlekedésben is felmerül a közös tarifa lehetősége.

Zalaegerszegen pilotként 2023. július 1-től elfogadásra kerültek a helyi járatokon a vármegye- és országbérletek, azonban 2024. december végével ezt a lehetőséget megszüntették. Zalaegerszegen a városi bérletek továbbra is megmaradtak, ugyanakkor kölcsönös bérletelfogadás nem valósult meg, mivel azokkal nem lehetett a városon belül a helyközi járatokon utazni. A helyi közlekedésben a teljes tarifaközösség, a kölcsönös bérletelfogadás Budapest esetében valósult meg először [6]. A 2024. március 1-től bevezetett rendszernél már a helyi értékszelvények, a Budapest bérletek is elfogadásra kerültek a helyközi közlekedésben Budapest határán belül. A

főváros mellett, sokáig csak Esztergomban, Érden, Ercsiben és Csongrád városokban lehetett vármegye- és országbérletekkel igénybe venni a helyi eszközöket [6].

A közös tarifa rendszer előnyeiből néhányat kiemelve, az utasoknak és munkáltatóknak is jelentős anyagi könnyebbséget jelent az egységes tarifa. A kedvezményezett kör 90%-os kedvezményes bérlet vásárlására jogosult. A dolgozói bérletek esetében már nem szükséges a két értékszelvény megvásárlása, ezzel a cégek által a dolgozók munkába járásának támogatása is leegyszerűsödik, mivel a dolgozók egy értékszelvénnyel, 86%-os munkáltatói költségtérítés mellett, a helyközi és a helyi szolgáltatók járatait is igénybe tudják venni.

A budapesti tapasztalatokra építve várható volt az, hogy a további nagyvárosok is érdeklődést mutatnak a közös díjtermékek bevezetése iránt. Debrecenben a közös tarifarendszer kialakításának ötlete a tényleges bevezetést több évvel megelőzte, hosszú előkészítő munka végeredményeként 2025 decemberében az ellátásért felelősök, a minisztérium és Debrecen Megyei Jogú Város Önkormányzata, valamint a szolgáltatók, a MÁV Személyszállítási Zrt. (MÁV) és a DKV Debreceni Közlekedési Zrt. (DKV) között tarifaközösségi megállapodás született, amely egymás díjtermékeinek kölcsönös elfogadására épül. Ez azt jelenti, hogy 2025. december 24-től Debrecenben a DKV menetrend szerint közlekedő járatait igénybe vehetik az érvényes országbérlettel, valamint Hajdú-Bihar vármegyebérlettel rendelkező utasok. Ugyanakkor a közös elfogadás jegyében Debrecen város közigazgatási határán belül a DKV éves, havi és hóközi bérletei, papír és elektronikus formában a MÁV vonatain és autóbusz járatain szintén elfogadásra kerülnek. Használhatók a járatokon a DKV papír alapú általános, tanuló és nyugdíjas, az arckép nélküli havi, valamint ezen bérletek elektronikus havi, hóközi és éves bérlettípusai, kiegészülve a kisgyermekes bérletekkel. A DKV által 2017 évben bevezetett elektronikus bérletrendszer díjtermékei, a személyi igazolvány, a diákigazolvány és a Debrecen Városkártyához rendelt utazási jogosultságok ellenőrizhetősége is megvalósult a MÁV járművein. Az együttműködés kiterjed a szolgáltatók között egymás értékszelvényeinek értékesítésére is, melynek keretében a DKV az e-Szig rendszerén keresztül is értékesíti a Hajdú-Bihar vármegyebérleteket. Debrecen városát Miskolc követte, ahol 2026. áprilisától szintén bevezetésre került a tarifaközösség.

3. Szükséges fejlesztések

A MÁV és DKV kölcsönös értékszelvény elfogadásának sikeres bevezetéséhez mindkét fél részéről jelentős fejlesztések voltak szükségesek. Az értékesítési, nyilvántartási, jegyellenőrzési rendszerek összehangolása, a szolgáltatók közötti adatmegosztás az egyik legjelentősebb pillére a közös rendszer működőképességének.

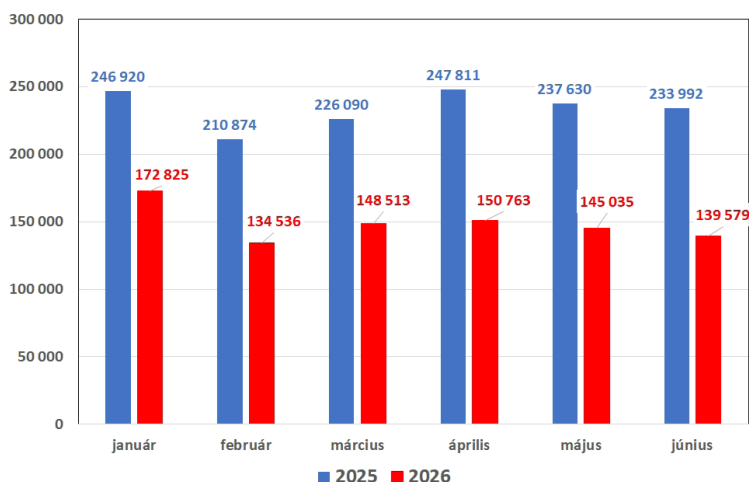
A DKV értékesítési rendszerének időzítetten be kell küldenie az értékesített helyi és vármegye bérletek adatait a MÁV adatbázisába. A MÁV adatbázisából a helyközi autóbuszok leolvasóira érkeznek a bérletadatok. A leolvasók kijelzik a bérlet megnevezését, a kibocsátó nevét, a viszonylatot, járat számát és az érvényesség idejét. Amennyiben az utasmédiához (díjhordozóhoz) nem tartozik egyetlen érvényes termék sem, akkor az autóbuszvezetőnek szemrevételezéssel kell elfogadnia, vagy visszautasítania (a papír alapú termékeknél van erre lehetőség, az elektronikusnál nem).

A vasúti jegyvizsgálók fedélzeti ellenőri készülékeikkel állapítják meg a DKV által értékesített helyi bérletek és vármegyebérletek érvényességét. Az utasmédia (díjhordozó) vonalkódját az ellenőri készülékek optikai úton olvassák be, vagy az okmány azonosítóját a jegyvizsgálók begépelik. Az ellenőri készülékek a JÉ keretrendszerbe küldik a sorszámot, amely interfészen keresz-

től bekérdez a DKV rendszerébe. A DKV rendszere megküldi az utasmédiához tartozó érvényes bérletek listáját. Az ellenőrzés eredményét a fedélzeti készülék a JÉ keretrendszerbe küldi. A DKV ellenőrök – szűrőpróbaszerű ellenőrzésük során – fedélzeti készülékükkel beolvassák a MÁV (és parterei) által értékesített elektronikus és papír alapú ország- és vármegyebérleteinek vonalkódjait. A vonalkódok tartalmazzák az érvényesség megállapításához szükséges adatokat. A MÁV a vonalkódok beolvasásához szótárelemeket és publikus aláíró kulcsokat biztosít. A mobilfizetési rendszerben értékesített bérleteket mindkét szolgáltató valós időben a meglévő megoldásokkal ellenőrzi. Az ellenőrzési adatok szolgáltatók közötti automatizált visszamutatása interfészen keresztül fejlesztéssel valósul meg.

4. Az elmúlt időszak tapasztalatai

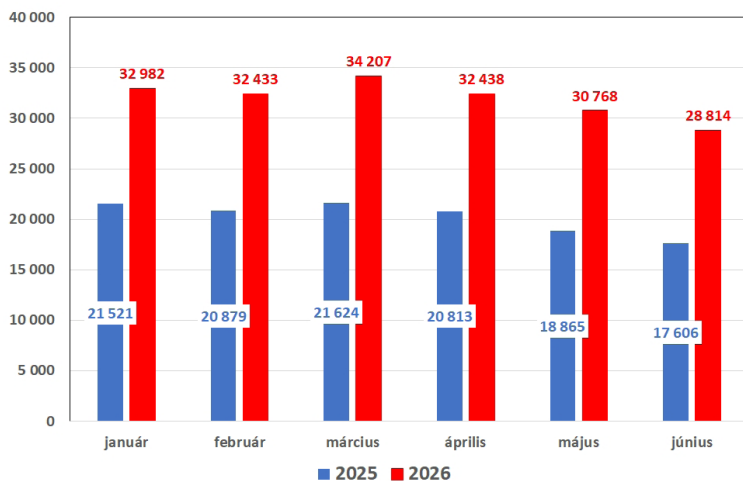
A DKV értékesítési adatait elemezve, összehasonlítva a közös tarifa bevezetését megelőző időszakot a jelenlegi időszakkal megállapítható, hogy a DKV saját helyi értékszelvényeinek darabszámai összességében mintegy 36%-kal visszaestek. A jegyek tekintetében átlagosan 35%-os, általános bérletek esetében 32%-os, míg a kedvezményes bérletek esetében mintegy 91%-os visszaesés tapasztalható. A jegyek esetében vélelmezhető az, hogy az ad-hoc utazások esetében egyre többen használják a már meglévő ország- és vármegyebérleteket, illetve vásárolnak ilyen bérleteket (5. ábra).



5. ábra

DKV jegy és bérlet darabszámok összehasonlítása 2025 I-VI. hó és 2026 I-VI. hónapok tekintetében
 Forrás: DKV

A kedvezőbb árú és szélesebb körű felhasználási terület miatt az átvándorlás a debreceniek esetében jelentős volt, mely megjelenik a Hajdú-Bihar vármegyebérlet értékesítési darabszámaiban is. Itt 58%-os volt a darabszámnövekedés (6. ábra). Mélyebben elemezve az adatokat kijelenthető, hogy a tanuló vármegyebérletek növekedése volt a legnagyobb volumenű. A 72%-al megnövekedett darabszám mögött összességében pedig az elektronikus bérletek térnyerése volt jelentős. A tarifaközösség létrejöttének tudható be az is, hogy 2025 első félévében a hazai összes vármegyebérlet 3,3%-a volt hajdú-bihari, míg 2026 azonos időszakában már 4,9%. Ezen belül a tanulóbérletek esetében az összes tanulóbérletből a hajdú-bihari részarány 4%-ról 6,7%-ra növekedett.

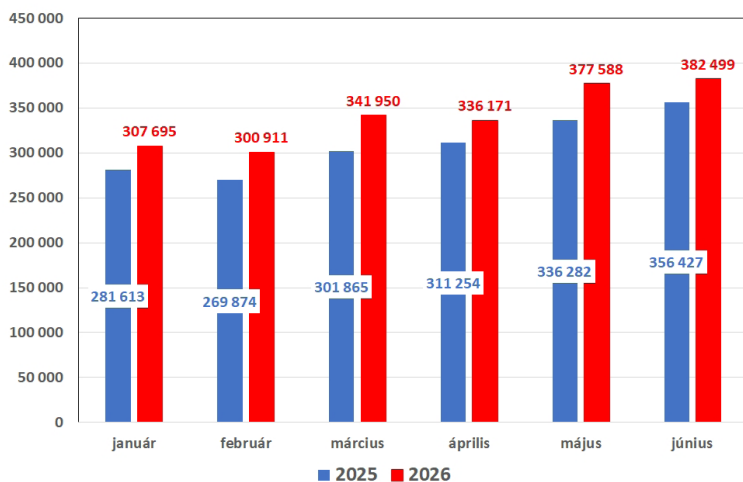


6. ábra

Hajdu-Bihar vármegyebérlet darabszámok összehasonlítása 2025 I-VI. hó és 2026 I-VI. hónapok tekintetében

Forrás: MÁV-csoport

Az országbérlet értékesítési volumene is növekedett, mely mintegy 10%-os mértékű volt az időszakokat összehasonlítva (7. ábra). Ugyanakkor itt még nehezebben lehet megállapítani a debreceni intézkedés hatásait. Az országbérletek volumenének növekedéséből a debreceni tarifaközösség hatását azzal az aránnyal becsülhetjük, amennyi az összes vármegyebérletből a Hajdu-Bihar vármegyebérletek aránya.

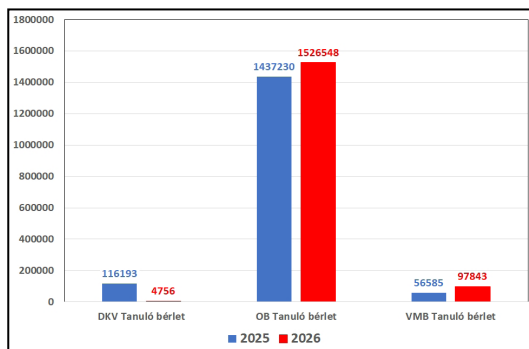


7. ábra

Országbérlet darabszámok összehasonlítása 2025 I-VI. hó és 2026 I-VI. hónapok tekintetében

Forrás: MÁV-csoport

Debrecenben a leginkább volumenében érintett tanulóbérletek esetében jelentős átrendeződés figyelhető meg. Itt az első félévben mintegy 110 ezer darab bérlet esett ki a DKV értékszelvényei közül (8. ábra).



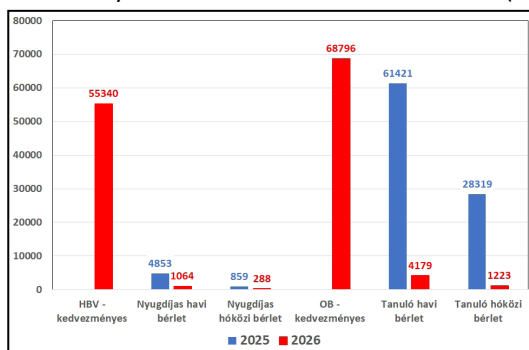
8.ábra

Tanuló bérlet darabszámok összehasonlítása 2025 I. félév és 2026 I. félév tekintetében
 Forrás: MÁV-csoport - DKV

Keresve az átvándorlás irányát a Hajdú-Bihar vármegyebérletek között közel 70 ezer bérlet növekedés jelentkezik. Az országos bérletek tekintetében összességében közel 200 ezer darabos növekmény tapasztalható, ugyanakkor ez nem vezethető vissza teljes mértékben a debreceni (illetve 2026. április elseje után a miskolci) intézkedés hatásaira. Amennyiben az összes vármegyebérletből a Hajdú-Bihar vármegyebérletek arányával becsüljük az országbérletek növekményének debreceni tarifaközösségből eredő hatását, akkor mintegy 53,5 ezer darabos növekményt kapunk.

A helyi tanulóbérlet értékesítésében kiesést okozhatott még a 14 év alattiaknak Debrecen junior városkártyával történő díjmentes utazásának vármegyei lakóhellyel rendelkező diákokra történő kiterjesztése is.

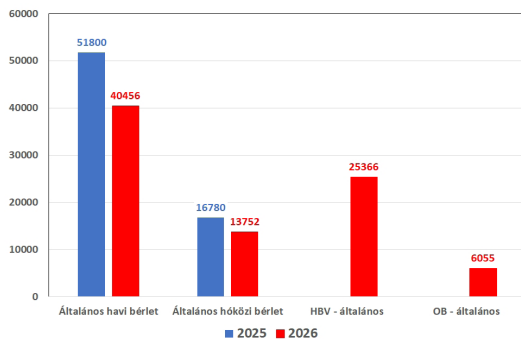
A DKV ellenőrzési adataiból egyértelműen látszik, hogy a két év azonos időszakait összehasonlítva teljes mértékben átalakult a különböző bérlet típusok használata. A kedvezményes bérletek átrendeződése az ellenőrzési számokban is visszaköszön, az 5 hónapos adatok alapján 2025. év vonatkozásában a DKV értékszelvényein 95 ezer ellenőrzés volt, míg 2026-ban 7 ezer alatti. Ugyanakkor a közös értékszelvényeken közel 125 ezer ellenőrzés volt (9. ábra).



9.ábra

Kedvezményes bérletek validációs számának összehasonlítása a DKV járatain 2025 I-V. hó 2026 I-V. hónapok tekintetében
 Forrás: DKV

Az általános bérletek esetében kisebb mértékben tapasztalható visszaesés a DKV bérletek ellenőri validációjában. A 2025 évi közel 69 ezres számhoz képest 2026-ban a DKV bérletek 54 ezres validációval, míg a közös termékek 31 ezres számmal jelentkeznek (10. ábra).



10.ábra

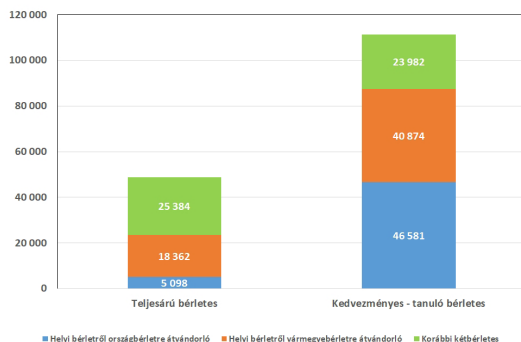
Általános bérletek validációs számának összehasonlítása a DKV járatain 2025 I-V. hó 2026 I-V. hónapok tekintetében
 Forrás: DKV

Az értékesítési számok és az ellenőrzési adatok elemzéséből a következő magyarázat adható a helyi díjtermékek csökkenő használatának okaira:

- az ingázók, akik két bérlettel rendelkeztek, a helyi bérletüket már nem kell megvegyék, a helyközi bérletekkel utaznak,
- a helyi utasok, akik helyi bérletükről helyközi bérletre vándoroltak át,
 - tanulóberletesek esetében az egyértelmű ár előny miatt,
 - teljesárú berletesek esetében, ha alkalmasszerűen kiutaztak a városból, vagy nem napi ingázók voltak, akkor a korábbi helyi bérlet és a helyközi jegyeik együttes áránál már kedvezőbb az ország- illetve vármegyeberletek vásárlása.

Amennyiben azzal a feltételezéssel élünk, hogy a tarifaközösség bevezetésével nincs új utas, de nem is tűnt el utas, akkor a következő megállapításokat tehetjük:

- a vármegye- és országberletek értékesítésében bekövetkezett növekményt az átvándorolt helyi berletesek vásárolják,
- a kiesett helyi bérletekből előbbi bérletnövekményt levonva, az így előálló további kiesett helyi bérleteket az ingázók vették, akik korábban helyi és helyközi bérletet is vettek, ezután csak helyközi bérletet vesznek, amelyet már a helyi közlekedésben is használhatnak.



11.ábra

DKV kiesett bérlet darabszámainak magyarázata (átvándorlók és korábbi kétbérletesek) 2025 I. félév és 2026 I. félév tekintetében. – Forrás: MÁV-csoport – DKV adataiból saját számítás

Az elvégzett becslés alapján a kiesett teljesárú helyi bérleteket vásárlókból 10% országbérletre és 38% vármegyebérletre vándorolhatott át (annak növekményét adja), míg 52% korábban kétbérletes utas lehetett (további kiesett helyi teljesárú bérleteket vásárlók). A kiesett helyi tanuló bérleteket vásárlók esetében 42% országbérletre és 37% vármegyebérletre vándorolhatott át (annak növekményét adja), míg 22% korábban kétbérletes utas lehetett (további kieső helyi tanuló bérleteket vásárlók) (11. ábra).

Az átvándorló helyi bérletesek száma az első félévben havonta átlagosan mintegy 3.900 teljesárú és 14.500 tanuló bérletes lehet. A korábbi kétbérletesek száma az első félévben havonta átlagosan 4.200 dolgozó és 4.000 14 év feletti tanuló lehet (11. ábra adatainak havi átlaga).

Konklúzió

A helyi közösségi közlekedés fejlesztésének igénye a közös díjtermékek bevezetésével egyre jobban felerősödik. Az utasok joggal várják el azt, hogy a szolgáltatás színvonala emelkedjen mind országosan, mind a települések szintjén. Az is látható, hogy az agglomerációs közlekedési igények jelentős mértékben megváltoztak, mivel egyre többen költöznek a nagyvárosok vonzáskörzetének településeire. Ezen „alvóvárosokból” napi szinten ingázók száma folyamatosan növekszik lökéshullám szerűen terhelve ezzel a bevezető utakat és a város útjait.

Vizsgálva az értékesítési, ellenőrzési és utasszám adatokat a közös tarifa rendszer elindulása és kiterjesztése a nagyvárosokra egyértelműen megállította a közösségi közlekedés térvesztését. Napjainkban megint egyre többen választják a közösségi közlekedést. Ugyanakkor az is látható, hogy a szolgáltatás minőségének javítása, a kínálat növelése mind a helyközi, mind a helyi szolgáltatásban elengedhetelen a jövőben további utasszám növekedés eléréséhez. Ehhez szükséges a helyi és helyközi közösségi közlekedésben rejlő párhuzamosságok, intermodalitási és menetrendi összehangolási lehetőségének vizsgálata és fejlesztése.

Irodalomjegyzék

- [1] https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tran_hv_psmo/default/table?lang=en (2026.07.08.)
- [2] utazási adatok: https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0001.html (2026.07.08.)
- [3] gépjármű adatok: https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0023.html (2026.07.08.)
- [4] Idea Intézet / Így bringázik Magyarország, Országos reprezentatív kutatás, 2025
- [5] Korszakalkotó változás a közösségi közlekedésben – Jön az új vármegyebérlet és az országbérlet (2023. február 18. szombat, 17.02 / Utolsó módosítás: 2023. április 24. hétfő, 07.16): <https://www.mavcsoport.hu/mav-csoport/korszakalkoto-valtozas-kozossegi-kozlekedesben-jon-uj-varmegyeberlet-es-orzagberlet> (2026.07.08.)
- [6] Denke Zs.: Úton az egységes tarifarendszer felé a közösségi közlekedésben / On the Road towards Integrated Tariff System in Public Transport, „Komplexitás és sokszínűség a közlekedésben”, XVI. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia, Győr 2026
- [7] OBVB értékesítési adatok: <https://www.mavcsoport.hu/mav-csoport/ertekezesi-adatok> (2026.07.08.)

A stuttgarti közösségi közlekedés egy kihívása és az arra adott válasza egy nem tősgyökeres budapestitől

Krausz Márton

Stuttgarter Straßenbahnen AG
marton.krausz@ssb-ag.de

Abstract

Stuttgart tömegközlekedésének működése rengeteg feszültséggel rendelkezett és még ma is rendelkezik. Az egyikre sikerült bő egy évtized alatt megoldást találni. A megoldást és az ahhoz vezető utat mutatjuk be röviden.

Kulcsszavak: Stuttgart, forgalomirányítás, zavarkezelés

Bevezetés

A stuttgarti tömegközlekedés két pilléren alapszik. Egyrészt az állami vasút (Deutsche Bahn) üzemeltetése alatt futó S-Bahn (egyszerűség kedvéért nevezzük HÉV-nek) rendszer, melynek hat vonala az agglomerációs településből érkezvén egy közös alagútban fonódnak a város központján keresztül. A másik a Stadtbahn hálózat, amely részben elkülönített pályán, részben alagútban, máskor a közúti útpályán haladva közlekedik a városban, de néhány agglomerációs településen is (nevezzük az egyszerűség kedvéért villamosnak). Ezt a hálózatot a Stuttgarter Villamos Részvénytársaság (Stuttgarter Straßenbahnen AG, röviden SSB) üzemelteti. Történetéről, működéséről, különlegességéről rengeteg irodalom olvasható a világhálón is. Közlekedésbarátok számára rendkívül érdekes, ezért turistalátványosságnak is mondható a tizenöt vonal mindegyike. Ezért általánosságban nem beszélek ezekről, inkább a külső szemlélő számára kíváncsún tűnő rendszer működésében is felmerülő kihívásokról és az arra adott válaszokról szeretnék értekezni. Meggyőződésem ugyanis, hogy a rendszer azért tűnik a németországi rendszerek összehasonlításában is jónak, mert kellőképpen felismerte a gyengeségeit és a továbbfejlesztés gondolatába alapvetően beépítették a zavarkezelés folyamatait.

Szigorúan nézve a stuttgarti villamoshálózat két fővonalon üzemel. Egyrészt a város mentén futó Nesenbach (nem a Neckar!) által kivájt völgymenti (Tallängs-) és az erre merőleges, völgyet keresztező (Talquer-) vonalak. A két fővonalban fonódnak az egyes járatok, és végül a Charlottenplatz megállónál ezek mind találkoznak. Ezáltal biztosítva az egyszeri átszállással eljutást az egész hálózatban (egy-két kivételtől eltekintve, lásd U3, U8, U13, U16, U19).

Menetrend szerint minden vonalon tíz perces követési távolsággal közlekednek a villamosok, melynek köszönhetően a fővonalakon kétpercenként érkezik egy-egy jármű. Az alagutakban való közlekedés biztosításához vonatbefolyásoló rendszer működik, ez az ennél sűrűbb követést nem is teszi lehetővé. A járművek negyven, illetve csatolt módban nyolcvan méter hosszúságúak és 250 (500) személy szállítására alkalmasak.

Ilyen paraméterek mellett kézenfekvő, hogy nagy kapacitás mellett működik a rendszer és a közlekedők számára egy kiváló szolgáltatást nyújt a sváb főváros lakóinak, ingázóknak, vagy az ide érkező turisták számára is. E szolgáltatás mellett a társ S-Bahn hálózat is rendkívül nagy kapacitással működik, hisz ott kettő, vagy három hetvenméteres motorvonategységből csatolt járművek közlekednek menetrend szerint húszpercenként, azaz kb. három és fél percenként a fővonalon. És mégis, ha közvéleménykutatást végeznénk a két szolgáltatást összehasonlítva, mint ahogy azt nem tesszük, mondván a szolgáltatások kiegészítik egymást és nem konkurensek, egyértelműen az SSB felé billen megbízhatósági elégedettség. Ugyanis ami elromolhat, az el is romlik. És sajnos még a legfejlettebb rendszerekben is előfordul az, hogy a teljes kapacitás valamilyen oknál fogva nem használható. Ilyenkor lép hatályba a zavarkezelés folyamata. És valóban nem mindegy, hogyan kezeli egy szolgáltató a tervezhető és főleg a nem tervezhető zavarokat. E sorok írója az SSB forgalomirányító központjában több mint egy évtizede foglalkozik ezen folyamatok optimalizálásán, standardizálásán.

1. Első benyomásoktól, napjainkig

Annak idején, amikor a társasághoz megérkeztem, az SSB-nél felmerülő zavar esetén hangos vita indult el a forgalomirányító központ munkatársai között arról, hogy milyen formában, kinek mit kell csinálnia, többször párhuzamosan dolgoztak kollégák azon, hogy akár a helyszínelő kocsit, vagy a tűzoltóságot, vagy a társaság vezetését a példa kedvéért értesítsék. A járművezető a nyelvi nehézségei miatt nem tudott megfelelően kommunikálni az utasokkal, igazán ő sem tudta, hogyan kellene közlekednie és rádión kellett elmagyaráznia a diszpécsernek, hogy hogyan tovább, a digitális kijelzőkön mindössze annyi volt olvasható, hogy eltér a szolgáltatás a menetrendben meghirdetettől. Ezek elég nagy káoszt okoztak, az utasok pedig annyit éreztek az egészből, hogy nem megy semmi, hát gyalogoljunk, ami bosszantó volt.

Manapság bármilyen zavar esetén a hálózat egészén, az utastól a helyszínelőn át a fődiszpécserig (de még a vonatbefolyásoló rendszer is) minden szereplő pontosan tudja másodperceken belül, hogyan kell viselkednie, közlekednie.

Ez egy hatalmas változás egy olyan vállalat életében, ahol komolyan vehető vezető beosztásban lévő kollégák között olyan érvek hangoznak el, hogy „hát mert azt mindig is így csináltuk!”, vagy „hát mert mi soha sem csináltuk úgy!”. Az A pontból B pontba jutás folyamatát kívánom a következőkben leírni, bízva abban, hogy a tisztelt olvasó e tapasztalatok bemutatása alapján ihletet tud meríteni, mert minden újítás nehéz és nem törvényszerű, hogy azonnal működik. Főleg egyedül nem működik, ahhoz kellenek munkatársak, akik segítenek, jobb esetben egyetértenek, de legalább kooperatívak. Legalább olyan fontos elem az állandó visszacsatolás kérése és aktív iteráció. A rendszer egy évtizedes kezdete óta is folyamatosan változik (esetenként visszaváltozik).

2. Minden zavar más

Munkám kezdetén próbáltam felmérni az SSB kultúráját, kihívásait, ahol gyakran arról hallottam történeteket, hogy régen minden mennyivel jobb volt, könnyebben működtek a folyamatok, a mai személy- és üzembiztonság fókuszú világban már semmit nem lehet hatékonyan kezelni. Valóban, a rendszerek bonyolultabbak, az előírások szigorúbbak és ott van ez a fránya számító-gépes világ, aminek a működését egy tapasztalt forgalmista úgysem ért. Feladatomnak láttam, hogy tudjak segíteni az SSB forgalomirányító központjában ezeken a nehézségeken. Korábbi

munkám miatt, amit a BKV-nál, illetve a BKK-nál végeztem, volt némi rálátásom arra, hogy a megújuló világban hogyan tudom az egyre komplexebb feladatokat úgy leegyszerűsíteni, hogy az mindenki számára könnyen, effektíven elvégezhető legyen. Külföldön felnőve saját magamon éreztem, hogy mennyire fontos a közös kommunikációs mező, hogy ne csak jól kommunikáljunk, hanem elérjük azt, hogy akinek közölnie kell egy üzenetet, az a lehető legkönnyebben tehesse azt. (Korábban bevezettük azt a szolgáltatást Budapesten, hogy ne másod-, meg harmadkézből tudja meg pl. a nyilvánosság, ha valami nem közlekedik, hanem a Fődiszpécserközpontban a Kálvin téren lehetőség nyílik az adott munkatársnak akár sablonok alapján leírnia az adott forgalmi helyzetet. És ezt a külvilággal ilyen módon közölje is. Ez manapság természetesnek mondható, annak idején egészen hajmeresztőnek tűnt.)

Első lépésként bevezettük azt a rendszert, hogy a zavar tényéről az üzemi jelentést író (kezelő) felületen keresztül e-mailes és sms rendszerben tájékoztatunk munkatársakat annak függvényében, hogy pl. történt-e személyi sérülés, busz vagy villamos érintett-e, infrastruktúra sérülése stb. Ezt megelőzően, még az volt a kérdés, ki van épp ügyeletben, kit kell hívni, kit nem... Ma már ez alapján egy kategóriát kell a fődiszpécsernek kiválasztania, meg kell írnia a szöveget és a megfelelő címzett már előre meg van határozva a sablonban. Mindemellett bevezettem azt a lehetőséget, hogy a diszpécser minden eseményt úgy vigyen a számítógépbe, hogy azt a fődiszpécser könnyen átemelhesse az üzemi jelentés programjába a saját szempontrendszer szerinti módon. Nem vicc, azelőtt kézzel írták az eseményt a diszpécsernek egy cetlire, amit a fődiszpécser később bepötyögött a gépbe...

Ezzel párhuzamosan (miután a stuttgarti főpályaudvar (S21) átépítése miatt a belvárosi hálózat éppen átalakulóban volt) a fődiszpécseri központ térfigyelő kamerák kivetítésére használt kijelzőjére kikerült az új vonalhálózati térkép, mint egy kvázi „puska”. A kérdés az volt, hogy ha egy adott ponton zavar van, hogyan tudunk reagálni.

Alapvető informatikai tudásommal és néhány kolléga bevonásával az eddig el nem képzelhető dolog történt: a térfigyelő kamerák mellett, dinamikusan lehetett egy térképet megjeleníteni az alaphálózattal, illetve megmutatni, hogy egy zavar esetén, milyenné válna ez a hálózat. Ráadásul minden diszpécser tudta ezt „mozgatni”. Ezzel elindult egy folyamat, ami a fődiszpécseri központ működését alapjaiban változtatta meg. Egy interaktív táblává vált az addig mindössze térfigyelő kamerák kivetítésére használt médiafal. A kérdés már csak az volt, mit jelenítsünk meg a falon, mire használjuk ezt a lehetőséget.

Alapvetően az volt a cél, hogy a zavar esetén korábban leírt kaoszt mérsékeljük, legalább a tervünket mindenki számára hozzáférhetően megjelenítsük. Ráadásul egy interaktív to-do lista segített abban, hogy strukturáltan dolgozhassanak a kollégák. De természetesen, mint mindenben, itt is rengeteg ötlet, vélemény, ellenkezés született onnantól kezdve, hogy „tudom, mit csinállok, nem kell segítség”, egészen odáig, hogy „erre menjél, ne menj arra”. Nehézséget jelentett továbbá, hogy a kollégák műszakokban dolgoznak, tapasztalatot nem tudnak cserélni, emiatt sokszor félreértések jellemezték a kezdeti időket. Ezt kezelendő létrejött egy bizottság, amely a Forgalomirányító Központ vezetéséből és valamennyi fődiszpécserből állt. Havonta összeültünk, én hoztam a javaslatokat, ezeket megvitattuk és közösen kialakítottunk egy stratégiát, amit zavar esetén használtunk. Nagyon fontos volt azt kijelenteni, hogy ez egy stratégia, nem törvény, nem a kivételek számítanak, hanem hogy milyen fő rendszereket kell meghatározni. Például, ha baleset, vagy járműhiba van egy adott ponton, a zavar helyszíne azonos, azaz a terelés, pótlás, helyszínelés stb. is azonos. Ennek a gondolatnak a bevezetése egy sok héten át tartó folyamat volt, hiszen azelőtt az általános gondolkodás az volt, hogy „minden zavar más!”

3. Mi van, ha nincs?

Hónapok munkájának köszönhetően alapvető kérdésekben sikerült megegyezni. Megállapodtunk abban, hogy scénáriókat hozunk létre a belvárosi új hálózatban. Pontokba szedjük az egyes vonalakat, átszállási pontokat, kiírjuk a pótlásokat, az ideiglenes hálózatról előkészítünk egy térképet és a folyamatot meghatároztuk annyiban, hogy zavar esetén a fődiszpécser kezeli az egész rendszert, illetve a kötőtpályás diszpécser ez alapján szervezi a zavarkezelést. Sok vita volt természetesen arról, hogy tartalmilag mi a tökéletes megoldás, merre legyen a terelés, melyik vonal a fontosabb, mi az, ami teljesíthető. A végén azonban minden ilyen scénárióról többségi elven döntöttünk és megállapodtunk, hogy abban az esetben is, ha egy adott szituációt akár jobban is meg lehetne oldani – a haváriahelyzetben lefolytatott viták elkerülése végett –, ragaszkodunk a leírtakhoz és majd utólag megvitatjuk, hogy legközelebb mit lehetne másképp, jobban csinálni.

Nehézséget jelentett eleinte, hogy minden szereplő azonos aktivitással vegyen részt a kezdeti próbálkozásokban, volt például olyan, aki a rendszer értelmét kérdőjelezte meg. Viszont türelmesen, minden munkatársat egyénileg betanítottuk, akár többször végigjárva minden kérdéskört annak reményében, hogy a legszeptikusabb kollégát is meg tudjuk nyerni annak érdekében, hogy aktívan hozzájáruljon a rendszer bevezetésében. Ez a folyamat majd egy évig tartott, rengeteg vitával, amelyek már-már személyeskedő veszekedésekig fajultak, ilyenkor előfordult, hogy a szigor erejét kellett bevetni, hogy ne forduljon káosszá a forgalomirányító központ egésze.

Az alapok tisztázása után meghatároztunk egy navigációs szempontrendszert, hogy a megfelelő scénáriót a lehető leggyorsabban el lehessen érni, ne egy hosszú listát kelljen bogarászni. Ehhez a sematikus vonalhálózati térképet használtuk, melynek területeire kattintva részletesebben megjelent az adott szakasz, ahonnan ki lehetett választani a megfelelő scénáriót. Ezeket a scénáriókat elneveztük, kapott egy rövidítést, ami a kommunikációt megkönnyítette. Például egy adott zavar esetén elindítjuk a 1.1-es scénáriót. Az 1.1 ki lett nyomtatva a helyszínelőknek, el lett küldve az utastájékoztatásnak is. Azaz, csak annyit kellett mondani, hogy baleset miatt 1.1 és mindenki tudja, melyik járat hogyan közlekedik. A fent említett kezdeti nehézségeket követően bejáratódott a folyamat, egyes kollégák állandó módosítási javaslattal érkeztek, mások fel nem tárt szakaszokra hívták fel a figyelmet, egyszóval elkezdett élni az ún. „Störungsstrategie” (Zavarstratégia).

Odáig „fajult” a helyzet, hogy annyira megszokottá vált ennek az „itinernek” a használata, hogy egy idő után a belvárosi szakaszokon kívül is keresni kezdték a megfelelő scénáriókat, hiába. Ezzel a kereséssel is jelentékeny idő ment el eredménytelenül. Erre a problémára válaszul, arra az elhatározásra jutottunk, hogy a vonalhálózat teljes területén - függetlenül az adott zavar következményétől - létrehozzuk a zavarstratégiát, hogy senkiben ne merülhessen a jövőben fel az a kérdés, hogy mi van, ha nincs megfelelő scénárió.

4. Hogyan működünk nélküle?

Évekkel később a Német Közlekedési Vállalatok Szövetsége (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, VDV) egyik képviselőjével vitakoztam annak fontosságáról, hogy egy ilyen rendszer akkor tud igazán hasznos lenni, ha megbízható, azaz minden helyzetre, helyszínre van egy válasza. Akkor arról szólt egy diskurzus, hogy milyen módon lehet a stratégiákat az intermodális közlekedésirányítási rendszerrel (Intermodal Transport System, ITCS) megfelelően összekötni.

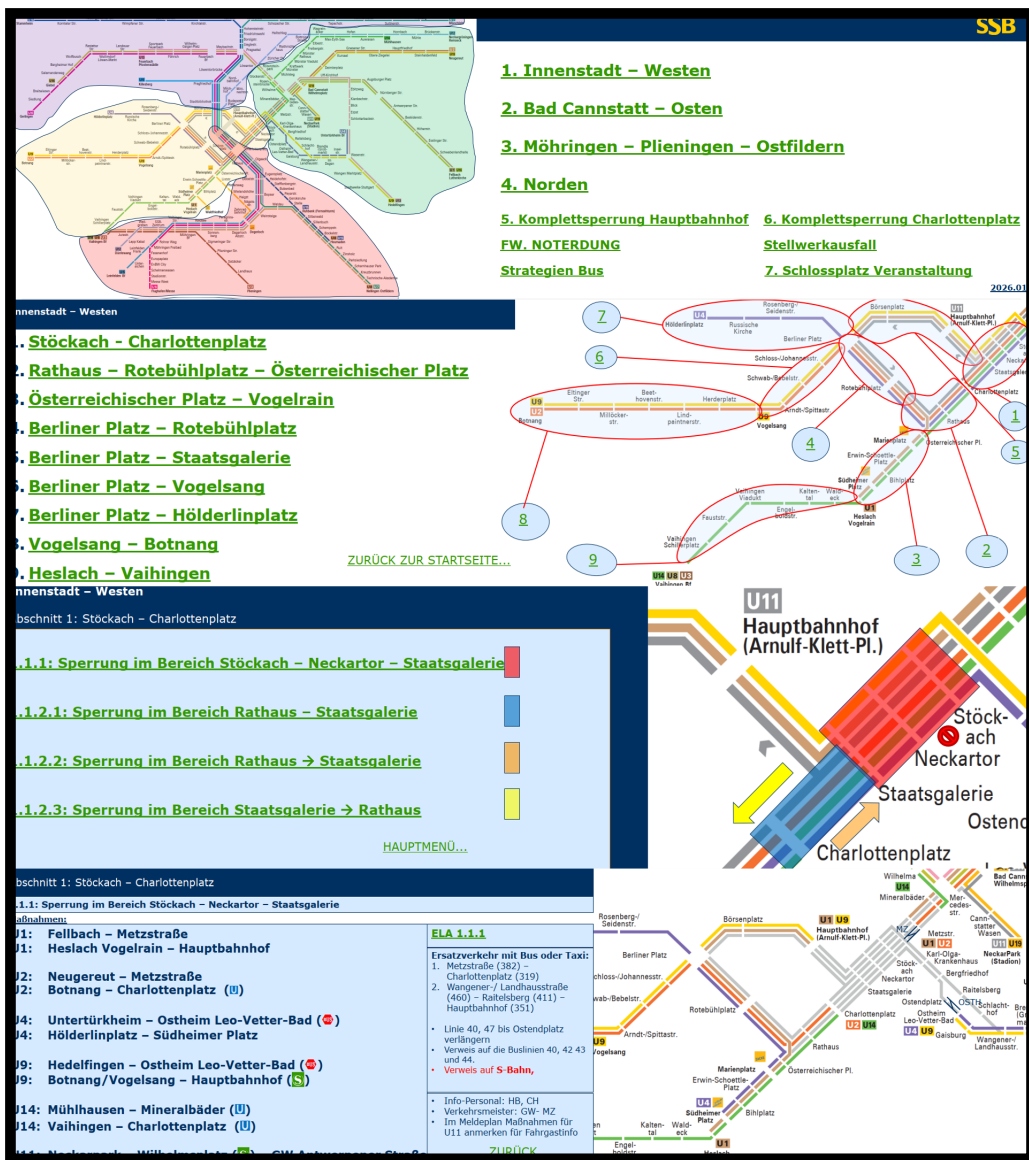
Miután ugyanis a belvárosi scénáriókat kiegészítettük a teljes hálózatra, négy felé osztottuk a területeket, a bevezetőben említett völgy menti, és völgyet keresztező vonalakat kettévágva. (a korábbi 1.1-ből így lett 1.1.1) A négy terület egyikére kattintva eljutunk a közelebbi nézetre, melyen már az adott szakasz is kivehető, erre a területre kattintva a három-négy, adott esetben több scénárió közül lehet választani.

Amikor a megfelelő scénárió ki lett választva, a fődiszpécser elrendeli ennek alkalmazását. Egy kattintással kinagyítja a médiafalra. A diszpécser a rádión keresztül annak tartalmát beolvassa. A járművezetőknek visszavonásig az adott módon kell közlekedniük. Az utastájékoztató diszpécsernek a scénárió tartalmát a megfelelő médiumokon meg kell jeleníteniük, a fődiszpécser a pótlást ez alapján meg kell szerveznie, illetve a korábban említett belső információs csatornán a zavar okának feltüntetése mellett csak a scénárió számát kell megadnia. A fődiszpécseri központ egyéb tevékenységei természetesen a korábban bejáratott módon ugyanúgy működtek.

Viszont e folyamatot olyan jól sikerült implementálni, hogy a fődiszpécseri központ bemutató prezentációjának kiemelkedő eleme lett, házon belül és azon kívül is, hamar felkeltve más közlekedést szervező cég érdeklődését is. Elkezdtek más vállalatok átvenni ezt a módszertant, mert a fent említett problémák mindenhol ismertek voltak. Az innováció a térképes nézet alapján történő leszűkítés volt, melynek köszönhetően nem kellett egy nagyon hosszú listából kiválasztani a megfelelő scénáriókat. Ezt az innovációt próbálta az ITCS rendszert szállító svájci cég a Trapeze (mai nevén Ebblo) átvenni, melynek köszönhetően volt az imént említett diskurzus. A mai napig Zürich mellett Stuttgart számít a legfejlettebb zavarstratégiával rendelkező városnak az Ebblo ITCS rendszerét használó közlekedésszervező cégek közül.

Itt nem álltunk meg, sokkal több előre gyártott tartalommal bővítettük a rendszert. Először sablonokat készítettünk egy-egy scénárióhoz, majd több sablont minden ilyen tervhez. Például nem ugyanaz a hangos utastájékoztató volt abban a megállóban, ami a zavar irányába felszálló utasokat érintette, mint pl. azokban a megállóban, ahol a zavar miatt csak pótlás volt lehetséges. De például a taxiközpontot is bevontuk a folyamatok leegyszerűsítésére (nálunk az elsődleges pótlást taxihívással oldjuk meg). A terv része, hogy milyen zavarra, milyen pótlást kell rendelni, ezek kódját a scénárió tartalmazza. A bővítéseknek az lett az eredménye, hogy olyan sok feladat párosult ezekhez a zavarelhárítási tervek megvalósításához, hogy át kellett gondolni, a központ addig működő személyzetén (egy fővel megemelkedett a fődiszpécseri központ létszáma), illetve a sablonok használatán felül ki kellett találni optimálisabb végrehajtó eszközt. Az ITCS rendszerünket fejlesztő cég létrehozott egy alkalmazást, melyhez kisebb közlekedési cégeket már sikerült bevonnia, melynek alapötlete az, hogy előre definiált intézkedéseket csomagba rendezi. Ez az ún. intelligens döntéstámogatás (IDS intelligent decision support). Működése gyakorlatilag a mi sablonjaink egyszeri lefuttatása. Hátránya, hogy egy nagyobb közlekedési hálózatban rengeteg ilyen sablon létezhet, ennek kidolgozása és főleg használata átláthatatlan. A mi megoldásunkat ötvözve végül is Stuttgart lett az első város, mely nagyvárosként bevezette az IDS-t teljes folyamatában (1. ábra).

Pár kattintással akárhol felmerülő zavar esetén egy kódrendszer alapján, amit a fődiszpécser térkép alapján tud meghatározni több száz előre definiált intézkedést tud az ITCS-ben elindítani, egyéb kommunikációs csatornákon pedig ugyanezen kódrendszer mellett más területeket is tud informálni. Az elmúlt években érkező új kollégák számára a rendszer használata nélkül a központ működése elképzelhetetlen, ha így kellene működniük, valószínűleg sokan a felmondásukon gondolkodnának.



1. ábra

Szavarsztratégia lépcsői a kezdőlaptól a konkrét szcenárióig

5. Mit is tartalmaz tehát egy ilyen szcenárió?

Tartalmazza az adott viszonylat négy végállomását, adott esetben terelés esetén egy fontos köztes ponttal, végállomásokon az átszállási kapcsolatokkal. Tartalmazza az utastájékoztatók számára egy behivatkozott dokumentumot, melynek tartalmának élő felolvasása történik (ezeknek az előre történő rögzítése jelenleg is zajlik). Tartalmazza a pótlás pontjait, különös tekintettel a taxitársaság által kezelt kódokkal. (természetesen adott esetben buszos pótlás is szervezhető,

Egy ilyen scenáriót az ITCS-ben rögzítettük. A zavar elején, amikor még nem biztos, hogy teljes egészében le kell zárni az adott szakaszt, van egy lehetőség, hogy csak az elsődleges információ jelenjen meg, ilyenkor az adott ponthoz kapcsolódó vonalakon található digitális kijelzőkön annyit jelzünk, hogy fennakadás van jelenleg, menetrendi eltérés várható. Abban a pillanatban azonban, amikor a zárásról döntés születik, egyszerre rengeteg intézkedés indul el. Egyrészt a kijelzőkön speciális szöveg megjelenik (lásd, nem kiszolgált megálló, ideiglenes végállomás stb.), másrészt a járművekben lévő kijelzőkre is felkerül az előre elkészített szöveg. A járművezetők egy trigger-utasítást kapnak automatikusan, amikor a zavar közelébe érnek, illetve ami, egy külön fejezetet érdemel, külön minden zavarra szerkesztett egyedi útvonalat kapnak. Ezek az útvonalak, melyek az ITCS rendszerből érkeznek, összhangban vannak a fent leírtakkal, innen tudja a jármű, hogy módosított céllal közlekedik, melynek eredményeként a hangos utastájékoztató a járműben a kijelzők a járművön, de még a vonatbefolyásoló-berendezés is az adott zavar szerint módosul. Jelenleg nagyjából 5800 ilyen intézkedés van a rendszerben, melyből, csak a módosított útvonalak száma 768. Nehézséget jelent továbbá, hogy kétfajta OBU rendszer működik jelenleg az SSB-nél. Ezeknek az útvonallellátása nem azonos módon történik. Amennyiben tehát módosításra van szükség, nagyon sok ponton kell közbeavatkozni annak elkerülése végett, hogy ellentmondások ne legyenek a rendszerben. Problémát jelent továbbá, ha egy vonalcsoportban egyszerre több zavar van, egyes kijelzők ilyenkor nem tudják, melyik zavar alapján kellene az információkat megjeleníteni. Ilyen esetben manuálisan kell belenyúlni a kész sablonokba és módosítani kell azokat. Ugyanúgy nehéz tervezett zavarok esetén elindítani a rendszert, mert az alapmenetrendhez vannak természetesen a scenáriók igazítva. (Korábban megpróbáltunk több hetes záráshoz igazítani a rendszert, de a ráfordított energia nem volt kifizetődő.) A mai napig viszont minden zavar esetén forgalomfigyelő kamerák segítségével is figyeljük és keressük a scenáriók hibáit, ellentmondásait.

6. Digitalizáció

Az útvonalak meghatározásában a szoftvert szállító cég nem tudott segítséget adni, ilyen kaliberű közösségi közlekedést lebonyolító szolgáltató még nem vezette be ezt a komplex rendszert. Nehézséget jelentett, hogy a hálózatban van egy-két olyan vonal, mely hosszabb útvonalat tesz csúcsidőben, mint azon kívül. Ezen kívül a két különböző fedélzeti számítógép-típus miatt duplán kellett dolgozni, illetve a rendszer csak előre meghatározott módon tud alternatívát nyújtani. Felmerültek ugyanis ezek mellett olyan tényezők, melyek a scenáriómeghatározáskor relevánsak lehetnek, azonban mérlegelni kellett, hogy nem válik-e a projekt túlzottan elaprózódóvá, ha minden körülményt előre meghatározunk. (Csak néhány példa: az U7 vasárnapok kivételével csatolva közlekedik, ezért az U15-re történő terelés esetén kiszolgálhatja azok megállóit; vannak olyan visszafordító váltók, melyek használatához feltétlen szükséges egy helyszínelő, ezeket egyébként nem szabad használni stb.) Ilyen esetben a fődiszpécsernek még nehezebb dolga lett volna kiválasztani a megfelelő scenáriórt rengeteg időt elveszítve a keresgéléssel. Máskülönb felmerült a kérdés, mi van akkor, ha a körülmények a zavar közben megváltoznak. Jó-e, ha oda-vissza lépegetünk a scenáriók között. A konklúzió az lett, hogy csak az ökölszabály szerinti általános helyzetekre hozunk létre scenáriókat, és kizárólag, akkor illesztünk be „B” scenáriókat, ha azok futtatása egyszerűen megoldható. Az elmúlt évek tapasztalata azt mutatja, hogy ez egy jó kompromisszumnak bizonyult. Nagyon ritkán fordul elő olyan helyzet, amikor ezek a kivételek léphetnek életbe. Ilyen esetben is természetesen lehetőség van a manuális zavarkezelés indítására, vagy a meghatározott tervtől való kis méretű eltérésre. Nagyon fontos tapasztalat, hogy

kezdeti időkből ezek a kivételek érvként szerepeltek, miért is nem fog működni az egész rendszer. Sok energiába került, egyrészt meggyőzni a kollégákat arról, hogy ne a kivételek határozzák meg a szabályrendszerek meghatározását, másrészt az IDS rendszer egyértelmű utasításokat várt, azaz, nem lehetett a tervekben alternatívákat fenntartani.

Ezen ökölszabályok alkalmazása mellett sikerült az egész vonalhálózatra a zavarstratégia alapján scenáriókat létrehozni. Minden járatnak a scenárióhoz kapcsolódó útvonalai lettek meghatározva, ezek csokorban történő aktiválása a fődiszpécseri központ jól bevált feladata. Az új, alternatív útvonal egy előre definiált intézkedéssel aktiválódik, mely intézkedés a csokor intézkedés tagja. Az útvonal az útvonaladatbázis-kezelő alkalmazásban készül, mint minden útvonal, ezáltal minden olyan tulajdonsággal rendelkezik, mint egy hétköznapi útvonal (menetrendi idő, cél, megállópontok, utasítások, de még az ajtók nyílásának oldala is.). Viszont nagyon fontos, hogy a hasonló fordulóval rendelkező menetek adott esetben más utastájékoztatással rendelkezhetnek, hiszen például az egyik scenárióban lehet pótlást szervezni, a másikban az adott megállóban nem. Ilyenkor két különböző útvonalat kell szerkeszteni. Ez is rendkívüli odafigyelést igényel (3. ábra).

wegverlauf

Linie 1

Linienfahrweg 1001-A-N-UF(1)(32(1))->ST(11)(26(11))

☐ Nur geänderte Zeilen anzeigen

☐ Nur ungültige Einträge

punkt	Haltestellenname	Haltepunktname	Distanz	Wechsel Ansa	Fz Ansa	Endhal...	Coun...	Routenzie	
(32(1))	Uff-Kirchhof	Stadtbahn > WP						12 [S: FL-	
(6332(1))	Bad Cann. Wilhelmsplatz	Stadtbahn U1/U2 > einwärts	770	-270	WP--3014_I				
(30(1))	Mercedesstraße	Stadtbahn > einwärts	448		MC--0000				
(28(1))	Mineralbäder	Stadtbahn > einwärts	560	-240	MB--3010_I				
(27(1))	Metzstraße	Stadtbahn > einwärts	678	-280	MZ--3010_I				
(26(11))	Stöckach	Stadtbahn - Gw H-Baumann-Str > einwärts	350			x	Ja		
Klicken Sie hier, um ein neues Element hinzuzufügen									
Routenzie		Fahrzeugzieltext		Mehrzeilige statische DFI-Zieltexte		DFI-Zieltext	Produktiv	Luftliniendista...	Wegsuche- Distanz
12 [S: FL->CH->VI]		492 [DT8: Metzstraße Bus: Universität S]		BN-MZ					
				WP-MZ			Ja	759	770
				WP-MZ			Ja	443	448
				-MZ			Ja	557	558
		875 [DT8: Fahrt endet hier // Nicht einsteig]				Metzstraße (SWR) [70]	Ja	639	678
						- Betriebsfahrt - [1502]	Nein	329	329
LSA- Me...	Haltebereich 1	Haltebereich 2	Perlschnuranzeige	Halteart	MFD- Anschluss...	Aussteigeseite	Zugeordnete AZE	Fz Ansa	ZSA am Haltepu
	40	40	0 OF00	Befehlshalt	Ein	Rechts	UF e (1) ...		
0 594	40	40	0 OF00	Befehlshalt	Ein	Rechts	WP e, WP z S (2) ...	Bad Cannstatt Wilhelmsplatz...	
8 1297	75	75	0 OF00	Befehlshalt	Ein	Rechts	MC e (1) ...	Mercedesstraße [100553]	
8 1524	40	40	0 OF00	Befehlshalt	Ein	Rechts	MB e (1) ...	Mineralbäder Naturkundemu...	
8	40	40	0 OF00	Befehlshalt	Ein	Rechts	MZ e (1) ...	Endhaltestelle [110001], Met...	
9	80	80	0 OF00	Befehlshalt	Ein		(0) ...		

3 ábra

Az útvonal-adatbázis-kezelő szoftver felépítése egy adott útvonal meghatározásához

7. Kitekintés

A rendszer alkalmazása az előre nem tervezhető zavarok esetén zajlik, bár a gyártó más menetrendi változáshoz is javasolja. Az SSB azonban ragaszkodik ahhoz, hogy a tervezett módosítások meghirdetett módon, az élő adatok pontos meghatározásával történjen. Ugyanis az IDS nem

tudja előre, pontosan melyik járművet fogja a zavar érni, ezáltal nem tudja a tervezett és a tényleges menetrendi adatokat összevetni. Mi ezért maradunk a klasszikus változó menetrendi adatoknál előre tervezett módosítások esetére.

Másik téma a busz ágazat, ahol az alternatív útvonalak száma jelentős és a zavarok túlnyomó többségének esetén, könnyen kikerülhető az akadály, megállókijárat nélkül is. Azonban itt is bevezetünk egy-két visszatérő scenáriót, például, ha egy alagút lezárásra kerül, akkor mindig ugyanúgy lesznek a buszvonalak terelve. Stuttgart központjában visszatérő helyszíneken folytatnak tüntetéseket, ilyenkor is lehet előre felkészülni, és adott esetben hirtelen reagálni.

A többéves tervezés és lépcsőzetes bevezetésnek köszönhetően a rendszer egyre tökéletesebb lett, a folyamatok tisztázódtak, az emberi mulasztás kockázata csökkent. A legnagyobb kihívás jelenleg a beosztások figyelése, ugyanis a nagy zavaroknak az a következménye, hogy a menetrend szerinti műszakváltások nem tudnak úgy történni, ahogy eredetileg tervezték, ugyanis vagy a jármű, vagy a járművezető, adott esetben a váltási helyszín nem áll rendelkezésre. Az IDS automatikus beosztási rendszert befolyásoló modulja manapság tesztelés alatt áll. E bonyolult megoldás implementálásától várja a társaság a még hatékonyabb működést.

Telefonos futásjóságmérés bevezetése az üzemeltetésben és a minőségbiztosítási folyamatokban

Kelemen Zsolt

Budapesti Közlekedési Zrt.
e-mail: kelemenzo@bkv.hu

Abstract

Az okostelefonok megjelenése számos új lehetőséget hozott, amelyekkel a megszokott üzemeltetési, karbantartási rendszerben a diagnosztikai és minőségbiztosítási rendszerben olyan adatok vehetők fel, amelyekkel objektívebb módon lehet minősíteni a járműveket, illetve feltárni annak hibáit. A kis beruházási igényű, rugalmasan használható rendszer bevezetésének első lépései történnek, az útkeresés sokat ígérő eredményeket hozott már most is.

Kulcsszavak: kerék-sín kapcsolat, járműgépészet, futásjóság, innováció, minőségbiztosítás, kutatás

Bevezetés

Évek óta folyik az együttműködés a BKV Infrastruktúra és Járműműszaki Főmérnökségek között, amely során közösen azt kutatjuk, hogy a járműkerék és a vasúti pálya közötti kölcsönhatás milyen üzemi körülmények között is mérhető mennyiségekkel, paraméterekkel jellemezhető jól, illetve hogyan lehetne tovább optimalizálni ennek a komplex rendszernek a működését. Cikkünkben a 2025. évben megkezdett kutatást kezdjük bemutatni, amely során a járművek futásjósága alapján annak műszaki állapotára, illetve a pálya állapotára próbálunk következtetéseket levonni.

1. A futásjóság fogalma és az EN 12299 szabvány bemutatása

A futásjóságon a jármű mozgásának az utasokra gyakorolt hatását értjük üzemszerű működés esetén (tehát nem vészfékezés, ütközés vagy egyéb rendellenes helyzetben): ez egy összetett érzés, amit az utas átél, miközben lengőmozgások és a tehetetlenségből fakadó mozgások adódnak át a testére a vasúti járműszerkezetről. A futásjóság fogalmát tehát a jármű azon pontjain értelmezzük, ahol utasok tartózkodhatnak, vagyis az utastér utasok számára kijelölt részein: az állóhelyeken és az üléseken. Így nem számít bele a kerékpár mozgása a primer felfüggesztés és a sín között, sem a forgóvázkereket és tartozékainak a mozgása a primer és a szekunder rugó között, valamint a szekunder rugó fölötti részek közül sem az alváz alatti részek, vagy például a járműtető. A vasúti közlekedés régebbi időszakaiban csupán a szubjektív érzékelés szolgált arra, hogy a jármű futását minősítsék, de a későbbiekben már próbáltak mérési eredmények segítségével számszerű eredményeket keresni. Egy elterjedt megoldás volt a Sperling-szám, amelyet a járműlengés alapján lehet kiszámolni. Az eredeti, elméleti képlete tartalmazza a lengési

amplitúdót és frekvenciát (különböző hatványaikon), valamint egy korrekciós függvényt, amely a lengési frekvencia alapján súlyozza az értéket mondván, hogy a nagyon kicsi és nagyon nagy frekvenciák kevésbé kényelmetlenek az ember számára, és leginkább a néhány hertz periódusú lengéseket érzi meg az ember. [1] A képlet alapján egy mértékegység nélküli szám jön létre, amelynek értéke alapján a jármű futását különböző kényelmi osztályokba lehet sorolni.

- Manapság a vasúti járműiparban az EN 12299 szabvány a mérvadó, amely kicsit részletesebben foglalkozik ezzel a kérdéssel, és több fogalmat is bevezet a futásjósággal, vagy ahogy időnként a magyar fordításokban fogalmaznak, futáskomforttal kapcsolatban. A szabvány elsősorban a fővasúti, személyszállító járművekre vonatkozik, de jó iránymutató lehet mozdonyok, metrók és villamosok számára is. Foglalkozik az ülő és az álló utasok kényelmével is. A futásjósággal kapcsolatban az alábbi főbb fogalmakat vezeti be:
- Átlagos (kvázistatikus) futáskomfort. Ez a jármű összegzett futásjósága, amelyet egy hosszabb távú menet során lehet regisztrálni, és a mért jelek, illetve a folytonos, tranzienst futáskomfort értékeinek sokaságából kell összegezni. Kellően sok mérés figyelembevételével ez elsősorban a jármű saját jellemzője, de ha egyetlen specifikus pályaszakasza korlátozódnak a mérések, akkor szükségszerűen a pálya állapotáról is ad információt. A jármű három fő tengelye mentén történő gyorsulásokból tevődik össze, és az utastér padlóján kell mérni. Jele: NMV.
- Pillanatnyi (tranzienst) futáskomfort. Ez a jármű folyton változó futásjósága, amely egy-egy mért, 5 másodperc hosszú időtartamban kerül összegzésre. Ez egyszerre jellemzi a járművet és a pályát is: nemcsak a névleges sajátosságait, hanem a pillanatnyi műszaki állapotukat is. Szintén a három tengely mentén kell mérni a padlón. Jele: C_{cx} , C_{cy} , C_{cz} .

Ívbe behaladáskor tapasztalt futáskomfort. Tartalmazza a keresztirányú gyorsulást, a keresztirányú gyorsulásváltozást és a táمولgási szögsebességet. A pálya geometriáját lehet vele jellemezni. Jele: PCT.

1.1 Pillanatnyi és átlagos futáskomfort számítása

Meg kell mérni a jármű utasterének kijelölt pontjain a gyorsulásokat a három fő tengely mentén. Mivel a jármű mozgása egy rendkívül komplex és kaotikus jelet ad, a digitalizáció során egy élsimító szűrővel kell feldolgozni a jelet. A nyers jelet frekvencia szerinti súlyozó függvényekkel kell módosítani azért, hogy az emberi érzékelés számára kevésbé számottevő (nagyon nagy, vagy nagyon kicsi) frekvenciák hatását és súlyát megfelelően mérsékeljük a mérési eredményekben. Ezek után kell elvégezni a súlyozott gyorsulásértékek effektív négyzetes középértékének számítását egy-egy 5 másodperc hosszú időintervallumra. Így jönnek létre a pillanatnyi futáskomfortértékek. Ha ezek sokaságának a 95. percentilisét kiszámítjuk egy-egy 5 perc hosszúságú intervallumra mindhárom fő tengely mentén, és a kapott értékeket a képlet szerint összegezzük, kapjuk meg az átlagos futáskomfortot. [2]

A mérést lehetőleg úgy kell végrehajtani, hogy az üzemre jellemző pályageometriák és -állapotok forduljanak elő; és a mérőmenet időtartama öt percnél az egész többszöröse legyen. Célszerű a jármű pozícióját is megörökíteni a későbbi elemzés céljából. A sebességet úgy kell megválasztani, hogy egy-egy 5 perces mérőszakasz idején lehetőleg állandó legyen.

A súlyozott gyorsulások effektív négyzetes középértékeinek képletei a három fő tengely mentén:

$$a_{x_j}^{w_i}(t) = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t \left(\ddot{x}_{w_i}(\tau) \right)^2 d\tau \right]^{0.5}$$

$$a_{Y_j}^{w_i}(t) = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t \left(\dot{y}_{w_i}(\tau) \right)^2 d\tau \right]^{0,5}$$

$$a_{Z_j}^{w_i}(t) = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t \left(\dot{z}_{w_i}(\tau) \right)^2 d\tau \right]^{0,5}$$

Ezek az értékek egyenlőek a pillanatnyi futáskomfort értékével, amennyiben a szabványban meghatározott súlyfüggvényeket rendeljük a gyorsulásjelekhez.

Az átlagos futáskomfort pedig az alábbi módon számítható:

$$N_{MV} = 6 \cdot \sqrt{(a_{XP95}^{w_d})^2 + (a_{YP95}^{w_d})^2 + (a_{ZP95}^{w_b})^2}$$

Amennyiben csak egyetlen főirányban szeretnénk az átlagos futásjóságértékeket megkapni, úgy egyszerűsödik a képlet:

$$N_{MV_x} = 6 \cdot a_{XP95}^{w_d}$$

$$N_{MV_y} = 6 \cdot a_{YP95}^{w_d}$$

$$N_{MV_z} = 6 \cdot a_{ZP95}^{w_b}$$

A kapott értékek értékelése a következő módon történik:

- Pillanatnyi futáskomfort keresztirányban és függőlegesen:

$C_{Cy'} C_{Cz}(t) < 0,20 \text{ m/s}^2$	nagyon kényelmes
$0,20 \text{ m/s}^2 \leq C_{Cy'} C_{Cz}(t) < 0,30 \text{ m/s}^2$	kényelmes
$0,30 \text{ m/s}^2 \leq C_{Cy'} C_{Cz}(t) < 0,40 \text{ m/s}^2$	közepes
$0,40 \text{ m/s}^2 \leq C_{Cy'} C_{Cz}(t)$	kevésbé kényelmes

- Átlagos futáskomfort

$N_{MV} < 1,5$	nagyon kényelmes
$1,5 \leq N_{MV} < 2,5$	kényelmes
$2,5 \leq N_{MV} < 3,5$	közepes
$3,5 \leq N_{MV} < 4,5$	kényelmetlen
$4,5 \leq N_{MV}$	nagyon kényelmetlen

2. A mérési eljárás bemutatása

A kiindulópont a kutatás kezdetén az volt, hogy olyan eljárást kell kidolgoznunk, amely mindennapos, üzemi körülmények között is végrehajtható, nem szükséges hozzá olyan különleges mérőberendezés, amely nagy beszerzési költséget jelent, kezeléséhez jelentős tapasztalat és szak-

értelem kell, a kiértékelése pedig hosszas, alapos munkát igényel. A korszerű mobiltelefonok rendelkeznek három tengely mentén működő gyorsulásmérővel, ezért adta magát, hogy belőlük induljunk ki. Az ötlet nem új, számos más esetben használtak már erre a célra okostelefonokat, így sok tapasztalat állt a rendelkezésünk.

A méréshez újonnan beszerezett Samsung Galaxy A25 telefonokat használtunk.

A telefonokra a pályaeépítési szakemberek által kifejlesztett CAFat applikáció 1.20. számú verzióját telepítettük. Ez az alkalmazás folyamatosan rögzíti az időt, a GPS-alapú, földrajzi koordinátákat, a gyorsulásokat három tengely (x, y, z) mentén és a szögsebességeket. A Járműműszaki Főmérnökség rendelkezésére 9 db telefon áll, a mérés céljától és a jármű típusától függő mennyiségben kell őket elhelyezni a jármű kijelölt helyein.



1. ábra

A CAFat alkalmazás működés közben

3. Futásjóságmérés használata a minősbiztosítás során

A futásjóság-mérés felhasználása rendkívül széleskörű lehetőségeket ad. Ennek hagyományos módja a jármű műszaki állapotának minősítése. Általában egy új jármű típusmérésekor történik részletes futásjóságmérés is. Ezt egy erre szakosodott szolgáltató végzi komoly felműszerezettséggel és tudományos igényű adatelemzéssel, mivel sem a járműgyártó, sem a közlekedési vállalat nem rendelkezik azzal az eszközparkkal, sem szakirányú felkészültséggel, hogy ezt maga

végezze el. Szervezési és gazdasági szempontból nem életszerű, hogy a főműhelyi és kocsiszíni javítások után is ilyen szolgáltatást vegyen igénybe a közlekedési vállalat, pedig a futásjóság minősége közvetlenül összefügg a futó- és hordmú, valamint a hajtásrendszer műszaki állapotával. Hasonlóképpen nem volt használható ez az eljárás a napi üzemben előforduló hibakereséshez.

A 2. fejezetben ismertetett futásjóságmérés már a meglévő keretek között is elvégezhető; a szükséges eszköz csupán néhány egyszerű okostelefon, amelyre a CAFat alkalmazás telepítve van, és a mért adatok elemzése és értékelése az EN 12299 szabvány alapján elvégezhető egy viszonylag egyszerűen megírható program segítségével. A kiértékelést végző mérnökök számára óriási segítség az online elérhető mesterséges intelligencia platformok, amelyek az ehhez szükséges feladatokat nagyon hatékonyan és pontosan oldják meg, így kiváló támogatást adnak a programozáshoz.

Az így elvégzett diagnosztikai és járműminősítési eljárások nagy segítséget adnak a műszaki állapot objektív elemzéséhez.

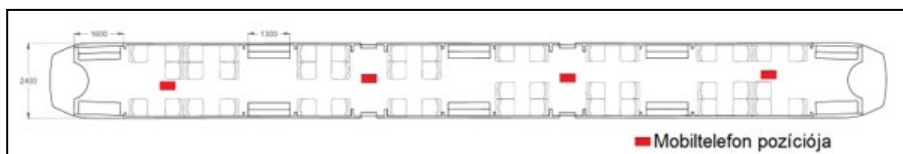
Az alábbiakban az első alkalmat mutatjuk be, amikor alkalmaztuk a futásjóság alapú minőségértékelési eljárást.

3.1 1583 pályaszámú TW6000 jármű ellenőrzése

A 1583 pályaszámú jármű 2025-ben kapott a Fehér úti főműhelyben „J” jelű javítást. Ennek során az alváz (fixlépcsős kialakításúvá történő) átépítése mellett a technológia által előírt módon a forgóvázakat, azon belül is a futó- és hordmú komponenseit szétszerelték, a szükséges alkatrészeket cserélték vagy javították, majd összeépítették. A sikeres állópróbák után megkezdte a jármű a futópróbáit is a BKV Zrt. hálózatán.

Ennek során a járművön tartózkodó MEO-dolgozók azt tapasztalták, hogy a kocsi futása óránként 20 kilométeres sebességnél kifejezetten nyugtalan: erős szitáló parazitamozgás, vagyis a kocsiszekrény keresztirányú, egyenes vonalú mozgása tapasztalható, ami nem jellemző a típus jó műszaki állapotban lévő példányaira. Mivel ez egy szubjektív érzet, ami vitára adhat okot az érintett felek között, szükségessé vált, hogy az esetleges javítási igényt egy objektív, számszerű mennyiséggel jellemezzük. Ezért elvégeztünk telefonos futásjóságmérést a járművön. Az alábbiakban ismertetjük a mért eredményeket.

A Samsung okostelefonokat a járművön a négy forgóváz fölött helyeztük el, hogy kifejezetten a forgóvázak környezetében vizsgáljuk a parazitamozgást.



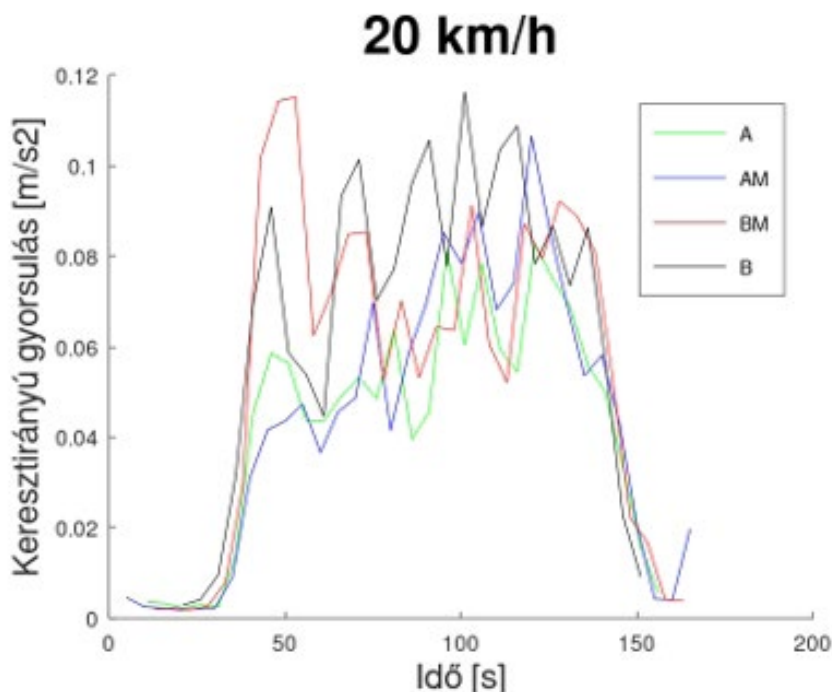
2. ábra

A méréshez használt mobiltelefonok elhelyezése a 1583-as járművön

A mérést 2025. november 19-én hajtottuk végre a VJSZ Kft. telephelyének a próbapályáján. A próbapálya 753 méter hosszú. A felépítménye MÁV48, vasbeton aljas zúzottkő ágyazaton. A nyugati végétől számítva 647 méter után egy 1000, majd egy 700 méter sugarú ív található, 721 méter után pedig újra egyenes. A nyugati végétől számítva körülbelül 450 méternél egy kitérő található; a próbapálya ezen egyenes irányban halad végig, a kitérő csúcsa kelet felé néz. A kitérő elektromos állítású és nagyvasúti csúcssínrögzítéssel ellátott, ezért egyenes irányban

csúcs- és gyök felől egyaránt sebességhatárítás nélkül járható. A próbapályán a legnagyobb megengedett sebesség 55 kilométer óránként.

A mérés során a 1583-as pályaszámú járművel állandó 20, 30, 40, 50 és 55 km/h sebességgel haladtunk végig a próbapályán és regisztráltuk a telefonokkal a három koordinátatengely szerinti gyorsulásokat. Mivel a szitalás volt a problémás a jármű esetében, ezért csak az „y” tengely mentén történő gyorsulásokat vizsgáltuk tovább. A nyers gyorsulásértékeket az EN 12299 szabványban szereplő Wd súlyfüggvény szerint szűrtük és súlyoztuk, hogy a túl kicsi és túl nagy frekvenciájú tartomány hatását mérsékeljük, majd ez alapján képeztük a pillanatnyi utazási komfort értékeit öt másodperces szakaszokra. Az alábbiakban terjedelmi okokból csak a 20 km/h sebességnél elvégzett, mérési eredményeket mutatjuk be.



3. ábra

A 1583 pályaszámú jármű pillanatnyi, keresztirányú futáskomfortértékei az EN 12299 szerint 20 km/h sebességnél

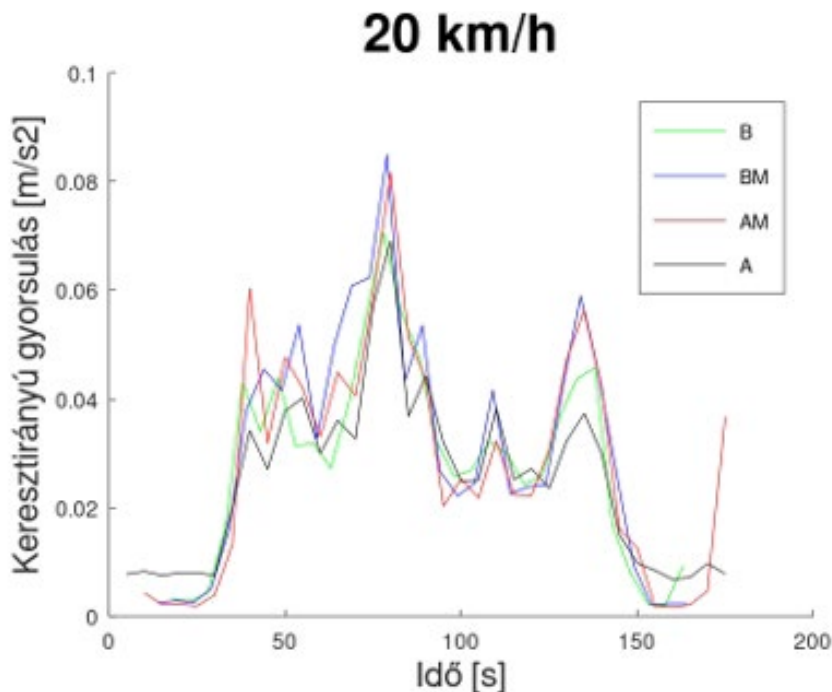
Megfigyelhető, hogy a keresztirányú gyorsulás értékeiben egyik forgóváznál sincsen igazán kiugró érték, nagyjából mindegyik hasonlóan alakul. A futások során a kiugró tüskének a próbapályának nagyjából a közepén található kitérő az oka, ez a 20 km/h sebességnél nem jelenik meg feltűnő mértékben.

Ha összehasonlítjuk a mért, pillanatnyi futáskomfortértékeket az EN 12299 szabvány szerinti értékelési kategóriákkal, láthatjuk, hogy a kellemetlen futást jelentő $0,4 \text{ m/s}^2$ értéket csak 55 km/h sebességnél közelítjük meg; a problémásnak tapasztalt 20 km/h sebességnél a legnagyobb értékek is kisebbek $0,12 \text{ m/s}^2$ -nél, ami a szabvány szerinti „nagyon kényelmes” kategóriát jelenti. Tehát ezt a mérést pusztán a szabvány fogalmaival nem lehetséges értékelni, ezért egy új értékelési módszert kell kidolgozni.

Kézenfekvő, hogy ha egy hibásnak tapasztalt járművünk van, és a vele kapcsolatos jelenségeket szeretnénk leírni, szükség van egy olyan járműre, amely a kívánt viselkedést tanúsítja, és ah-

hoz lehet hasonlítani. Ezért kiválasztottunk egy másik TW6000 motorkocsit, amely a szubjektív tapasztalat szerint megfelelő futásjósággal rendelkezik, nem érezhető nála ez a rendellenes, szítáló mozgás. Ennek pályaszáma 1609 volt.

A járművel ugyanezt a kísérletsorozatot végrehajtottuk messzemenőig azonos körülmények között. Az eredményei az alább láthatóak:

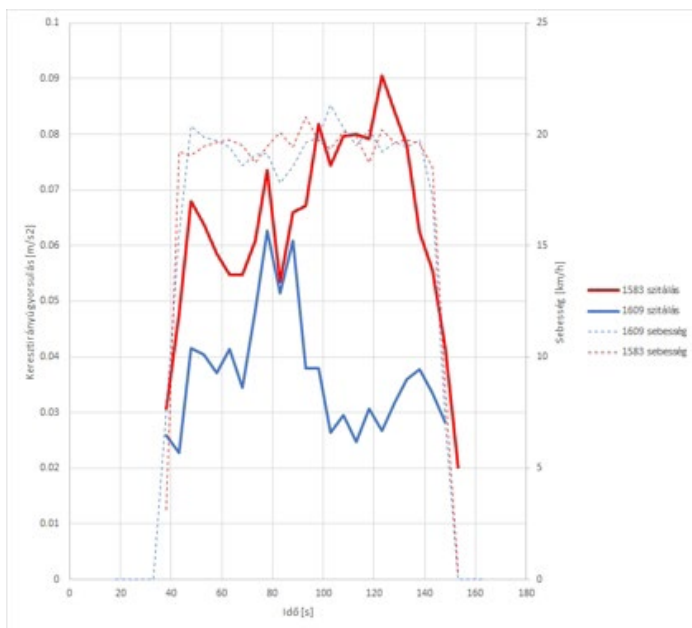


4. ábra

A 1609 pályaszámú jármű pillanatnyi, keresztirányú futáskomfortértékei az EN 12299 szerint 20 km/h sebességnél

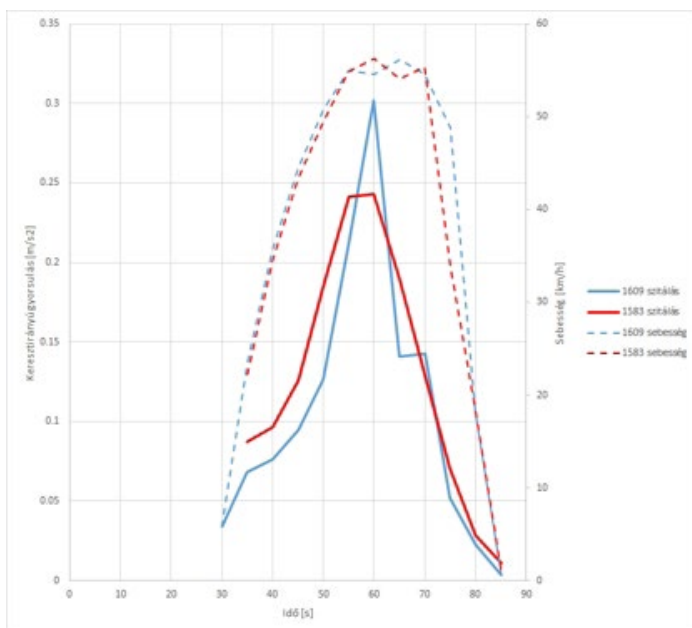
A méréseket az összes sebességnél elvégezve láthatjuk, hogy minél nagyobb sebességen haladunk, annál jobban alakul hasonlóan pillanatnyi, keresztirányú futáskomfort értéke, a kitérőkön való áthaladás okozott tüskék is hasonló nagyságrendbe esnek, 55 km/h sebességnél itt is $0,4 \text{ m/s}^2$ értéket tapasztalunk, ami már a kellemetlen futásnak a határa. De az is látszik, hogy 20 km/h sebességnél nagyon markánsan elkülönül a két diagram.

Hogy szemléletesen megmutathassuk, mindkét kocsinál a négy forgóváz futáskomfortértékeit átlagoltuk, és egy diagramban ábráztuk a két kocsi értékeit az idő függvényében (együttal megmutatva a GPS által mért, pillanatnyi sebességet is) 20 és 55 km/h sebességnél.



5. ábra

A 1583 és 1609 pályaszámú járművek átlagos, pillanatnyi, keresztirányú futáskomfortértékei az EN 12299 szerint 20 km/h sebességnél



6. ábra

A 1583 és 1609 pályaszámú járművek átlagos, pillanatnyi, keresztirányú futáskomfortértékei az EN 12299 szerint 55 km/h sebességnél

Láthatjuk, hogy 20 km/h-nál a 1583-as pályaszámú jármű a teljes menet során erős, keresztirányú parazitamozgást produkál, melynek értéke $0,06...0,08 \text{ m/s}^2$ között ingadozik. Észre sem lehet venni a kitérő okozta gerjesztést. Ezzel szemben a 1609 kontrolljármű 20 km/h sebességnél is hasonló lengésképet mutat, mint a többi sebességnél: a kitérőnél ugrás tapasztalható a keresztirányú futáskomfortban, azon kívül azonban jóval nyugodtabb a futás: $0,03...0,04 \text{ m/s}^2$ a szitálás. 55 km/h sebességnél lényegesen jobban fedik egymást a diagramok, nincs érdemi különbség a pillanatnyi, keresztirányú futáskomfort tekintetében. Ez azt igazolja, amit a minőségbiztosítási szakemberek tapasztaltak: csak kis sebességen érezni a szokatlan szitálást.

1583 esetén a pillanatnyi, keresztirányú futáskomfortot jellemző szám értéke tehát legalább a kétszerese, mint 1609-nél, vagyis számszerűen is kimutathatóvá vált a rendellenes járműmozgás. A markáns sebességfüggés azt sugallja, hogy valamilyen rezonancia lehet a futó- és hordmű sokszabadságfokú lengőrendszerében, amely a 20 km/h sebességhez tartozó frekvenciájú gerjesztés hatására következik be. A hiba pontos feltárásához a járműjavítónak meg kell bontania a futó- és hordművet, hogy a komponensek és azok beépítésének hibátlan voltát megállapítsa, illetve a helytelen állapotú alkatrészt megtalálja.

3.2 Kitekintés

A 2026. évben folytattuk a futásjóságvizsgálat bevezetését a minőségbiztosítási rendszerben. Mivel a VJSZ Kft. próbapályájának nagyjából a közepén elhelyezkedő kitérő jelentősen befolyásolja a mérési eredményeket, ezért egy új próbaszakaszt jelöltünk ki, ahol jó állapotú pályán, akár 55 km/h sebességgel, nem mellesleg a villamosforgalom jelentős zavarása nélkül végezhetjük el a méréseket. Ez az Infrastruktúra Főmérnökség jelölése szerinti 34-es vonalon, a jobb vágányon a 16+00 szelvénytől a 25+00 szelvényig tartó, valamint a bal vágányon a 25+50 szelvénytől a 16+00 szelvényig tartó pályaszakasz. Ez a 37-es viszonylat, Salgótarjáni utcán lévő szakasza a Fiumei út kereszteződésétől (a visszafogó váltó után) az Asztalos Sándor utcai felüljáróhoz vezető pálya egyenes szakaszának végéig tart. Az év tavaszától az összes, „J” jelű (vagy annak megfelelő) javítást kapó járművet a végső átvétellel egy időben futásjósági próbának is alávetünk, amely során a két próbaszakaszon a jármű így mindkét menetirányban végighalad 20, 30, 40, 50 km/h sebességgel, és a mérést végző mobiltelefonok a forgóvázak fölött, valamint kocsisvégeken vannak elhelyezve. Egyelőre még csak az adat- és tapasztalatgyűjtés folyik, így a járművek MEO által történő átvételében nem kap még döntő szerepet ez a mérés. De a cél az, hogy kellő mennyiségű referenciajármű adata alapján egy értékelési rendszert sikerüljön felállítani, amely alapján az esetleges minőségi problémákat nemcsak a minőségellenőr szubjektív érzésével, hanem számszerűen felállított és mindkét fél által elfogadott adatokkal lehessen alátámasztani. Ezt az eljárást a járműfenntartási üzemek (kocsiszínek) által végzett, napi szintű üzemeltetés során is be kívánjuk vezetni a jármű futó- és hordművi rendszere hibáinak feltárásához.

4. A pálya–jármű együttműködés vizsgálata a hullámos kopással terhelt pályaszakaszokon

A 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. Profil-méréssel nem mutatható ki, de jelentősen befolyásolja a jármű futásjóságát és főleg az általa okozott zajterhelést, valamint a járműszerkezet és a felépítmény elhasználódását is felgyorsítja.



7. ábra

Hullámos kopás vályús sínen

A hullámos kopást alapvetően kézi használatú egyenességmérővel, valamint a mérővillamos futóművére szerelt gyorsulásmérővel vizsgálja az Infrastruktúra Főmérnökség. Ezek alapján történik a síncsiszolási terv összeállítása, amikor a sínfelület köszörülésével a hullámos kopás elhárításra kerül a sínszálakból.

Vizsgálatunk célja az, hogy amíg a csapágytokokon megjelenő, függőleges gyorsulást már számos alkalommal mérték a hullámos kopás kapcsán, a jármű utasterében mérhető, az utasra ható futásjósági jelenségekkel kapcsolatban még kevés adatunk van.

A 2026. év nyarán olyan méréssorozatba kezdtünk bele, amelynél olyan pályaszakaszokat vizsgáltunk, amelyek az éves, síncsiszolási tervbe bekerültek a hullámos kopás mértéke miatt. Ezeken a pályaszakaszon az Infrastruktúra Főmérnökség az egyenességmérővel megmérte a hullámosságot, valamint a Járműműszaki Főmérnökség egy Siemens Combino villamossal futásjóságmérést végzett a pályán megszokott menetdiagram szerint. A cél az, hogy amikor megtörténik a síncsiszolás, utána mihamarabb ismét elvégezzük mindkettő fajta mérést, és az eredményeket összehasonlítsuk. A geometriai hullámosság mérés egyúttal a síncsiszolás hatásosságát is igazolja, illetve ehhez kapcsolódóan láthatjuk, milyen mértékben javult ezzel egyidőben a jármű futásjósága minden egyéb változatlansága mellett.

A méréssorozat második fele 2026. őszén fog megvalósulni.

Irodalomjegyzék

[1] Dr. Sostarics György – Balogh Vilmos: *Vasúti járművek*
Tankönyvkiadó, Budapest, 1991

[2] MSZ EN 12299 : 2009: *Vasúti alkalmazások. Az utasok utazási kényelme. Mérés és értékelés*

Tömegközlekedési mozgólépcsők és felvonók üzemeltetési tapasztalatai

Csomai-Kürtössy Roland Norbert

Budapesti Közlekedési Zrt. Metró Infrastruktúra Főmérnökség, Vasúti Üzemeltetési Igazgatóság, Metró Üzemigazgatóság, Mozdólépcső Szakszolgálat
e-mail: csomaikurtossyrn@bkv.hu
Tel.: +36 70 6980933, +44398

Abstract

A budapesti metróhálózat Magyarország legnagyobb városi kötöttpályás közlekedési rendszere, amely naponta több százezer utast szolgál ki. A mélyvezetésű és kéreg alatti állomások biztonságos és gyors megközelítését jellemzően mozgólépcsők és felvonók biztosítják. A metróállomások utasforgalmának fenntartásához a mozgólépcsők és a felvonók az állomási infrastruktúra lényeges rendszerelemeit képezik. Ezek üzemeltetése kiemelt műszaki, gazdasági és biztonsági feladat, mivel meghibásodásuk jelentős fennakadásokat okozhat. Az alábbi cikk összefoglalja a BKV Zrt. metróállomásain üzemelő mozgólépcső és felvonó berendezések alkotta műszaki állomány legfontosabb jellemzőit. Ismertetésre kerül a hatályos műszaki biztonsági szabályozás, az alkalmazott karbantartási rendszer. Bemutatásra kerülnek az M4 metróvonal több mint 10 éves üzemeltetése során szerzett tapasztalatok, továbbá az M3 rekonstrukció hatásai a metróvonal mozgólépcsőinek és felvonóinak műszaki üzemeltetésében. Az üzemeltetés során jelentkező kihívások tekintetében elsősorban az M2 metróvonal jelentős életkorú mozgólépcsőinek műszaki hibajelenségei és a berendezések cseréinek indokoltsága kerül ismertetésre.

Kulcsszavak: BKV, metró, mozgólépcső, felvonó, ferdelift, akadálymentesség, karbantartás, közösségi közlekedés

Bevezetés

A metró közlekedési rendszerében a felszín és a peronszint közötti közlekedéshez elengedhetetlen berendezések az állomási infrastruktúrában a mozgólépcsők és a felvonók. A mélyvezetésű metróállomások esetében a mozgólépcsők, felvonók és ferdeliftek nem csupán kényelmi berendezések, hanem az utasáramlás, az üzembiztonság és az akadálymentes közlekedés alapvető eszközei. Működésük közvetlen hatást gyakorol az állomások forgalmi kapacitására, az utasok közlekedési idejére, valamint a szolgáltatás általános minőségére.

Budapest metróhálózatának fejlődésében jól nyomon követhető az állomási infrastruktúra fejlődése is.

Az 1970-es években telepített LT típusú mozgólépcsők a kor műszaki színvonalát képviselték, míg az 1980-as és 1990-es években beépített OK-RTHD és OK-RTHD M5 berendezések már korszerűbb hajtás- és vezérléstechnikai megoldásokat alkalmaztak. A 2005 utáni fejlesztések során megjelentek a digitális felügyeletű, energiahatékony hajtásokkal felszerelt OTIS, Thyssen, CNIM és KONE mozgólépcsők, amelyek napjaink üzemeltetési követelményeinek megfelelő megoldásokat kínálnak.

Az elmúlt évek legfontosabb projektjei az M4 metróvonal megépítése, valamint az M3 metróvonal teljes körű rekonstrukciója volt. Ezeknél projekteknél számos olyan tapasztalattal gyarapodott a mozgólépcsőket és felvonókat üzemeltető terület, amely az új berendezések beépítésénél, a műszaki üzemeltetésnél, karbantartásoknál és hibajavításoknál felhasználásra kerülhetnek a hatékonyság növelésének érdekében.

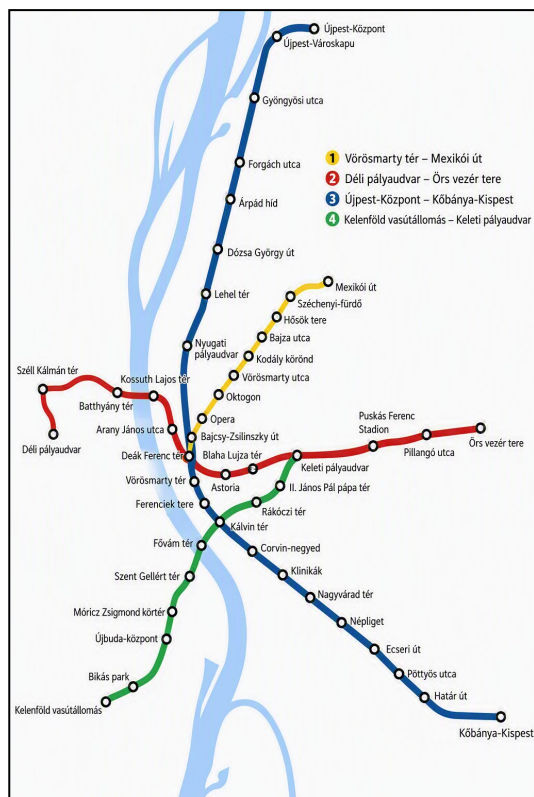
A metróforgalom egyik alapvető kiegészítő feltétele az utasok gyors és biztonságos eljutása az állomásokra. Budapesten a metróvonalak jelentős része mélyvezetésű, ezért az állomások megközelítése nagymértékben függ a mozgólépcsők és felvonók üzembiztonságától.

Az utóbbi években a metrófelújítások során, az esélyegyenlőségi előírásoknak megfelelően egyre nagyobb hangsúlyt kapott az akadálymentesítés, amelynek eredményeként a liftek száma jelentősen növekedett. Az üzemeltetők feladata nem csupán a folyamatos működés biztosítása, hanem a jogszabályoknak megfelelő biztonságos üzemeltetés és a rendelkezésre állás magas szinten tartása is.

A budapesti metróállomások utasforgalmához szükséges berendezések üzemeltetési tapasztalatai számos garanciális hiba kezelése, műszaki meghibásodás javítása, ütemezett karbantartás elvégzése és műszaki-biztonságtechnikai vizsgálat lefolytatása során kerültek megszerzésre. Ezen cikk keretei ezek egy részének megosztását teszik lehetővé, kiemelve a nagy számban üzemeltetett új és régi típusokat. A tapasztalatokat felhasználva a közeljövőben a szakterület első számú feladata az M2 metróvonal nagy emelőmagasságú mozgólépcsőinek szükségszerű korszerűsítéséig történő üzemeltetése. Ezt követően a műszaki színvonalat és energiahatékonyságot növelő, valamint az állomások akadálymentességét megvalósító új berendezések üzemeltetéséhez járulhatnak hozzá az M3 és M4 metróvonalakon szerzett műszaki üzemeltetési tapasztalatok.

1. A budapesti metróállomások mozgólépcsői és felvonói

Az M2, M3 és M4 metróvonalakon jelenleg 190 mozgólépcső és 84 felvonó segíti az utasforgalom lebonyolítását. Egyidejűleg több generáció berendezései üzemelnek 1970 – 2024 között üzembe helyezett berendezésekkel, amelyek egyaránt megjelenítik az elmúlt öt évtized technológiai fejlődését. Az első ábrán láthatóak a főváros metróvonalai és azok állomásai. A jelenlegi állapot szerint az M3 és M4 metróvonalak minden állomása akadálymentesen elérhető, a berendezések életkora ezek esetében nem haladja meg a 21 évet.



1. ábra
Budapest metróvonalai

A legidősebb berendezések az M2 vonal mélyállomásain üzemelő LT-3 és LT-4 típusú mozgólépcsők. Ezek közül több ma is eredeti szerkezeti kialakításában működik. Az Astoria, a Deák Ferenc tér és a Keleti pályaudvar állomásokon található berendezések üzembe helyezése 1970 volt, míg a Kossuth tér és Déli pályaudvarokon üzemelő berendezések már 1973 óta üzemben vannak, így életkoruk már meghaladja az ötven évet.

Az M2 vonal indulását követően az első mozgólépcső cserék során OK-RTHD M5 típusú mozgólépcsők kerültek beépítésre az 1990-es években. A berendezések számos korszerűsítést tartalmaztak, amelyek az LT típusú mozgólépcsők hagyományos hajtásrendszerétől, alkalmazott alkatrészekről, biztonsági berendezésektől és vezérléstől már jelentősen eltértek. A hagyományos relés vezérlés helyett már PLC vezérlés, valamint frekvenciaváltóval szabályozott hajtásrendszer került kialakításra.

Az M4 metróvonalon, valamint az M3 rekonstrukciója során CNIM gyártmányú mozgólépcsők kerültek beépítésre 2014 és 2023 között. Ezek már PLC alapú vezérléssel, frekvenciaváltós hajtással, fejlett diagnosztikai lehetőségekkel és integrált távfelügyeleti kapcsolatokkal rendelkeznek.

A fejlődés nem kizárólag a mozgólépcsők területén figyelhető meg. A felvonóállomány is jelentősen bővült az akadálymentességi elvárásoknak megfelelően. Míg korábban a mélyvezetésű állomások akadálymentes megközelítése nem volt megoldott, úgy ma az M4 metróvonal és az M3 metróvonal valamennyi állomása akadálymentesen megközelíthető.

2. Műszaki biztonsági szabályozás

A budapesti metróállomásokon üzemelő mozgólépcsők és felvonók létesítésének, üzemeltetésének, karbantartásának és ellenőrzésének alapvető jogszabályi keretét a **146/2014. (V. 5.) Korm. rendelet a felvonókról, mozgólépcsőkről és mozgójárdákról** határozza meg. A rendelet kiterjed a berendezések teljes életciklusára, beleértve a létesítést, használatbavételt, üzemeltetést, karbantartást, műszaki-biztonsági felülvizsgálatokat és a kapcsolódó felelősségi körök meghatározását. A jogszabály előírja az üzemeltető számára a berendezések biztonságos állapotának fenntartását, a rendszeres karbantartás biztosítását, valamint az előírt időszakos ellenőrzések és vizsgálatok elvégztetését. [1.]

A tömegközlekedési környezetben alkalmazott mozgólépcsők és felvonók esetében a jogszabályi és a szakági műszaki előírások (SZME-F; Mozgólépcsők, felvonók és ferdeliftek műszaki előírásai) követelményeiben meghatározott fokozott üzembiztonsági szint biztosítását Társaságunk már az SZME hatályba lépését megelőzően előírta a beépítésre kerülő mozgólépcső és felvonó berendezéseknél, megrendelői műszaki előírások formájában, amelyben a tömegközlekedési alkalmazásokra jellemző speciális követelmények rögzítésre kerültek. A berendezéseknek alkalmasnak kell lenniük napi 22 órás üzemidő és éves szinten gyakorlatilag folyamatos rendelkezésre állás melletti működésre, miközben biztosítaniuk kell a nagy utasforgalom biztonságos kiszolgálását. A biztonsági követelmények kialakításában meghatározó szerepet töltenek be a korábbi üzemeltetési tapasztalatok. Az SZME-F előírja többek között a hiányzó lépcsőkocsik érzékelését, a mozgókortát sebesség- és szakadásfelügyeletét, a menetirány-változás érzékelését, a kiegészítő fékrendszerek alkalmazását, valamint az utasbiztonságot szolgáló egyéb felügyeleti és védelmi funkciók meglétét. [2.]

Az egyik legfontosabb követelmény a teljes életciklusra vonatkozó tervezési szemlélet. Az új tömegközlekedési mozgólépcsők esetében legalább 25-30 éves üzemeltetési időtartammal kell számolni, ezért az egyes fődarabokra meghatározott minimális élettartam-követelmények vonatkoznak. A hajtóművek és vonóláncok esetében például a 140 000 üzemórás élettartam, a vezetősínek és lépcsőkocsik esetében a 110 000 üzemórás, míg a görgők és mozgókortátok esetében a 75 000 üzemórás élettartam tekinthető tervezési alapértéknek. E követelmények célja a teljes életciklus költségeinek csökkentése és a rendelkezésre állás növelése.

A felvonók esetében a műszaki-biztonsági követelményrendszer szintén túlmutat az általános épületüzemeltetési gyakorlaton. A metróállomásokon alkalmazott berendezéseknek teljesíteniük kell az akadálymentes használhatóság, a vandálbiztos kialakítás, a távfelügyeleti kapcsolatok, a beszédkapcsolatos vészjelzés és a szünetmentes energiaellátás követelményeit. A mozgásukban korlátozott személyek önálló közlekedésének biztosítása érdekében az akadálymentes kialakítás a berendezések alapvető funkcionális követelményének tekintendő. Az akadálymentes használatot az MSZ EN 81 szabványsorozat követelményei alapján kell biztosítani.

A BKV műszaki követelményrendszerének egyik sajátossága, hogy a szabványi és jogszabályi megfelelés mellett hangsúlyosan támaszkodik az üzemeltetési tapasztalatokra. Az elmúlt évek fejlesztési projektjei során szerzett ismeretek, különösen az M4 metróvonal mozgólépcsőinek üzemeltetése és az M3 rekonstrukció során szerzett tapasztalatok, közvetlenül beépültek az új berendezésekre vonatkozó előírásokba. Ennek eredményeként a műszaki és biztonsági szabályozás ma már nem kizárólag jogszabályi és szabványi követelményeket tartalmaz, hanem olyan gyakorlati szempontokat is, amelyek a hosszú távú üzembiztonságot, a karbantarthatóságot és a rendelkezésre állást szolgálják.

3. Az üzemeltetés és karbantartás szervezeti háttere

A budapesti metróhálózat mozgólépcsőinek és felvonóinak üzemeltetése összetett, magas szintű műszaki felkészültséget igénylő tevékenység. Az utasforgalmat szolgáló berendezések folyamatos rendelkezésre állása alapvető feltétele az állomások rendeltetésszerű használatának, ezért a mozgólépcsők és felvonók üzemeltetése a metróüzem kritikus infrastruktúra-elemei közé tartozik. A BKV Zrt.-nél ezt a feladatot a Metró Üzemigazgatóság szervezetén belül működő Mozdólépcső Szakszolgálat látja el. A szakszolgálat tevékenysége nem csupán a hibák javítására terjed ki, hanem magában foglalja a berendezések teljes életciklus-menedzsmentjét, a napi üzemviteltől és a rendszeres karbantartásoktól kezdve a beruházások műszaki előkészítésén át az emelt szintű karbantartásokig és berendezéscserék szakmai támogatásáig.

A szakterület Karbantartó Üzemei végzik a mozgólépcsők és felvonók tervszerű, ütemezett karbantartásait és hibaelhárításait. A műszaki állapotfelmérések alapján a Javító Üzem végzi a mozgólépcsők dinamikus emelt szintű karbantartásait. A 2022-ben végrehajtott „Mozdólépcsők üzemeltetésének hatékonyságnövelése” projekt eredményeként a jelentősen megnövekedett műszaki állomány hatékony kezeléséhez az éves merev terv szerinti emelt szintű karbantartási rendszer helyett dinamikus emelt szintű karbantartások bevezetése valósult meg. A nagy volumenű karbantartások időzítése és műszaki tartalma már 4. éve diagnosztikai eljárások alkalmazásával rugalmasan történik.

A szervezet feladatai közé tartozik a metróhálózaton üzemelő mozgólépcsők, személyfelvonók és ferdepályás felvonók műszaki felügyelete, karbantartása, hibajavítása, dinamikus emelt szintű karbantartása és üzemeltetésének koordinálása. A tevékenység a nap 24 órájában, az év minden napján biztosított, mivel a berendezések rendelkezésre állása közvetlenül befolyásolja az utasforgalom lebonyolítását. Az üzemeltetés során a szakszolgálat szoros együttműködésben dolgozik az állomási személyzettel, a műszaki üzemeltetés diszpécserével, valamint az egyes folyamatokhoz kapcsolódó külső partnerekkel.

A napi szintű műszaki üzemeltetési tevékenység alapját a berendezések folyamatos ellenőrzése, karbantartása és hibakezelése képezi. A mozgólépcsők és felvonók karbantartása előre meghatározott ciklusok szerint történik. A karbantartási rendszer kiemelt jelentőségű eleme a műszaki állapot rendszeres értékelése. A tapasztalatok szerint a nagy forgalmú metróállomások mozgólépcsőinek terhelése jelentősen meghaladja a hagyományos épületüzemeltetésben alkalmazott berendezéseket, ezért az alkatrészek kopása és öregedése gyorsabb ütemben jelentkezik. Az állapotfelmérések során a mozgólépcsőknél nagy figyelmet kapnak a hajtásrendszerek, a fő-tengelyek, a vonóláncok, a vezetősínek, a fékrendszerek és a villamos vezérlések, a felvonók esetében kiemelten kerülnek kezelésre a függesztőkötelek és a sebességátároló elemek. Az állapotfelmérések, ellenőrzések eredményei alapján tervezhetők meg a dinamikus emelt szintű karbantartások.

A korszerű üzemeltetési szemlélet fokozott hangsúlyt helyez a digitalizációra és az állapotalapú karbantartásra. Az újabb generációs mozgólépcsők és felvonók PLC-alapú vezérléssel, eseménynaplózással és egyes típusoknál távfelügyelettel rendelkeznek, amelyek lehetővé teszik a meghibásodások előrejelzését és a karbantartási beavatkozások optimalizálását. A cél hosszú távon a hagyományos időalapú karbantartási modell fokozatos kiegészítése prediktív karbantartási megoldásokkal, amelyek tovább javíthatják a rendelkezésre állást és csökkenthetik az üzemeltetési költségeket.

A Mozdólépcső Szakszolgálat tevékenysége ugyanakkor nem korlátozódik a meglévő állomány fenntartására. Jelentős szerepet vállal az új beruházások előkészítésében, a műszaki követelmények kidolgozásában és a fejlesztési projektek szakmai támogatásában is. Az M4 metróvonal

üzemeltetése során szerzett tapasztalatok alapján például olyan műszaki ajánlások és követelmények kerültek kidolgozásra, amelyek az M3 rekonstrukciója és az M2 akadálymentesítési program előkészítése során is felhasználásra kerültek. Az üzemeltetési tapasztalatok így módon közvetlenül visszahatnak a tervezési folyamatokra, és hozzájárulnak a jövőben beépítésre kerülő berendezéseinek üzembiztonságához.

4. M4 metróvonal berendezéseinek üzemeltetési tapasztalatai (2014-)

Az M4 metróvonal különleges szerepet tölt be a budapesti metróhálózat fejlődésében, mivel a vonalat már a tervezés kezdetétől a korszerű akadálymentesítési és üzemeltetési követelmények figyelembevételével alakították ki. Az itt alkalmazott műszaki megoldások közül számos olyan elem található, amely a későbbi fejlesztések referenciájává vált.

A vonalon üzemelő 79 mozgólépcső és 27 felvonó kezdetektől integrált rendszerként került kialakításra. A mozgólépcsők, felvonók, energiaellátó rendszerek és távfelügyeleti rendszerek tervezése nem önálló berendezésként, hanem egységes infrastruktúráként történt. Ez a szemlélet jelentős eltérést jelentett a korábbi budapesti gyakorlatokhoz képest.

A mozgólépcsők garanciális időszakában folyamatos kapcsolat volt a szakkivitelező és az üzemeltető között. A garanciális jellegű hibák és azok megoldásának folyamata az üzemeltetés első két évében rögzítésre kerültek. A 2016-ban összeállított „műszaki vezérfonal” részletesen dokumentálta a kezdeti üzemeltetés során jelentkező problémákat, valamint azok műszaki megoldásait. A dokumentumban szereplő megállapítások a láncfeszítő rendszerektől kezdve a fékszerkezeteken és vezetősíneken át a vezérlésekig gyakorlatilag a teljes mozgólépcső rendszert érintették.

Az M4 metróvonal mozgólépcsőinek és felvonóinak egyik legfontosabb tanulsága az volt, hogy a gyártói konstrukciók egyedi műszaki megoldásai nem minden esetben elegendő a tömegközlekedési környezet speciális igényeinek kielégítésére. A folyamatos, nagy intenzitású utasforgalom olyan terhelést jelent, amely számos esetben csak az üzemeltetés során válik láthatóvá. Ennek következtében a BKV egyre nagyobb hangsúlyt helyezett saját üzemeltetési tapasztalatainak beépítésére a műszaki követelményrendszerekbe.

A legfontosabb garanciális jellegű hibajavítások:

- A CNIM E-Premium 4 és a CNIM 23E-B2 típusú mozgólépcsők csigahajtómű olajfolyások kezelése.
- Üzemi féknyitás érzékelő mikrokapcsolók cseréje induktív érzékelőkre.
- Lépcsőkocsi hiányérzékelők átalakítása az üzembiztos működés érdekében.
- Láblemezi STOP kapcsolók rögzítésének átalakítása, karbantarthatóság érdekében.
- Az utasérzékelő radarok beállítása, az üzembiztos érzékelés érdekében.
- Az utasérzékelő üzemmód kifutási időtartamainak optimalizálása az energiahatékonyság érdekében.
- Frekvenciaváltók kondenzátor telepeinek garanciális cseréi.
- Repedt mozgókoriátok cseréje nagy tételben, a mozgókoriát gyártója által, gyártási hiba miatt.
- Gumikoriát meghajtás tapadásnövelő rendszer átalakítása.
- A gumikoriát fordító bronzpapucsok cseréje, a gumikoriát fordító konstrukciójának átalakítása.
- Automatikus kenőrendszer gyári beállításainak finomhangolása.

- A CNIM E-Premium 4 és a CNIM 23E-B2 típusú mozgólépcsők NORK típusú fékmágneseinek felülvizsgálata és cseréje nagy teljesítményű KENDRION fékmágnesekre.
- Lépcsőkocsi görgők cseréje és tengelyre történő rögzítésének felülvizsgálata.
- Lengősinék átalakítása, beállítási lehetőség kialakítása.
- Vezetősín illesztések javítása, kontravezető sín meghosszabbítása.
- Szerelőakna fedelek merevségének fokozása. [3.]

5. Az M3 metróvonal berendezéseinek üzemeltetési tapasztalatai a rekonstrukciót követő időszakban (2019-)

Az M3 metróvonal rekonstrukciója a budapesti metró történetének egyik legjelentősebb infrastruktúra-fejlesztési projektje volt. A beruházás nem csupán az állomások építészeti megújítását jelentette, hanem az állomások teljes korszerűsítését is.

A rekonstrukció egyik fontos eredménye volt, hogy a korábbi, elhasználódott mozgólépcső állomány helyére korszerű mozgólépcsők kerültek beépítésre. Az új berendezések frekvenciaváltó hajtással, fejlett biztonsági rendszerekkel és központi távfelügyeleti rendszerrel rendelkeznek. A modern vezérlés lehetővé teszi a gyors hibadiagnosztikát, a részletes eseménynaplózást és az állapotalapú karbantartás alkalmazását. Az alábbi képen jól összehasonlítható az M3 metróvonalról kiépített LT mozgólépcső típus hajtásrendszere (bal oldalon) és a helyére beépített CNIM E-Premium T6-K típusú mozgólépcső azonos teljesítményszintű hajtásrendszere (jobb oldalon).



2. ábra
Ferdepályás felvonó

A projekt másik meghatározó eleme az akadálymentesítés volt. A korábbi állapothoz képest alapvető szemléletváltást jelentett, hogy az akadálymentes közlekedés nem kiegészítő szolgáltatásként, hanem a rendszer egyik alapfunkciójaként jelent meg. Az új felvonók, valamint a középső szakaszon alkalmazott ferdepályás felvonók révén valamennyi állomás akadálymentesen elérhetővé vált.



3. ábra
Ferdepályás felvonó

A ferdepályás felvonók különösen érdekes műszaki megoldást képviselnek. A Nyugati pályaudvar, az Arany János utca, a Ferenciek tere, a Kálvin tér, a Corvin-negyed és a Semmelweis Klinikák állomásokon alkalmazott rendszerek lehetővé tették a felszín és a peronszint közötti kapcsolat létrehozását anélkül, hogy jelentős szerkezeti bontásokat kellett volna végezni.

A rekonstrukció tapasztalatai egyértelműen rámutattak arra, hogy a modern vertikális közlekedési rendszerek értékelésekor a beruházási költség önmagában nem tekinthető elegendő szempontrendszernek. Legalább ilyen fontos tényező a rendelkezésre állás, az energiafelhasználás, a karbantartási igény és az utasbiztonság. Az M3 projekt számos olyan megoldást honosított meg Budapesten, amelyek később közvetlenül megjelentek az új műszaki előírásokban és fejlesztési koncepciókban.

6. Az M2 metróvonal mozgólépcsők műszaki üzemeltetési nehézségei

Az M2 metróvonal mozgólépcsői különleges helyet foglalnak el Budapest közlekedéstörténetében. A vonal mélyállomásain üzemelő mozgólépcsők jelentős része a magyarországi metróközlekedés első generációs berendezései közé tartozik, amelyek több mint öt évtizede folyamatosan szolgálják az utazóközönséget. A Déli pályaudvar, a Széll Kálmán tér, a Batthyány tér, a Kossuth Lajos tér, a Deák Ferenc tér, az Astoria, a Blaha Lujza tér és a Keleti pályaudvar állomások alkotják azt a mélyállomási szakaszt, amely meghatározó szerepet játszik a kelet-nyugati utasáramlás biztosításában.

A jelenlegi állomány műszaki szempontból nem tekinthető egységesnek. Az állomásokon egyszerre vannak jelen az eredetileg 1970 körül telepített LT-3 és LT-4 típusú mozgólépcsők, valamint az 1989 és 1994 között beépített OK-RTHD M5 berendezések. Az LT típusú mozgólépcsők rendkívüli műszaki teljesítményt képviselnek abból a szempontból, hogy jelentős részük több mint ötven év folyamatos üzem után is szolgálatban áll. Ugyanakkor az öregedő szerkezetek üzemeltetése egyre nagyobb kihívást jelent. A fődarabok jelentős része eredeti konstrukciójú,

az alkatrész-utánpótlás jellemzően már nem gyári forrásból történik, hanem egyedi gyártással vagy felújítással biztosítható. Az élettartam végéhez közeledő szerkezeti elemek egyre gyakoribb meghibásodásokat eredményeznek, amelyek növelik a karbantartási ráfordításokat és kedvezőtlenül hatnak a rendelkezésre állásra.

Az M2 vonal második generációját képviselő OK-RTHD M5 mozgólépcsők a maguk korában korszerű berendezésnek számítottak. A Batthyány téren, a Blaha Lujza téren és a Széll Kálmán téren üzemelő tizenkét mozgólépcső ma is a napi utasforgalom meghatározó részét bonyolítja le. Külön figyelmet érdemelnek a Széll Kálmán téri berendezések, amelyek közel 39 méteres emelőmagasságukkal Budapest legnagyobb mélyállomási mozgólépcsői közé tartoznak.

Az elmúlt évek részletes műszaki vizsgálatai rámutattak arra, hogy az OK-RTHD M5 konstrukció legnagyobb problémái a hajtásrendszer összetettségéből erednek. A kétmotoros, kétoldali hajtású kialakítás ugyan megfelelő nyomatékot biztosít a nagy emelőmagasságú állomásokon, azonban a két hajtómű műszaki állapotának legkisebb eltérése is egyenetlen terheléseloszlást eredményezhet. A főtengelyek, lánckerekek és kapcsolódó hajtáslánc-elemek kopása az évek során egyre jelentősebb méreteket öltött, ami a lépcsőkocsik futásának romlásában, fokozott rezgésekben és gyorsuló kopási folyamatokban jelentkezik.

Különösen jelentős problémát jelent a vezérlőrendszerek elavulása. Az eredeti OK-Tronik alapú vezérlésekhez szükséges kártyák gyártása megszűnt, a gyártó vállalat már nem létezik, így egy nagyobb meghibásodás esetén a javítás egyre nehezebben biztosítható. A karbantartási tapasztalatok alapján napjainkban már nem kizárólag a mechanikai alkatrészek elöregedése indokolja a cserét, hanem a villamos és vezérléstechnikai rendszerek technológiai elavulása is.

A legkritikusabb hibalehetőségek az OK-RTHD M5 típusú mozgólépcsőknél:

- A főtengely, lánckerék tengely-agy reteszkötésének meghibásodása.
- Az alumínium lépcsőkocsik fáradásos jelenségei.
- A fő- és csigahajtóművek hajtáselemeinek meghibásodása.
- Az elektrohidraulikus féklazítók meghibásodása.
- A vezérlőkártyák meghibásodása.

Műszaki-gazdaságossági szempontokat is figyelembe véve kijelenthető, hogy a kádörbe utolsó szakaszán elhelyezkedő berendezések (35-55 év) növekvő számú meghibásodásainak kezelésére az ideális megoldás a berendezések cseréje, korszerűsítése lenne. Az eszközállomány jelenlegi műszaki állapota üzemeltetésre alkalmas, de a meghibásodási valószínűség és a hosszabb javítási időt igénylő meghibásodások kockázata folyamatosan növekszik.

Mindezek alapján kijelenthető, hogy az M2 metróvonal mozgólépcső-állományának jelentős része életciklusának végső szakaszában jár. Az üzemeltetés jelenleg még biztosítható, azonban a következő években várhatóan egyre növekvő költség ráfordítás lesz szükséges a megfelelő rendelkezésre állás fenntartásához. Emiatt a műszaki és gazdasági elemzések egyaránt a teljes körű cseréi irányába mutatnak. [4.]

7. Az M2 metróvonal mozgólépcső cseréinek műszaki és energiahatékonysági szempontjai és az állomások akadálymentesítése

Az M2 metróvonal 2004 és 2007 között jelentős rekonstrukción esett át, a mozgólépcsők cseréje és a teljes akadálymentesítés akkor még nem valósult meg. Ennek következtében a mélyállomások ma is korlátozottan használhatók a mozgáskorlátozott utasok számára. A jelenlegi koncepció nyolc mélyállomás akadálymentes kapcsolatának kialakítását célozza. A tervezési vizsgá-

latok során nyilvánvalóvá vált, hogy a meglévő állomási geometriák rendkívül korlátozott teret biztosítanak új felvonórendszerek elhelyezésére. Több helyszínen csupán néhány centiméteres különbségek döntik el egy adott műszaki megoldás megvalósíthatóságát.

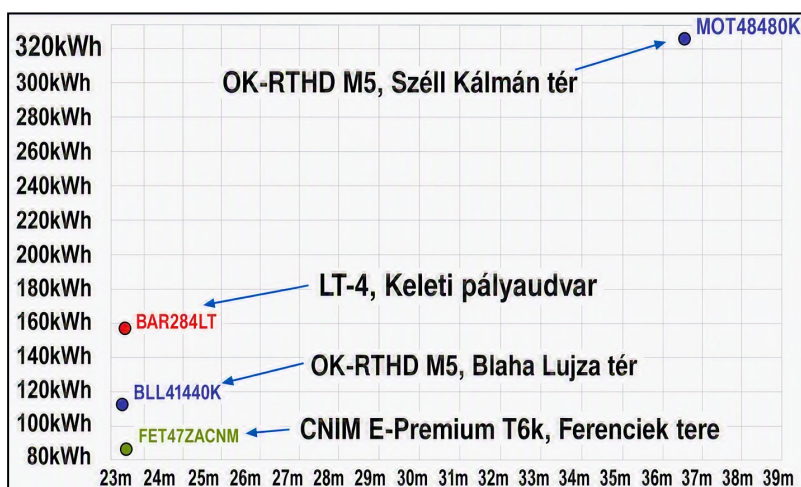
A vizsgálatok eredményeként olyan vegyes konstrukció kialakítása körvonalazódott, amely új mozgólépcsőket, hagyományos felvonókat és ferdepályás felvonókat egyaránt tartalmaz, akár csak az M3 rekonstrukció keretei között. A koncepció a felszín és a peronszint közötti teljes akadálymentes kapcsolat biztosítására törekszik, miközben figyelembe veszi a meglévő műtárgyak adottságait és az utasforgalmi követelményeket is. Az M3 rekonstrukció során szerzett tapasztalatok alapján a ferdepályás felvonók alkalmazása több állomáson is kedvező megoldásnak bizonyulhat. Ugyanakkor az M2 állomásain számos helyszínen a mozgólépcsők megfelelő kiválasztása és tervezése is szükségessé válhat annak érdekében, hogy elegendő hely álljon rendelkezésre az akadálymentes kapcsolatok kialakítására.

A projekt jelentősége túlmutat az akadálymentesítés kérdésén. A beruházás lehetőséget teremt arra is, hogy az ötven évnél idősebb mozgólépcső állomány jelentős része korszerű és energiahatékony berendezésekre cserélődjön, amely hosszú távon javíthatja a szolgáltatás minőségét és csökkenti az üzemeltetési költségeket.

A metróvonalakon működő mozgólépcsők éves villamosenergia felhasználása jelentős, ezért már néhány százalékos hatékonyságjavulás is érzékelhető költségmegtakarítást eredményez.

A korábbi LT és OK-RTHD M5 generációk jellemzően állandó fordulatszámú hajtásrendszerekkel működnek. Ezzel szemben a modern CNIM berendezések frekvenciaváltós szabályozással rendelkeznek, amely lehetővé teszi az utasforgalomhoz igazodó üzemet. Az utasérzékelésre épülő lassított vagy készenléti üzemmód jelentős energiamegtakarítást eredményezhet anélkül, hogy rontaná a szolgáltatás minőségét.

A vizsgálatok szerint fajlagosan 23-35%-os energiamegtakarítás is elérhető a korszerűsítések eredményeként. Az alábbi ábrán az egyenértékű emelőmagasságok alapján összehasonlított energiafogyasztásokon látható, hogy az új mozgólépcső típusok energiafelhasználása kedvezőbb a korszerűbb hajtáselemeknek és a modern vezérlési megoldásoknak köszönhetően. Ez nem csupán környezetvédelmi, hanem gazdasági szempontból is jelentős eredmény, mivel a megtakarítás éves szinten több tízmillió forintos nagyságrendet képviselhet. [5.]



4. ábra
Mozgólépcsők fogyasztásának összehasonlítása [5.]

Az életciklus-költség elemzések rámutattak arra is, hogy az öregedő berendezések további üzemeltetése nem minden esetben jelent gazdaságos megoldást. Az OK-RTHD M5 mozgólépcsők példája jól mutatja, hogy egy jelentős felújítás költsége már megközelítheti az új berendezés beszerzésének árát. Ilyen helyzetben a korszerű csere nemcsak műszaki, hanem gazdasági szempontból is indokoltá válik.

A jövő fejlesztéseinél ezért egyre inkább az életciklus-költség szemlélet alkalmazása válik meghatározóvá, amely a beruházási költség mellett figyelembe veszi az energiafogyasztást, a karbantartási ráfordításokat, az alkatrész-utánpótlást és a rendelkezésre állás költségeit is.

Konklúzió

A budapesti metróhálózat mozgólépcső és felvonó rendszereinek fejlődése jól szemlélteti a városi közlekedési infrastruktúra elmúlt fél évszázadban végbement műszaki átalakulását. Az LT típusú mozgólépcsőktől indulva, az OK-RTHD M5 generáción keresztül a korszerű CNIM mozgólépcsőig olyan fejlődési ív rajzolható meg, amelyben egyre nagyobb szerepet kapott a biztonság, az energiahatékonyság, az akadálymentesség és a rendelkezésre állás.

Az M4 metróvonal megépítése és az M3 metróvonal rekonstrukciója egyaránt bebizonyította, hogy a mozgólépcsők és felvonók nem tekinthetők kiegészítő infrastruktúrának. Meghibásodásuk közvetlenül befolyásolja az utasforgalom lebonyolítását, ezért a rendszer egészének szerves részét alkotják.

Összességében megállapítható, hogy a budapesti metró mozgólépcsőinek és felvonóinak üzemeltetése olyan összetett műszaki feladat, amely a napi üzemviteli tevékenységeken túl jelentős stratégiai szerepet is betölt. A magas rendelkezésre állás fenntartása, a biztonsági követelmények teljesítése, az energiahatékonyság javítása és a folyamatos műszaki fejlődés együttesen határozzák meg a Mozdólépcső Szakszolgálat működését és jövőbeli feladatait.

Az üzemeltetési tapasztalatok azt mutatják, hogy a jövő fejlesztéseinek alapját a szabványi követelmények és a gyakorlati tapasztalatok együttes alkalmazása képezheti. Különösen fontos az életciklus-költség szemlélet, amely képes figyelembe venni nemcsak a beruházási ráfordításokat, hanem a teljes üzemeltetési időszak költségeit és kockázatait is.

Az M2 metróvonal akadálymentesítési projektjének terve ezért nem egyszerűen mozgólépcső cserét célzó beruházásként értelmezhető. Valójában egy komplex infrastruktúra-megújítási programról van szó, amely egyidejűleg szolgálja a korszerű műszaki színvonal és megbízhatóság elérését, az esélyegyenlőségi, az energiahatékonysági, az üzembiztonsági és a gazdaságossági célokat.

„Budapest tömegközlekedése újabb korszerűsítési program előtt áll: a BKV 27 mozgólépcső cseréjét és 8 ferdelift beépítését tervezi az M2-es metróvonalon. A projekt költsége 21 milliárd forint, amelyet az Európai Fejlesztési Bank finanszíroz. Az M3-as vonal akadálymentesítése után a főváros célja, hogy az M2-es metró is teljes mértékben elérhetővé váljon a mozgásukban korlátozott utasok számára. „Itt az ideje, hogy az M2 metróvonal is teljes mértékben akadálymentes legyen” – mondta Karácsony Gergely főpolgármester a budapest.hu közleménye szerint. A tervezett beruházás nyolc állomást érint, ahol összesen 27 mozgólépcsőt cserélnek, és nyolc ferdeliftet telepítenek. A program célja a korszerűsítésen túl az energiahatékonyság növelése is.” [6.] Az M2 metróvonal akadálymentesítésével egy korszak ér véget. Az M3 metróvonal felújítása után az utolsó 15 orosz LT mozgólépcső is kiépítésre kerül és ezzel együtt a budapesti metróállomások eredeti hangulata is a történelmi múlt részévé válik.

Irodalomjegyzék

- [1] 146/2014. (V. 5.) Korm. rendelet a felvonókról, mozgólépcsőkről és mozgójárdákról
 - [2] SZME-F; Mozdólépcsők, felvonók és ferdeliftek műszaki előírásai
 - [3] BKV Zrt. Vezérfonal az M4 metróvonal mozdólépcsőinek üzemeltetési tapasztalatai alapján (2016.)
 - [4] BKV Zrt. OK-RTHD M5 továbbüzemeltetési vizsgálata (2025.)
 - [5] Mozdólépcsők üzemeltetési tapasztalatai az energiafelhasználás szempontjából – VIII. Energiahatékonysági Szakmai Fórum, 2023
 - [6] <https://bphirek.hu/bp/jelentos-fejlesztes-az-m2-es-metrovonalon-mozgolepcsok-csereje-es-akadalymentesites/> (2026.06.01.)
-
-

A budapesti fogatlankerekű vasút – az adhéziós vasútüzem lehetőségének vizsgálata

Dr. Hartványi Tamás¹ – Hudacsek Péter² – Rózsahegyi Károly³ – Seres József⁴

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 BKV Zrt.

telefon: +36 20 4599273

e-mail: rozsahegyik@bkv.hu

⁴ Revelator Kft.

telefon: +36 20 4599047

e-mail: jozsef.seres@revelator.hu

Abstract

A tanulmányban bemutatjuk a kutatást és annak eredményeit, amelyben azt vizsgáltuk, hogy a budapesti fogaskerekű vasút jelenlegi üzeme helyett lehetséges volna-e adhéziós üzem biztosítása. A felvetésnek okot ad, hogy hamarosan szükségessé válik a fogaskerekű járműparkjának cseréje, amelynek költsége nincs arányban a vasút forgalmi szerepével. Ebben a helyzetben az üzemeltető részéről olyan megoldások keresése indokolt, amelyek műszakilag megfelelőek és gazdaságilag is indokolhatók.

Kulcsszavak: fogaskerekű vasút, adhéziós vasút, hegyi vasutak, vasúti vontatás, vasúti rendszer fejlesztése, városi közlekedés fejlesztése

Előszó

Jelen cikk célja egy külső független műszaki szakértői gárda által elvégzett vizsgálat és az abhoz kapcsolódó eredmények bemutatása. A tanulmányban egy alternatív megoldási lehetőség kerül ismertetésre, szélesítve a szükségessé vált fejlesztés előkészítéséhez kapcsolódó vizsgálatok teljeskörűségét. A vizsgálat alapján elkészült tanulmány lehetőséget biztosít az adott témakör eddigiektől eltérő szemszögből történő áttekintésére, illetőleg egy esetleges döntés előkészítése, meghozatala kapcsán egy újabb alternatíva átgondolására ad lehetőséget az illetékes döntéshozók számára.

Bevezetés

Az 1874-ben átadott budai fogaskerekű vasút átadása pillanatától kezdve fogaskerekű rendszerben működött, először gőzmozdonyos, majd villamos hajtással. Üzeme szigetszerű a mai napig: nem csatlakozik más kötöttpályás rendszerhez. Műszaki állapota miatt a járműpark cseréje, a pálya korszerűsítése indokolt. Szerepe a budapesti közösségi közlekedésben nem számottevő – vele párhuzamosan autóbusz-közlekedés biztosított –, ugyanakkor egyedi technikai megoldásként jelentős érzelmi kötődéssel bír. Mivel megfelelő színvonalú felújításának várható költsége – az előzetes tanulmányok szerint – nem áll arányban a közösségi közlekedésben betöltött szerepével, a jelenlegi vontatási rendszerhez képest olyan alternatív megoldások keresése indokolt, amelyekkel megfelelő költségszinten lehet a vasútüzem fenntartását biztosítani.

Az adhéziós vasútként való üzemeltetés kézenfekvőnek tűnik, hiszen a világban több olyan vasútvonal is található, amely meredekségében a fogaskerekű pályához hasonló és adhéziós vasútüzem szolgálja ki. A budai Fogaskerekű Vasút emelkedése megegyezik a linzi Pöstlingbergbahn vasútéval: mindazonáltal a pálya meredeksége miatt a vasútüzem biztonsági kockázatai azonosíthatók. Ezekre mindenképpen elméletileg megalapozott, gyakorlatban validált válaszokat kell adni.

A BKV Zrt. – külső szakértő bevonásával – 2025-ben indított kutatási projektje ezekre a kérdésekre kereste a válaszokat. Jelen szakkikkünkben e projekt eredményeit foglaljuk össze és mutatjuk be.

1-A kutatási projekt bemutatása

A kutatási projekt szakirodalmi, elméleti és gyakorlati vizsgálatok és elemzések elvégzését egyaránt tartalmazta.

A projekt két fázisból állt:

- Az 1. fázis tartalmazta a szükséges előzetes vizsgálatok elvégzését, a próbamenet lebonyolításával kapcsolatos feltételek vizsgálatát és a vízszintes pályán lebonyolítandó próbamenetek elvégzését. E fázis eredményei alapján tudtuk meghatározni a fogaskerekű pályáján történő próbamenetek lebonyolításának műszaki és biztonsági feltételeit. Ebben a fázisban az adhéziós üzem elméleti megvalósíthatóságának igazolását végeztük el.
- A 2. fázis tartalmazta a fogaskerekű pályán lebonyolítandó próbamenet elvégzését és annak eredménye függvényében az üzemszerű működéshez kapcsolódó vizsgálatokat és költségbecslést. Ebben a fázisban az adhéziós üzem gyakorlati megvalósíthatóságának igazolását végeztük el.

2. Az adhéziós vontatás mechanikája

A tényleges tesztek előtt fontosnak tartottuk az adhéziós vasúti vontatás mechanikájának áttekintését az elméleti határok feltárása érdekében. A megértés szempontjából legfontosabbnak ítélt összefüggéseket ebben a fejezetben mutatjuk be.

A vontatójármű tapadási tömegén a jármű üzemkész állapotában a hajtott kerékpárokra jutó tömeget értjük. Ha minden kerékpár hajtott, akkor a tapadási tömeg egyenlő a vontatójármű üzemkész, szolgálati tömegével, a tapadási súly a jármű szolgálati súlyával. Ha nem minden tengely hajtott, vagyis vannak futókerékpárok is, akkor – egyenletes súlyelosztást feltételezve – a tapadási súly

$$G_a = G_m \frac{n_h}{n_o} \quad (1)$$

ahol G_m = a vontatójármű szolgálati súlya
 n_h = a hajtott tengelyek száma
 n_o = a vontatójármű összes tengelyeinek száma

Az adott üzemi viszonyok között egy keréken kifejthető legnagyobb vonóerőnek, a tapadási vonóerőnek (a súrlódásos kapcsolattal kifejthető legnagyobb vonóerő, amelynél a kerékpárok még éppen nem perdülnek meg) és a vontatójármű egy hajtott kerekére jutó tapadási súlyának (az egy kerékre jutó függőleges kerékerőnek, vagyis a hajtott kerék sínre ható súlyának) a viszonyát tapadási tényezőnek, vagy erőkapcsolati tényezőnek nevezzük:

$$\mu_a = \frac{F_{zkmax1}}{G_{k1}} = \frac{F_{za1}}{G_{a1}} \quad (2)$$

Az 1-es indexek az 1. kerékre utalnak. Tágabb értelemben úgy is felírhatjuk, hogy n hajtott kerékpár esetén:

$$\mu_a = \frac{F_{zkmax1} + F_{zkmax2} + F_{zkmax3} + \dots + F_{zkmaxn}}{G_{k1} + G_{k2} + G_{k3} + \dots + G_{kn}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{zkmaxi}}{\sum_{i=1}^n G_{ki}} = \frac{F_{za}}{G_a} \quad (3)$$

ahol: $F_{zkmax1}, F_{zkmax2}, F_{zkmax3}, \dots, F_{zkmaxn}$ = az egyes kerékpárokon kifejthető legnagyobb kerületi vonóerő

$G_{k1}, G_{k2}, G_{k3}, \dots, G_{kn}$ = az egyes kerékpárokra jutó gravitációs kerékerő,

F_{za} = tapadási vagy adhéziós vonóerő

G_a a vontatójármű tapadási súlya

Ha az egész járműre vonatkozó tapadási tényező (erőkapcsolati tényező) értékét ismertnek tételezzük fel, akkor a súrlódás útján kifejthető legnagyobb kerületi vonóerő, az ún. tapadási vonóerő az

$$F_{zkmax} = F_{za} = \mu_a G_a \quad (4)$$

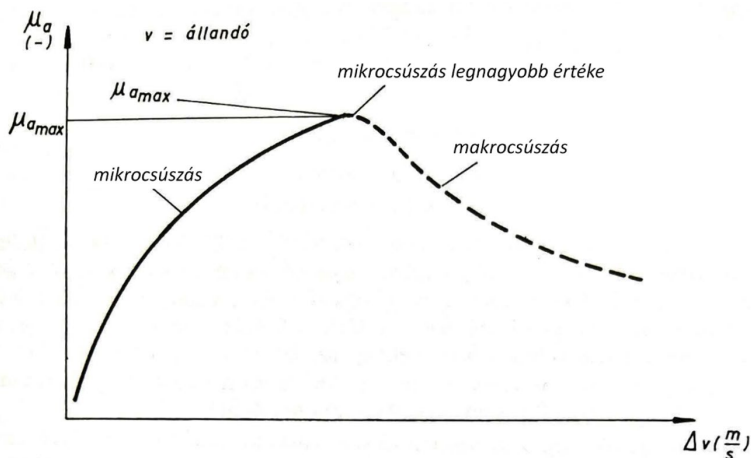
összefüggésből határozható meg.

Az M_h nyomatékkal a kerületi vonóerőt nem növelhetjük korlátlanul, hanem csak addig, amíg az $F_{zkmax} = \mu_a G_a$ értéket el nem éri. Ebben az esetben a kerékpárra ható legnagyobb hajtónyomaték $M_{hmax} = F_{zkmax} r + M_{wo} + J\varepsilon$. Ha ezt az M_{hmax} értéket túllépjük, akkor a vontatójármű kerékpárjai megperdülnek. Ekkor már a kerék-sín érintkezési pontján nem a μ_a tapadási tényező, hanem a μ csúszó súrlódási tényező fog hatni, és ennek jelentősen kisebb értéke miatt a kerületi vonóerő is lényegesen lecsökken.

Vizsgáljuk meg a μ_a tapadási tényező értékének alakulását különböző üzemi viszonyok között, illetve az adott sebességnél ténylegesen kifejthető legnagyobb μ_{amax} tapadási tényezőt. Ha egy vontatójármű üzem közben vontat, akkor a kifejtett M_h hajtónyomaték a hajtott kerékpárokat csavarásnak, az F_{zk} kerületi vonóerő a sín húzó-nyomó igénybevételnek teszi ki: a vontatás (vagy fékezés) a sínben σ húzó-nyomó, a kerékpárokból τ csavaró feszültséget ébreszt.

A valóságban tökéletesen merev test nem létezik. A kerületi vonóerő (vagy a fékezőerő) hatására – a kerék-sín érintkezésének környezetében – a sín megnyúlik, illetve összenyomódik, a kerékpár anyaga a csavarónyomaték hatására rugalmas deformációt, szögelfordulást szenved. Ezek a rugalmas alakváltozások kizárják a tiszta gördülés megvalósulását. A vontatás, vagy fékezés közben a kerék-sín rendszerben az érintkező felületeken mindig fellép egy bizonyos mértékű mikrocúsás. Minél nagyobbak a deformációk, annál nagyobb a mikrocúsás, és minél nagyobb a mikrocúsás, annál kevésbé beszélhetünk tiszta gördülésről. A hajtó-, vagy fékezőnyomaték jelenléte esetén a kerék-sín érintkezésénél a tiszta gördülés feltételei nincsenek meg, a gyakorlatban a hajtott vagy fékezett kerékpárok üzem közben törvényszerűen fellépő mikrocúsás mellett gördülnek a kontakt felületen: csúszva gördülnek.

Vizsgáljuk meg, hogy v = állandó járműsebesség esetén különböző Δv relatív csúszási sebesség (mikro-cúsás) esetén hogyan változik μ_a tapadási tényező értéke. A Δv értékét vontatásnál a $\Delta v = \omega r - v$, fékezésnél $\Delta v = v - \omega r$ összefüggésből határozhatjuk meg. A szakirodalomban a μ_a tapadási tényező értékét a $\Delta v/v$ érték függvényében ábrázolják. (1. ábra)

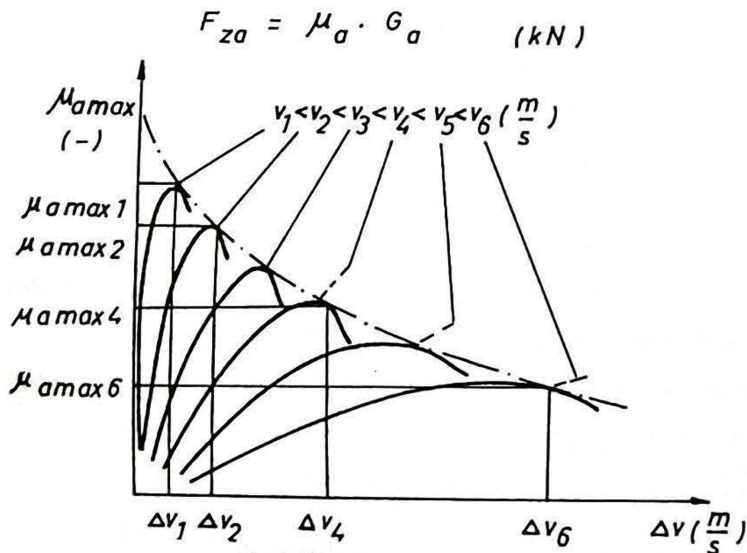


1. ábra

Az erőkapcsolati tényező változása a mikrocsúszási sebesség függvényében állandó sebességű jármű esetén [1]

Az ábra mutatja, hogy a tényleges tapadási tényező értéke a relatív csúszási sebességgel együtt növekszik. Egy maximális érték elérése után a kerékpárok megperdülnek (fékezés esetén megcsúsznak). Ennek eredményeként megszűnik a kerék-sín érintkezésnél a μ_a tapadási tényező és helyébe a lényegesen kisebb μ csúszósúrlódási tényező lép. Ez mind vontatási, mind fékezési szempontból rendkívül hátrányos. A 1. ábra $v = \text{állandó}$ járműsebességre vonatkozik.

A 2. ábra mutatja, hogy különböző $v_1, v_2, v_3, v_4, \dots, v_n$ járműsebességek esetén hogyan változik a $\mu_{amax1}, \mu_{amax2}, \mu_{amax3}, \dots, \mu_{amaxn}$ legnagyobb tapadási tényező a Δv relatív csúszás függvényében. Megállapítható, hogy növekvő járműsebességhez növekvő csúszások és csökkenő maximális tapadási tényező értékek tartoznak.



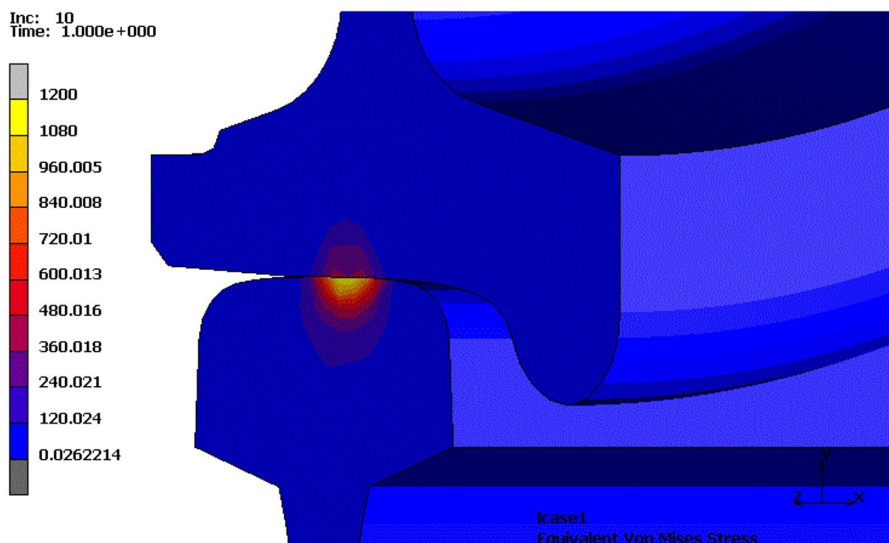
2. ábra

A maximális tapadási tényező változása különböző járműsebességeknél a mikrocsúszási sebesség függvényében [1]

A tapadási tényező üzemben elérhető értékei számos tényezőtől függenek:

- kerékpár és sín anyagától
- felületek állapotán (a kopás mértékén és tisztaságon)
- járműtípustól,
- tengelyelrendezéstől,
- hajtási rendszertől,
- függőlegeskerékerő-kiegyenlítéstől,
- rugózástól,
- időjárástól.

Az egész vasúti vontatás azon a néhány cm^2 -es érintkezési felület súrlódási törvényszerűségein múlik, amelyen a mozdony hajtott kerékpárjai a sínnel érintkeznek és a súrlódásos gördülőkapcsolattal kifejtik a vonóerőt! (3. ábra)



3. ábra

A kerék-sín kapcsolat feszültségeinek szimulációja végelem módszerrel [2]

A nagy merekségű pályán történő adhéziós vasúti vontatásnak az alábbi három feltétel teljesítése szab határt:

1. A legjobb tapadási erőátvitelt járműoldalról úgy biztosíthatjuk, ha a szerelvény minden tengelye hajtott és fékezett.
2. A teljes menet során az erőátviteli tényezőt a lehetséges legnagyobb értéken kell tartani.
3. Az erőátviteli tényezőnek biztonsággal nagyobb értékűnek kell lennie, mint a legnagyobb pályamerekség ezrelékben kifejezve., ami a budapesti fogaskerekű esetén 0,11.

A fenti három feltétel közül a harmadik abszolút korlátot szab a lehetséges pályamerekségnek. A 3.1 fejezetben ismertetett legmeredekebb hegyi pályák gyakorlatából kiindulva ez azt jelenti, hogy a gyakorlatban elérhető pályamerekség akár 130 ‰ is lehet.

Az első két feltétel az alkalmazott jármű szerkezeti kialakítására és hajtásvezérlésére vonatkozik:

- A legmegfelelőbb szerelvény-összeállítás nem a mozdony + vontatott járművek szerelvénytípusa, hanem a minden tengelyében hajtott motorvonati rendszer.

- A hajtásvezérlésnél olyan fejlett vontatási állapot érzékelési megoldásokat és hajtásvezérlést kell megkövetelni járműoldalról, hogy a hajtásláncba valós idejű beavatkozást lehessen tenni a pillanatnyi teljesítmény kivezérlése céljából a mindenkor maximális erőátviteli tényező biztosítása érdekében.

A nagy meredekségű pályán való adhéziós üzem nem kizárólag akkor valósítható meg, ha a fentebb említett első és második korlátozó feltételnek legjobban eleget tevő járművel számolunk, de az azoknak megfelelő kialakítású járművekkel tudjuk legjobban kihasználni a rendelkezésünkre álló tapadási feltételeket.

3. Nagy meredekségű adhéziós hegyi vasutak

Először a pályameredekség csökkenő sorrendjében mutatjuk be a 90 ‰ feletti lejtviszonyú pályán működő adhéziós vasutakat, majd külön, részletesen a linzi Pöstlingbergbahn vasutat, amely vonalvezetésében és lejtviszonyai tekintetében a legjobban hasonlít a budapesti fogaskerekű vasúthoz.

3.1 A 90 ‰ feletti lejtviszonyú adhéziós vasutak

A következő táblázatban összefoglalva mutatjuk be a világ 90 ‰ feletti lejtviszonyú adhéziós vasútjait.

1. táblázat

A 90 ‰ feletti lejtviszonyú pályán működő adhéziós vasutak

Sorszám	Emelkedés	Vasút neve, helye	Megnyitás dátuma	Megjegyzés
1.	138 ‰	28E jelű villamos, Lisszabon (Portugália)	1873	A 900 mm-es nyomtávú pályán az eredeti szerelvények közlekednek.
2.	127 ‰	Chemin de fer de Laon, Laon (Franciaország)	1899	Az 1000 mm-es nyomtávú vasút Laon városában üzemelt 1971-ig. A meredek szakaszon Abt-rendszerű fogasléc volt beépítve, amely azonban csak fékezésre szolgált. A vasutat 1989-ben kötélvasútként nyitották meg újra, részben más nyomvonalon haladva.
3.	116 ‰	Pöstlingbergbahn, Linz (Ausztria)	1898	Eredetileg 1000 mm-es nyomtávú pályán speciális nyílfej keresztmetszetű síneken közlekedett. 2008-2009-ben pályáját 900 mm-es nyomtávra, vignol sínrendszerűre építették át, és bekapcsolták a városi villamosvasúti hálózatba.
4.	111 ‰	Cass Scenic Railway, Nyugat-Virginia (USA)	1901	A normál nyomtávú vasúton ma is az eredeti Shay-rendszerű gőzmozdonyok üzemelnek. A legmeredekebb nem villamosított adhéziós vasút.
5.	110 ‰	Estrada de Ferro Campos do Jordão, São Paulo (Brazília)	1914	1000 mm-es nyomtávú vasút.

Sor-szám	Emelkedés	Vasút neve, helye	Megnyitás dátuma	Megjegyzés
6.	105 ‰	Roaring Camp & Big Trees, Kalifornia (USA)	1963	A 914 mm-es nyomtávú pályán műemlék gőzmozdonyokkal történik a vontatás.
7.	100 ‰	South Yorkshire Supertram, Sheffield (UK)	1994	A normál nyomtávú vasútvonalon Stadler Citylink, illetve Siemens-Duewag Supertram alacsonypadlós villamosok közlekednek.
8.	96 ‰	Straßenbahn Gmunden, Gmunden (Ausztria)	1894	Az 1000 mm-es nyomtávú pályán Tramlink (Stadler) alacsonypadlós villamosok közlekednek.
9.	95,5 ‰	Straßenbahn Mainz, Mainz (Németország)	1884	Az 1000 mm-es nyomtávú pályahálózat legnagyobb emelkedője a Gaustraße-nál van. A villamoshálózaton Adtranz GT6M-ZR és Stadler Variobahn alacsonypadlós járművek közlekednek.
10.	91 ‰	Brown Line, Pittsburgh (USA)	1895	Az 1588 mm-es nyomtávú villamos vonalon a közlekedés 2011-óta szünetel. Az újrayitást tervezik.
11.	91 ‰	Ligne de Saint-Gervais-les-Bains-Le Fayet à Vallorcine, Saint-Gervais –Vallorcine (Franciaország)	1901	1000 mm-es nyomtávú felsőtapintású harmadikszínes megtáplálású vonal, amely a legnagyobb meredekségét 2000 m-es tengerszint feletti magasságban éri el. 1980-ig a fékezéshez a vágánytengelyben egy középső sín állt rendelkezésre a legmeredekebb szakaszokon. Ezen a sínen megfogó pófákon keresztül történt a fékezés. Ezt 1980-ban megszüntették. A vonalat Stadler Z850 és Z800 típusú motorvonatokkal szolgálják ki.
12.	91 ‰	J Church line, San Francisco (USA)	1917	A normál nyomtávú pályán Siemens LRV4 típusú normál felépítésű könnyűvasúti szerelvények közlekednek.
13.	90 ‰	BC Forest Discovery Centre, Duncan (Canada)	1964	A 914 mm nyomtávú pályán muzeális gőzmozdonyok és dízelmozdonyok vontatta szerelvények üzemelnek.

A táblázatból az alábbi fontosabb következtetések vonhatók le:

1. A 90 ‰, vagy afeletti adhéziós vasutak nem tekinthetők extrém ritkaságnak.
2. A 90 ‰, vagy afeletti adhéziós vasutak jellemzően nagyon régóta (több, mint 100 éve) üzemelnek, így megfelelő üzemeltetési tapasztalat áll rendelkezésre.
3. A vasutak kezdetben mozdony vontatással üzemeltek – vagyis nem volt minden tengely hajtott –, ami vontatás mechanikai szempontból nem tekinthető optimálisnak, azonban üzemeltetői szempontból megfelelőnek bizonyult.
4. A vasutak jó részén kezdetben – és három vasút esetében ma is – gőzmozdonyval történt, illetve történik a vontatás. A gőzmozdonyoknál a hajtókerekek nyomatékának vezérlése, és így az erőkapcsolati tényező értékének magas szinten történő tartása csak a mozdonyvezető gyakorlottságán, ügyességén múlik. (Lényegében a töltés, illetve a fékezés szabályozásával történik.) Mindamelllett a vasútüzemet így is biztosítani lehet!

5. A vasutak kb. fele hegyi jellegű pályán közlekedik, a másik fele városi villamusként. A hegyi vasutakra a szűk ívek, több csapadék, jelentősebb havazás és lombhullás valószínűsége jellemző. A városi villamos esetében a gyakoribb megállások és intenzívebb gyorsulás igénye jellemző. Mindkét esetben lehetséges a vasutak jellegétől függetlenül a vasútüzem biztosítása.
6. Különleges fékrendszerrel csak három vasutat szereltek fel:
 - a. Pöstlingbergbahn
 - b. Chemin de fer de Laon
 - c. Ligne de Saint-Gervais-les-Bains-Le Fayet à Vallorcine).A laoni vasúton az Abt-rendszerű, kizárólag fékezésre szolgáló fogasléc, míg a linzi és a Saint-Gervais –Vallorcine-i vasúton a sínre kétoldalról ható szorítópofoás fékek kerültek installálásra. A laoni vasúton a fékező fogasléc a teljes üzemtartam alatt szolgálatban maradt. A másik két vasúton eltávolították ezeket a különleges fékrendszereket, és kizárólag normál vasúti fékrendszerek alkalmazásával oldották meg a biztonságos fékezést. Kijelenthető, hogy a biztonságos vasútüzemhez ilyen meredekségű pályákon sem feltétlenül kellene speciális fékrendszerek.
7. A felfelé haladáshoz az adhéziós hajtás mellett semelyik vasúton sem alkalmaztak más, kiegészítő műszaki megoldást.
8. Egyik vasút esetében sem szereltek fel pályaaloldali biztonsági fékberendezéseket.

3.2 A linzi Pöstlingbergbahn

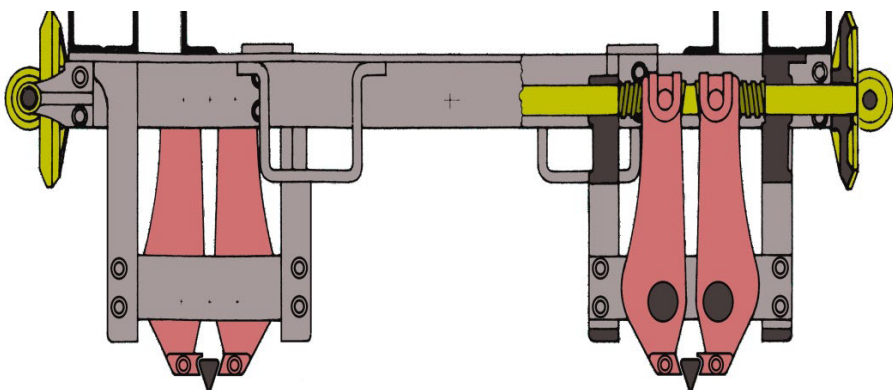
A Pöstlingbergbahn pályavezetése és lejtviszonyai hasonlítanak a legjobban a budapesti fogaskerekű vasúthoz, legnagyobb emelkedése azzal megegyezik, így kézenfekvőnek tűnt, hogy a Pöstlingbergbahnnál szakmai látogatást tegyünk. A linzi városi közösségi közlekedést biztosító LINZ LINIEN GmbH-val történt sikeres kapcsolatfelvételt követően egész napos szakmai megbeszélésen és üzemlátogatáson vettünk részt Linzben. A látogatás célja a Pöstlingbergbahn vasút üzemeltetésével kapcsolatos tapasztalatok megismerése volt.

A Pöstlingbergbahn egy 2880 méter hosszú keskenynyomtávú hegyi vasút Linzben, amely az Urfahr kerületet köti össze a Pöstling-heggyel. Az eredetileg 1898-ban 1000 mm-es nyomtávúként épült vonalat 2008 és 2009 között 900 milliméteres nyomtávra alakították át, és integrálták a linzi villamoshálózatba.

A vasút eredetileg többnyire 20 percnként közlekedett. A maximális sebességet hegymenetben 12 km/h-ban, völgymenetben pedig 13,5 km/h-ban határozták meg. Az utazási idő 16 perc volt, a vonatok Schableder állomáson nyolc percnként kereszteltek. Csúcsidőben két (ritkán három) vonat közlekedett.

A vasút fő problémája nem a hegymenet, hanem a legkedvezőtlenebb körülmények közötti völgymeneti biztonságos fékezés volt. Ehhez olyan féket szerkesztettek, amely független a kerék-sín kapcsolattól. A megoldás a bilincsfék lett, amelynek fékpofái két oldalról, bilincsként szorítanak rá a sínre. A fékberendezés fékezés közben a járművet lefelé is húzza a speciálisan itt alkalmazott nyílfej alakú sínprofil miatt.

Az eredeti fékszerkezetet a következő ábra mutatja.



4. ábra

A Pöstlingbergbahn-on eredetileg alkalmazott fékszerkezet (Zangenbremse)

A vasút 2008-2009 közötti átépítései a sínrendszert vignol típusúra cserélték ki és a bilincsféket is megszüntették.

A 2008-2009 közötti felújítás fő céljai a szükséges modernizáción és műszaki állapotjavításon túl az alábbiak voltak:

- az addig szigetüzemben működő vasút integrálása a városi villamosvasúti hálózatba,
- az egyedi műszaki megoldások helyett standardizált rendszerek használata,
- új járművek alkalmazása az utaskomfort növelése érdekében,
- utazási idő csökkentése,
- a tapadási erőátvitel maximumának biztosítása,
- ívben való haladás zajának mérséklése,
- nosztalgia járműpark üzemeltetési lehetőségének biztosítása.

Az utazási komfort növelése és a városi villamosvasúti hálózatba való integrálás miatt új járművek beszerzését határozták el. Mivel a régi – bevált – fékrendszert a továbbiakban nem kívánták alkalmazni, a megfelelő biztonsági szint elérése érdekében az új járműveknél minden biztonságkritikus rendszerelem duplikálása mellett döntöttek.

Az így kialakított redundáns rendszerarchitektúrájú járművek beszerzési költségének csökkentése érdekében a már a városban alkalmazott Bombardier gyártmányú CityRunner járműcsalád „mutációjának” kialakítását választották, ami a MountainRunner nevet kapta. Mivel a gyártó a nagysorozatú termékcsaládja egységeit tudta alkalmazni az új jármű kifejlesztésénél, a speciális igényeknek megfelelő alacsony darabszámú jármű beszerzési költségei is kedvezőbbek lettek egy teljesen új járműhöz kifejlesztéséhez képest. Az új járművek fényképét a következő ábra mutatja.



5. ábra

A Pöstlingbergbahn új járműve, a MountainRunner

Az új járművek több innovatív műszaki megoldást is tartalmaznak. Néhány ezek közül:

- A jármű radarral méri a haladási sebességét a mikrocsúszási tartományban való trakció biztosítása céljából.
- Sínkénése víz befecskendezéssel működik.

A Pöstlingbergbahn példája lehetséges megoldást mutat a budapesti fogaskerekű adhéziós üzemre történő átalakításához.

4. Menet- és féktesztek adhéziós járművel

A fogaskerekű vasút pályáján végrehajtandó tesztmenethez ki kellett választani a BKV Zrt. járműállományából az adott célnak legmegfelelőbb járműtípust, mivel az adhéziós menet- és fékpróbák elvégzéséhez az SGP gyártmányú fogaskerekű szerelvény nem alkalmas.

A BKV flottájában olyan villamosvasúti járművet kellett találni, amely az alábbi igényeket képes kielégíteni:

1. minden tengelye hajtott és fékezett (a maximális tapadási vonó- és fékezőerő elérése miatt),
2. elektromágneses sínfékkel rendelkezik,
3. szerelvénye szétcsatolható (az üzemképtelen jármű vontatásának teszteléséhez),
4. forgóváza megfelelő terepjáró képességgel rendelkezik a hegyi pályán való közlekedéshez,
5. a fogaskerekű pálya ívsugarain képes közlekedni,
6. a jármű biztonságosan haladhat a fogaskerekű vasút úrszelvényében,
7. felnyitott áramszedője a pályán mindenhol eléri a felsővezetékét,
8. csukott áramszedője biztonságos távolságban marad a felsővezetéktől a pályán mindenhol.

A rendelkezésre álló típusok közül a TATRA T5C5 típusok az összes feltételt teljesítik, így ez a járműtípus került kiválasztásra. Mivel a kiválasztott jármű még nem volt üzemben ilyen meredekségű vasúti pályán, ezért a vonali tesztek elvégzése előtt sík pályán a jármű fékképességének ellenőrzésére mindenképpen szükséges volt.



6. ábra

A mérőszerelevény a telephelyi mérésen

A mérések során külön vizsgáltuk a járművek fékberendezéseinek hatékonyságát a fogas pályájára engedélyezett legnagyobb sebesség 110%-ával, azaz 33 km/h értékkel:

- üzemi villamos fék,
- sínfék,
- rugóerőtárolós fék.

A vizsgálatokat homokolás nélkül és homokolással is elvégeztük, és külön vizsgáltuk a vészfékezés és a pótvészfékezés funkciókat.

A vizsgálatokat a következő tapadási paraméterek mellett végeztük el:

- száraz pálya,
- nedves pálya (felloccsolással),
- nedves falevelekkel borított pálya (csak a telephelyi méréseknél),
- olajszenyezéses pálya.

4.1 Járműtelepi féktesztek

A T5C5K2 Tátra villamos sík pályán különböző fékberendezések és tapadási együtthatók esetén történő fékút mérését a járműnek a fogas pályáján való tesztmenetre alkalmasságának igazolása céljából kellett elvégezni. A 4224 és 4043 számú kocsikból álló szerelvény járműtelepi fékteszt méréssorozatának elvégzése 2025. október 9-én történt meg a BKV Zrt. Angyalföld kocsiszín (Budapest, Pozsonyi utca 1.) telephelyén.

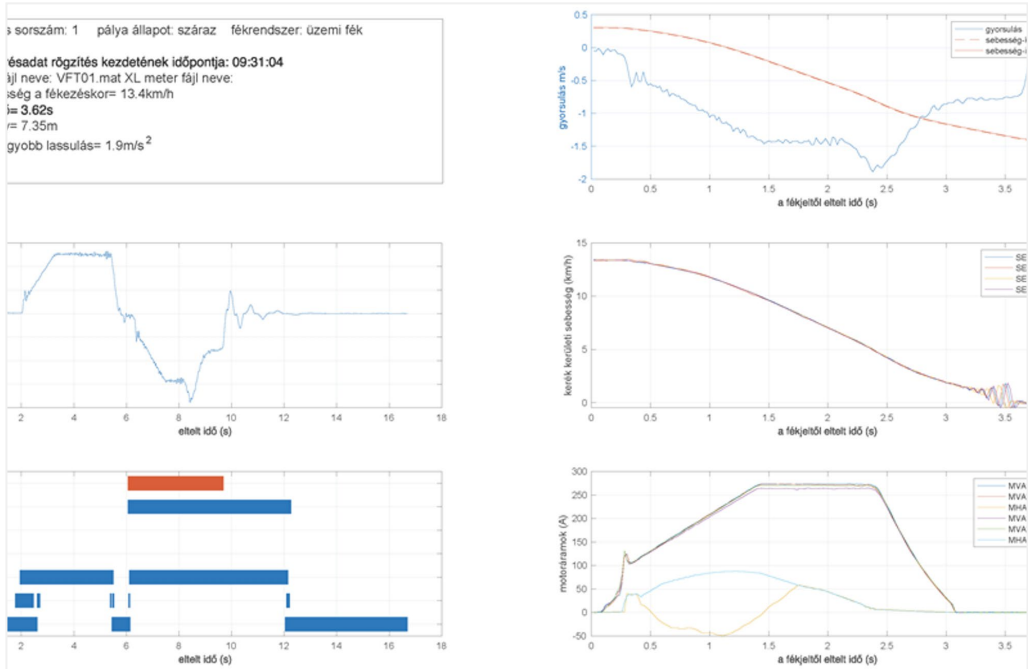
A mérés előtt a járművet a forgalmi terhelésnek megfelelő műterheléssel láttuk el és a méréshez szükséges műszereket a járműre felszereltük, azokat kalibráltuk 2025. október 8-án. [3]

A mért mennyiségek az alábbiak voltak:

- Három irányú gyorsulások a kocsik csatlás felőli végében, a vezérlődoboz fedelén elhelyezett MEMS rendszerű gyorsulásmérőkkel 4kS/s mintavételi sebességgel.
- A jármű kerékfordulat jeladói. A kerékfordulat jeladók fordulatonként 100 impulzust adnak le – összesen négy csatorna analóg feszültségjelként rögzítve 20kS/s mintavételi sebességgel.

- A kontrollerről az alapjel 1, 2, 3, a fék és vészfék 1, 2 jeleket regisztráltuk - összesen hat csatorna analóg feszültségjelként rögzítve 20kS/s mintavételi sebességgel.
- Az MVA1, MVA2, MHA árammérők mindkét kocsiiban - összesen hat csatorna analóg feszültségjelként rögzítve 20kS/s mintavételi sebességgel.
- A mérés során XL-mértért is használtunk referenciaként.

A vizsgálati program ezen fázisában összesen 34 fékmérést végeztünk. A feldolgozott adatokat mérésenként egy-egy jegyzőkönyvapon jelenítettük meg többnyire grafikusan, de a legfontosabb eredményeket numerikus formában is megadtuk. A mérési jegyzőkönyvlapok értelmezését példaként az első mérés jegyzőkönyvlapján mutatjuk be, amely a következő ábrán látható.



7. ábra

Mérési jegyzőkönyvlapok a telephelyi mérésről

A jegyzőkönyvlapok 6 részből állnak, öt diagramot és egy adattáblát tartalmaznak. Az alábbiakban a hat cella ábráinak tartalmát ismertetjük és az értelmezésükhöz szükséges információt adjuk meg [5]:

1. A bal oldali oszlop felső ábrája a mérésekkel kapcsolatos legfőbb adatokat adja meg szöveges formában. A mérés sorszáma, körülményei, az alkalmazott fékezési üzemmódon és az adatrögzítés kezdetének időpontján túl, az eredmények közül a fékezés kezdetekor a keréksebességek alapján meghatározott sebességet, a fékezési időt, a fékutat és a fékezési esemény során mért legnagyobb gyorsulás mértékét. Az adattáblán mindezek mellett megjelennek még azok a fájlnevek, amelyek az adott méréshez tartozó mérési adatokat tartalmazzák.
2. A bal oldali oszlop középső ábráján a teljes mérési adatfájlban rögzített, a két gyorsulásmérő szenzor által rögzített átlagos tengelyirányú gyorsulás idősor látható két vonallal. A 11-34 mérések során XL méteres felvételek is készültek. Ezeket narancssárga vonallal

jelenítjük meg. A két idősor sem mintavételi sebességben sem terjedelemben nem volt azonos. Az ábrázoláshoz az adatsorok kezdetét egymáshoz képest el kellett tolni. Az eltolás mértékének meghatározásához az adatsorokat azonos időalapra hoztuk. Ehhez a saját mérés 50Hz/s felbontású adatsorához igazítottuk lineáris interpolációval az XL méter 20S/s-os időbeli felbontású adatsorát. Az azonos időalapú gyorsulás idősorok keresztkorrelációs függvényének maximumhelye alapján meghatároztuk a legjobb fedésbe hozáshoz szükséges eltolás mértékét, s azt az XL méter adatsor időalapjára alkalmazva fedésben ábrázoltuk a két műszeres mérés kiindulási gyorsulásadatait. Az XL méter adatsorok függőleges eltolásával (0-ázás) nem foglalkoztunk, mivel ezeket a diagramokat a saját számításához nem, csupán a mérés kvalitatív validálásához használtuk. Kvantitatív összehasonlításra pedig az exportált feldolgozott pdf fájlokban megjelenő fékutatakat vetettük össze a saját méréseinkkel. Az ábrákat áttekintve megállapítható, hogy a két módszer teljesen azonos lefutású görbéket eredményez. A számszerű adatok tekintetében látva, hogy az pl. XL méter trigger jel hiányában olykor tévesen értelmezve a gyorsulás idősorokat, s a fékezés kezdetét, illetve, hogy a nyers adatokhoz képest korrigálja a feldolgozás során ez a berendezés is korrigálja a mért gyorsulásokat és sebességeket (ami időnként pl. jelentős kezdeti negatív sebesség formájának jelenik meg az XL méter idő-sebesség ábrákon) vélelmezzük, hogy az általunk alkalmazott módszer pontosabb eredményeket ad. De összességén elmondható, hogy csak hosszabb fékutak esetén fordulnak elő 1m-t meghaladó eltérések, jellemzőbbek a néhány deciméteres különbségek.

3. A bal oldali oszlop alsó ábráján az alsó hat (kék) jelölőszál a monitorozott kontroller változókat mutatja (értelemszerűen, ahol a jel van ott az adott kontrollerváltozó aktív), a felette lévő gyorsulás ábrával azonos időtengely határokkal. Ugyanennek az ábrának a felső, narancssárga jelölőszálja a fékút számításban figyelembe vett időszávot mutatja. A fékezés kezdete a legtöbb esetben a legkorábban aktivált fékezést indikáló kontrollerváltozó bekapcsolásával esik egybe. Az állva tartó fék próbája esetén a kezdeti időpont kézi adatbevitellel lett megadva a feljebb leírtak szerint. A fékezés vége pedig minden esetben a szintén fent bemutatott fékteljesítmény idősor első határátlépéséhez tartozó időpont.
4. A jobb oldali oszlop felső ábrája a fékezési esemény idején mért átlagos gyorsulást (kék) illetve a fent leírt integrálással számított, és két módszerrel offset korrigált sebesség-idősorokat adja meg (folytonos és szaggatott narancs színű vonalak).
5. A jobb oldali oszlop középső ábrája a négy forgó jeladóval ellátott kerékpár kerekeinek tényleges futókör átmérője alapján számított kerületi sebességet adja meg a fékezési esemény idejére.
6. A jobb oldali oszlop alsó ábrája az árammérők feszültségjeléből számított valós áramértékeket adja meg a fékezési esemény idejére.

Az egyes mérésekhez megállapítottuk az átlagos és maximális gyorsulásokat. Ezeket az értékeket csökkentettük a vizsgálati szakaszon maximálisan várható 100 %-os lejtőn jelentkező nehézségi gyorsulással. Azon mérések esetén, ahol ez a csökkentett érték nem negatív gyorsulást eredményezett, kiszámítottuk az adott mérés kezdeti sebességéből kiindulva, hogy a lejtős pályán a mért átlagos-, illetve a teljes idő alatt a kimért maximális fékerő működése esetén kialakuló maximális lassulások esetén milyen fékidőre és féktávolságra lehet számítani.

A számítások alapján megállapítható volt, hogy minden esetben, még a legkedvezőtlenebb olajos pályán is létezik olyan féküzemmód, amellyel a jármű a tervezett hegyi próbamérések során biztonságosan megállítható, tehát a villamossal a fogaskerekű vasút pályájára tervezett

kísérletek az egyéb műszaki feltételek (pl: áramellátás, feszültség kompatibilitás stb.) teljesülése esetén fékbiztonsági szempontból elvégezhetők.

4.2 Adhéziós menet- és féktesztek a fogaskerekű pályáján

A tesztmenetek célja volt a T5C5K2 Tátra villamos menetdinamikai mérése a Fogaskerekű Vasút pályáján különböző tapadási együtthatók esetén az adhéziós üzem feltételeinek való megfelelés vizsgálata céljából.

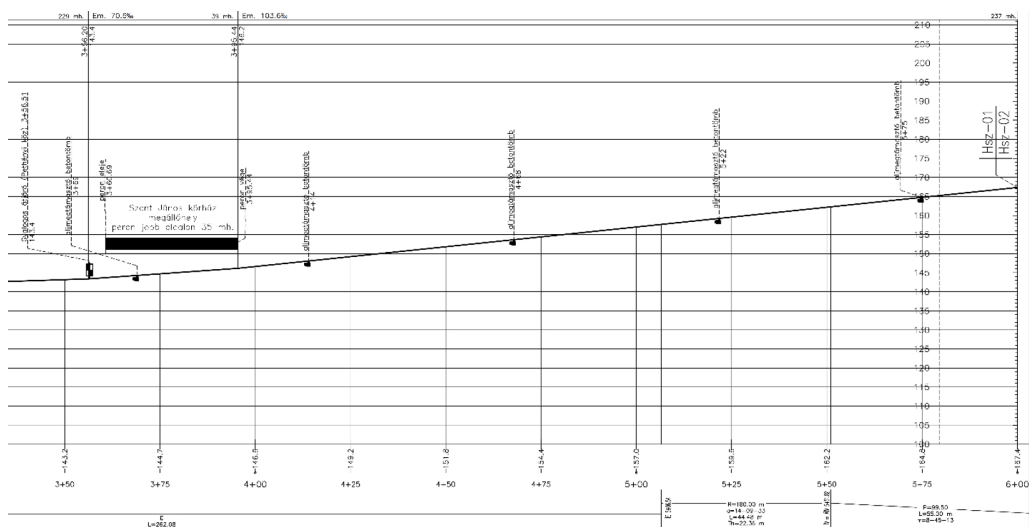
A telephelyi féktesztek igazolták a jármű alkalmasságát a vonali tesztmenetek elvégzésére, azonban szükséges volt a pályaaloldali infrastruktúra alkalmasságának a vizsgálata is az alábbi szempontok alapján:

1. A pálya alkalmasságának vizsgálata.
2. A pálya úrszelvényének és vonalvezetésének alkalmassága.
3. A biztosítóberendezés megfelelőségének vizsgálata.
4. Áramellátással kapcsolatos vizsgálatok (600 V biztosítása az 1500 V helyett).

A próbafutás és a mérések végrehajtásának szabályozására a BKV Zrt. Vasúti Üzemeltetési Igazgatóság Villamos Üzemigazgatósága – mint üzemeltető –, kiadta a 20/TLT/2025 számú „Társasági Lebonyolítási Terv a T5C5K2 típusú villamos próbafutása a Fogaskerekű vasút vonalán” dokumentumot, amelyben részletesen szabályozta a próbafutás végrehajtását, és kijelölte a társaság részéről felelős személyeket. [6]

A 4224 és 4043 számú kocsikból álló szerelvény fogaskerekű pályán történő próbamenetéhez szükséges mérőeszközökkel való felszerelése, azok beállítása és működésük ellenőrzése a BKV Zrt. fogaskerekű járműtelep (1125 Budapest, Szilágyi Erzsébet fasor 14–16.) telephelyén 2025. november 8-án történt meg. [7]

A szerelvény vonali próbamenet és féktest méréssorozatának elvégzése a fogaskerekű vasút pályájának 6+00 és 3+60 szelvények közötti nagyjából 104 % egyenes szakaszán, a Szent János kórház megálló feletti részben történt 2025. november 9-én. A tesztszakasz hossz-szelvényét a következő ábra mutatja. [8]



8. ábra
A tesztszakasz hossz-szelvénye

Mért mennyiségek az alábbiak:

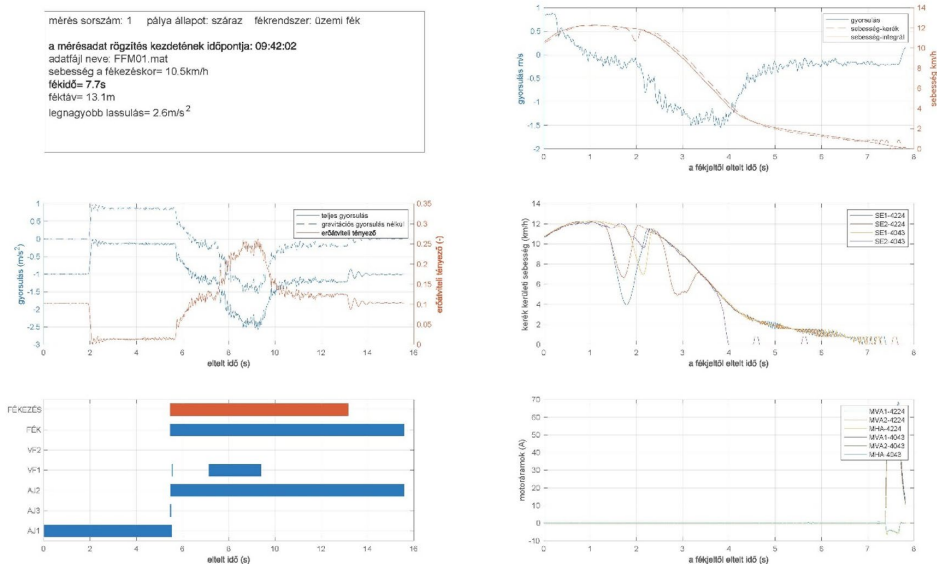
1. Három irányú gyorsulások a kocsik csatlás felőli végében, a vezérlődoboz fedelén elhelyezett MEMS rendszerű gyorsulásmérőkkel 4ks/s mintavételi sebességgel.
2. A jármű kerékfordulat jeladói. A kerékfordulat jeladók fordulatonként 100 impulzust adnak le – összesen négy csatorna analóg feszültségjelként rögzítve 20ks/s mintavételi sebességgel.
3. A kontrollerről az alapjel 1, 2, 3, a fék és vészfék 1, 2 jeleket regisztráltuk - összesen hat csatorna analóg feszültségjelként rögzítve 20ks/s mintavételi sebességgel.
4. Az MVA1, MVA2 és MHA árammérők mindkét kocsiban – összesen hat csatorna analóg feszültségjelként rögzítve 20ks/s mintavételi sebességgel.
5. Három irányú gyorsulások a hegy felőli kocsik völgyoldali forgóvázára a négy kerék környezetébe szerelt egy-egy 40g méréstartományú MEMS gyorsulásmérőkkel 4ks/s mintavételi sebességgel.

A vizsgálati programban összesen 33 fékmérést végeztünk, különböző mesterségesen szimulált pályaviszonyok mellett különböző fékrendszerekkel és üzemmódokkal. Az előző alfejezetben bemutatott módszerekkel feldolgozott adatokat mérésenként egy-egy jegyzőkönyvapon jeleltettük meg többnyire grafikusán, de a legfontosabb eredményeket numerikus formában is megadtuk. A mérési jegyzőkönyvok értelmezését példaként az első mérés jegyzőkönyvlapján mutatjuk be, amely a 8. ábrán látható.

A jegyzőkönyvok 6 részből állnak, öt diagramot és egy adattáblát tartalmaznak. Az alábbiakban a hat cella ábráinak tartalmát ismertetjük és az értelmezésükhöz szükséges információt adjuk meg [9]:

1. A bal oldali oszlop felső ábrája a mérésekkel kapcsolatos legfőbb adatokat adja meg szöveges formában. A mérés sorszámán, körülményein, az alkalmazott fékezési üzemmódon és az adatrögzítés kezdetének időpontján túl az eredmények közül a fékezés kezdetekor a keréksebességek alapján meghatározott sebességet, a fékezési időt, a fékutat és a fékezési esemény során mért legnagyobb gyorsulás mértékét. Az adattáblán mindezek mellett megjelennek még azok a fájlnévek, amelyek az adott méréshez tartozó mérési adatokat tartalmazzák.

2. A bal oldali oszlop középső ábráján a teljes mérési adatfájlban rögzített, a két gyorsulásmérő szenzor által mért átlagos tengelyirányú gyorsulás idősor látható kék folytonos vonallal.
3. Ugyanezen az ábrán a kék szaggatott vonal a statikus gyorsuláskomponens nélküli korrigált gyorsulás-idő függvény látható. Ezen felül megjelenítünk egy erőátviteli tényezőnek nevezett arányszámot, mely matematikailag azokban az esetekben, ahol elektromágneses sínféket nem alkalmaztunk a mért teljes gyorsulásértékek és a pályára merőleges erő hányadosának abszolút értékeként definiálunk.
4. A bal oldali oszlop alsó ábráján az alsó hat (kék) jelölőszáv a monitorozott kontroller változókat mutatja (értelemszerűen, ahol a jel van, ott az adott kontrollerváltozó aktív), a fellelté levő gyorsulás ábrával azonos időtengely határokkal. Ugyanennek az ábrának a felső, narancssárga jelölőszávja a fékút számításban figyelembe vett időszávot mutatja. A fékezés kezdete a legtöbb esetben a legkorábban aktivált fékezést indikáló kontrollerváltozó bekapcsolásával esik egybe. Az állvatartó fék próbája esetén a kezdeti időpont kézi adatbevitellel lett megadva a feljebb leírtak szerint. A fékezés vége pedig minden esetben a szintén fent bemutatott fékteljesítmény idősor első határátlépéséhez tartozó időpont.
5. A jobb oldali oszlop felső ábrája a fékezési esemény idején mért átlagos gyorsulást (kék), illetve a fent leírt integrálással számított és két módszerrel offset korrigált sebesség idősokkokat adja meg (folytonos és szaggatott narancs színű vonalak).
6. A jobb oldali oszlop középső ábrája a négy forgó jeladóval ellátott kerékpár kerekeinek tényleges futókör átmérője alapján számított kerületi sebességet adja meg a fékezési esemény idejére.
7. A jobb oldali oszlop alsó ábrája az árammérők feszültségjeléből számított valós áramértékeket adja meg a fékezési esemény idejére.



9. ábra

Mérési jegyzőkönyvlapok a vonali mérésről

A fogaskerekű vasút pályáján végzett próbamenetek eredményeit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

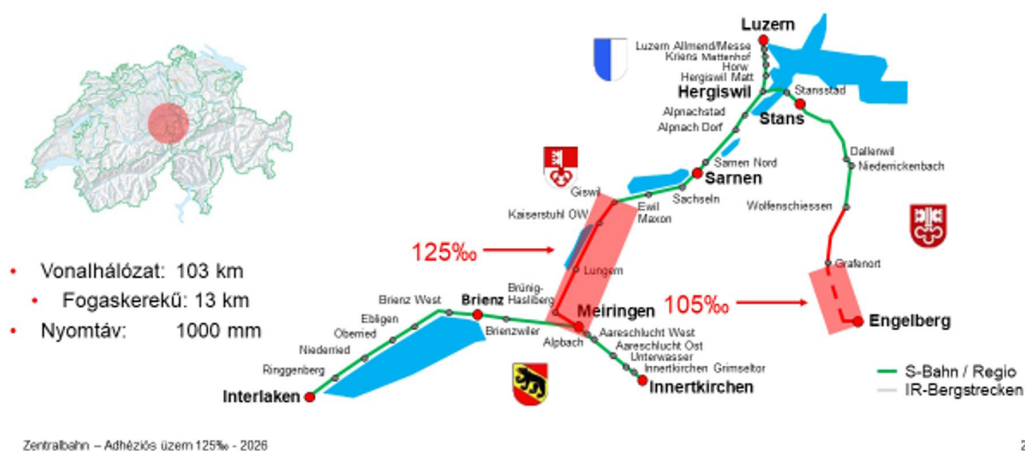
- A fogaskerekű pályája fellelt állapotában olajszárral erősen szennyezett volt, ami miatt a teljes pályát nem tudtuk bejárni. (Ezt a szennyezést a fogaskerekű járművek hozzák létre a pályán.)
- A megtisztított száraz állapotú pályán az adhéziós vontatásnak nem volt akadálya.
- A nedves állapotú pályán az adhéziós vontatásnak nem volt akadálya.
- Az adhéziós vontatás a mesterségesen felolajozott pályán korlátokba ütközött, de a sínfékkel együtt megfelelő fékteljesítményt mértünk. Ezekben az esetekben hosszabb-rövidebb időre több, esetenként mindegyik mért kerék is megcsúszott.
- Az állvatartás csak kerékre ható fékkel száraz és nedves pályán lehetséges. Olajos pályán csak a sínfékkel volt megvalósítható.
- Üzemképtelen jármű vontatása völgyirányban biztonsággal lehetséges.
- A mérési eredményeinket összehasonlítva a svájci Zentralbahn AG mérési eredményeivel, azok teljesen egybevágnak. Az erőátviteli tényezőt fékezéskor – ahol ezt számítani tudtuk – minden esetben 0,1 felettinek mértük, ami megegyezik a svájci mérési adatokkal.

5. A svájci kapcsolat

2025. november közepén szakirodalom kutatás eredményeként találtunk rá a svájci Zentralbahn AG vasúttársaság egy internetes közleményére. [10] Célzott internetes keresés eredményeként sikerült megtalálni a vasúttársaság egy tudományos közleményét, amelyben a jelen projekthez hasonló kutatás-fejlesztési projektről számoltak be. [11] 2026. januárjában megtörtént a vasúttársasággal való sikeres kapcsolatfelvétel.

 Die Zentralbahn.

A Zentralbahn összeköti Közép-Svájcot a Berni-fennsíkkal.



10. ábra

A Zentralbahn AG vasúthálózata

A Zentralbahn AG Svájcban három vasútvonalat üzemeltet: Luzern–Interlaken Ost, Meiringen–Innertkirchen és Luzern–Engelberg vonalakat. A vasúttársaság 1000 mm nyomtávú 103 km-es vonalhálózatán összesen 13 km hosszon található 5, Riggenbach-rendszerű fogaslécclal szerelt szakasz: négy a Brünigbahn vonalon, valamint a Mettlen–Boden szakasz az Engelberg felé vezető vonalon. E vonalak közül kettő legfeljebb 125%-os emelkedőkkel is rendelkezik. Ez jelenleg fogaskerekű hajtású járművek alkalmazását teszi szükségessé. A Zentralbahn AG vasúthálózatát mutatja a 10. ábra.

A hagyományos adhéziós hajtással szemben a fogaskerekű hajtás a lényegesen kisebb gyártott jármű darabszám, az ebből adódó korlátozott kínálat, valamint a nagyobb kopás miatt magas beszerzési és üzemeltetési költségekkel jár. A társaság 2035-től nagyszabású járműállomány cserét kíván végrehajtani, és ennek hatékonysága érdekében vetődött fel a fogaskerekű üzem elhagyásának lehetősége:

- Egységes járműpark kialakítása – üzemeltetési költségek csökkentése
- Szinergiák más vasutakkal – átjárhatóság
- Fogaskerekű járművek gyártói monopóliumától való függetlenség – nagyobb beszállítói verseny
- Menetrend optimalizáció – jobb járműdinamika által.

A Zentralbahn AG kutatási partnerével, a Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH Aachen) Institut für Schienenfahrzeuge und Transportsysteme (IFS) intézettel együttműködve azt a kérdést kutatta, hogy az adott emelkedők mellett az alpesi időjárási viszonyok figyelembevételével a tervezett alkalmazási helyen megfelelő biztonsággal lehetséges-e adhéziós hajtású járművek üzemeltetése. Ehhez a járműveket – a fogaskerékfék elhagyása miatt – úgy kell továbbfejleszteni, hogy elegendő fékteljesítményt biztosítsanak. Ennek érdekében egy olyan koncepció készült, amely a pneumatikus kerékféket kiegészítő mágneses sínfékkel kombinálja. Ezt a koncepciót számításokkal, valamint kísérleti járművel végzett futáspróbák során is vizsgálták az üzembiztonság szempontjából.

A következő lépésben a leírt fékrendszerrel felszerelt kísérleti járművet kellett kialakítani annak érdekében, hogy próbameneteket lehessen végezni a Zentralbahn AG vonalain. A kísérleti jármű egy 100 %-os adhéziós tömegű motorkocsi, amely forgóvázanként egy-egy mágneses sínfékkel rendelkezik. A járművet az IFS a megfelelő mérőtechnikával szerelte fel. Mérték a fellépő gyorsulásokat, a kerékfék és a mágneses sínfék fékerekjét, valamint a kerekeken kialakuló csúszást. A mért adatok alapján ezt követően meghatározhatóvá vált a kísérleti jármű fékteljesítménye.

Első lépésben a kísérleti járművet sík pályán üzemeltették, egyrészt a mérőrendszer, másrészt az előzetes vizsgálatok során elvégzett számítások validálása céljából. Második lépésként a kísérleti jármű 105 %-os lejtésű Engelberg-alagútban történő vizsgálata következett a fékezés viselkedés elemzésére. (11. ábra)



11. ábra

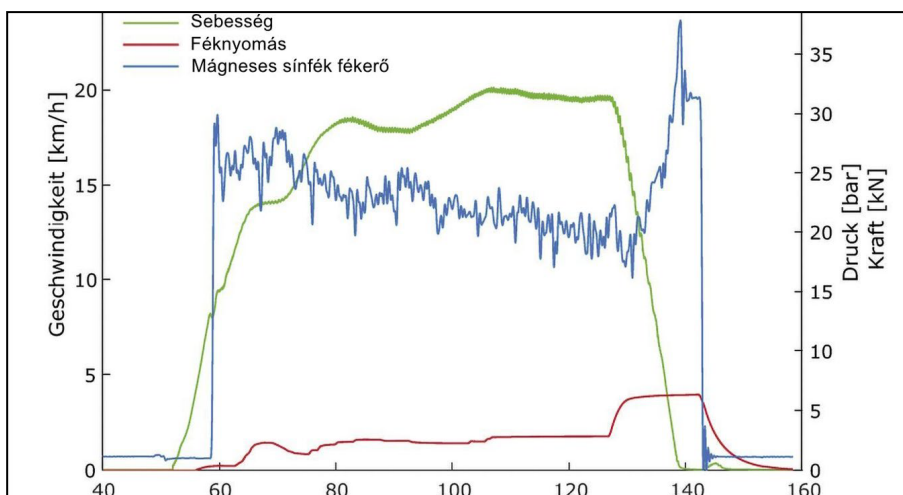
A Be 4/4 14. számú kísérleti motorkocsi

A próbameneteket három különböző forgatókönyv szerint hajtották végre:

- Az „A” forgatókönyv kizárólag a pneumatikus kerékfékekkel végrehajtott fékezést tartalmazta.
- A „B” forgatókönyvben a kerékfék és a mágneses sínfék kombinációját vizsgálták; ebben az esetben a mágneses sínfék – a normál üzemi működéshez hasonlóan – 4 km/h sebességnél automatikusan kikapcsolt a hirtelen rántás csökkentése érdekében.
- A „C” forgatókönyv a „B” forgatókönyvre épült, azonban itt a mágneses sínféket kézi vezérléssel egészen a megállásig működtették.

Az eredményekből – az elvárásoknak megfelelően – az látható, hogy azonos kiindulási sebesség mellett a mágneses sínfék alkalmazásával – különösen a C forgatókönyvben –, a fékutas jelentősen rövidebbek, mint kizárólag pneumatikus kerékfékekkel. Az átlagos csökkenés mintegy 42 %, ha a mágneses sínféket 4 km/h-ig használják, és kb. 44 %, ha az egészen a megállásig működik. Emellett a teljes szerelvény átlagos lassulása a mágneses sínfék alkalmazásakor körülbelül 60%-kal nagyobb, mint nélküle. (12. ábra)

A szerelvény megállításhoz szükséges maximális tapadási tényező a teljes vonaton fellépő fékerők és az emelkedőn ható teljes kerék-talperő alapján határozható meg. Az „A” forgatókönyvben ez az érték átlagosan 0,15–0,18, míg „B” és „C” forgatókönyvekben 0,22–0,28 közé esik. Ezek az értékek tehát meghaladják az előzetes számítási modellekben alkalmazott 0,1-es tapadási tényezőt, ami biztonságos vasúti üzemet vetít előre.



12. ábra

Állandó sebességű menet sebességprofilja mágneses sínfék alkalmazásával

A svájci partner felvette a kapcsolatot a Francia Vasutak Nemzeti Társaságával (SNCF), aki már régóta üzemeltet adhéziós rendszerű vasutat 90 % felett emelkedésű pályán. (Saint-Gervais – Vallorcine szakasz, jelen dokumentum 3.1 alfejezetében a 11. számon említett vasútvonal.) Az SNCF-et az üzemeltetési tapasztalatokról kérdeztük, és az alábbiak foglaljuk össze a kapott információkat:

- A szerelvény 8-ból 4 hajtott tengellyel van ellátva, vagyis a hajtott tengelyek aránya csak 50 %
- A megengedett sebesség mindkét irányban: 35 km/h (az ívek korlátozzák)
- A hajtásvezérlés az ABB hajtásinverterbe van integrálva
- Minden tengely egy önálló vontatómotorral hajtott, így a nyomaték tengelyenként vezérelhető
- A szinkroncsúszás nem jelent problémát
- Az elektromágneses sínfék az üzemi fék részét képezi
- A sínfék az állvatartó fék is: 90 percig akkumulátorról táplálva működni kell. (2 különálló egység)
- Mechanikus kapcsoló az elektromágneses sínfék feloldásához
- A mentésre váró jármű légfékkel fékezhető marad, de sínfék nélkül
- Hó esetén is kiválóan működő rendszer
- Nincsenek negatív üzemeltetési tapasztalatok

A Zentralbahn AG-vel való együttműködés során több egyeztetés történt, amelynek eredményeként az alábbi közös megállapításokat tettük:

1. A kísérleti mérések mindkét vasútnál – BKV és Zentralbahn – azonos elvi megfontolások mentén lettek előkészítve. Bár a rendelkezésre álló vontatásnemek és járművek különböztek, a mérések ugyanazon fizikai mennyiségek meghatározására irányultak. A mért mennyiségek emiatt összehasonlíthatók lettek, és mindkét mérésorozathoz azonos megállapításokra vezettek.
2. A nagy meredekségű pályán a felfelé való vontatás nem jelent kihívást az adhéziós üzem számára.

3. A megfelelő vontatási teljesítmény biztonságos erőátviteléhez szükségesnek látszik, hogy a szerelvény minden tengelye hajtott legyen.
4. A nyomatékot tengelyenként kell tudni vezérelni, és azt úgy a gyorsítás, mind a lassítás során a szabályozott csúszás (slip) tartományában kell tartani.
5. A szinkroncsúszás elkerüléséhez a jármű haladási sebességének biztos és pontos mérése van szükség, a hajtott és fékezett kerekek fordulatanak mérése erre nem megfelelő.
6. A sínfék az üzemi fék részét kell képeznie.
7. Amennyiben rendelkezésre áll, előnyben kell részesíteni az állandómágneses sínfék alkalmazását az elektromágneses sínfékkel szemben.
8. A jármű biztonsági rendszereit redundáns architektúrában kell kiépíteni.
9. A fenti megfontolások szerinti műszaki tartalommal a nagy meredekségű vasúti pályákon nem látjuk akadályát a biztonságos adhéziós vasútüzem kialakításának.

Az együttműködés a svájci Zentralbahn AG-vel a továbbiakban is folytatódik, így lehetőség lesz a későbbiekben is a magas színvonalú szakmai információcserére.

6. Az alkalmas adhéziós járművel kapcsolatos előzetes megfontolások

A tisztán adhéziós üzem lehetőségének vizsgálata során nem kizárólag a legnagyobb emelkedés, hanem a nagy meredekségű szakaszok hosszúsága és folytonossága is kiemelt jelentőséggel bír, mivel ezek közvetlenül befolyásolják a vontatási és fékezési követelményeket, valamint a járművek hőterhelését.

A jelenlegi járművek a meglévő fogaskerekű üzem kiszolgálására alkalmasak, azonban a villamoshálózati integráció vagy a jelentősen eltérő, tisztán adhéziós üzemeltetési koncepciók melletti üzemeltetésre nem. Emiatt az új jármű beszerzésénél korszerű, a kor technikai színvonalának megfelelő, a biztonságot nagymértékben növelő, a fejlesztési koncepciókat figyelembe vevő rendszert kell telepíteni a járművekre. A továbbiakban felsoroljuk a jármű azon főbb berendezéseit, amelyeknél a biztonság megteremtése érdekében a redundáns működést elengedhetetlennek tartjuk:

- járművezérlő rendszer,
- akkumulátorok,
- segédüzemi energiaellátó rendszer,
- energia-visszatáplálás (rekuperáció) rendszere,
- fékrendszerek,
- csúszásvédelem (WSP),
- vonatbefolyásolás,
- homokoló berendezés,
- sínseprő, akadályelhárító és sínfejtisztító berendezések,
- sínkenés,
- vészfék rendszer,
- eseményrögzítő rendszer.

7. Javasolt infrastruktúrális fejlesztések

A tanulmányban részletesen megvizsgáltuk, hogy az adhéziós üzemre történő átállás milyen pályaföldalati, járműoldali, energiaellátási, biztosítóberendezési és üzemeltetési beavatkozásokat tesz szükségessé, illetve mely beavatkozások kapcsolódnak az egyes műszaki változatokhoz. A

vizsgálat áttekinti az átálláshoz kapcsolódó főbb műszaki területeket, beruházási elemeket és költségképző tényezőket, valamint bemutatja az egyes műszaki változatok főbb következményeit, költséghatásait és a fejlesztési irány meghatározásához szükséges szempontokat.

A költségbecslési részek felépítése egységes logikát követ. Elkülönítésre kerülnek a minden változatban megjelenő közös költségek, az egyes műszaki változatokhoz kapcsolódó változatspecifikus költségek, valamint azok a műszaki követelmények, amelyek önálló költségtételként nem jelennek meg, de meghatározzák vagy befolyásolják az érintett költségek tartalmát és nagyságát.

A következőkben ismertetjük a különböző eszközcsoportokat érintő lehetséges változatokat.

7.1 Pályaelemek

A budapesti fogaskerekű vasút jelenlegi pályaszerkezete Strub-rendszerű fogaslécvel épült ki. A fogasléc eredeti feladata a nagy emelkedésű szakaszokon a szükséges vonó- és fékezőerő biztonságos átadása a jármű és a pálya között. A vizsgálat alapját képező pályatesztok eredményei alapján az adhéziós üzem műszaki megvalósíthatósága igazolható, ezért a fogasléc a menetrend szerinti közforgalmú üzem szempontjából nem tekinthető szükséges infrastruktúraelemnek.

A fogasléc megtartásának előnye, hogy lehetőséget biztosítana történeti járművek üzemeltethetőségének megőrzésére. A meglévő és felújított fogaskerekű motorkocsik és pótkocsik megfelelő műszaki állapot esetén továbbra is közlekedhetnek nosztalgia-, külön- vagy rendezvényvonatként. Ez nemcsak a vonal közlekedéstörténeti örökségének megőrzését szolgálja, hanem turisztikai és városképi szempontból is értéket képviselhet. Rendkívüli esetben akár biztonsági járatként is felhasználható.

7.2 Utasforgalmi infrastruktúra

Az új járművek padlómagassága, ajtóelrendezése és utascsere-folyamatai meghatározzák a szükséges peronkialakítást. A vonal utasforgalmi peronjait a tervezett alacsonypadlós járművekhez igazodóan át kell építeni. A peronmagasságot és a vágánytengelytől mért távolságot úgy kell meghatározni, hogy a jármű és a peron közötti vízszintes és függőleges hézag a lehető legkisebb legyen.

A megfelelő peronkialakítás nemcsak az akadálymentes használatot segíti elő, hanem csökkenti az utascsere idejét is. A rövidebb megállási idők kedvezően befolyásolhatják a vonal menetrendi teljesítőképességét és az üzem rugalmasságát.

7.3 Járműtelep

A fogaskerekű vasút adhéziós üzemre történő átállítása nemcsak a pályát és a járműállományt érinti, hanem a kapcsolódó fenntartási infrastruktúrát is. A Városmajorban található járműtelep jelenlegi kialakítása a fogaskerekű üzem sajátosságaihoz igazodik, ezért az új járművek fogadásához és karbantartásához szükséges műszaki feltételek felülvizsgálata elengedhetetlen.

A Városmajori járműtelep és remíz történeti, közlekedéstörténeti és ipartörténeti értéket képvisel. A telephely átalakításának tervezése során vizsgálni kell az épületek és építmények esetleges örökségvédelmi, helyi értékvédelmi és településképi érintettségét, valamint az ebből eredő műszaki és engedélyezési korlátozásokat.

A járműtelep esetében az ajánlható az a változat is, hogy az új járművek – mivel használhatják a villamosvasúti pályát – más járműtelephez kerülnek, a meglévő járműtelep a BKV villamosvasúti nosztalgia járműparkjának bázisává válik.

7.4 Biztosítóberendezések

A fogaskerekű vasút forgalombiztonságát jelenleg D55 típusú biztosítóberendezés biztosítja. Az adhéziós üzemre történő átállás önmagában nem indokolja a biztosítóberendezés teljes cseréjét, ezért a vizsgálat alapfeltevése a meglévő rendszer megtartása és szükség szerinti korszerűsítése.

A biztosítóberendezési fejlesztések célja nem új forgalomirányítási rendszer kialakítása, hanem annak biztosítása, hogy a meglévő rendszer az új járművek menetdinamikai tulajdonságaihoz, valamint az esetlegesen módosuló üzemeltetési követelményekhez igazodva továbbra is megfelelő biztonsági szintet nyújtson. A korszerűsítés során indokolt vizsgálni a tengelyszámlálásos vágányfoglaltság-érzékelés és a passzív balizos vonatbefolyásolás együttes alkalmazását.

A tengelyszámlálók biztosítják a pályaszakaszok foglaltságának megbízható meghatározását, függetlenül a sín–kerék kapcsolat villamos tulajdonságaitól. A technológia kevésbé érzékeny a környezeti hatásokra, a sínfelület állapotára, valamint a homokolásból vagy egyéb üzemeltetési körülményekből adódó változásokra.

A pályába telepített passzív balizok helyhez kötött információkat továbbítanak a jármű fedélzeti berendezése számára. A rendszer alkalmas a pályaszakaszokhoz tartozó sebességhatárítások, lejtviszonyok, állomási közeledések vagy egyéb üzemeltetési adatok átadására. A fedélzeti rendszer a balizoktól kapott információk alapján ellenőrizheti a jármű sebességét és a menetprofilnak való megfelelést. A rendszer kialakításától függően lehetőség nyílik a sebességfelügyeleti funkciók megvalósítására, figyelmeztetés adására, valamint közlekedésbiztonsági célú automatikus fékbeavatkozások megvalósítására is.

7.5 Áramellátás és felsővezetéki rendszer

A budapesti fogaskerekű vasút adhéziós üzemre történő átállításának egyik meghatározó műszaki kérdése a vontatási energiaellátási rendszer jövőbeni kialakítása. A jelenlegi infrastruktúra speciális, a városi villamoshálózatától eltérő paraméterekkel üzemel, ezért az új járművek és az energiaellátási rendszer fejlesztését egységes rendszerként szükséges kezelni. A jelen költségbecslés az új járművek várható villamos teljesítményigényét, áramfelvételét, megengedett feszültségtartományát és visszatáplálási jellemzőit a szükséges beavatkozások mértékét meghatározó műszaki peremfeltételként kezeli.

A vizsgálat során külön értékelendő a meglévő 1500 V egyenáramú rendszer fenntartása, illetve az esetleges 600/750 V egyenáramú rendszerre történő áttérés műszaki és gazdasági hatása. A meglévő 1500 V-os rendszer megtartásának legfontosabb előnye, hogy az energiaellátási infrastruktúra jelentős része továbbra is hasznosítható marad. A rendszer fenntartása ugyanakkor az áramátalakító berendezéseinek és épületének teljes körű felújítását, valamint a hálózat szükséges fejlesztését igényli.

Az adhéziós üzem egyik előnye a korszerű villamos hajtásrendszerek által biztosított rekuperatív fékezés alkalmazhatósága. A vonal jelentős emelkedésű és lejtésű szakaszai miatt a fékezési energia visszanyerésének lehetősége kiemelt jelentőségű, mivel a lefelé haladó járművel szemben egyidejűleg felfelé haladó jármű a visszatáplált energiát fel tudja használni.

Az energiaellátási rendszer esetében az ajánlott alapváltozat a meglévő 1500 V-os rendszer megtartása és célzott korszerűsítése.

Konklúzió

A projekt során elvégzett feladatok:

- Feltártuk az adhéziós hajtás elméleti határait, és megfogalmaztuk a pálya-jármű rendszerrel szembeni követelményeket a legjobb tapadási erőátvitel biztosítása érdekében.
- Szakmai tapasztalatcserén fogadtak minket a Linz Linien GmbH-nál, a 116 ‰-es meredekségű Pöstlingbergbahn üzemeltetőjénél. Megismertük a vasút üzemeltetésének kihívásait, a nemrégiben végrehajtott teljes infrastruktúra és járműfejlesztési projektet.
- Elemeztük az elmúlt 11 év hazai vasúti baleseteit a fékberendezések érintettsége szempontjából, valamint néhány baleset tekintetében részletes ok-okozati összefüggéseket mutatunk be. Az elemzések alapján a lehetséges adhéziós hegyvasúti üzem vasútbiztonságát érintő alapkérdésekben tettünk megállapításokat.
- Meghatároztuk a hegyi pályán tervezett féktest sorozatra alkalmas járművel szembeni követelményeket, és kiválasztottuk a tesztjárművet.
- A hegyi pályán történő teszt sorozat elvégzése előtt a kiválasztott jármű fékrendszerének teljesítményét telephelyi mérés sorozatban vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a kiválasztott jármű képes a hegyi pályán a biztonságos megállásra, így a teszt sorozat a fogaskerekű pályáján megkezdhető.
- Sikeres próbameneteket és a féktesteket hajtottunk végre a fogaskerekű pályáján.
- Felvettük a kapcsolatot a svájci Zentralbahn AG vasúttársasággal, amely hasonló tárgyú projektet folytat. Egyeztettük kutatási eredményeinket, és megállapítottuk azok lényegi azonosságát.
- Megfogalmaztuk a hegyi jellegű vasúti pályán való adhéziós üzemre alkalmas közúti vasúti villamos járművel szembeni biztonsági javaslatainkat.
- Javaslatokat tettünk a jogszabályi környezet szükséges mértékű megváltoztatására.
- Elvégeztük a menetrendi forgalommal kapcsolatos vizsgálatokat és menetrendi változatokat alakítottunk ki az adhéziós üzemre.
- Meghatároztuk az adhéziós üzem bevezetésének infrastrukturális feltételeit, és elvégeztük a szükségesnek ítélt beruházások költségbecslését.

A projekt eredményei alapján tehető főbb megállapítások:

- A budai fogaskerekű vasút nagy meredekségű pályáján az adhéziós vasútüzem lehetséges.
- A megfelelő vontatási teljesítmény biztonságos erőátviteléhez szükséges, hogy a szerelvény minden tengelye hajtott legyen.
- A nyomatékot tengelyenként kell tudni vezérelni, és azt úgy a gyorsítás, mind a lassítás során a szabályozott csúszás (slip) tartományában kell tartani.
- A szinkroncsúszás elkerüléséhez a jármű haladási sebességének biztos és pontos mérése van szükség, a hajtott és fékezett kerekek fordulatanak mérése erre nem megfelelő.
- A sínfék az üzemi fékrendszer részét kell képeznie. Amennyiben rendelkezésre áll, előnyben kell részesíteni az állandómágneses sínfék alkalmazását az elektromágneses sínfékkel szemben.
- A jármű biztonsági rendszereit redundáns architektúrában kell kiépíteni.
- Az adhéziós vasútüzem menetdinamikája kevesebb szerelvénnyel is kisebb követési időközű menetrendet tesz lehetővé.
- A jelenlegi biztosítóberendezés meghagyásával és járműoldali komponensek alkalmazásával megfelelő vonatbefolyásolási rendszer alakítható ki.
- Megfelelő intézkedésekkel a pályán vegyes (adhéziós és fogaskerekű) üzem biztosítható a nosztalgia szerelvények üzemeltetéséhez.

Irodalomjegyzék

- [1] Bartal Sándor: Vontatási mechanika (jegyzet), Budapest, 1996
 - [2] Angyal Róbert - Ferencz Péter - Bogár Róbert - Berinkei Tamás - Törköly Tamás: Kerék-sín kapcsolat vizsgálata végeselemes módszerrel (diasorozat), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2013
 - [3] Jegyzőkönyv a kísérleti szerelvény mérőeszközökkel történő felszereléséről (járműtelepi mérés), Budapest, 2025. október 8.
 - [4] Fékmérési jegyzőkönyv a járműtelepi mérésről, Budapest, 2025. október 9.
 - [5] Mérési jegyzőkönyvlapok a járműtelepi mérésről, Budapest, 2025. október 9.
 - [6] 20/TLT/2025 - Társasági Lebonyolítási Terv a T5C5K2 típusú villamos próbaútjáró a Fogaskerekű vasút vonalán, BKV Zrt., Budapest, 2025. november 7.
 - [7] Jegyzőkönyv a kísérleti szerelvény mérőeszközökkel történő felszereléséről (fogaskerekű pálya mérés), Budapest, 2025. november 8.
 - [8] Próbamenet és fékmérési jegyzőkönyv a fogaskerekű vasúton történt mérésről, Budapest, 2025. november 9.
 - [9] Mérési jegyzőkönyvlapok a fogaskerekű pályáján történt mérésről, Budapest, 2025. november 9.
 - [10] Ernst Rota: Adhäsion statt Zahnrad - vielversprechende Ansätze bei der Zentralbahn – fokus-oev-schweiz, <https://fokus-oev-schweiz.ch/2024/06/29/adhaesion-statt-zahnrad-vielversprechende-ansaeetze-bei-der-zentralbahn/> közzétéve: 2024.06.29., letöltve: 2025.11.14.
 - [11] Jeries Shamshoom, Christian Schindler, Gerhard Züger: Einsatzfähigkeit von Adhäsions-Bergtriebzügen in Neigungen von bis zu 125‰ – ZevRail, <https://www.zevrail.de/artikel/einsatzfaehigkeit-von-adhaesions-bergtriebzuegen-neigungen-von-bis-zu-125-0> közzétéve: 2022., letöltve: 2026.01.13.
-



A rendezvény a BKV Zrt. szakmai támogatásával
a Közlekedéstudományi Egyesület szervezésében valósul meg.

