LXXVI. ÉVFOLYAM 5. SZÁM
2026. OKTÓBER

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE

A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVA 1951-BEN


HungaroControl
karrier.hungarocontrol.hu
ADD TOVÁBB A LEHETŐSÉGET AZ ÚJ GENERÁCIÓNAK!
LEHET, HOGY A KÖVETKEZŐ LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÓT TE ISMERED A LEGJOBBAN.

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

Megjelenik kéthavonta
www.ktenet.hu

ALAPÍTOTTA:
a Közlekedéstudományi Egyesület

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG
Dr. Lakatos András Rudolf, főszerkesztő
Dr. Ács Balázs
Dr. Fischer Szabolcs
Dr. Heinitz, Florian
Dr. Henézi Diána Sarolta
Dr. habil. Horváth Balázs
Horváth Gábor
Dr. Horváth Zsolt Csaba
Kelemen Balázs
Dr. Majdán János
Dr. Meyer Dóra
Dr. Munkácsy András
Ötvös Viktória
Pál László
Dr. Tóth János
Dr. Török Ádám

SZERKESZTŐSÉGI TITKÁR:
Ráczné dr. Kovács Ágnes
Tel./fax: 353-2005, 353-0562
E-mail: szemle@ktenet.hu

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

FELELŐS KIADÓ:
Dr. habil. Horváth Balázs,
a Közlekedéstudományi Egyesület főtitkára

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

NYOMDAI KIVITELEZÉS:
Kontraszt Nyomda, Pécs • www.kontraszt.hu
Felelős nyomdavezető: Barta Ákos

TERJESZTŐ:
Magyar Posta Zrt. Központi Hírlap Iroda
1089 Budapest Orczy tér 1. Telefon: 36-1-476300

ISSN 0023 4362

A folyóiratunkban megjelenő cikkek nyíltan hozzáférhető digitális tartalomnak tekinthetők. A cikkeket a szerkesztőség az EPA-ban és a REAL-ban online elérhetővé teszi.

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

TARTALOM

Balázs Gábor
Világháborútól világháborúig: a magyarországi vasutasok jövedelmei a két világháború között (1920–1938) 2

Koch Domonkos
Aszfalt felületi hőmérsékletének meghatározása időjárási adatok alapján 15

Berta Tamás – Henézi Diána – Török Ádám
Az entrópia közlekedésinformatikai értelmezése...28

Kozma Gábor – Kiss-Polgárdi Tamás
A debreceni BMW-beruházás kiszolgálása érdekében kialakított helyi és helyközi autóbuszjáratok térbeli jellegzetességei 38

Tóth Péter – Esztergár-Kiss Domokos
Közlekedési profilok klaszterelemzése és a kerékpármegosztó szolgáltatás bővítési lehetőségei Rákosmentén 48

Melléklet
Közlekedésbiztonság – Közlekedési környezetvédelem
Dr. Horváth Balázs
Emlékeztető az MTA Közlekedés- és Járműtudományi Bizottságának üléséről 63

A KTSZ egyes számai ingyenesen, online elérhetők a https://ojs.mtak.hu/index.php/ktsz linkre kattintva.

Print formátum éves előfizetési díja (6 lapszám):

- nem KTE tag egyéneknek és cégeknek: 10 000 Ft/év, egyes lapszámok ára 1700 Ft/db
- egyéni KTE tagoknak: 5000 Ft/év, egyes lapszámok ára: 850 Ft/db

Egyes lapszámok a KTE Titkárságán megrendelhetők *(1066 Budapest Teréz krt. 38., Tel.: 36-1-3532005, e-mail: szemle@ktenet.hu)*

Világháborútól világháborúig: a magyarországi vasutasok jövedelmei a két világháború között (1920–1938)

Balázs Gábor

főlevéltáros Magyar Nemzeti Levéltár Gazdasági Levéltári Osztály

e-mail: balazs74g@gmail.com

Kézirat benyújtva: 2026.06.02.
Kézirat elfogadva: 2026.08.08.

© *Balázs G.*

Absztrakt

A tanulmány a vasúti dolgozók két világháború közötti jövedelmi helyzetét vizsgálva megállapítja, hogy bár a korszakban tendenciáját tekintve növekedtek a vasúti bérek, azok az első világháború előtti utolsó békeévek szintjét sohasem tudták elérni. A korszak legfontosabb vasúti béremelési intézkedése 1938-ban történt. Az ennek keretében végrehajtott vasúti bérrendezésnek egyik nyilvánvaló célja az volt, hogy a vasutasokat távoltartsa a politikai szervezkedésektől. A háború felé sodródó világban a vasúti személyzet feltétlen lojalitásának megőrzése nyilvánvalóan alapvető érdeke volt a kormányzatnak.

A legfontosabb bérrendezés (1938) szinte valamennyi kategóriában magasabb reáljövedelmet biztosított, mint amennyit a bázisnak választott 1925-ös évben kerestek a vasúti dolgozók. Egyetlen érdekes kivétel az első számú vezető, az elnök volt, akinek a reáljövedelme, ha rendkívül kis mértékben ugyan, de csökkent 1925-höz képest. A vasúti reálbérek 1925-ös bázisra vetített növekedésének arányát vizsgálva elmondható, hogy annak mértéke az alsóbb beosztások felé haladva fokozatosan nőtt (nivellálás).

Annak ellenére, hogy az 1938-tól megállapított vasúti jövedelmek nem érték el az első világháború előtti reálértéküket, abból a vasutasok többsége egy tisztes polgári életszínvonalat tudott biztosítani a családjának. Mivel 1946-ban az 1938-as reálérték 22–35%-ában határozták meg az állami alkalmazottak fizetését, a vasutasok később érthetően nosztalgiával tekintettek vissza az 1938-as bérrendezésre.

A szerző, aki a Magyar Nemzeti Levéltár Gazdasági Levéltári Osztályán többek között a vasúti iratok referense is, kiemelt célnak tekinti, hogy felhívja a kutatók figyelmét a levéltári őrizetben lévő és eddig viszonylag kevéssé kutatott polgári kori vasúti iratanyagra. Ezek az iratanyagok ugyanis hitelességük és máshonnan meg nem ismerhető adattartalmuk révén kiegészítik a könyvészeti forrásokból megismerhető információkat.

A tanulmány elkészítése során a szerző számára a legfontosabb, megoldandó módszertani problémát a jövedelmek reálértékének meghatározása jelentette tekintettel arra, hogy a két világháború közötti időszakban a hivatalos fizetőeszköz megváltozott, illetve emellett figyelemmel arra, hogy a fizetőeszköz vásárlóértéke is erős ingadozást mutatott a korszakban.

Amikor az egyes vasúti beosztásokkal járó jövedelmeket vetette össze a szerző, nehézséget jelentett az is, hogy a MÁV-nál nevesített beosztások sok esetben nem, vagy csak kisebb-nagyobb fenntartásokkal voltak megfeleltethetők a más munkavállalói csoportok, például a köztisztviselők esetében rendszeresített beosztásoknak.

Kulcsszavak: *MÁV, vasút, életszínvonal, jövedelem, közlekedéstörténet*

DOI: https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.5.1

1. A FOLYAMATOK KERETE: A MAGYAR GAZDASÁG A KÉT VILÁGHÁBORÚ KÖZÖTT

A magyar gazdaságtörténet egyik, ha nem a legsikeresebb időszaka volt az 1867-es kiegyezéstől az első világháború kitöréséig eltelt néhány évtized. A rendelkezésünkre álló statisztikák alapján a 19. század végén hazánkban az egy főre jutó GDP elérte, sőt némileg meg is haladta a nyugat-európai érték felét.

A nemzetközi szakirodalom emellett arra is felhívja a figyelmet, hogy ezekben az évtizedekben nem csupán abszolút értelemben fejlődött a magyar gazdaság, de a közvetlen vetélytársával, a perszonálunió miatt hozzá ezer szállal kötődő Ausztriával összevetve is javultak a relatív fejlettségi adatai.

Nyilván itt nem tekinthetünk el a gazdasági bázishatás szerepétől sem, tehát attól, hogy a kiegyezéskor az osztrák gazdaság, elsősorban az ipar sokkal fejlettebb volt, mint a korabeli magyar, ebből fakadóan a hasonló mértékű növekedés Ausztria esetében nagyobb tényleges fejlődést jelentett. Az a tény azonban, hogy a magyar növekedés az 1870-es évek elejétől az első világháborúig folyamatosan magasabb volt, mint az osztrák, alapvető jelentőségű volt.

Schulze (2000, 2007), a London School of Economics (LSE) professzora arra hívja fel a figyelmet, hogy az egy főre jutó GDP tekintetében az 1913 előtti osztrák gazdaság az egyik leggyengébb fejlődési adatokat produkálta a korabeli Európában: kevesebb mint 1 százalékkal növekedett évente. Ezzel szemben hazánkban – amely ekkor Ausztriával vámuniót alkotott – az egy főre jutó GDP hozzávetőleg 1,3 százalékkal növekedett az 1870 és 1913 közötti időintervallumban.

Magyarország tehát a huszadik század elején lassú ütemben ugyan, de folyamatosan zárkózott fel a nyugati országokhoz, amelyek

gazdasági fejlettségéhez legközelebb közvetlenül az első világháború kitörése előtt volt az ország. A nyugat-európai átlag 60,4%-át teljesítette ekkor a magyar gazdaság.

Ha a Föld valamennyi országának gazdasági teljesítményét vesszük alapul, akkor 1913-ban a magyar gazdaság az akkori világ középmezőnyének legjobbjai között helyezkedett el, megelőzve a ma a „fejlődő világ"-hoz sorolt országok nagy részét, illetve – és ez mai szemmel talán hihetetlennek tűnik – több dél-európai országot is. Az ország ekkorra lépésről lépésre egyre modernebbé váló, „agrár-ipari" állammá vált.

Bár Magyarország első világháborús kárai meghaladták a nyugat-európai országok veszteségeit, a helyzet konszolidálódását követően hazánk viszonylag gyorsan regenerálódott.

Fontos leszögezni, hogy a béke beköszönte utáni magyarországi gazdasági visszaesés távolról sem csak a magyar gazdaságra volt jellemző ezekben az években; a teljesítmény csökkenése olyan országokban is előfordult, amelyeket közel sem értek olyan hatalmas területi veszteségek, mint hazánkat.

Az első világháború előtti időszakhoz képest a húszas évek első felének lassabb növekedési üteme tehát nem elsősorban a területi veszteségekre vezethető vissza, annak oka sokkal inkább a politikai okokból szétesett, korábban oly stabil gazdasági kapcsolatrendszer volt.

1929-ben már a nyugat-európai átlag 57,1%-át teljesítette megközelítve az első világháború előtti fejlettségét.

A gazdasági világválság néhány éves visszaesést eredményezett, majd ezt követően a második világháború kitöréséig egy újabb, fejlődést eredményező szakasz következett. A kor legkedvezőbb magyar GDP-adata – ahogy az az első világháború előtti időszak esetében is látható volt – a legutolsó békeévben konstatálható: 1939-ben a nyugat-európai átlag 58,3%-án állt a magyar gazdaság fejlettsége (Tomka, 2018).

A magyar gazdaság a két világháború között nemcsak abszolút, hanem relatív értelemben is fejlődött. A gazdasági teljesítmény változásának Ausztriával történő ismételt összevetése során megállapítható, hogy az arány az 1910-es 60,8%-ról 1938-ra 74,6%-ra javult (Bódy, 2013).

Bár az előzőekben röviden vázolt, korszakokon átívelő, gazdasági fejlődés jelentős volt, azon a tényen továbbra sem tudott változtatni, hogy – ha egyre kisebb mértékben is – Magyarországon a legtöbben továbbra is a mezőgazdaságból éltek. Az egyes iparágak munkavállalóinak arány-változását az *1. táblázat* mutatja:

Évtized/Iparág	Mezőgazdaság	Ipar, forgalom	Egyéb
1920	55,7%	30,1%	14,2%
1930	51,8%	32,3%	15,9%
1940	48,7%	34,9%	16,4%

1. táblázat: A munkavállalók megoszlása gazdasági szektorok szerint (Bódy 2013. 18. p.)

A vizsgált időszakban a közlekedésben alkalmazott munkavállalók száma érdemben nem változott *(2. táblázat)*.

Megnevezés/Év	Munkavállalók száma (1920)	Arányuk az összes munkavállalóhoz viszonyítva (1920)	Munkavállalók száma (1930)	Arányuk az összes munkavállalóhoz viszonyítva (1930)	Munkavállalók száma (1941)	Arányuk az összes munkavállalóhoz viszonyítva (1941)
Közlekedés	356 100 fő	4,4 %	338 400 fő	3,9%	375 000 fő	4%
Összesen	7 981 100 fő	100%	8 688 300 fő	100%	9 320 000 fő	100%

2. táblázat: A közlekedési dolgozók arányának változása (forrás: Berend, 1972)

A bethleni konszolidáció következtében viszonylag gyorsan magára találó magyar gazdaság a világgazdasági válság előestéjén,

2. A LEGNEHEZEBB ÉVEK: VASÚTI JÖVEDELMEK A PAPÍRKORONA IDŐSZAKÁBAN (1918–1924)

A világháború lezárását követően, a megélhetési nehézségeik miatt a magyarországi vasutasok folyamatosan napirenden tartották a fizetésrendezés kérdését.

A ránk maradt vasúti iratanyagokban több esetben olvashatjuk, hogy a napról napra nehezebben élő dolgozók maguk kezdeményezték anyagi helyzetük rendezését. Példaként említhető az Aradi és Csanádi Egyesült Vasutak magyar vonalainak budapesti igazgatósága egyik, 1923 szeptemberében írott válaszlevele. Az alárendelt makói főnökség a nyilvánvaló anyagi problémákra hivatkozva kérte a munkatársai bér- és nyugdíjviszonyainak rendezését. A kérelem mögé az egész makói „kollektíva" felsorakozott, mert a makói vezetők szinte mindenkivel aláíratták a Budapestre felterjesztett kérelmet. A vezetés diplomatikus válaszlevelében természetesen megígérte, hogy megtesz mindent annak érdekében, hogy javuljon a makói vasutasok anyagi helyzete. Nehezményezték azonban a fővárosban azt, hogy a levelet a makói vezetők mindenkivel aláíratták; ez ugyanis „igen alkalmas arra, hogy sok alkalmazottunkban nyugtalanságot és elégedetlenséget támasszon, és így esetleg a fegyelem megbontására vezet." A budapesti központ a nyugdíjak drámai helyzetével kapcsolatban is adott tájékoztatást. Arra azonban felhívta a figyelmet, hogy a világháború következtében a társaság korábbi vasúthálózatából alig egyharmad rész maradt a lecsökkent területű Magyarországon, ezzel szemben a társaság nyugdíjasainak több mint kétharmad része továbbra is a társaság ellátására szorult. Ez azt jelentette, hogy a MÁV által ekkor folyósított mértékű nyugdíjak kigazdálkodása meghaladta az Arad-Csanádi HÉV teherbíró-képességét, a levél írója szerint ez „az eddig nehezen megőrzött pénzügyi egyensúlyunkat egyszerűen felborítaná". A vezetés azonban a nehéz helyzetben lévő vasutasok megnyugtatására világosan leszögezte: „Rajta leszünk azonban, hogy a nyugdíjilletményeknek időről időre való fokozatos emelésével ezen a téren is megnyugtató helyzetet teremtsünk."[1]

3. ARANYKORONA, ARANYPARITÁSOS SZÁMÍTÁS, STABILIZÁCIÓ: AZ 1925-ÖS STÁTUSZRENDEZÉS ÉS KÖVETKEZMÉNYEI (1924–1926)

A húszas években a vasúti jövedelmekkel kapcsolatos legfontosabb lépés a jövedelmek aranyparitásos alapú rendezése volt, amely 1924 júliusában valósult meg. A vasutasok jövedelmi viszonyainak rendezése szerves része volt a Bethlen-kormány stabilizációs politikájának. Ezeknek a gazdasági célja érthető módon a korona inflációjának megfékezése volt, amelyet mindenekelőtt a népszövetségi kölcsön felvételével és annak hatékony felhasználásával el is értek.

A béremelés jogi alapját az államháztartás egyensúlyának helyreállításáról szóló 1924. évi IV. törvénycikk és a kapcsolódó miniszteri rendeletek teremtették meg.

Annak érdekében, hogy ez a fizetésrendezés valóban elérje célját, a legfontosabb előfeltétel az ún. aranykorona alapú elszámolás bevezetése volt tekintettel mindenekelőtt arra, hogy a megfékezhetetlen infláció miatt a papírkorona jelentős mértékben elértéktelenedett. A vasutasok fizetését ezért elméletben az értékálló aranykoronában határozták meg.

Az új bértáblát 1924. július 1-jétől vezették be az állami alkalmazottak, köztük a vasutasok számára.

A vasúti bérrendezés természetesen a magánvasutak bérezési rendszerére is jelentős hatást gyakorolt. A magánvasutak ránk maradt irataanyaga szemléletesen örökítette meg azt a folyamatot, amikor ezek a kisebb társaságok a saját mindennapi gyakorlatukba ültetették át a MÁV számára központilag előírt, a jövedelmeket érintő rendelkezéseket. A békéscsabai székhelyű Alföldi Első Gazdasági Vasút Rt. számára is folyamatos problémát jelentett az alkalmazottak alulfizetettsége. A vezetés számára ennek megoldásához viszonyítási pontként ekkor is az államvasutak éppen aktuális bérezési rendszere, tehát az aranyparitásos rendszer szolgált.[2] A Békéscsabán végül elfogadott bérrendezés a MÁV szabályozását némi változtatással vette át.

1 HU-MNL-OL Z 1614 Arad-Csanád Hév Rt. (1881-1948) 1160/1923. Az Aradi és Csanádi Egyesült Vasutak magyar vonalai budapesti igazgatóságának levele 1923. szeptember 14-én a makói főnökségnek.

2 A hivatkozott jogszabály a m. kir. pénzügyminiszter 1924. évi 5.200. P. M. számú rendelete az állami készpénzbevételek és kiadások kezeléséről.

A vasutasok fizetését 10 aranykoronával alacsonyabb értékben határozták meg, a hiányzó összeget pedig „természetben" pótolták (kenyérpótlék, illetve lisztjárandóság formájában). [3]

Az ország gazdasági stabilizálása érdekében a húszas évek közepén státuszrendezést hajtottak végre, amely többek között a Trianon előtti határokra méretezett, hatalmas létszám csökkentését jelentette. Ennek eszköze részben a nyugdíjazás volt, illetve elbocsátásokra és lefokozásokra is sor került, az elhalálozó munkatársak státuszát pedig nem töltötték be. Az egyes fizetési kategóriákban pontosan meghatározták a szükséges létszámot.

A státuszrendezés végrehajtásának módja mindazonáltal sok kritikát kapott a korabeli társadalomban. A Nemzeti Újság például 1929-ben elitistának és antiszociálisnak nevezte az egyébként nyilvánvalóan megkerülhetetlen kiigazításokat.

A vasúti karrierek esetében azt is kifogásolta az újságcikk, hogy a státusrendezés után csak akkor léphetett elő egy vasúti tisztviselő vagy kerülhetett A-ból B fizetési csoportba, ha a felsőbb fizetési osztályban nyugdíjazás vagy elhalálozás miatt üresedés következett be. Ez azonban nem volt gyakori, mert például sok tisztviselőt nem nyugdíjaztak annak ellenére, hogy a korhatárt elérte. A végtelenbe nyúló várakozás demoralizálta az érintetteket.

Ebben a korszakban általánosan elmondható volt, hogy egy vasúti dolgozó hozzávetőleg tíz évvel volt lemaradva beosztását tekintve a vele hasonló helyzetben lévő, más foglalkoztatotti csoporthoz tartozó társával szemben.

Hátrányosan érintette a vasutasokat az is, hogy az első világháború előtti kórpótlékot (a korpótlék helyett a két világháború közötti időszakban a kórpótlék helyesírási forma volt használatos) nem vette át a két világháború közötti bérezési rendszer. A kórpótlék jelentősége abban állt, hogy amikor egy vasutas üresedés hiányában nem tudott feljebb lépni a ranglétrán, kárpótlásul megkapta a viselt rangja és a kiérdemelt, de átmenetileg üresedés hiányában még be nem tölthető státusz közötti összeget. A magasabb lakbérre ez a pótlék sem jogosított ugyan fel, és természetesen rangban sem emelkedett a tisztviselő, anyagi helyzete azonban egyértelműen javult. Ez ezekben a nehéz években kiemelten fontos lett volna.

További sérelem volt az is, hogy ekkorra már megszűnt az 1907. évi L. törvénycikk által biztosított, automatikus, előrelépési jog is. Ez azért volt fontos a vasutasok számára, mert egy szerény, de biztos életszínvonalat tett lehetővé, illetve az egyes munkavállalókat megvédte attól, hogy a feletteseik esetleges ellenszenve vagy rosszakarata miatt kimaradjanak az előrelépésből.[4]

A korabeli vasutasok anyagi helyzetének megismeréséhez azonban nemcsak abszolút, hanem relatív értelemben is érdemes megvizsgálnunk a vonatkozó adatokat. Érdemes tehát más állami foglalkoztatotti rétegek jövedelmével összemérni a vasút által biztosított fizetéseket. A *3. táblázat* az állami tisztviselők és a MÁV-alkalmazottak konszolidáció előtti és utáni jövedelmeit mutatja.

Az adatokat elemezve[5] megállapíthatjuk, hogy a megfelelő jövedelmi kategóriák szinte minden esetben és minden szempontból a vasutasok kedvezőtlenebb helyzetét tükrözték *(1. ábra)*. Egyrészt valamennyi kategóriában a korábbi, tehát a konszolidáció előtti jövedelem magasabb volt az állami tisztviselők esetében. Másrészt a különbségeket tovább növelte az is, hogy (az egyetlen, IX. 3. kategóriát leszámítva) minden fokozatban az állami tisztviselők fizetésemelésének mértéke is meghaladta a vasútnál dolgozó, hasonló paraméterekkel rendelkező alkalmazottak gyarapodását.

3 Fizetésrendezés aranyparitásos alapon. HU-MNL-OL Z 1612 Alföldi Első Gazdasági Vasút Rt. (1894-1950) 370/1924.

4 Nemzeti Újság, 1929. június 2. (11. évfolyam, 122. szám) 13. p.

5 A két világháború közötti Magyarországon az állami tisztviselők bérezési rendszere szigorúan szabályozott volt. A hivatalnokokat 11 fizetési osztályba osztották be, amelyeket római számmal jelöltek. Ezeken belül többnyire 3 fizetési fokozat volt. A jövedelmi fokozatok és osztályok nem csupán a fizetést határozták meg, hanem azt is, hogy az adott hivatalnok melyik társadalmi réteghez tartozott, illetve azt, hogy milyen megszólítás „járt neki" a hivatali és a hétköznapi életben.

Állami tisztviselők 5				MÁV-alkalmazottak			
Fizetési osztály	Fokozat	Konszolidáció előtti havi fizetés	Konszolidáció utáni havi fizetés	Fizetési osztály	Fokozat	Konszolidáció előtti havi fizetés	Konszolidáció utáni havi fizetés
I.	-	3333	1200	I.	-	1250	600 (48%)
II.	-	2000	800	II.	2.	-	440 (44%)
III.	-	1333	540 (40,5%)	III.	1.	833	390 (46,8%)
				III.	2.	750	330 (44%)
IV.	1.	1000	450 (45%)	IV.	1.	700	300 (42,8)
IV.	2.	833	400 (48%)	IV.	2.	650	280 (43,3%)
				IV.	3.	600	260 (43,3%)
V.	1.	600	340 (56.6%)	V.	1.	550	230 (41,8)
V.	2.	533	300 (56,3%)	V.	2.	500	210 (42%)
				V.	3.	450	190 (42,2%)
VI.	1.	500	280 (56%)	VI.	1.	516,6	170 (40,7%)
VI.	2.	450	250 (55,5%)	VI.	2.	383	160 (41,7%)
VI.	3.	400	220 (55%)	VI.	3.	350	150 (42,8%)
VII.	1.	366	200 (54,6%)	VII.	1.	316,6	140 (44%)
VII.	2.	333	185 (55,5%)	VII.	2.	275	130 (47%)
VII.	3.	300	170 (53,3%)	VII.	3.	266,6	120(45%)
VIII.	1.	266	150 (56,4%)	VIII.	1.	241,6	110 (45,5%)
VIII.	2.	241	140 (58,1%)	VIII.	2.	216,6	105 (48,5%)
VIII.	3.	216	130 (60,2%)	VIII.	3.	191,6	100 (52,2%)
IX.	1.	200	120 (60%)	IX.	1.	166,6	95 (57%)
IX.	2.	180	110 (60,1%)	IX.	2.	150	90 (60%)
IX.	3.	1661	100 (60,2%)	IX.	3.	133	85 (63%)
X.	1.	150	95 (63,3%)				
X.	2.	133	90 (67,6%)				
X.	3.	166	86 (74,1%)				
XI.	1.		82 (88,8%)				
XI.	2.		78 (93,9%)				
XI.	3.		84 (89,1%)				

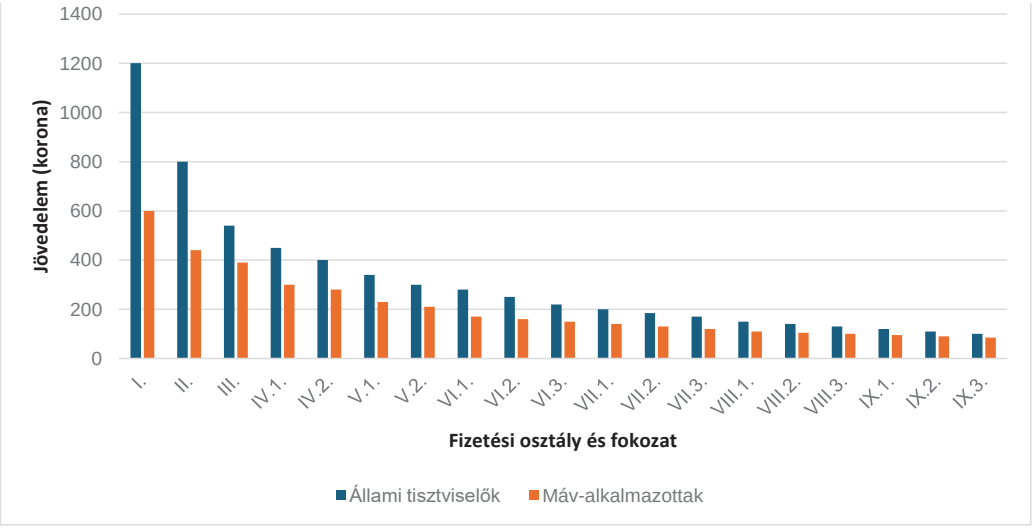
3. táblázat: Az állami tisztviselők és a vasutasok koronában értelmezett bérének összehasonlítása (Az Újság. 1925. május 26.)

Ha csak a státuszrendezés utáni fizetések kerülnek egymás mellé, akkor szintén (a fentiekből egyenesen következően) minden esetben a vasutasok alacsonyabb jövedelme figyelhető meg.

Az adatok alapján az állapítható meg, hogy a MÁV-nál a legtöbbet az elnökigazgató és az igazgatók kerestek. A korábbi fizetésekre vetített arány ezután a hatodik rangfokozatig csökkent, majd onnan ismét lassan emelkedni kezdett, míg végül a legalacsonyabb rangfokozatnál 63%-ot tett ki. Az államvasutaknál tehát nem volt következetes a progresszivitás. Mindennek nem ellentmondva találhatók olyan fizetési osztályok is, ahol az illetmények megegyeztek. Ezt szemlélteti a *4. táblázat.*

Látható azonban, hogy ugyanazon jövedelem eléréséhez több szolgálati év és/vagy magasabb fizetési osztály kellett, ha valaki a vasútnál indult el a ranglétrán.

Az államvasutaknál csak egyetlen kategória, nevezetesen az igazgatók jövedelme nőtt nagyobb arányban, mint a hasonló osztályba tartozó állami tisztviselőké. A többi vasúti tisztviselő esetében az arány sokkal rosszabb volt. A stabilizáció utáni fizetési rendszert tehát a kortársak közül sokan és joggal tartották igazságtalannak. Soron kívüli előrelépésre a vasútnál sem található több példa ezekben az években, mint az állami tisztviselők esetében. De az aktív szolgálatot teljesítő tisztviselőknél is méltatlanabb volt a 36-40 éven keresztül hűségesen szolgált



1. ábra: A stabilizáció utáni állami és vasúti fizetések összehasonlítása (Az Újság. 1925. május 26.)

nyugdíjasok ellátása. A MÁV nyugdíjas ugyanis sem az állami 15%-os emelésből, sem az ezt helyettesítő MÁV üzemi jutalékból nem kapott. „Az Újság" szerzője szerint védhetetlen az a gyakorlat, hogy egy hatezer korona évi fizetéssel nyugdíjba vonult MÁV felügyelő havi 70 aranykoronával kevesebb nyugdíjra volt jogosult, mint az ugyanilyen fizetéssel nyugdíjazott állami tisztviselő. A helyzet abszurditását az is fokozta, hogy a vasúti tisztviselők munkában eltöltött éveik alatt a nyugdíjalapba sokkal nagyobb összegeket fizettek be, mint a köztisztviselők. Emellett igazságtalanul történt a lakbérek megállapítása is, mert a MÁV tisztviselők e téren is hátrányt szenvedtek. [6]

Annak érdekében, hogy a vasutasok relatív, tehát a többi foglalkoztatotti réteghez viszonyított helyzetéről még árnyaltabb és pontosabb kép alakuljon ki, érdemes a korabeli székesfővárosi fizetéseket is összevetni a vasutas jövedelmekkel. Ezt mutatja az *5. táblázat és a 2. ábra.*

Az összehasonlítással arra teszek kísérletet, hogy az összemérhető értékeket vessem össze, ami a két rendszer különbözősége miatt módszertani kihívást is jelentett.

Ebben az esetben is a vasutasok jövedelmei voltak szinte minden kategóriában alacsonyabbak. Mindössze három olyan jövedelmi kategóriát látunk (IX.2., IX. 3. és X.1.), ahol a vasúti dolgozók kerestek többet. A *2. ábra* ezt szemlélteti.[7]

4. A PENGŐ BEVEZETÉSÉNEK HATÁSAI A HAZAI VASÚTI JÖVEDELMEKRE (1927–1937)

A pengő[8] 1927. január 1-jei bevezetése után végleg megszűnt a papírkorona napi árfolyamától való állandó függés. Az addigi fizetéseket egy hivatalos árfolyamon (1 pengő = 12 500 korona) számították át. A vasutasok meghatározott havi bért kaptak, ami ezt követően a rendszer minden szintjén biztosított bizonyos anyagi stabilitást.

6 Az Újság. 1925. május 26.

7 A MÁV és a székesfőváros. Törzsfizetések összehasonlító táblázata. Miklós (1927)

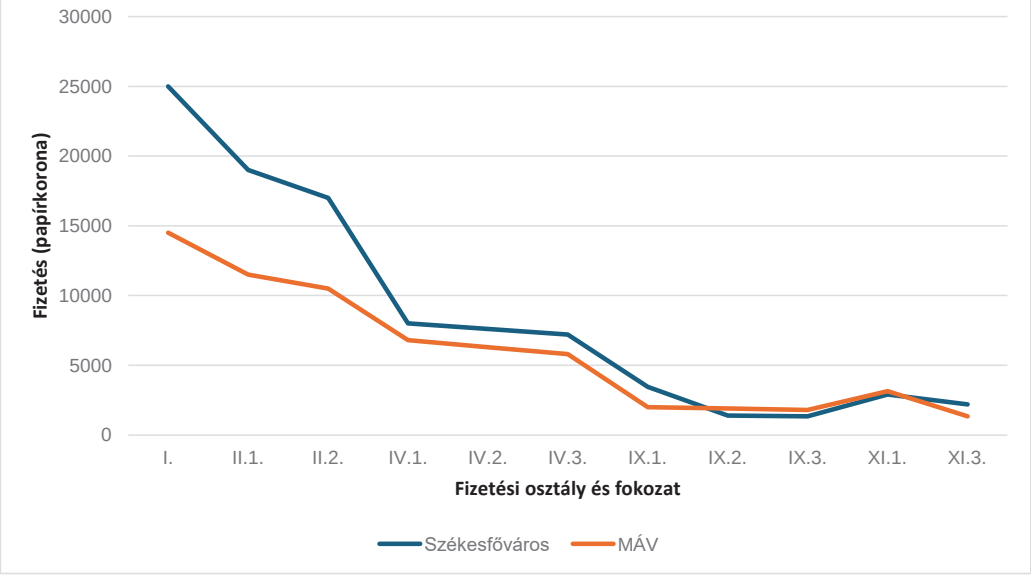
8 A pengő bevezetése átgondolt terv alapján történt meg. 1924-ben megalapították a Magyar Nemzeti Bankot, amely az új pénz bevezetését is menedzselte. Az 1925. évi XXXV. törvénycikk, amely a pengőérték megállapításáról és az ezzel összefüggő rendelkezésekről szólt, elrendelte, hogy a korona helyébe lépő új fizetőeszköz 1927. január 1-jétől a pengő legyen, amellyel a gyakorlatban már 1926. december 26-tól lehetett fizetni. Egy pengő 100 fillérből állt, és 12 500 papírkoronával volt egyenértékű. Egy kilogramm finom arany 3800 pengő értéket képviselt, jóllehet a pengő aranypénz formájában soha nem került forgalomba (csak emlékérmét bocsátottak ki). Bevezetésekor a legnagyobb címlet a 100 pengős volt. Az új valuta értékére jellemző, hogy egy amerikai dollár 5,7, egy birodalmi német márka 1,3, egy osztrák schilling pedig 0,8 pengőt ért. URL:https://m.mult-kor.hu/stabilizalta-a-gazdasagot-a-pengo-bevezetese-20250101 2026.04.29.

Fizetési osztály	Fokozat	Tisztviselő	Konszolidáció előtti havi fizetés (korona)	Konszolidáció utáni havi fizetés (korona)	Konszolidáció előttinek %-a	Differencia arány koronában
IV.	1.	állami	1000	450	45	+40
II.	1.	MÁV	1000	490	49	
IV.	2.	állami	833	400	48	-10
III.	1.	MÁV	890	390	46,8	
V.	1.	állami	600	340	58,6	-80
IV.	3.	MÁV	600	260	48,8	
VI.	1.	állami	500	280	56	-70
V.	2.	MÁV	500	210	42	
VI.	2.	állami	450	250	55,5	-60
V.	3.	MÁV	450	190	42,2	
VIII.	1.	állami	266	150	56,4	-30
VII.	3.	MÁV	266	120	45	
VIII.	2	állami	241	140	58,1	-30
VIII.	1	MÁV	241	110	45,5	
VIII.	3.	állami	216	130	60,2	-25
VIII.	2.	MÁV	216	105	48,5	
IX.	3.	állami	166	100	60,2	-5
IX.	1.	MÁV	166	95	57	
X.	1.	állami	150	95	63	-5
IX.	2.	MÁV	150	90	60	
X.	2.	állami	133	90	67,6	-5
IX.	3.	MÁV	133	85	63,5	

4. táblázat: Az állami és a MÁV-tisztviselők konszolidáció előtti és utáni jövedelmeinek összehasonlítása (Az Újság. 1925. május 26.)

MÁV				Székesfőváros			
Fizetési			Fizetés (papírkorona)	Fizetési			Fizetés (papírkorona)
osztály	fokozat	beosztás		osztály	fokozat	Beosztás	
I		elnök	14 500	I		polgármester	25 000
II	1	igazgató	11 500	II	1	alpolgármester	19 000
II	2	igazgató	10 500	II	2	alpolgármester	17 000
IV	1	főfelügyelő	6800	IV	1	12 I. oszt. főjegyző; 8 ülnök	8000
IV	2	főfelügyelő	6300	IV	2	7 ügyész; 19 műszaki főtanácsos	7600
IV	3	főfelügyelő	5800	IV	3	28 egéb főtisztviselő	7200
IX	1	tiszt	2000	IX	1	25 tan. II. o. fogalmazó; 5 árvaszéki fogalmazó	3450
IX	2	tiszt	1900	IX	2	17 mérnök; 2 szaksegéd	1400
IX	3	tiszt	1800	IX	3	288 egyéb (gépész, főkezelőnő stb.)	1350
segédtisztek	1	1. o. segédtiszt	3150	X	1	15 segédfogalmazó (tan); 1 árvaszéki segédfogalmazó	2900
segédtisztek	12	II. o. von. kis.	1350	XI	3	5 II. o. tiszt; 208 egyéb (II. o. kezelőnő, gondozónővér stb.)	2200

5. táblázat: A vasúti és a székesfővárosi fizetések összehasonlítása (Miklós 1927, 36. p.)



2. ábra: Székesfővárosi és a vasúti bérek összehasonlítása (Miklós 1927, 36. p.)

A „havi kétszáz pengő fix" – amit a legtöbb vasúti hivatalnok ezt követően ténylegesen meg is kapott – a korszakban egy viszonylag magas életszínvonalat jelentett.

A helyzet reális megítéléséhez azonban itt is le kell szögezni azt, hogy ezek a jövedelmek csak az első világháború és az azt követő évek gazdasági nehézségeit követően jelentettek jelentős előrelépést a vasutasok számára, mert azok reálértéke még ekkor sem érte el az első világháború előtti szintet.

A pengő utáni vasúti javadalmazási rendszer kritikusai többek között arra hívták fel a figyelmet, hogy igazságtalan az a gyakorlat, hogy az alkalmazottakat A és B csoportba sorolták be, mivel a B csoportban a fizetések 10%-kal alacsonyabbak voltak. Ez a gyakorlatban többek között azt jelentette, hogy a főiskolát végzett tisztviselők mintegy 36%-a a B csoportba került alacsonyabb fizetéssel.

Emellett a Nemzeti Újság kritikus újságírója más visszásságra is felhívta a figyelmet. Rámutatott például arra is, hogy a VII. fizetési osztályban a havi fizetés 270 pengő volt, amit elsősorban olyan, főiskolát végzett mérnök, segédtitkár élvezett, aki már 15-20 éve állt a vasút szolgálatában, és körülbelül negyvenéves volt. A Nemzeti Újság kritikája kiemelte, hogy ide magasan kvalifikált, esetenként „utriusque doktorok" és ügyvédi diplomával rendelkező alkalmazottak is tartoztak. A cikk írója felháborodottan jelezte, hogy a székesfőváros alkalmazásában álló, négy polgárit végzett kezelőnők 270-290 pengőt kerestek ebben az időben, „s különben minden jobb magáncég is legalább annyit fizet egy jó gépírónőjének". [9]

A MÁV fizetési rendszere természetesen a kisebb magánvasutak béreire is hatást gyakorolt.

Az egyik, a nagy gazdasági világválság idején, 1932. augusztus 4-én hatályba lépett kormányrendelet a közforgalmú magánvasutak alkalmazottainak jövedelmét a kereskedelemügyi miniszter jóváhagyásával úgy állapította meg, hogy azok megegyezzenek az államvasutak alkalmazottainak bérével. [10]

9 Nemzeti Újság, 1929. június 2. (11. évfolyam, 122. szám) 13. p.

10 A m. kir. minisztérium 1932. évi 4.200./M. E. számú rendelete az 1914: XVII. te. hatálya alá tartozó közforgalmú magánvasúti alkalmazottak illetményeinek megállapításáról.

5. AZ 1938. ÉVI VASÚTI BÉRRENDEZÉS

A Darányi Kálmán miniszterelnök által 1938. március 5-én meghirdetett Győri Program, – amely egymilliárd pengőt szánt az ország infrastrukturális fejlesztésére és a védelmi képességek számottevő mértékű javítására – az egész hazai ipart mozgásba hozta.

A kormány az előirányzott összegből 400 millió pengőt szánt a közvetett fejlesztésekre, ezen belül jelentős összegeket terveztek be a vasúthálózat és a járműpark korszerűsítésére is.

a vasúti személyzet feltétlen lojalitásának megőrzése nyilvánvalóan alapvető érdeke volt a kormányzatnak.

Jóllehet az 1938-tól megállapított vasúti jövedelmek nem érték el az első világháború előtti reálértéküket, abból a vasutasok többsége egy tisztes polgári életszínvonalat tudott biztosítani a családjának.

Tekintettel arra, hogy a forint bevezetésekor, 1946-ban az 1938-as reálérték 22–35%-ában[11] határozták meg az állami alkalmazottak fizetését, a vasutasok később érthetően nosztalgiával tekintettek vissza az 1938-as bérrendezésre.

1907		Értéke 2025. évi forintban kifejezve[1,2]	1925		Értéke 2025. évi forintban kifejezve[1,2]	1938		Értéke 2025. évi forintban kifejezve, illetve növekedés 1925-höz képest[1]
Osztály, fokozat, beosztás	Fizetés (korona)[3]		Osztály, fokozat, beosztás	Fizetés (korona)		Osztály, fokozat, beosztás	Fizetés (pengő)	
I. elnök	1250	3 206 250	I. elnök	14 500 000	1 334 000	I.	960	1 331 520(-0,2%)
II. igazgató	1000	2 565 000	II. 1. igazgató	11 500 000	1 058 000	II. 1.	808	1 120 696 (+6%)
II. igazgató	1000	2 565 000	II. 2. igazgató	10 500000	966 000	II. 2.	740	1 026 380 (+6,25%)
IV. 1. felügyelő	700	1 795 500	IV. 1. főfelügyelő	6 800 000	625 600	IV. 1.	492	682 404 (+9%)
IV. 2. felügyelő	650	1 667 250	IV. 2. főfelügyelő	6 300 000	579 600	IV. 2.	455	631 085 (+8,9%)
IV. 3. felügyelő	600	1 539 000	IV. 3. főfelügyelő	5 800 000	533 600	IV. 3.	418	579 766 (+8,7%)
IX. 1. hivatalnok, műszaki hivatalnok	167	428 355	IX. 1. tiszt	2 000 000	184 000	IX. 1.	162,50	225 387,5 (+22,5%)
IX. 1. hivatalnok, műszaki hivatalnok	150	384 750	IX. 2. tiszt	1 900 000	174 800	IX. 2.	154	213 598 (+22,2%)
IX. 1. hivatalnok, műszaki hivatalnok	133	341 145	IX. 3. tiszt	1 800 000	165 600	IX. 3.	145	201 115 (+21,4%)

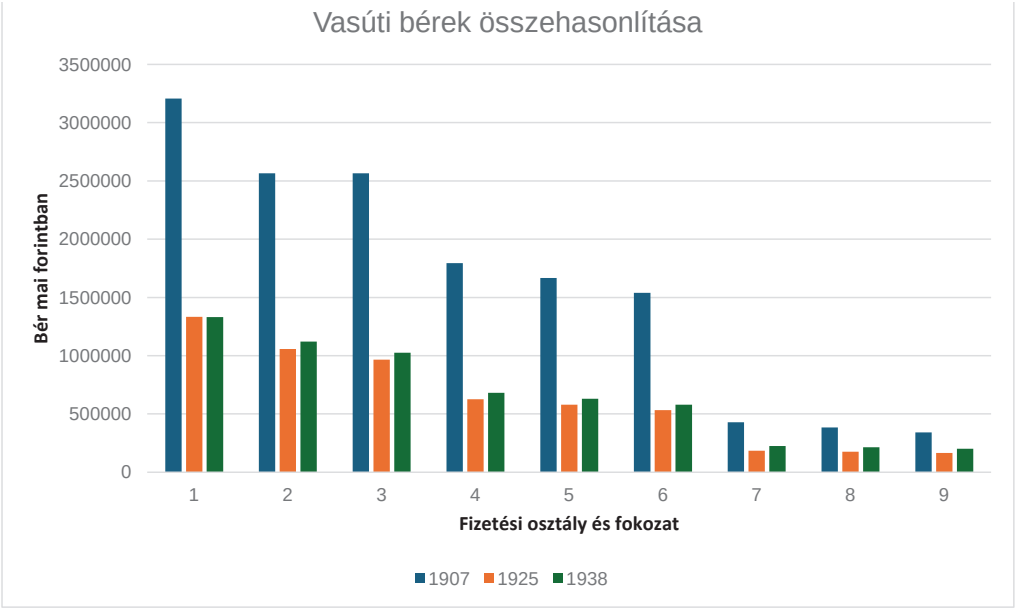
6. táblázat: Az 1907., az 1925. és az 1938. évi vasúti bérek összehasonlítása – index: 1925 = 100%
Pogány (1989) (Forrás: https://artortenet.hu/magyar-penzertekindex-arak-es-devizak-alapjan-1754-tol/)

1 https://artortenet.hu/magyar-penzertekindex-arak-es-devizak-alapjan-1754-tol/ 2026. 05. 01.
2 Miklós (1927)
3 A magyar királyi államvasutak alkalmazottai részére kiadott szabályzat az 1914 év XVII. és 1907. évi L. törvénycikkeken alapult, és a vasutasok szolgálati viszonyát határozta meg. (Miklós, 1937)

A program keretében végrehajtott vasúti bérrendezésnek egyik nyilvánvaló célja az volt, hogy a vasutasokat távoltartsa a politikai szervezkedésektől. A háború felé sodródó világban

A 6. táblázatban és a 3. ábrán három év adatait (1907, 1925 és 1938) vetem össze. A két világháború közti időszakból két olyan évet választottam ki, ahol a hivatalos statisztikai adatok szerint hozzávetőleg azonos volt az úgynevezett létfenntartási index: ha az 1938-as értéket 100%-nak tekintjük, akkor 1925-ben ez az érték 100,1%-ot tett ki. [12]

11 A második világháborút követően a létfenntartási költségindex a békeévekben mért értéknek nagyjából négyszeresére növekedett. A munkabérek a nemzeti jövedelemben való visszaesést és a teljesítménycsökkenést tükrözték, ezért reálértékben a munkás óradíjak a felére, a közalkalmazotti fizetések az 1938. évi 22-35 %-ára estek vissza. A kormány 30-35%-os agrárollót is bevezetett. (Danyi Pál: 1946-os új árviszonyok kialakítása URL: https://artortenet.hu/1946-os-uj-arviszonyok-kialakitasa/ 2026.05.01.)
12 A KSH és a Szakszervezeti Értesítő létfenntartási költség-indexsora 1921–1942 (lakással) KSH-



3. ábra: Az 1907., az 1925. és az 1938. évi vasúti bérek összehasonlítása (Forrás: https://artortenet.hu/magyar-penzertekindex-arak-es-devizak-alapjan-1754-tol/)

Az adatsorok összevetése után két alapvető jelentőségű összefüggést lehet megállapítani. Egyrészt - és erre már korábban, más kontextusban is utaltam - az első világháború előtti utolsó békeévek szintjét a két világháború közötti időszak hullámzó, de tendenciájában egyértelműen növekvő vasúti bérei sohasem tudták elérni.

A második összefüggést az 1925-ös és az 1938-as adatok részletes elemzése után lehet megalapozottan is kijelenteni: 1938-ban valamennyi kategóriában magasabb reáljövedelmet állapítottak meg, mint 1925-ben. Egyetlen érdekes kivétel az első számú vezető, az elnök volt, akinek a reáljövedelme, ha rendkívül kis mértékben (0,2%-kal) ugyan, de csökkent 1925-höz képest. A vasúti reálbérek 1925-ös bázisra vetített növekedésének arányát vizsgálva elmondható, hogy annak mértéke az alsóbb beosztások felé haladva fokozatosan növekedett. Az új bértábla tehát bizonyos mértékben nivelláló hatású volt. A MÁV-nál végrehajtott fizetésemelés ekkor is hatást gyakorolt a kisebb vasutak bérezési rendszereire. Ezzel kapcsolatban az Alföldi Első Gazdasági Vasút Rt. 1937. decemberében levelet írt a Közérdeket Felügyelő Hatóságnak. Ebben a már említett, a gazdasági világválság idején kelt 1932-es kormányrendeletre hivatkozva - amely a kisebb magánvasúti alkalmazottak béreinek megállapításakor az államvasúti bérrendszert írja elő viszonyítási pontként - a hatóság hozzájárulását kérte az alkalmazottak fizetésemeléséhez. Az illetmények szabályozásának törvényi hátterére tekintettel a társaság igazgatósága úgy döntött, hogy az alkalmazottakat a MÁV-nál megállapított illetményemelésben részesíti annak ellenére, hogy a nem sokkal korábbi, 1937. október 31-i kimutatás szerint a társaság veszteséggel működött. [13]

E számunk lektorai

Dr. Ács Balázs
Dr. Bércesi Richárd
Dr. Cséfalvay Edit
Fischer Szabolcs
Dr. Földes Dávid
Dr. Lakatos András Rudolf
Dr. Sipos Tibor
Tóth Gábor

13 HU-MNL-OL Z 1612 Alföldi Első Gazdasági Vasút Rt. (1894-1950) 604/1937. Az Alföldi Első Gazdasági Vasút Rt. levele a Közérdeket Felügyelő Hatóságnak. Békéscsaba, 1937. dec. 13-án.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Berend, T. I., Ránki, Gy. (1972) A magyar gazdaság száz éve. Kossuth Könyvkiadó; Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó.

Bódy, Zs. (2010) Közelítések Budapest két világháború közötti társadalmához a fogyasztás történetén keresztül. Fons, 17(4), pp. 411–460. URL: https://real-j.mtak.hu/19507/

Bódy, Zs. (2013) Magyarország társadalomtörténete a két világháború között. Egyetemi jegyzet. URL: https://btk.ppke.hu/uploads/articles/4090/file/body_zsombor-magyarorszag_tarsadalomtortenete_a_ket_vilaghaboru_kozott.pdf

Miklós, I. (1927) A vasutasok igazsága. Budapest, A szerző kiadása.

Miklós, I. (1937) A magyar vasutasság oknyomozó történelme. A legelső vasúttól – napjainkig. Budapest.

Pogány, Á. (1989) Munkabérek a két világháború közötti Magyarországon. Történelmi Szemle, 31(1–2), pp. 70–95. URL: https://epa.oszk.hu/00600/00617/00090/pdf/EPA00617_tortenelmi_szemle_1989_1-2_070-095.pdf

Schulze, M.S. (2000) Patterns of growth and stagnation in the late nineteenth century Habsburg economy. European Review of Economic History, 4(3), pp. 311–340. URL: https://academic.oup.com/ereh/article/4/3/311/584213

Schulze, M.S. (2007) Origins of catch-up failure: comparative productivity growth in the Habsburg Empire, 1870–1910. European Review of Economic History, 11, pp. 189-218. URL: https://academic.oup.com/ereh/article-abstract/4/3/311/584213

Tomka, B. (2011) Gazdasági növekedés, fogyasztás és életminőség. Akadémiai Kiadó Zrt.

Tomka, B. (2018) Az első világháború és a trianoni béke gazdasági hatásai Magyarországon. In: Bódy Zsombor (szerk.): Háborúból békébe - A magyar társadalom 1918 után. MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Történettudományi Intézete Budapest, 2018. URL: https://www.libri.hu/konyv/body_zsombor.haborubol-bekebe-a-magyar-tarsadalom-1918-utan.html



From World War to World War: The Incomes of Hungarian Railway Workers Between the Two World Wars (1920–1938)

Keywords: MÁV, railways, standard of living, income, history of transportation

Examining the income situation of railroad workers between the two world wars, the study concludes that although railroad wages generally increased during this period, they never reached the level seen in the last years of peace before World War I. The most significant railway wage increase of the period took place in 1938. One of the obvious goals of the wage adjustment implemented as part of this was to keep railway workers away from political organizing. In a world drifting toward war, maintaining the unconditional loyalty of railway personnel was clearly a fundamental interest of the government.

The most significant wage adjustment (1938) ensured higher real incomes in nearly all categories than what railway workers had earned in 1925, the year chosen as the base year. The only notable exception was the top executive, the president, whose real income – albeit by an extremely small margin – decreased compared to 1925. If the rate of growth in real railway wages relative to the 1925 baseline is examined, it can said that this rate gradually increased as we moved down the ranks (leveling).

Although railway salaries, which had been set in 1938, did not reach their pre-World War I real value, the majority of railway workers were able to provide a decent standard of living for their families. Since in 1946 the salaries of government employees were set at 22–35% of their 1938 real value, railway workers later looked back on the 1938 wage system with understandable nostalgia.

The author, who serves as a reference librarian for railway records at the Economic Archives Department of the Hungarian National Archives, among other duties, considers it

a primary goal to draw researchers' attention to the relatively little-studied civil-era railway records held in the archives. These records, in fact, supplement the information available from bibliographic sources due to their authenticity and the data they contain that cannot be found elsewhere.

In preparing this study, the most important methodological challenge the author faced was determining the real value of incomes, given that the official currency changed during the interwar period and that the purchasing power of the currency also fluctuated significantly during that time.

When the author compared the salaries associated with individual railway positions, another difficulty that arose in many cases was that the positions specified at MÁV often could not be matched – or could only be matched with varying degrees of reservation – to the standardized positions established for other employee groups, such as civil servants.

Aszfalt felületi hőmérsékletének meghatározása időjárási adatok alapján

Koch Domonkos[1,*]

[1] doktorandusz, Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út- és Vasútépítési Tanszék
[*] felelős szerző

e-mail: koch.domonkos@emk.bme.hu

Kézirat benyújtva: 2026.06.20.
Kézirat elfogadva: 2026.07.17.

© Koch D.

Absztrakt

A burkolat hőmérséklete kulcsfontosságú az útépítésben, mind a pályaszerkezet méretezése, mind az útüzemeltetés területén. A burkolat felszínének hőmérsékletéből meghatározható a mélységi hőmérséklet, ami a méretezésben, valamint a behajlásméréseknél fontos paraméter. A felszíni hőmérséklet az üzemeltető mérnökségek számára kiemelt jelentőséggel bír a téli üzem során, mivel indikátorként használják a megelőző síkosságmentesítés megkezdéséhez. A magyar országos közúthálózaton mintegy 400 db meteorológiai állomás helyezkedik el, ami azt jelenti, hogy 80 km úthálózat hőmérsékleti állapotát jellemzi egyetlen mérőállomás. Ezek a mérőállomások az úthőmérséklet mellett számos egyéb időjárási adatot is gyűjtenek, mint a levegő hőmérséklete, relatív páratartalom, szélsebesség stb. Jelen cikk időjárási adatokon alapuló regressziós modelleket vizsgál a felületi hőmérséklet előrejelzésére. A magyarországi meteorológiai állomások adatait használva 24 különböző modellt tanítottam be. A legjobb (Matérn 5/2 GPR) modell 10 perces gyakoriságú adatok segítségével RMSE = 2,33 °C pontosságot ért el, míg az órás inputok alkalmazásával a modell pontossága RMSE = 2,24 °C-ra javult, ami a statisztikai zaj csökkentésével magyarázható. A nappali és éjszakai adatsor szétválasztásával optimalizált modell nem javított a pontosságon, viszont a számítást minimálisan bonyolította, így a végső modell a 24 órás összesített adatokon tanult. A cikk alátámasztja, hogy négy időjárási input (levegőhőmérséklet, napsugárzás, annak változása, vízfilmvastagság) elegendő ennek eléréséhez. Az egyéb időjárást jellemző paraméterek, mint a relatív páratartalom, szélsebesség,

csapadékintenzitás nem javították a modell pontosságát. Az egyszerűbb modellek (pl. lineáris regressziós modell, RMSE = 2,88 °C) is hasonló globális pontosságot mutattak, azonban szélsőséges hőmérsékletek esetén az átlagos hibájuk jelentősen megnőtt, 40 °C felett RMSE > 4,5 °C értéket vett fel. Ezért a komplexebb modell alkalmazása mérnöki szempontból javasolt a nagyobb számítási igénye mellett is. A bemutatott regressziós modell segítségével három mért és egy számított időjárási adat alapján meghatározható a burkolat felszíni hőmérséklete. Ez az eszköz lehetőséget ad arra, hogy olyan helyszíneken is ismert legyen a burkolat hőmérséklete, ahol nincs vagy attól távol helyezkedik el mérőállomás, esetleg burkolatfelújítás után nem került helyreállításra vagy egyéb okból üzemszünet áll fenn. Egy hosszú távú élettartam monitoring esetében ez fontos információ lehet, ennek hazai kidolgozásáig és alkalmazásáig a cikkben bemutatott modell hatékony segítséget nyújthat a téli üzemeltetés során a közutak kezelői számára, ami növeli a forgalombiztonságot.

Kulcsszavak: *aszfalthőmérséklet, gépi tanulás, regressziós modellek, hőmérséklet-előrejelzés, időjárási adatok*

DOI: https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.5.2

1. BEVEZETÉS

A tervezők, a kivitelezők és az útüzemeltetők egyaránt érdekeltek a burkolatok hőmérsékletének megismerésében. A tervezők a valós hőmérséklet-eloszlást kívánják figyelembe venni az aszfaltrétegek vastagságának meghatározásakor, mivel az aszfalt merevsége hőmérsékletfüggő. A technológusok célja az előírásoknak leginkább megfelelő, optimális keverékösszetétel (receptúra) megtervezése. Az útüzemeltetők feladata a burkolat minél hosszabb élettartamának biztosítása, amelynek során a meteorológiai hatásokkal szembeni ellenállóképességet a tervezési és építési fázisban határozzák meg. A burkolaton belüli hőáram vizsgálata a pályaszerkezet viselkedésének jobb megértése érdekében szükséges (Ureczky et al., 2008). Pethő (2008) a disszertációjában feltárta az aszfalt alsó szálában ébredő megnyúlás és a réteg, valamint a léghőmérséklet kapcsolatát, amik között szoros összefüggést talált (R^2 = 0,99 és R^2 = 0,84). A burkolathoz kapcsolódó üzemeltetési tevékenységeket az időjárási körülmények és az aszfaltburkolat hőmérséklete nagymértékben befolyásolja. A romlási folyamatokat (nyomvályúsodás, fáradás és hőmérsékleti repedés) a hőmérséklet éppúgy meghatározza, mint a téli üzemeltetési feladatokat, hiszen a megelőző sózás is egy adott hőmérsékleti küszöbhöz kötött. A burkolat-hőmérséklet modellezése így a mérnöki gyakorlat szempontjából kiemelkedő fontosságú kutatási terület. Mivel a burkolat hőmérséklete minden időjárási körülménnyel összefügg, észszerű feltételezni, hogy a felületi hőmérséklet meteorológiai adatok alapján visszaállítható. Az időjárási adatok, különösen a léghőmérséklet mérése könnyű feladat, így javasolt felhasználni az aszfalt hőmérsékletének meghatározásához (Herceg et al., 2020). A klímaváltozás következtében a jövő útépítő mérnökeinek új kihívásokkal kell szembenézniük, ha a tervezési és karbantartási peremfeltételek a növekvő hőmérséklet miatt megváltoznak. Ez akkor is fontos szempont, ha a bitumenek igénybevételi tartománya hőmérséklet szempontjából nem fog nőni (Herceg et al., 2022). A probléma kezelésének első lépése a hőmérséklet robusztus modellekkel történő, megbízható meghatározása.

Az ezen a területen elért első eredmények az 1950-es és 1960-as évekre nyúlnak vissza (Barber, 1957; Rumney et al., 1969). A Long-term Pavement Performance Program (LTPP)

fejlettebb modelleket dolgozott ki (Mohseni, 1998), amelyek Észak-Amerika összes régióját lefedték, de kizárólag a szélsőértékekre fókuszáltak. Később más kutatók is fejlesztettek új modelleket (Dierfenderfer et al., 2006; Khan et al., 2019), követve ugyanezeket az elveket és célkitűzéseket. Ezek mind regressziós modelleknek tekinthetők. A másik fő eljárás a hőmérlegegyenlet megoldása (Solaimanian et al., 1993). Ennek során a burkolat felületén egy negyedfokú energiamegmaradási egyenletet írnak fel és oldanak meg. Magyarországon gyűjtött úthőmérsékleti adatsor reprodukálására elfogadható eredménnyel igazolták az energia-egyensúlyi egyenletet (Cho et al., 2022). Ennek ellenére ezt a módszert gyakran éri az a kritika, hogy bár a konvekciós hőcsere kiszámításához figyelembe veszi a szélsebességet, az alkalmazott empirikus képlet a legmagasabb felületi hőmérsékletet paradox módon 4,5 m/s szélsebesség mellett adja meg, amire nincs fizikai magyarázat, valamint korlátos abban az értelemben, hogy az ipari gyakorlatban keveset vizsgált anyagparaméterekkel dolgozik (emissziós tényező, albedo, abszorpcitás), valamint numerikus megoldás nem egyszerű feladat gyakorló mérnökök számára.

A regressziós modellek jól használhatók a hőmérséklet becslésére, mert empirikus jellegüknél fogva fizikailag könnyen értelmezhetők, és lokális körülményekre, megfelelő számú bemenő adat esetén könnyen taníthatók. Napjainkban is jelennek meg újabb modellek, ezek többnyire neurális hálókat vagy komplex regressziós modelleket alkalmaznak. Huang és társai 2,21 °C pontosságot értek el gépi tanulási technikával (Huang et al. 2024), míg az XGBoost komplex modell alkalmasnak bizonyult valós idejű hőmérséklet becslésre is (Kebede et al, 2024).

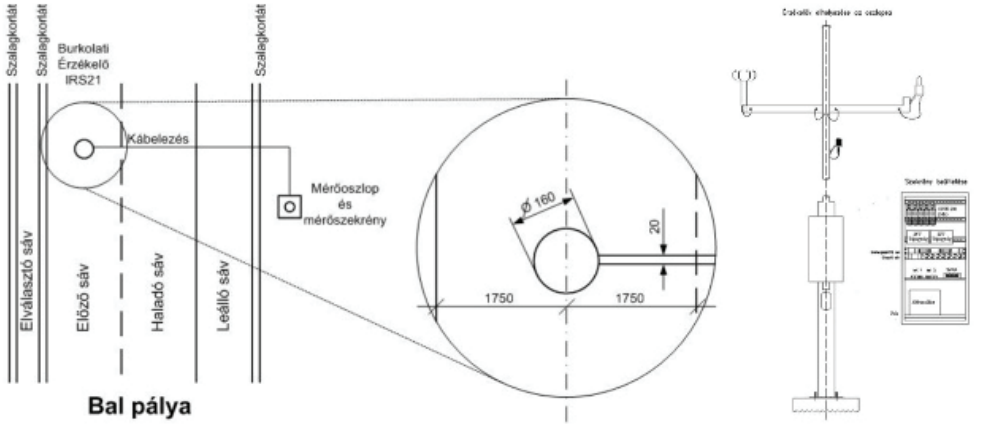
Jelen cikkben egy új regressziós modellt mutatok be, amelyet magyarországi meteorológiai adatok alapján fejlesztettem ki. A cél nem csupán a szélsőértékek (minimum és maximum), hanem a közbenső értékek és a napi ingadozás meghatározása is. A modell pontosságának igazolására statisztikai elemzéseket végeztem.

2. MÓDSZERTAN

2. 1. Adatgyűjtés

Magyarország országos közúthálózata több mint 32 700 km hosszú, mely magába foglalja az autópályákat, autóutakat és főutakat. Ezen a hálózaton számos elektronikai berendezés található a forgalomszámlálás, a súlymérés, illetve az időjárási adatok gyűjtése céljából. A hálózaton több mint 400 meteorológiai állomás üzemel. Az *1. ábra* egy tipikus hazai útmeteorológiai állomás elrendezését mutatja be.

Egy ilyen állomás általában burkolatba épített szenzort, mérőoszlopot, vezérlőszekrényt és kábelezést tartalmaz. A burkolati szenzor a felületi hőmérséklet mellett két opcionális mélységi



1. ábra: Egy meteorológiai állomás általános felépítése (Forrás: saját szerkesztés, Sagemcom Magyarország Kft.)

szenzorral képes mérni a burkolat mélyebb rétegeinek a hőmérsékletét, valamint a sókoncentrációt, a fagyáspontot és a vízfilmvastagságot. Az oszlopon további érzékelők kapnak helyet: tipikusan egy levegőhőmérséklet- és páratartalom-mérő eszköz. A levegő hőmérsékletét platina ellenállás-hőmérővel, a relatív páratartalmat pedig kondenzátoros elven mérik. A csapadék típusát, intenzitását és mennyiségét egy 24 GHz-es Doppler-radar rögzíti, amely képes azonosítani a csapadékszemcsék méretét és sebességét. A szél sebességét és irányát négy, kereszt alakban, egymással szemben elhelyezett ultrahangos jeladó méri. Tízperces felbontásban összesen 32 különböző adat rögzíthető. Az állomás mérési tartománya -40 °C és +70 °C között van, ami kielégítőnek tekinthető, mivel a valaha mért szélsőséges értékek soha nem lépték túl ezeket a határokat. A kutatás során több millió adatot gyűjtöttem be 26 magyarországi (kizárólag autópályákon elhelyezett) állomásról. A *2. ábra* mutatja az állomások elhelyezkedését és az adatok időkeretét.

A legtöbb, időjárási adatokon alapuló tanulmány rávilágított arra, hogy a levegő hőmérséklete mellett a napsugárzásnak van a legnagyobb hatása az aszfalt felületi hőmérsékletére. A telepített állomások azonban nem rendelkeznek a napsugárzás mérésére alkalmas eszközzel. Az adatbázis kiegészítése érdekében a DNV céghez tartozó Solcasttól szereztem be globálsugárzási (besugárzási) adatokat a pontos helyszínekre vonatkozóan, majd kiszámítottam a globálsugárzás megváltozását.

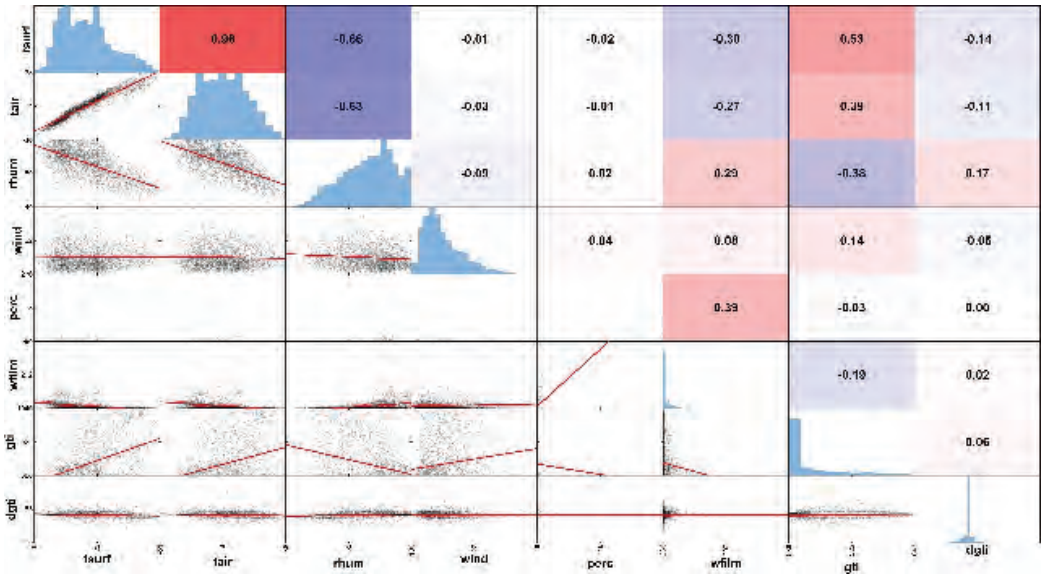
A részletes elemzéshez egyetlen állomást (M4 214+030 km) választottam ki, amely 3 éves (2022-2024) adatbázissal rendelkezett. A begyűjtött 38 adatfajtából a korábbi tanulmányok és a mérnöki megfontolások alapján csupán 7 prediktort választottam ki:

- *tair* – levegőhőmérséklet, °C,
- *gti* – globálsugárzás, W/m^{2,}
- *dgti* – globálsugárzás változása, W/m^2,
- *rhum* – relatív páratartalom, %,
- *perc* – csapadékintenzitás, mm/h,
- *wfilm* – vízfilmvastagság, µm
- *wind* – szélsebesség, km/h.

A globálsugárzás változásának (*dgti*) bevonása szokatlan tényező lehet. A levegő és a burkolat maximális hőmérséklete a besugárzási csúcs után jelentkezik, ami időkésést (time lag) okoz. A sugárzás amplitúdója azonban a csúcs után is magas marad, ami a „túllövés" veszélyét rejti magában. A *dgti* bevezetése lehetővé teszi, hogy a modellek érzékeljék a változást és a várható jövőbeli tendenciát. A többi adatot a redundancia (pl. diffúz sugárzás), az irrelevancia (pl. szélirány) vagy az adatok folytonosságának hiánya miatt zártam ki. A legjobb prediktorok megtalálása érdekében Pearson-korrelációval keresztkorrelációs vizsgálatot végeztem, amelyet a *3. ábra* mutat be.



2. ábra: Adatgyűjtésbe bevont hazai meteorológiai állomások (Forrás: saját szerkesztés)



3. ábra: Prediktorok keresztkorrelációs mátrixa (Forrás: saját szerkesztés)

Bár az előzetes keresztkorrelációs teszt arra utalt, hogy egyes prediktoroknak kisebb (*wfilm, perc, dgti*), míg másoknak nagyobb (*rhum*) a hatása, a tanítás során mind a hét prediktort felhasználtam. Az adatbázist felosztottam: az első két év (2022-2023) adatait használtam a tanításhoz, a harmadik év adatait pedig a teszteléshez.

2. 2. Modelltípusok

Összesen 24 különböző modelltípust tanítottam és teszteltem.

Lineáris modellek: Ezek a legköltséghatékonyabb és legegyszerűbb modellek. Az együtthatókat a legkisebb négyzetek módszerével számítottam ki. Az interakciós és lépésenkénti (stepwise) regressziós modellek képesek megragadni két független változó együttes hatását a függő változóra, míg a robusztus lineáris regresszió a kiugró értékek kezelését optimalizálja.

Döntési fa modellek (finom, közepes, durva): Erőteljes gépi tanulási algoritmusok, amelyek fa-szerű struktúrával számítják ki az eredményt, minimalizálva az átlagos négyzetes hibát.

Support Vector Machine (SVM) modellek (lineáris, négyzetes, köbös, finom/közepes/durva Gauss): Nem paraméteres optimalizáló eszközök (Vapnik, 1995).

Gauss-folyamat alapú regressziós modellek (GPR) (racionális négyzetes, négyzetes exponenciális, Matérn 5/2, exponenciális): Nem paraméteres, felügyelt tanulási technikák valószínűségi problémák megoldására. A modellek közötti különbséget az alkalmazott kernel (mag) függvények jelentik (Rasmussen et al., 2006).

Fa-együttesek (Ensembles): Döntési fa modelleket fognak össze a pontosság növelése érdekében. A „Boosted" modell az előző fára építve korrigálja a hibákat, míg a „Bagged" modell független fákat használ, és átlagolja az eredményeket.

Neurális hálózatok (szűk, közepes, széles, kétrétegű, háromrétegű): Az emberi agy működése ihlette őket. A bemeneti és kimeneti rétegek között több rejtett, összekapcsolt réteg tanulja meg a mintázatokat a kimenet előrejelzése érdekében.

2. 3. Modellkonfiguráció

Két modellkonfigurációt tanítottam, teszteltem és hasonlítottam össze. A *24 órás* (teljes napos) modellek esetében a teljes adatbázist egyben használtam fel. A *nappali-éjszakai* modelleknél az adatbázist a sugárzás (*gti*) alapján bontottam ketté: ahol *gti* = 0, azt éjszakának tekintettem. Ennek a feltételezésnek az volt az alapja, hogy

éjszaka a sugárzás nulla, viszont a többi időjárási változó olyan széles kombinációkat vehet fel, ami ronthatja a *24 órás* modellek tanítási hatékonyságát. Az elvárás az volt, hogy a különválasztott *nappali és éjszakai modellek* együttesen felülmúlják a *24 órás modellt*.

A legjobb matematikai modell és konfiguráció kiválasztása után a pontosságot az adatsűrűség függvényében is megvizsgáltam. Az eredeti 10 perces adatsort úgy alakítottam át, hogy a 10 perces értékeket 1 órás átlagokká számoltam át.

2. 4. Statisztikai tesztek

A 3 éves adatsorból az első két év szolgált tanító adatként (105 122 megfigyelés prediktoronként), míg a harmadik évet (52 704 megfigyelés) független tesztadatként különítettem el.

A tanított modellekre és a tesztadatokra meghatároztam az RMSE, a MAE és az R^2 értékeket. Two one-sided test (TOST) vizsgálatot végeztem annak alátámasztására, hogy a becsült értékek statisztikailag azonosnak tekinthetők-e a mért értékekkel (Schuirmann, 1987). A varianciaanalízis (ANOVA) helyett azért választottam ezt, mert az ANOVA nagyszámú megfigyelés esetén a legapróbb hibákra is túlzottan érzékeny. Mivel a TOST az útépítési gyakorlatban ritkábban használt módszer, az alábbiakban röviden ismertetem.

A TOST a nullhipotézist vizsgálja két átlag, a vizsgált populáció (μ_T) és a referenciapopuláció (μ_R) közötti különbség hiányára. A hipotézis szerint $\Theta_1 < \mu_T - \mu_R < \Theta_2$, ahol a $[\Theta_1, \Theta_2]$ egy olyan „ekvivalencia intervallum", amelyen belül a különbség olyan kicsi, hogy a két érték egyenlőnek tekinthető. Feltételezzük, hogy az adathalmaz statisztikai értelemben kiegyenlített, vagyis az intervallum szimmetrikus a nullára ($\Theta_1 = -\Theta_2$). Az intervallumhipotézist két egyoldalas hipotézisre kell bontani:

$H_{01}: \mu_T - \mu_R \leq \Theta_1$ és $H_{11}: \mu_T - \mu_R > \Theta_1$

$H_{02}: \mu_T - \mu_R \geq \Theta_2$ és $H_{12}: \mu_T - \mu_R < \Theta_2$

A μ_T és μ_R ekvivalenciája csak akkor jelenthető ki, ha mind H_{01}, mind H_{02} elutasításra kerül két egyoldali t-próbával:

$$t_1 = \frac{\bar{d} + \theta_1}{se} \geq t_{1-\alpha}$$

és

$$t_2 = \frac{\bar{d} + \theta_2}{se} \leq t_{1-\alpha}$$

A számításhoz d az eltérések átlaga, se a különbségek standard hibája és α a szignifikanciaszint értéke. A szenzorok mérési pontosságából kiindulva $\alpha = 0{,}05$, $\theta_1 = -0{,}2$, és $\theta_2 = 0{,}2$ értékekkel számoltam.

A prediktorok számának minimalizálása érdekében elemeztem azok hatását az RMSE-re. A maradékhibákat szintén megvizsgáltam: kiszámítottam az eloszlást, és Bland-Altman tesztet is lefuttattam (Bland et al., 1986).

3. EREDMÉNYEK

3. 1. Alapmodell tanítása

Az alapértelmezett modelltanítás a 24 órás, nagy felbontású (10 perces) adatsoron történt. Az eredményeket az *1. táblázat* tartalmazza.

A modelleket a tesztelés utáni RMSE értékek alapján rendeztem sorba. Csupán a köbös SVM modell eredménye tekinthető rossznak, az összes többi modell pontossága szűk tartományban mozog. Az R^2 értékek egyenletesen magasak. Az elvárásoknak megfelelően a hosszabb tanítási idő és a robusztusabb modellek pontosabb eredményt hoztak, de a betanítási idő és a modellméret nem egyenesen arányos a pontossággal, hiszen a legegyszerűbb modellek (lineáris regresszió, finom fa modell) is elfogadható eredményt nyújtottak. A hibamutatók a tesztelés során – a várakozásoknak megfelelően – enyhén romlottak (átlagos „túltanulási" hiba: 0,38 °C).

A globális pontosság egy kivételtől eltekintve mindegyik modell esetében megfelelő volt (Dickinson, 1978). Az egyszerűbb modellek, bár nagyságrendekkel kevesebb számítási kapacitást igényelnek, pontosságuk csak a középső hőmérsékleti tartományban állítható párhuzamba a komplexebb modellekkel. A Matern 5/2 GPR modell és a legegyszerűbb, lineáris regressziós modell összehasonlítását mutatja a *4. ábra*. Jól látható, hogy 40 °C fok fellett az átlagos négyzetes hiba a lineáris

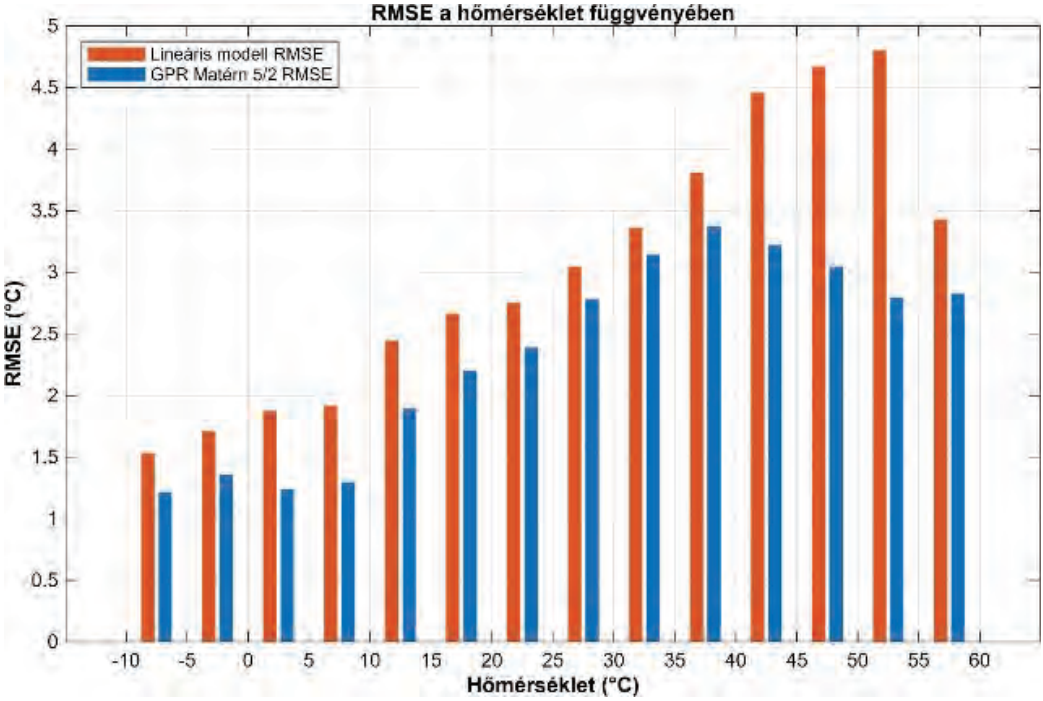
modell esetében jelentősen megnő, meghaladja a 4,5 °C-t is. Alacsony hőmérsékletek esetén a modellek hibája alacsonyabb, azonban itt is a lineáris modell pontossága relatíve leromlik, a GPR modellhez képest az RMSE több mint 50%-kal nagyobb. Ezért az egyszerűbb modellek alkalmazása nem javasolt.

3. 2. Nappali-éjszakai modell

A nappali és éjszakai modellek tanításához az adatsort a *gti* érték alapján szétválasztottam. Ugyanazokat a modellstruktúrákat alkalmaztam, a végeredmény kiszámításához pedig összefűztem a nappali és éjszakai becsült halmazokat. A legjobb modelleket a *2. táblázat* hasonlítja össze a 24 órás alapmodellekkel.

Modell csoport	Modell típus	Tanítási idő (s)	Tanítás			Teszt		
			RMSE (°C)	MAE (°C)	R^2	RMSE (°C)	MAE (°C)	R^2
GPR	Matern 5/2	28 812	1,98	1,36	0,98	2,33	1,64	0,97
neurális háló	széles	50 017	2,03	1,41	0,98	2,35	1,68	0,97
SVM	közepes	6 976	2,10	1,45	0,98	2,37	1,67	0,97
GPR	racionális négyzetes	65 607	1,92	1,30	0,98	2,38	1,67	0,97
neurális háló	közepes	48 646	2,16	1,51	0,97	2,38	1,72	0,97
neurális háló	háromrétegű	50 877	2,21	1,56	0,97	2,39	1,71	0,97
GPR	négyzetes exponenciális	19 927	2,12	1,47	0,97	2,40	1,71	0,97
GPR	exponenciális	47 999	1,71	1,08	0,98	2,48	1,75	0,96
neurális háló	kétrétegű	50 367	2,19	1,53	0,97	2,49	1,80	0,96
neurális háló	keskeny	48 222	2,26	1,59	0,97	2,52	1,82	0,96
Fa-együttes	Bagged	7 890	1,74	1,16	0,98	2,52	1,77	0,96
SVM	durva	7 768	2,39	1,68	0,97	2,63	1,90	0,96
Fa-együttes	Boosted	7 803	2,52	1,76	0,96	2,67	1,96	0,96
Fa	durva	79	2,13	1,45	0,97	2,70	1,90	0,96
SVM	négyzetes	2 207	2,49	1,74	0,97	2,73	1,98	0,96
lineáris	Stepwise	278	2,50	1,77	0,96	2,78	2,03	0,96
lineáris	Interactions	16	2,50	1,77	0,96	2,78	2,03	0,96
Fa	közepes	73	2,06	1,36	0,98	2,83	1,98	0,95
SVM	lineáris	824	2,69	1,94	0,96	2,86	2,14	0,95
lineáris	robosztus	16	2,74	1,93	0,96	2,86	2,12	0,95
SVM	finom	5 977	2,35	1,46	0,97	2,87	1,92	0,95
lineáris	lineáris	13	2,67	1,96	0,96	2,88	2,19	0,95
Fa	finom	56	2,11	1,34	0,98	3,01	2,09	0,95
SVM	köbös	11 338	6,12	4,27	0,79	7,33	3,96	0,69

1. táblázat: A 24 órás, 10 perces felbontású adatokon tanított modellek teszt eredményei (Forrás: saját szerkesztés)



4. ábra: A hibák hőmérséklet függése (Forrás: saját szerkesztés)

Modell csoport	Modell típus	RMSE (°C)		MAE (°C)		R^2	
		24h	N-É	24h	N-É	24h	N-É
GPR	Matern 5/2	2,33	2,34	1,64	1,65	0,97	0,97
Neurális háló	széles	2,35	2,39	1,68	1,69	0,97	0,97
SVM	közepes	2,37	2,39	1,67	1,68	0,97	0,97
GPR	racionális négyzetes	2,38	2,33	1,67	1,65	0,97	0,97
Neurális háló	háromrétegű	2,39	2,48	1,71	1,77	0,97	0,96
GPR	négyzetes exponenciális	2,40	2,41	1,71	1,71	0,97	0,97
GPR	exponenciális	2,48	2,42	1,75	1,72	0,96	0,97

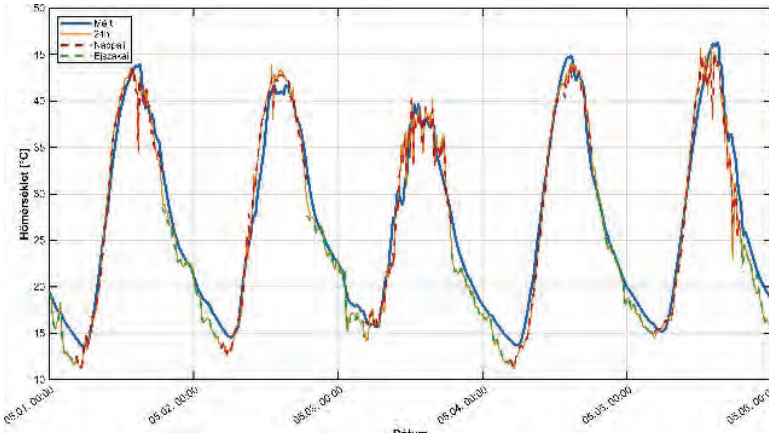
2. táblázat: A 24 órás és a nappali-éjszakai modell összehasonlítása (Forrás: saját szerkesztés)

A nappali-éjszakai modell eredményei csupán elhanyagolható különbséget mutattak (ΔRMSE < 0,1 °C) a 24 órás modellekhez képest. Noha a rangsor némileg változott, ugyanazok a modellstruktúrák hozták a legjobb eredményeket. Az *5. ábra* a mért és becsült hőmérsékleteket mutatja. Nincs vizuális különbség a két konfiguráció között, bár mindkettő zajos maradt, ami a GPR modellezés sajátos hátrányának tekinthető.

3. 3. Two one-sided test

Az eredmények alapján a Matern 5/2 kernelfüggvényt alkalmazó, Gauss-folyamat alapú, regressziós modell (GPR) bizonyult a legjobb modellnek. A TOST elemzés célja annak igazolása volt, hogy a becsült értékek a mért értékekkel statisztikai értelemben egyenértékűek, azaz a köztük lévő hiba az előre definiált [-0,2; 0,2] tartományon belül marad. Mivel $p_{TOST} = 0{,}0013 < 0{,}05$, a nullhipotézist elvetettem, így a modellt sikeresnek minősítem. Ez az eredmény statisztikai szempontból megerősíti, hogy a becslési

hibák biztonsággal a szenzorok pontossági határain belül helyezkednek el. Bár a 90%-os konfidenciaintervallum [-0,186; -0,153] szisztematikus alulbecslésre utal, ennek mértéke elhanyagolható, és teljesíti az elvárt kritériumokat.



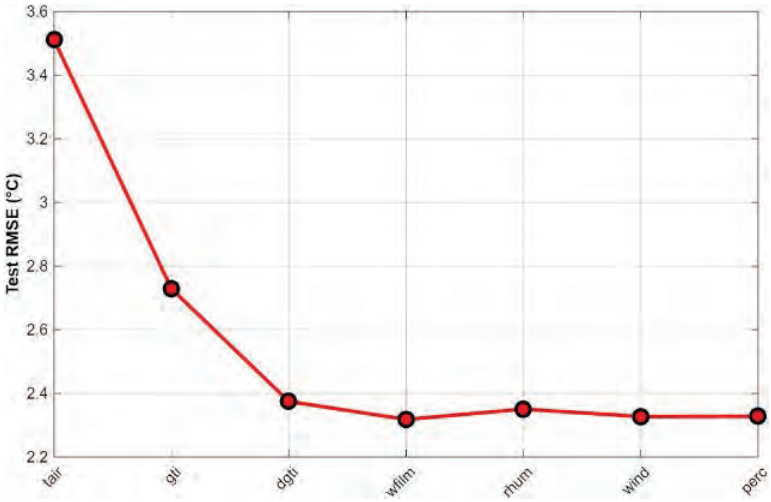
5. ábra: A 24 órás és nappali-éjszakai modellek összehasonlítása (Forrás: saját szerkesztés)

3. 4. A prediktorok hatása

A legpontosabb modellt (Matern 5/2 GPR) a bemeneti változóinak optimalizálása érdekében egy szekvenciális, előrehaladó változóbevonási eljárás keretében hétszer tanítottam újra. A vizsgálat célja annak számszerűsítése volt, hogy az egyes környezeti tényezők integrálása milyen mértékben képes javítani a modell globális pontosságát, amit az átlagos négyzetes hibával jellemeztem (RMSE).

A *6. ábra* azt mutatja, hogy a prediktorok számának növelésével a pontosság nem lineárisan javul. Kezdetben, a levegő-hőmérséklet (*tair*), a sugárzási adatok (*gti*, *dgti*) bevonásával drasztikusan csökken az RMSE, míg a negyedik változó, a vízfilmvastagság (*wfilm*) bevonása után a hibagörbe stagnál, a további változók hozzáadásával a pontosság állandósul a 2,30–2,35 °C közötti sávban.

Ez rámutat arra, hogy a keresztkorreláció hasznos, de nem tökéletes becslőeszköz a komplex gépi tanulási modellek esetében. A korrelációs elemzésben a relatív páratartalom (*rhum*) erős korrelációt mutatott a felületi hőmérséklettel, míg a vízfilmvastagság vagy a sugárzásváltozás hatása elhanyagolható volt. A modelltanításnál viszont épp az ellenkezője bizonyosodott be: a modell képes volt feltárni azokat a nemlineáris összefüggéseket és interakciókat, amelyeket a klasszikus korreláció elfedett.

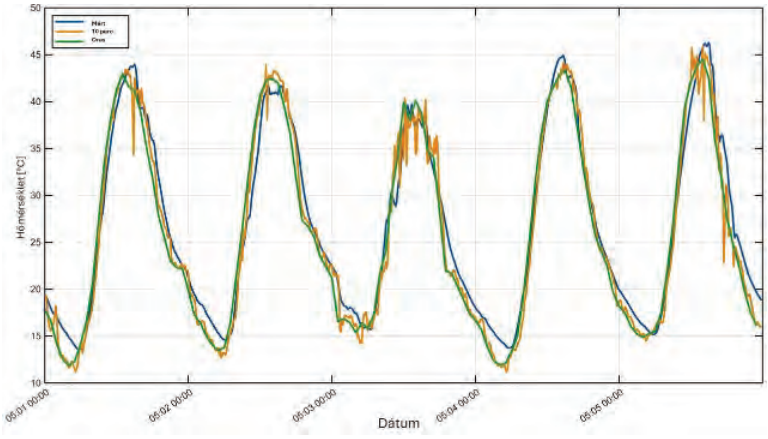


6. ábra: Prediktorok hatása a modell pontosságra (Forrás: saját szerkesztés)

Az eredmények fizikai értelmezése helytálló: a felszíni hőmérséklet makrotrendjét a levegő hőmérséklete és a közvetlen besugárzás alakítja. A sugárzás változása által a modell képes figyelembe venni nemcsak a napi csúcsokat, hanem az égbolt időszakos borultságát is, míg a vízfilm jelentléte a felületet érő nemlineáris hűtő vagy pufferelő hatásokat kezeli.

3. 5. Adatsűrűség

A GPR modellek egyik legnagyobb korlátja a mintaszámmal nagymértékben növekvő számítási komplexitás $O(n^3)$, ahol n a tanító adatok száma. Az *1. táblázat* szerint a legnagyobb felbontás mellett a GPR modell tanítása 28 812 másodpercig (≈ 8 óra) tartott, ami rendkívül nagy számítási igényt jelentett az egyszerűbb modellekkel összehasonlítva. A hatékonyság növelése érdekében a modellt újratanítottam egy csökkentett adatsűrűségű, 1 órás átlagokra aggregált halmazon, ami a megfigyelések számát 105 122-ről 17 520-ra csökkentette. A tanítási idő 832 másodpercre (≈ 0,2 óra) esett vissza, ami 97%-os időmegtakarítást jelent. Ez ugyan több, mint ami a komplexitás és adatpontok közötti köbös összefüggés alapján várható, azonban a modell tanítása rendelkezik olyan fix költségekkel (pl. mátrix invertálás, hiperparaméterek numerikus optimalizációja), ami megnöveli a számítási igényt.



7. ábra: A 10 perces és az órás felbontású modellek összehasonlítása (Forrás: saját szerkesztés)

A Matern 5/2 GPR modell ezen felbontás mellett kiváló, tesztelt RMSE = 2,24 °C pontosságot ért el, ami azt jelzi, hogy a nagy felbontású 10 perces adat finoman „túltanította" az eredeti modellt. Az órás felbontás a statisztikai zaj csökkentését jelentette, amit a *7. ábra* is mutat. A narancssárga vonal, ami a 10 perces felbontáson tanult tüskés, zajos, különösen a csúcsok közelében, míg a zöld, órás felbontású modell kisimítja a bemenő adatok lokális fluktuációját és kimenet oszcillálását, ezáltal sokkal stabilabban képes a valós hőmérséklet becslésére.

A TOST elemzés itt is megerősítette a modell érvényességét (p_{TOSTh} = 0,02 < 0,05). Ez statisztikailag bizonyítja, hogy az órás modell becslési hibája a szigorú konfidencia-intervallumon belül marad [-0,19; -0,11], vagyis az adatok aggregálása nem okozott információ-veszteséget, a modell megbízható maradt.

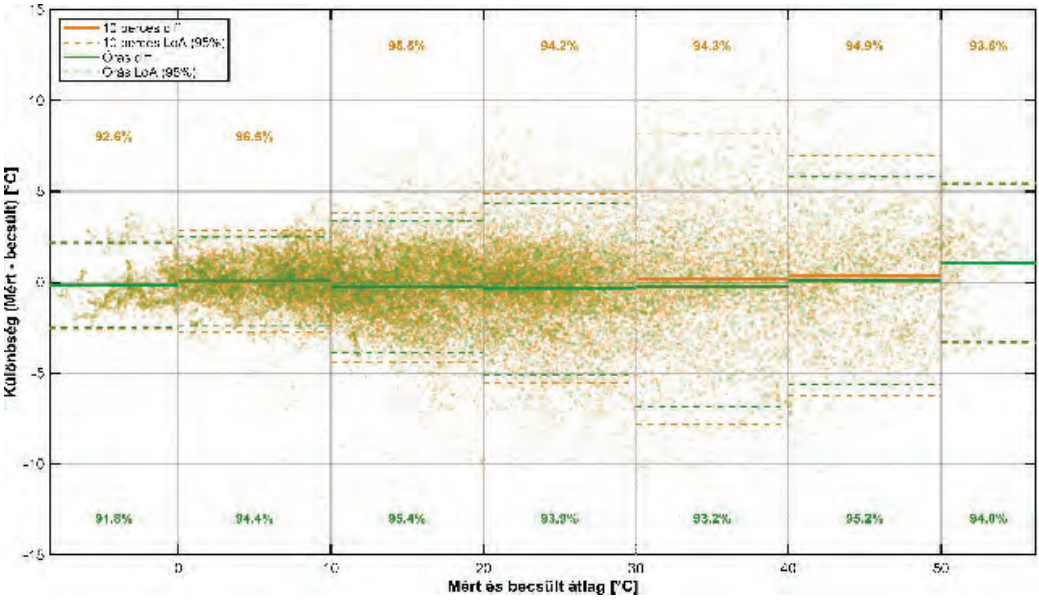
3. 6. Bland-Altman teszt

A modell gyakorlati alkalmazhatóságának igazolására intervallumonkénti Bland-Altman elemzést végeztem. A módszer lényege, hogy a teljes mérési tartományt 10 °C-os osztályokra bontva vizsgáltam a becsült és mért értékek különbségét az átlaguk függvényében. A *8. ábra* diagramja alapján a szigorú elvárást – miszerint a mérési pontok legalább 95%-ának a statisztikai egyetértési határokon (Limits of Agreement, LoA) belül kell elhelyezkednie – mindkét modell esetében két középső hőmérsékleti osztály teljesítette maradéktalanul (a 10 perces modell a 0–10 °C és 10–20 °C sávokban 96,5 % és 95,5 %-os értéket, míg az órás modell a 10–20 °C és a 40–50 °C sávokban 95,4% és 95,2%-ot ért el). Fontos azonban kiemelni, hogy a többi tartományban is rendkívül közel voltak a határhoz (a legalacsonyabb érték is 91,8% feletti), ami igazolja, hogy a modellek lokális predikciós képessége a teljes működési tartományban stabil. A torzítás a legtöbb intervallumon a nullavonal közvetlen közelében ingadozik, a hibák eloszlása körül normál jelleget mutat. Nagyobb hibákat a magasabb (30–40 °C) hőmérsékleti tartományokban azonosítottam.

Közlekedésbiztonsági szempontból a modellek pont a legkritikusabb (minimum és +10 °C közötti) tartományban a legpontosabbak, ami optimális viselkedésnek tekinthető. A modell megbízhatósága a téli üzemeltetés szempontjából éppen a legrelevánsabb hőmérsékleti tartományban a legnagyobb, ami az alkalmazhatóságot jelentősen növeli.

Az órás adatsűrűség alkalmazása jelentősen (97%-kal) csökkentette a számítási időt, miközben az RMSE = 2,24°C-ra javult.

Az intervallumokra bontott Bland-Altman tesztek szerint a modell a biztonság szempontjából kritikus, alacsonyabb hőmérsékleti tartományokban teljesít a legpontosabban.



8. ábra: Az intervallumokra bontott Bland-Altman teszt eredményei (Forrás: saját szerkesztés)

4. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A cikk regressziós modellek betanítását és tesztelését mutatta be. Az eredmények rávilágítottak, hogy ezek hatékony eszközök a burkolat-hőmérséklet előrejelzésére (23 modell pontossága 0,7 °C-on belül volt). A kiemelt eredmények a következők:

A regressziós modellek pontosan jelzik előre az aszfalt felületi hőmérsékletét. A legjobb a Matern 5/2 GPR volt (RMSE = 2,33 °C).

A *nappali-éjszakai* modellkonfiguráció nem növelte a pontosságot, de megemelte a számítási költséget.

A TOST elemzés statisztikailag igazolta, hogy a becsült adathalmaz azonos a mért adatokkal.

Négy prediktor bevonása (*tair, gti, dgti, wfilm*) elegendő a maximális pontosság eléréséhez.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A regressziós modellek rendkívül hasznosak az útépítő és üzemeltető mérnökök számára. A telepített útmeteorológiai állomások adataival a modellek könnyen taníthatók, és megfelelő pontosság (RMSE ≈ 2,5 °C) érhető el. A modellek akkor nyújtják a legjobb előrejelzéseket, amikor arra a közlekedésbiztonság szempontjából a legnagyobb szükség van (0 °C közelében). Az eljárás jól alkalmazható akkor is, ha egy útfelújítás során a beépített szenzorok ideiglenesen nem képesek adatot szolgáltatni. A kutatás rávilágított, hogy a Matern 5/2 GPR egy robusztus és precíz modell, amelynél a maximális pontosság eléréséhez elegendőek az órás felbontású adatok. A kutatás következő lépése a burkolat mélységi hőmérséklet-eloszlásának előrejelzése lehet.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Barber, E.S. (1957) Calculation of Maximum Pavement Temperatures From Weather Reports. HRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 1-8. URL: http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbbulletin/168/168-001.pdf

Bland, J. M., Altman D. G. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet, pp. 307–310. DOI: https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8

Cho, S., Tóth, Cs. (2022) Temperature estimation method of asphalt pavement in Hungary. FACTA UNIVERSITATIS, Architechture and Civil Engineering, 20(3), pp. 203–212. DOI: https://doi.org/10.2298/FUACE220213016C

Dickinson, J. E. (1978) A method for calculating the temperature gradients in asphaltic concrete pavement structures based on climatic data. Austrian Road Research, 8(4), pp. 16-34.

Dierfenderer, B. K., Al-Qadi, I. L., Dierfenderfer S. D. (2006) Model to predict pavement temperature profile: development and validation. Journal of Transportation Engineering, 132(2), pp. 162-167. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:2(162)

Herceg, A., Primusz, P., Kalicz, P., Gribovszki, Z. (2020) A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre: A pályaszerkezet hőmérsékletek számítása. Útügyi Lapok, 8(14). DOI: https://doi.org/10.36246/UL.2020.2.02

Herceg, A., Tóth, Cs., Primusz, P., Kalicz, P., Gribovszki, Z. (2022) Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása egy soproni tesztparcella meteorológiai adatai alapján. Közlekedéstudományi Szemle, 72(1), pp. 32-47. DOI: https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.1.3

Huang, Y., Nojumi, M. M., Ansari, S., Hashemian, L., Bayat, A. (2024) Multi-depth temperature prediction using machine learning for pavement sections. Journal of Applied Remote Sensoring, 18(1). DOI: https://doi.org/10.1117/1.JRS.18.014517

Kebede, Y. B., Yang, MD., Huang, Ch. W. (2024) Real-time pavement temperature prediction through ensemble machine learning. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 135, 108870. DOI: https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108870

Khan, Z. H., Md Islam, R., Tarefder, R. A. (2019) Determining asphalt surface temperature using weather parameters. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 6(6), pp. 577–588. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.04.005

Mohseni, A. (1998) LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperature Models. FHWA Reports, pp. 1-72. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/40378

Pethő, L. (2008) A hőmérséklet eloszlás alakulása az aszfalt burkolatú pályaszerkezetekben és ennek hatása a pályaszerkezeti rétegek méretezésére, technológiai tervezésére. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. URL: https://repozitorium.omikk.bme.hu/items/1ab9a912-e4a7-447d-85b2-e91859efa49a

Rasmussen, C. E., Williams, C. K. I. (2006) Gaussian Processes for Machine Learning. Cambridge, MA, The MIT Press. DOI: https://doi.org/10.7551/mitpress/3206.001.0001

Rumney, T. N., Jimenez, R. A. (1969) Pavement Temperatures in the Southwest. Highway Reasearch Record 361, HRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 1-13. URL: http://hdl.handle.net/10150/566372

Solaimanian, M., Kennedy, T. W. (1993) Predicting Maximum Pavement Surface temperature Using Maximum Air Temperature and Hourly Solar Radiation. Transportation Research Record, 1417, pp. 1-11. URL: http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1993/1417/1417-001.pdf

Schuirmann, D.J. (1987) A comparison of the Two One-Sided Tests Procedure and the Power Approach for assessing the equivalence of average bioavailability. Journal of Pharmacokinetics and Biopharmaceutics 15, pp. 657–680. DOI: https://doi.org/10.1007/BF01068419

Ureczky, J., Tóth, Cs. (2008) A hőmérséklet teherbírásra gyakorolt hatásának vizsgálata. Közúti és mélyépítési szemle, 58(3-4), pp. 9-14. URL: https://szemle.pms2000.hu/docs/2008_3_4.pdf

Vapnik, V. N. (1995) The Nature of Statistical Learning Theory. Springer, New York. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-2440-0



Determining the Surface Temperature of Asphalt based on Weather Data

Keywords: pavement temperature, machine learning, regression models, temperature forecasting, weather data

Pavement temperature has a key importance in road construction, both in the design of the pavement structure and in road maintenance. The in-depth temperature can be determined from the pavement surface temperature, which is an important parameter in design and for deflection measurements. Surface temperature has particular importance to road maintenance engineers during winter operations, as it serves as an indicator for when to begin preventive de-icing. There are approximately 400 weather stations located along the Hungarian national highway network, meaning that a single measuring station characterizes the temperature conditions of 80 km of the road network. In addition to road surface temperature, these stations also collect a variety of other weather data, such as air temperature, relative humidity, wind speed, etc. This article examines regression models based on weather data for predicting surface temperature. Using data from meteorological stations in Hungary, I trained 24 different models. The best model (Matern 5/2 GPR) achieved an accuracy of RMSE = 2.33 °C using data at 10-minute intervals, while using hourly inputs improved the model's accuracy to RMSE = 2.24 °C, which can be explained by a reduction in statistical noise. The model optimized by separating the daytime and nighttime data sets did not improve accuracy but did slightly complicate the calculations; therefore, the final model was trained on the aggregated 24-hour data. The article confirms that four meteorological inputs (air temperature, solar radiation, its variation, and water film thickness) are sufficient to achieve this. Other meteorological parameters, such as relative humidity, wind speed, and precipitation intensity, did not improve the model's accuracy. Simpler models (e.g., a linear regression model, RMSE = 2.88 °C) also showed similar overall accuracy; however, their average error increased significantly under extreme temperatures, reaching an RMSE > 4.5 °C above 40 °C. Therefore, from an engineering perspective, the use of the more complex model is recommended, despite its higher computational demands. Using the presented regression model, the surface temperature of the pavement can be determined based on three measured and one calculated weather data point. This tool makes it possible to determine the pavement temperature even at locations where there is no weather station or where it is located far away, or where the station has not been restored after pavement rehabilitation, or where it is otherwise out of service. In the context of long-term monitoring, this can be important information; until a domestic solution is developed and implemented, the model presented in this article can provide effective assistance to public road operators during winter operations, thereby enhancing traffic safety.

Az entrópia közlekedésinformatikai értelmezése

Berta Tamás[1], Henézi Diána[2], Török Ádám[3]

[1] KTI – Közlekedéstudományi és Építésügyi Minőségellenőrző Intézet

[2] Széchenyi István Egyetem

[3] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

e-mail: berta.tamas@kti.hu, kdiana@sze.hu, torok.adam@kjk.bme.hu

Kézirat benyújtva: 2026.05.31.
Kézirat elfogadva: 2026.06.29.

© Berta T., Henézi D., Török Á.

Absztrakt

Cikkünk az entrópia egységes értelmezését adja a termodinamika, a statisztikus fizika és az információelmélet területén, majd ezt a fogalmat kiterjeszti a termelési és közlekedési rendszerek elemzésére. A fizikában az entrópia az energia rendezetlenségét és eloszlását jellemzi, és a második főtétel szerint zárt rendszerekben növekszik. A statisztikus fizikában a mikroállapotok számával, míg a Shannon-féle értelmezésben a bizonytalanság mértékével azonos. Ezekre építve a tanulmány az entrópiát komplex rendszerek strukturális analógiájaként alkalmazza. A termelési rendszerekben az entrópia a veszteségek, a variabilitás és a koordinációs problémák összefoglalója, amely csak folyamatos beavatkozással csökkenthető.

A fő eredmény a közlekedési csomópontok entrópia alapú értelmezése. A csomópont entrópiája a forgalmi állapotok variabilitását és kiszámíthatatlanságát fejezi ki, míg az „entalpia" a rendszer hasznosítható potenciálját írja le. A forgalomirányítás (jelzőlámpa, szabályozás) az állapotok korlátozásával csökkenti az entrópiát és növeli a teljesítményt. Mivel a közlekedési rendszerek nyílt rendszerek, az entrópiacsökkentés csak folyamatos energia- és információbevitel mellett tartható fenn. A Shannon-entrópia formalizálja a forgalmi bizonytalanságot és hálózati szinten a koordináció mértékévé válik. A modell végül négy pillért különböztet meg (infrastruktúra, jármű, ember, információ), ahol az információ az entrópiaeloszlást átalakító tényezővé válik. Az autonóm járművek megjelenése az entrópiát az információs rétegbe koncentrálja.

Kulcsszavak: *entrópia, közlekedési rendszerek, Shannon-entrópia, forgalomirányítás, információ*

DOI: https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.5.3

1. BEVEZETÉS – AZ ENTRÓPIA

Az entrópia egy olyan fogalom, amelynek jelentése a tudományág függvényében kissé eltérő, de minden esetben a rendezetlenséghez, bizonytalansághoz vagy eloszláshoz kapcsolódik.

A klasszikus termodinamikában az entrópia egy állapotjelző mennyiség, amely azt fejezi ki, hogy egy fizikai rendszerben mennyire rendezett az energia eloszlása. Minél nagyobb egy rendszer entrópiája, annál „szétszórtabb" az energia és annál kevésbé alkalmas munkavégzésre. A második főtétel szerint egy zárt rendszer entrópiája időben nem csökkenhet, vagyis a természetes folyamatok iránya a nagyobb rendezetlenség felé mutat (Mahulikar et al., 2026).

A statisztikus fizikában az entrópia már mikroállapotok számához kötődik. Egy adott makroszkopikus állapot (például egy gáz adott nyomása és hőmérséklete) sokféleképpen valósulhat meg mikroszkopikus szinten. Az entrópia azt méri, hogy hány ilyen lehetséges mikroállapot tartozik az adott állapothoz. Minél többféleképp rendezhetők el a részecskék, annál nagyobb az entrópia (Wang et al., 2025).

Az információelméletben – Claude Shannon értelmezésében – az entrópia az információ bizonytalanságának mértéke. Itt nem fizikai rendezetlenségről van szó, hanem arról, hogy egy információforrás kimenete mennyire kiszámítható. Ha egy jel teljesen véletlenszerű, nagy az entrópiája; ha előre jól megjósolható, kicsi. Ez az entrópia-értelmezés fontos szerepet játszik a kommunikáció, az adatátvitel, a kódolás és a mesterséges intelligencia terén is (Zemenu et al., 2026).

Átvitt értelemben, a hétköznapi nyelvben az entrópia gyakran a káosz, a szétesés vagy a szervezetlenség metaforájaként jelenik meg, például egy szervezet, gazdaság vagy társadalmi rendszer működésének leírásakor. Itt azonban már nem egzakt mennyiségről, hanem szemléletes hasonlatról van szó.

Összefoglalva, az entrópia fizikailag az energia rendezetlenségének, statisztikailag a lehetséges állapotok számának, információelméletben pedig a bizonytalanságnak a mértéke, és közös bennük az a gondolat, hogy a természetes folyamatok során a rendszerek az „egyenletesebb", kevésbé strukturált állapotok felé tendálnak.

2. TERMELŐESZKÖZ ENTRÓPIÁJA

A rendezetlenség metaforája sokkal inkább az entrópiához kapcsolható, de itt különösen fontos az óvatosság. A fizikai entrópia nem egyszerűen „káoszt" jelent, hanem az energia eloszlásának és a mikroállapotok számának mértékét jelenti. Ha ezt átemeljük a termelésmenedzsmentbe, akkor az entrópia nem a rossz menedzsment vagy hibák puszta szinonimája, hanem a rendszerben elkerülhetetlenül megjelenő veszteségek, súrlódások, szórások és koordinációs költségek összefoglaló fogalma.

Egy termelési rendszer entrópiája analóg módon növekszik például akkor, amikor nő az átfutási idők szórása, amikor információtorzulás lép fel a döntési láncban, amikor az operátori tudás nem standardizált, vagy amikor a folyamatok közötti kapcsolatok egyre bonyolultabbá válnak. Ezek mind nem szándékosak, hanem természetes következményei az időben működő, komplex rendszereknek.

Ebből következik a kulcskérdés: átültethető-e az entrópia növekedésének törvénye a termelésmenedzsmentbe? Szigorúan fizikai értelemben természetesen nem, mert ott zárt rendszerekről, állapotjelzőkről és egzakt definíciókról van szó. Strukturális értelemben viszont igen, és ez a menedzsmentelmélet egyik mély, bár gyakran kimondatlan alapelve.

A termelési rendszerek ugyanis nem zártak, hanem nyílt rendszerek voltak. Az entrópia növekedésének törvénye itt úgy jelenik meg, hogy ha nem viszünk be folyamatosan energiát, információt és szabályozást, akkor a rendszer hatékonysága romlik! Ez nagyon pontos analógiája annak, hogy egy fizikai rendszerben csak akkor tartható fenn alacsony entrópia, ha kívülről munkát végzünk rajta.

A Lean menedzsment, a TPM, a Six Sigma, az SPC vagy akár a digitális ikrek alkalmazása mind értelmezhetők úgy, mint „entrópiacsökkentő mechanizmusok". Nem azért működnek, mert természetellenesek, hanem éppen azért, mert folyamatos energiabefektetéssel ellensúlyozzák a természetes entrópiatermelést. A standard munka, a vizuális menedzsment és a prediktív karbantartás mind olyan eszközök, amelyek csökkentik az állapotok számát, vagyis analóg módon csökkentik a „mikroállapotok" sokféleségét.

Ebből egy nagyon fontos menedzsmenttanulság következik: a rendezettség nem természetes állapot, hanem fenntartott állapot. Ugyanúgy, ahogy egy hűtőszekrény sem „magától rendezi" az energiát, hanem folyamatos munkavégzés árán, úgy egy hatékony termelési rendszer sem stabil állapot, hanem dinamikus egyensúly.

3. KÖZLEKEDÉSI CSOMÓPONT, MINT A TERMELŐESZKÖZ ENTALPIÁJA

Ez a tovább gondolás már kifejezetten rendszerszintű közlekedéstudományi és menedzsmentelméleti kérdés, és nagyon termékeny, ha következetesen analóg szinten maradunk. Ebben a keretben a közúti közlekedési csomópont valóban értelmezhető úgy, mint egy sajátos „termelő eszköz", amelynek terméke nem tárgyi javakban, hanem átbocsátóképességben, kiszámíthatóságban és biztonságban realizálódik.

Kiindulásként fontos rögzíteni, hogy egy közúti csomópontnak nincs entrópiája és entalpiája fizikai értelemben, mert nem termodinamikai rendszer. Amit viszont nagyon jól lehet csinálni, az a strukturális megfeleltetés: megvizsgálni, hogy a fogalmak milyen módon segítik megérteni a csomópont működésének romlását, a hatékonyságát és a szabályozási igényét.

A csomópont „entalpiája" ebben az analógiában nem a hőmérséklethez és nem a rendezetlenséghez, hanem a potenciálhoz kapcsolódik. Egy közlekedési csomópont kvázientalpiája felfogható úgy, mint az a teljes rendelkezésre álló „energia" és struktúrakészlet, amelyből hasznos forgalmi munkát képes végezni. Ide tartoznak a geometria, a sávkiosztás, a jelzőlámpa-program, a látótávolság, a burkolati jelek, a forgalomirányítás információs minősége, valamint a résztvevők várható viselkedése is. Egy jól tervezett, frissen optimalizált csomópont ebben az értelemben „nagy entalpiájú", mert a rendelkezésre álló struktúra nagy arányban alakítható át hasznos átbocsátóképességgé (Toth, et al., 2023).

A rendezetlenség viszont egyértelműen az entrópia analógiájához tartozik, de itt sem a hétköznapi „káosz" értelmében. A csomópont entrópiája analóg módon a lehetséges forgalmi mikroállapotok sokféleségét jelenti. Minél többféleképpen valósulhat meg ugyanaz az átlagos forgalmi állapot egymástól jelentősen eltérő sebességgel, követési távolsággal, sávváltási mintával és reakcióidőkkel, annál nagyobb a csomópont entrópiája. Egy olyan csomópont, ahol a vezetői döntések kiszámíthatók és jól korlátozottak (például egy jól megtervezett körforgalom vagy egy egyszerű, jól hangolt jelzőlámpás kereszteződés), alacsonyabb entrópiájú, mint egy geometriailag túlbonyolított, rossz felületű (Szpotowicz et al., 2024) információhiányos vagy túlterhelt csomópont.

Fontos hangsúlyozni, hogy a forgalmi torlódás nem az entrópia maximuma, hanem gyakran egy alacsony teljesítményű, de mégis strukturált állapot. A valódi „magas entrópiájú" helyzetek azok, ahol nő a sebességszórás, nő a konfliktushelyzetek száma, a döntések időben és térben szétcsúsznak, és a fajlagos kapacitás csökken. Ez nagyon hasonló ahhoz, ahogyan a termodinamikában a nagy entrópia nem feltétlenül nagy energiatartalmat, hanem rosszul hasznosítható energiát jelent.

A hőmérséklet analógiája a közlekedési csomópont esetében az intenzitás oldaláról értelmezhető. Ez nem tényleges hőmérséklet, hanem egy olyan intenzív változó, amely megmutatja, hogy egy kis „zavarás" mekkora állapotváltozást okoz. Ilyen szerepet tölthet be például a forgalomsűrűség közelítése a kapacitáshoz, az időkritikusság vagy a döntési nyomás. Egy „forró" csomóponti állapot az, ahol egy kis forgalomnövekedés vagy egyetlen hibás manőver aránytalanul nagy teljesítményromlást okoz; egy „hideg" állapot pedig az, ahol a rendszer kis zavarásokkal szemben robusztus marad.

Ebből szervesen következik a kulcskérdés: átültethető-e az entrópia növekedésének törvénye a közúti csomópontok menedzsmentjére? Fizikai törvényként természetesen nem. Viselkedési rendszerelvként viszont igen.

Egy közlekedési csomópont, ha magára hagyjuk, idővel „entrópiát termel". Változik a forgalmi összetétel, romlanak a burkolati jelek, tanulási torzulások jelennek meg a vezetőknél, nő a szabályszegések száma és a kezdetben optimális szabályozás egyre kevésbé illeszkedik a valós használathoz. Ez teljesen analóg azzal, ahogyan egy fizikai rendszerben az entrópia nő, ha nincs külső beavatkozás.

A közlekedésmenedzsment ebben a szemléletben entrópiakontroll. A forgalomtechnikai beavatkozások, a jelzőlámpa-hangolás, az adaptív szabályozás, a forgalmi információk javítása, a geometriai egyszerűsítés mind olyan „külső munkavégzések", amelyek csökkentik a lehetséges mikroállapotok számát és növelik a hasznosítható kapacitást. Fontos tanulság, hogy a „jó működés" nem stabil végállapot, hanem folyamatosan fenntartott nemegyensúlyi állapot.

Tehát ha nem kontrolláljuk a csomópontot akkor csökken az átbocsátóképessége, csökken a teljesítménye és nő az entrópiája. Ha kontrolláljuk (táblával vagy jelzőlámpával) akkor nő az átbocsátóképessége, nő a teljesítménye, nő a munkavégző-képessége és csökken az entrópiája. Érdemes egy kulcsfontosságú pontosítást hozzátenni, hogy ne keveredjenek össze a fizikai törvények és az analóg menedzsmentértelmezések.

3. 1. Kontroll nélküli csomópont

Ha egy közúti csomópontot nem kontrollálunk, akkor tipikusan a következő történik:

- az átbocsátóképesség csökken,
- a teljesítmény (átlagsebesség, megbízhatóság, biztonság) romlik,
- nő az állapotok szórása (sebesség-, követési, döntési variabilitás),
- nő a konfliktusok és mikroinstabilitások száma.

Ez analóg módon értelmezhető úgy, hogy a csomópont „entrópiája nő": egyre több lehetséges, egymástól eltérő mikroállapot valósítja meg ugyanazt a makroszkopikus forgalmi helyzetet, miközben az energia (idő, üzemanyag, figyelem) egyre rosszabb hatásfokkal alakul át hasznos forgalmi munkává.

Ez pontosan megfelel annak az intuíciónak, hogy a nem szabályozott komplex rendszerek teljesítménye idővel romlik, még akkor is, ha a külső igény (forgalomnagyság) nem változik.

3. 2. Kontrollált csomópont

Ha a csomópontot kontrolláljuk (elsőbbségi renddel, táblával, jelzőlámpával, adaptív vezérléssel), akkor valóban az ellenkezője történik:

- nő az effektív átbocsátóképesség,
- nő a teljesítmény és a kiszámíthatóság,
- nő a „munkavégző képesség" (egységnyi bemenő forgalomból több hasznos áthaladás jön létre),
- csökken a lehetséges forgalmi mikroállapotok száma.

Ez utóbbi a kulcs: a kontroll nem azért növeli a kapacitást, mert „több energiát ad" a rendszernek, hanem mert korlátozza az állapotteret. A vezetők kevesebb döntést hoznak, kevesebb variáció lehetséges, így csökken a szórás és nő a hatékonyság. Ez tökéletesen illeszkedik az entrópia analógiájához (Adeleke et al., 2023).

3. 3. „Az entrópia mindig nő" kérdésköre

A fizikai entrópianövekedés törvénye csak zárt rendszerekre érvényes. Egy közlekedési csomópont viszont nyílt rendszer: folyamatosan energiát, információt és szabályozást viszünk be kívülről.

Ezért a helyes megfogalmazás nem az, hogy „kontroll esetén csökken az entrópia, dacára annak, hogy az mindig nő", hanem inkább az, hogy a csomópont belső entrópiatermelése természetes módon fennáll, de ezt külső munkavégzéssel (kontrollal) lokálisan ellensúlyozzuk.

Ez pontosan ugyanaz a logika, mint egy hűtőszekrény esetében. A hűtő belsejében csökken a hőmérséklet és az entrópia, de csak azért, mert kívülről energiát viszünk be, és a teljes rendszer (hűtő + környezet) entrópiája összességében nő.

Ha nagyon precízen akarjuk összefoglalni, akkor a következő megfogalmazás szakmailag helyesnek bizonyul:

- Egy közúti csomópont természetes állapotában entrópiát termel, ami teljesítményromláshoz vezet.
- A forgalomtechnikai kontroll nem megszünteti ezt a tendenciát, hanem folyamatos külső erőforrás-befektetéssel ellensúlyozza.
- A kontroll hatására a csomópont lokálisan alacsonyabb entrópiájú, nagyobb munkaképességű nemegyensúlyi állapotban tartható.
- Ha a kontroll megszűnik vagy elavul, az entrópianövekedés azonnal „láthatóvá válik" teljesítménycsökkenés formájában.

A közlekedésmenedzsment ebben a szemléletben nem optimalizálási probléma, hanem entrópiakontroll-feladat. A kérdés nem az, hogy „elég-e egyszer jól megtervezni" egy csomópontot, hanem az, hogy milyen folyamatos energiabefektetéssel tartható fenn a kívánt működési szint.

Ezért helytálló az az intuíció, hogy a jó működés nem természetes, hanem fenntartott állapot.

4. A SHANNON-FÉLE ENTRÓPIA ÉRTELMEZÉSE

A Shannon-entrópia beépíthető a levezetésbe, amelyet eddig a közúti csomópont, a kontroll és az „entrópiakontroll" kapcsán felépítettünk. Sőt, ha precízek akarunk lenni, akkor azt lehet mondani, hogy amit eddig intuitív fizikai analógiaként használtunk, annak a Shannon-entrópia adja meg az információelméleti formalizmusát.

Az első kulcslépés annak felismerése, hogy a közúti csomópont nem energiát, hanem döntéseket és információt „dolgoz fel". A járművek mozgása mögött minden pillanatban döntések állnak: sebességválasztás, elsőbbségadási reakció, sávválasztás, gyorsítás vagy fékezés. Ezek a döntések nem determinisztikusak, hanem valószínűségi jellegűek. Pontosan ez az a helyzet, amelyre a Shannon-entrópia készült.

A Shannon-entrópia definíciója szerint:

$$H = -\sum_i p_i \log p_i,$$

ahol p_i az egyes lehetséges állapotok vagy kimenetek bekövetkezési valószínűsége. Ez nem hőt, nem energiát mér, hanem bizonytalanságot: mennyire nehéz megjósolni, mi fog történni.

Ha ezt egy közlekedési csomópontra alkalmazzuk, akkor az „állapotok" lehetnek például:

- járművek sorrendje az áthaladáskor,
- sávválasztási minták, konfliktushelyzetek bekövetkezése,
- átkelési idők diszkrét tartományai,
- gyorsítási–fékezési reakciók.

Egy kontrollálatlan csomópontban ezekhez az állapotokhoz tartozó valószínűségek jellemzően szétszórtak. Sokféle viselkedés közel azonos valószínűséggel fordul elő. Matematikailag ez azt jelenti, hogy a p_i eloszlás „lapos", így a Shannon-entrópia nagy. Ez nem feltétlenül látványos káoszt jelent, hanem nagyfokú előrejelezhetetlenséget. Ilyenkor ugyanaz az átlagos forgalmi terhelés egyik pillanatban még zavartalan, a következőben már konfliktusos működést eredményez.

Amikor viszont kontrollt vezetünk be – legyen az tábla, elsőbbségi rend, körforgalom vagy jelzőlámpa –, akkor információt viszünk be a rendszerbe. Fontos: nem energiát adunk hozzá, hanem döntéseket korlátozunk. A vezetők viselkedése erősen kondicionált lesz: bizonyos kimenetek (például „nem indulok el, mert piros van") nagy valószínűségűvé válnak, más kimenetek gyakorlatilag eltűnnek.

Ez Shannon-értelemben azt jelenti, hogy az eloszlás csúcsosodik, a bizonytalanság csökken, az entrópia kisebb lesz. A csomópont „viselkedése" informatívabb, előrejelezhetőbb, robusztusabb. Az átbocsátóképesség növekedése itt nem fizikai értelemben vett teljesítménynövekedés, hanem információs hatékonyságnövekedés: kevesebb döntési variációból több hasznos áthaladás realizálódik.

Ez a pont teremti meg a hidat a Shannon-entrópia és a korábbi termodinamikai analógia között. A Shannon-entrópia csökkenése lokálisan pontosan megfelel annak, amit korábban „entrópiacsökkentésnek" neveztünk. Ugyanakkor itt is érvényes az általános elv: ez csak úgy lehetséges, hogy külső erőforrásokat használunk. Jelzőlámpavezérlés, érzékelők, programozás, karbantartás, rendészeti jelenlét – mind energia- és információbefektetés. Ha ez megszűnik vagy nem frissül, a Shannon-entrópia újra nőni kezd.

A Shannon-entrópia különösen erőssé válik akkor, amikor időbeli dinamikát vizsgálunk. Egy jól hangolt jelzőlámpás csomópont esetében nem az a cél, hogy az entrópia minimális legyen, hanem hogy kontrollált szinten maradjon. Túl alacsony entrópia ugyanis merevséghez vezethet: a rendszer rosszul reagál a nem várt helyzetekre. Ez nagyon fontos felismerés modern adaptív forgalomirányításnál. Az optimális működés nem „rend", hanem strukturált bizonytalanság.

Itt válik világossá, hogy az entrópia növekedésének „törvénye" a közlekedésmenedzsmentben Shannon-értelemben így hangzik: ha nem

frissítjük folyamatosan az információt és a szabályozást, a döntési bizonytalanság nő. Ez nem morális hiba és nem tervezési kudarc, hanem a komplex, tanuló rendszerek természetes viselkedése.

5. KÖZLEKEDÉSI ALAPFOLYAMAT ÉS A SHANNON-FÉLE ENTRÓPIA ÉRTELMEZÉSE

A klasszikus fizikai és a Shannon-entrópia önmagukban nem elegendők, de jó alapot adnak egy hárompilléres közlekedési entrópiamodellhez, amelyben az infrastruktúra, a jármű és az ember külön-külön és együtt is értelmezhető.

A legfontosabb felismerés az, hogy a közlekedési rendszer entrópiája nem egyetlen skalár, hanem egy kompozit, többszintű entrópia, amelynek külön komponensei vannak. Ezek a komponensek eltérő természetűek, de ugyanarra a működési kérdésre hatnak: mennyire kiszámítható, hatékony és munkaképes a rendszer.

5. 1. Az infrastruktúra, mint strukturális entrópiaforrás

Az infrastruktúra a rendszer leglassabban változó, kvázideterminált eleme. Itt az entrópia nem elsősorban viselkedési bizonytalanságot jelent, hanem strukturális állapottérnagyságot.

Egy csomópont geometriája, sávkiosztása, láthatósága, burkolati jelei és szabályozási logikája meghatározza, hogy hányféle forgalmi mikroállapot lehetséges egyáltalán. Egy túl bonyolult geometria sok alternatív manővert tesz lehetővé, amelyek közül egyik sem domináns. Ez magas infrastruktúra-entrópiát eredményez, függetlenül attól, hogy mennyi jármű halad át rajta.

Ezzel szemben egy egyszerű, jól korlátozott infrastruktúra – például egyértelmű konfliktuspontokkal és irányokkal – csökkenti a lehetséges állapotok számát, így már szerkezeti szinten alacsonyabb entrópiát hoz létre. Fontos, hogy ez nem merevséget, hanem előre meghatározott szabadsági fokokat jelent.

Ez a komponens nevezhető strukturális entrópiának, amely a rendszer „geometriai és szabályozási szabadságfokait” méri.

5. 2. A jármű, mint dinamikai entrópiaforrás

A jármű a rendszer közepes időléptékű, részben determinisztikus, részben sztochasztikus eleme. Itt az entrópia elsősorban dinamikai variabilitásként értelmezhető.

Különböző járművek eltérő gyorsulási képességgel, fékutakkal, méretekkel, automatizáltsági szintekkel és reakcióprofilokkal rendelkeznek. Ezek a különbségek szórást visznek a rendszerbe, még akkor is, ha az infrastruktúra és a szabályozás azonos.

Egy homogén járműállomány – például hasonló teljesítményű személygépkocsik – alacsonyabb járműentrópiát eredményez. Egy heterogén flotta – kerékpár, autóbusz, tehergépjármű, személyautó, mikromobilitás – viszont jelentősen növeli a dinamikai állapotok számát. Itt nem a járművek száma a döntő, hanem a dinamikai válaszaik különbözősége.

Ez a komponens értelmezhető sebesség, gyorsulás és reakcióidő-eloszlások Shannon-entrópiájaként, vagyis tisztán információelméleti alapon.

5. 3. Az ember, mint kognitív entrópiaforrás

Az ember a rendszer leggyorsabban változó, legsztochasztikusabb eleme, és egyben a legnagyobb entrópiatermelő. Itt az entrópia nem fizikai vagy pusztán információs, hanem kognitív és viselkedési bizonytalanság.

A vezető vagy utas figyelme, tapasztalata, stresszszintje, kulturális mintái és pillanatnyi döntési stratégiái drasztikusan befolyásolják, hogy egy adott helyzetből milyen kimenet valósul meg. Még azonos jármű és infrastruktúra mellett is az emberi döntések szórása adja a legnagyobb bizonytalanságot (Pauer et al., 2019).

Ez a komponens már nem írható le klasszikus Shannon-entrópiával önmagában, mert a döntések nem függetlenek, hanem tanulás, várakozás és torzítás befolyásolja őket. Emiatt itt célszerű bevezetni a kondicionált entrópia és a kölcsönös információ fogalmát.

A forgalmi szabályozás, jelzések és táblák ebben az értelemben nem csak korlátoznak, hanem kognitív entrópiát csökkentenek. Kevesebb értelmezési szabadság miatt kisebb a döntési állapottér, ami kevesebb bizonytalanságot eredményez.

5. 4. A kibővítés kulcsa: többdimenziós entrópia

A három pillér miatt a közlekedési entrópiát nem lehet egyetlen skálán értelmezni. Ehelyett egy összetett entrópiavektorról érdemes beszélni:

- strukturális (infrastruktúra),
- dinamikai (jármű),
- kognitív (ember).

Ezek nem egyszerűen összeadódnak, hanem egymásra hatnak. Egy alacsony infrastruktúra-entrópiájú csomópont képes jelentős kognitív entrópiát „elnyelni", míg egy bonyolult csomópont már kis emberi szórástól is instabillá válik. Ugyanez igaz a járműpark homogenitására is.

Ezért kell kibővíteni az entrópia fogalmát a közlekedésben kölcsönös információval: mennyire „érti" egymást az infrastruktúra, a jármű és az ember. Egy jó rendszerben nagy a kölcsönös információ, vagyis az egyik pillér állapota erősen meghatározza a másik viselkedését. Ez csökkenti a teljes bizonytalanságot.

5. 5. Shanon-féle entrópia közlekedési csomópontra alkalmazott értelmezése

A hárompillérű közlekedési rendszer entrópiája tehát nem káoszt jelent, és nem is pusztán rendezetlenséget. Inkább azt fejezi ki, hogy mennyi szabadságfok marad kontrollálatlanul a rendszerben strukturális, dinamikai és kognitív szinten.

A közlekedésmenedzsment feladata ebben a keretben nem az entrópia megszüntetése – az lehetetlen –, hanem annak elosztása és irányítása a három pillér között. A jó rendszer ott enged szabadságot, ahol az nem romboló, és ott korlátoz, ahol a bizonytalanság gyorsan teljesítményvesztéssé válik.

6. KÖZLEKEDÉSI INFORMÁCIÓ, MINT NEGYEDIK PILLÉR

Az információ értelmezhető negyedik pillérként, de csak akkor, ha nem az infrastruktúra, jármű és ember puszta kiterjesztéseként, hanem strukturálisan új minőségként kezeljük. Valójában az információ nem egyszerűen „több adat", hanem olyan aktív elem, amely képes a másik három pillér entrópiaszintjét átalakítani, újraelosztani vagy felerősíteni. Ettől válik jogosulttá arra, hogy önálló pillér legyen.

A klasszikus hárompillérű modellben az infrastruktúra a fizikai korlátokat, a jármű a dinamika fizikai megvalósítását, az ember pedig a döntéshozatalt és a bizonytalanságot képviseli. Az információs forradalommal azonban megjelent egy olyan elem, amely nem csak passzívan leírja a rendszert, hanem visszacsatolva alakítja is.

Az információ pillérsége akkor érthető meg igazán, ha az entrópia fogalmához kötjük vissza. A Shannon-entrópia alapvetően azt méri, mennyire bizonytalan egy rendszer kimenete. A Big Data korában az történik, hogy a rendszer a saját állapotairól egyre pontosabb, egyre gyorsabb és egyre nagyobb felbontású képet kap. Ez önmagában még nem csökkenti az entrópiát – sőt, nyers adatként gyakran növeli –, de lehetővé teszi az entrópia célzott szabályozását.

Ebben az értelemben az információ metapillér: nem új fizikai szereplő, hanem a másik három pillér fölött működő szabályozó réteg. Az infrastruktúra entrópiája csökkenthető például adaptív jelzőlámpákkal, valós idejű forgalomfigyeléssel és prediktív karbantartással. Ezek mind információvezérelt eszközök. A geometria önmagában nem változik, de az aktuális állapottér ténylegesen beszűkül, mert az információ alapján a rendszer preferált útvonalakat és időablakokat hoz létre.

A járművek esetében az információ még látványosabban válik önálló tényezővé. A járműdinamika entrópiája csökken, amikor a jármű nem csak „reagál", hanem előre tud. V2X kommunikáció, kooperatív adaptív tempomat, platooning vagy autonóm funkciók mind azt jelentik, hogy a jármű viselkedése nem izolált mikroállapot, hanem információval korrelált állapot. Matematikailag ez a kölcsönös

információ növekedését jelenti a járművek között, ami a teljes rendszer Shannon-entrópiáját csökkenti, még akkor is, ha a járművek száma vagy heterogenitása nem változik.

Az emberi pillér esetében az információ szerepe a legérzékenyebb. Az ember kognitív entrópiája nem egyszerűen a „nem tudásból" fakad, hanem abból, hogy túl sok, rosszul strukturált vagy nem konzisztens információ áll rendelkezésre. A Big Data önmagában itt kifejezetten entrópiatermelő lehet. Akkor válik entrópiacsökkentővé, ha az információ döntéssé alakított, időben releváns és értelmezhető formában jelenik meg. Navigációs rendszerek, valós idejű utastájékoztatás, torlódáselőrejelzés vagy dinamikus sebességajánlások mind a kognitív állapottér szűkítését szolgálják. Kevesebb lehetséges döntés marad „értelmesnek", így csökken az emberi viselkedés bizonytalansága.

Innen nézve az információ nem egyszerűen negyedik pillér, hanem entrópiatranszformátor. Nem az a szerepe, hogy mindenhol csökkentse az entrópiát, hanem hogy átalakítsa annak térbeli, időbeli és szereplők közötti eloszlását. Egy jól informált rendszerben például magasabb lehet a lokális entrópia (sok alternatív útvonal), miközben az aggregált teljesítmény stabil marad, mert az információ korrelálja a döntéseket.

Ez egy nagyon fontos elméleti következményhez vezet: a modern közlekedési rendszer már nem írható le pusztán fizikai és viselkedési elemekkel. Információ nélkül a rendszer nyílt, de „vak"; információval viszont önreflexív és adaptív lesz. Ez minőségileg új rendszerosztály, amelyre a klasszikus hárompillérmodell már nem teljes.

Ezért a legpontosabb megfogalmazás az, hogy a közlekedési alapfolyamat négy pillére ma már az infrastruktúra, a jármű, az ember és az információ, ahol az információ nem egy újabb komponens a sor végén, hanem a másik három közötti kapcsolatok entrópiáját szabályozó réteg. Enélkül az információs forradalom nem értelmezhető, és nélküle az entrópia fogalma is csak részben alkalmazható a modern közlekedésmenedzsmentre.

7. KITEKINTÉS – ÖNVEZETŐ JÁRMŰVEK

Az önvezető gépjármű megjelenése nem egyszerű technológiai fejlesztés, hanem rendszerszintű fázisváltás a közlekedésben. Nem egyetlen pillért módosít, hanem mind a négyet egyszerre, miközben az entrópia fogalma új értelmezési szintre lép. A legfontosabb következmény az, hogy az entrópia nem pusztán csökken vagy nő, hanem struktúrát vált és áthelyeződik a rendszer egyes rétegei között.

7. 1. Infrastruktúra: fizikai entrópia csökkenése, információs függés növekedése

Az önvezető jármű radikálisan csökkenti az infrastruktúra által szükségessé tett kényszerstruktúrát. Az emberi vezetéshez kialakított infrastruktúra célja hagyományosan a kognitív entrópia csökkentése volt: széles sávok, nagy sugarú ívek, erős vizuális jelek, redundáns biztonság.

Autonóm járművek esetén az infrastruktúra:

- kevésbé „magyarázó",
- inkább precíz és digitálisan értelmezhető,
- sokszor egyszerűbb geometriájú.

Ez csökkenti a strukturális entrópiát, mert kevesebb fizikai mikroállapot marad releváns. Ugyanakkor nő a függés a digitális infrastruktúrától (szenzorok, térképek, V2I kommunikáció), ami azt jelenti, hogy a fizikai entrópia csökkenése nem abszolút, hanem átadja a komplexitást az információs rétegnek.

7. 2. Jármű: dinamikai entrópia drasztikus csökkenése

A járművek szintjén történik az egyik legnagyobb változás. Az önvezető jármű:

- gyorsabban reagál,
- determinisztikusabb,
- repetitív és tanult optimalizációkat végez,
- kommunikál más járművekkel.

Ez azt eredményezi, hogy a járműdinamika eloszlásai beszűkülnek. A sebesség-, gyorsulás- és követési profilok homogenizálódnak (Ghadi, 2024). Shannon-értelemben ez a dinamikai entrópia látványos csökkenése.

Ez az oka annak, hogy autonóm flották esetén már kis penetráció mellett is:

- nő a kapacitás,
- csökken a torlódási instabilitás,
- kiegyenlítettebbé válik a forgalom.

Ugyanakkor fontos, hogy ez a csökkenés csak akkor stabil, ha a járművek közötti információs kapcsolat fennáll. Ha megszakad, a rendszer entrópiája ugrásszerűen nőhet.

7. 3. Ember: kognitív entrópia áthelyeződése, nem eltűnése várható

Az önvezető jármű nem eltünteti az embert, hanem kiveszi a valós idejű kontrollból. Ez kulcsfontosságú különbség.

A vezetési döntések eltűnésével:

- a klasszikus kognitív entrópia (reakcióidő, stressz, figyelmetlenség) jelentősen csökken,
- de megjelenik egy új típusú bizonytalanság: a rendszerbe vetett bizalom entrópiája.

Az ember már nem mikrodöntéseket hoz, hanem:

- elfogadja vagy elutasítja az automatika döntéseit,
- stratégiai szinten avatkozik be,
- kivételes helyzetekben lép közbe.

Ez azt jelenti, hogy az entrópia időben és funkcióban átrendeződik: kevesebb, de kritikusabb döntés marad. A rendszer hatékonysága nő, de a ritka hibák hatása sokszorosára nő. Ezért az emberi entrópia nem tűnik el, hanem magasabb absztrakciós szintre kerül.

7. 4. Információ: domináns pillérré válik

Az önvezetés világában az információ nem negyedik a sorban, hanem elsődlegessé válik.

A rendszer működése attól függ:

- mennyire pontos az érzékelés,
- mennyire konzisztens a digitális térkép,
- mennyire gyors a kommunikáció,
- mennyire jók az előrejelző modellek.

Shannon-értelemben ez azt jelenti, hogy a rendszer teljes entrópiája az információs réteghez kötődik. Ha az információ minősége magas, a teljes rendszer entrópiája alacsony marad. Ha az információ zajossá válik, hiányos vagy ellentmondásos, akkor az entrópia robbanásszerűen nő, függetlenül attól, hogy a jármű mennyire „okos” (Török et al., 2020).

Ezért válik az információ nem csak pillérré, hanem sebezhetőségi ponttá.

7. 5. Az entrópia új értelmezése: nem csökken, hanem centralizálódik

A legfontosabb rendszerelméleti következtetés a következő:

Az önvezető közlekedési rendszerben az entrópia nem eltűnik, hanem centralizálódik, kondicionálódik és időben koncentrálódik:

- Kevesebb a mindennapi, kis hiba.
- Több a ritka, de potenciálisan rendszerszintű hiba.
- A bizonytalanság a peremekről a központi információs rétegbe tolódik.

Ez azt jelenti, hogy a rendszer átlagosan stabilabb, de kritikusan függ az információ integritásától.

7. 6. Végső szintézis

Az önvezető gépjármű a négy pillért nem önállóan alakítja át, hanem összekapcsolja azokat. Az infrastruktúra egyszerűbbé, a jármű determinisztikusabbá, az ember absztraktabb szerepűvé válik, miközben az információ fejlődik a rendszer „termodinamikai magjává”.

Az entrópia nem szűnik meg, hanem:

- kevesebb helyen jelenik meg,
- nagyobb súllyal koncentrálódik,
- és csak folyamatos információs munkavégzéssel tartható kordában.

Ezért az autonóm közlekedés nem az entrópia legyőzése, hanem egy újfajta entrópiamenedzsment paradigma. Ez az a pont, ahol a közlekedéstechnika, az irányítástechnika és az információelmélet végleg egyesül.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Adeleke, O. O., Oguntayo, D. O., Ayobami, I. T., Ogunkunbi, G. A. (2023) „Improving Traffic Flow in Emerging Cities: A SIDRA Intersection Based Traffic Signal Design", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 51(2), pp. 166–171. DOI: https://doi.org/10.3311/PPtr.18018

Ghadi, M. (2024) „A Grid-based Framework for Managing Autonomous Vehicles' Movement at Intersections", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 52(3), pp. 235–245. DOI: https://doi.org/10.3311/PPtr.24397

Mahulikar, S. P., Erkoreka, A. (2026) Self-organised and disorganised dissipative structures as energy-entropy pumps. BioSystems, 266, 105834. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2026.105834

Pauer, G., Sipos, T., Török, Á. (2019) Statistical analysis of the effects of disruptive factors of driving in simulated environment. Transport, 34(1), pp. 1-8. DOI: https://doi.org/10.3846/transport.2019.6724

Szpotowicz, R., Tóth, C. (2024) Reducing Energy Demand in Concrete Pavements by the Use of Blended Cements. Acta Technica Jaurinensis, 17(3), pp. 118–129. DOI: https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00749

Toth, C., Petho, L., Rosta, S., Primusz, P. (2023) Performance assessment of full depth asphalt pavements manufactured with high recycled asphalt pavement content. Acta Technica Jaurinensis, 16(1), pp. 18–26. DOI: https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00688

Török, Á., Szalay, Z., Uti, G., Verebélyi, B. (2020) Rerepresenting autonomated vehicles in a macroscopic transportation model. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 48(3), pp. 269-275. DOI: https://doi.org/10.3311/PPtr.13989

Wang, S., Xiao, H., Zhan, L. (2025) On the statistical physics and thermodynamics of polymer networks: An Eulerian theory for entropic elasticity. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 206(A), 106382. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmps.2025.106382

Zemenu, B., Getahun, E., Alemayehu, S., Jothimani, M. (2026) Modeling Urban Expansions and its Environmental Effects in Arba Minch City, Southern Ethiopia Using GIS, Remote Sensing, and Shannon Entropy. Scientific African, 31, e03251. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2026.e03251



Interpretation of Entropy in Transport Informatics

Keywords: entropy, transport systems, Shannon entropy, traffic control, information systems

The document develops a unified interpretation of entropy across thermodynamics, statistical physics, and information theory, and extends these concepts to production systems and transportation networks. In physics, entropy quantifies the dispersion of energy and follows the second law, which states that natural processes increase total entropy. In statistical mechanics, it reflects the number of possible microstates, whereas in Shannon's framework, it quantifies information uncertainty. Building on these definitions, the paper introduces entropy as an analytical metaphor for complex engineered systems. In production systems, entropy represents unavoidable variability, losses, and coordination inefficiencies that must be counterbalanced by continuous managerial intervention, such as Lean or Six Sigma practices. The core contribution is the interpretation of road intersections and transport systems as "entropy-controlled" systems. A traffic node's entropy corresponds to the variability and unpredictability of traffic states, while its "enthalpy" reflects its structural and operational potential. Control mechanisms (signals, signs, adaptive systems) reduce entropy by constraining the set of possible states and increasing predictability. However, since transport systems are open systems, entropy reduction is only local and requires continuous external input (energy, information, regulation).

The framework is further expanded by using Shannon entropy to formalise traffic uncertainty and extends to network-level analysis, where entropy serves as a measure of system-wide coordination. Finally, a four-pillar model (infrastructure, vehicles, humans, information) is proposed, highlighting information as an entropy-transforming layer. Autonomous vehicles shift entropy toward the information domain, making system stability highly dependent on data quality and communication.

A debreceni BMW-beruházás kiszolgálása érdekében kialakított helyi és helyközi autóbuszjáratok térbeli jellegzetességei

Kozma Gábor[1,*] – Kiss-Polgárdi Tamás[2]

[1]egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Társadalomföldrajzi és Területfejlesztési Tanszék,
[2]PhD-hallgató, Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Társadalomföldrajzi és Területfejlesztési Tanszék
*felelős szerző

e-mail: kozma.gabor@science.unideb.hu, tamaskpt@gmail.com

Kézirat benyújtva: 2026.05.22.
Kézirat elfogadva: 2026.07.06.

© Kozma G., Kiss-Polgárdi T.

Absztrakt

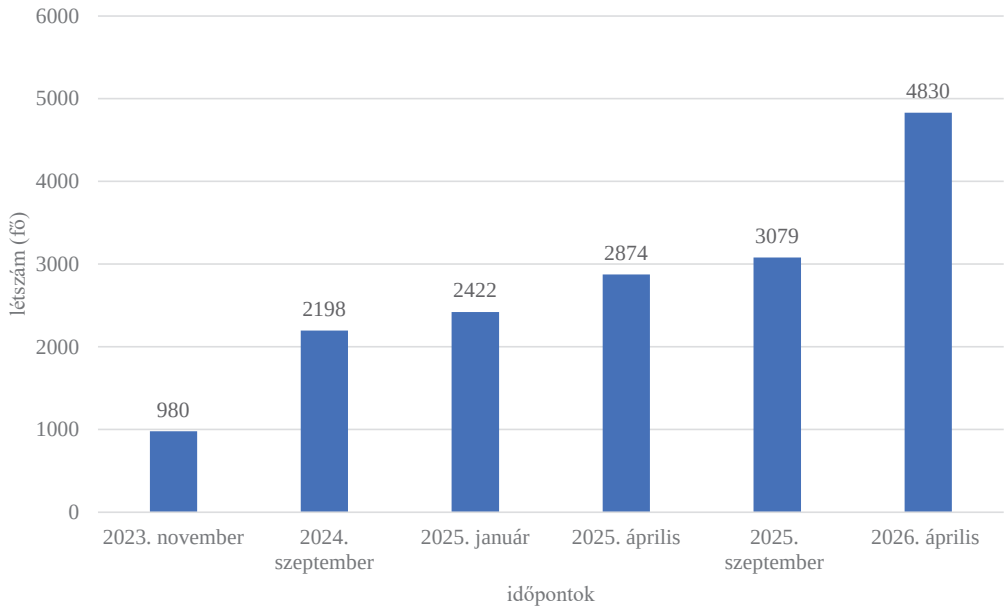
A tanulmány célja annak bemutatása, milyen változások mentek végbe az elmúlt időszakban a helyi és helyközi autóbuszos közösségi közlekedésben a nagyüzemi termelést 2025 októberében elkezdő, és napjainkban már több mint 4000 főt foglalkoztató debreceni BMW üzem munkaerő-ellátásnak biztosítása érdekében. A helyi közlekedés vonatkozásában megállapítható, hogy a kialakított új viszonylatok a város területének jelentős részét lefedik, és ez különösen igaz az éjszakai járatok esetében. A helyközi közlekedésben végbement járatszám-növekedés hatására napjainkra egy egyre összefüggőbb, több vármegye területére is kiterjedő ingázási gyűrű alakult ki.

Kulcsszavak: *Debrecen, BMW, autóbuszjáratok, helyi közlekedés, helyközi közlekedés*

DOI: https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.5.4

1. BEVEZETÉS

A településeken megvalósuló nagyobb beruházások jelentős változást idéznek elő a helyi és helyközi közlekedési viszonyokban. A szolgáltató szektor (és itt elsősorban az SSC-re (Shared Services Center – Megosztott Szolgáltatási Központ) kell gondolni) esetében ugyan a távmunka révén mérsékelhető a személyforgalom, az ipar esetében azonban mind a személy-, mind a teherforgalom jelentős növekedést mutat. A Debrecenben 2018-ban bejelentett, és a termelést 2025 második felében elkezdett BMW-üzem igen gyors ütemben bővítette az alkalmazotti kört (*1. ábra*), és 2026 elején a foglalkoztatottak létszáma megközelítette az 5000 főt.



1. ábra: A BMW debreceni gyárában foglalkoztatottak számának változása 2023. november és 2026. április között (Forrás: Internet[1])

A növekedés jelentős kihívás elé állította a térség közlekedését: egyrészt a foglalkoztatottak nagyobb része Debrecenen kívülről érkezik, másrészt az új üzem Debrecen központi belterületétől jelentős távolságra helyezkedik el, és ennek következtében mind a helyközi, mind pedig a helyi járatok körét bővíteni kellett. Harmadrészt a fenntarthatóság szellemében a BMW is fontosnak tartotta, hogy a foglalkoztatottak jelentős része ne személygépkocsival közelítse meg a gyár területét. Ennek szellemében – bár az üzem szomszédságában több mint 1000 férőhelyes parkolót alakítottak ki – a Debrecen közigazgatási határán kívülről munkába járók saját gépjárművel történő közlekedés esetén olyan költségtérítésben (30 Ft/km) részesülnek, amely nem fedezi a költségeiket, míg a közösségi közlekedéssel történő utazás esetén a bérlet vagy jegy árának 100%-a kerül megtérítésre.

A jelenség ugyanakkor nem tekinthető újdonságnak: a munkahely és lakóhely – elsősorban a fejlett világban – megfigyelhető területi szétválásának köszönhetően Magyarországon is fontos szerepet játszik az ingázás, azaz a foglalkoztatottak más településekről történő

1 https://www.hrportal.hu/hr/rakapcsolt-a-bmw-ennyien-dolgoznak-debrecenben-20250115.html (letöltve: 2026. 02. 22.)
https://www.hrportal.hu/hr/toretlenul-bovul-a-takaritoceg-az-iparban-csokken-a-letszam-20250422.html (letöltve: 2026. 02. 22.)
https://www.hrportal.hu/hr/fekez-az-audi-gyorsit-a-bmw-igy-alakultak-a-letszamok-a-nagy-cegeknel-20250614.html (letöltve: 2026. 02. 22.)
https://www.hrportal.hu/hr/jelentos-letszamcsokkenes-tobb-nagyvallalatnal-20251129.html (letöltve: 2026. 02. 22.)
https://www.hrportal.hu/hr/gyorsit-a-bmw-fekez-az-aldi-letszamtrendek-20260422.html (letöltve: 2026. 04. 30.)

biztosítása (Balcsók, 2021). Az adatok szerint Magyarországon a rendszerváltás utáni visszaesést követően a 2010-es évektől ismét egyre hangsúlyosabb lett ez a folyamat, és 2022-ben a foglalkoztatottak döntő része (csaknem 50%-a) dolgozott lakóhelyén kívüli településen *(1. táblázat)*. Az új évezredben Debrecenben is egyre fontosabbá vált ez a jelenség, amelyet jól mutat, hogy az országos értéktől való eltérés 2001 és 2022 között jelentős mértékben csökkent.

A tanulmány csak a BMW-üzem működésével (vagyis a személygépkocsi-gyártással) kapcsolatos forgalommal kíván foglalkozni, valamint a közúti közlekedésre koncentrál, és így nem célja az építkezés által kiváltott közlekedési viszonyok elemzése, illetve a vasúti közlekedés szerepének a bemutatása. Ez utóbbit az indokolja, hogy napjainkban helyközi szinten a 105-ös és 108-as vonalakon a romániai Érmihályfalva, valamint a magyarországi Vámospércs, Nyírábrány és természetesen Debrecen irányából le-

	Magyarország		Debrecen	
Év	ingázók száma (ezer fő)	a foglalkoztatottakon belül az ingázók aránya (%)	bejárók száma (fő)	a helyben foglalkoztatottakon belül a bejárók aránya (%)
1990	1.144	25,3	–	–
2001	1.102	29,9	14 902	17,2
2011	1.340	34,5	21 575	22,4
2022	1.974	41,8	41 449	32,9

1. táblázat: Az ingázás legfontosabb adatai Magyarországon és Debrecenben 1990 és 2022 között (ezer fő) (Forrás: Kovács et al., 2015, KSH – Tájékoztatási adatbázis)

Magyarországon az utóbbi években mindinkább tapasztalható munkaerőhiány következtében ugyanakkor a vállalatok (és ez elsősorban a nagyobb cégekre jellemző) egyre inkább arra kényszerülnek, hogy vállalati autóbuszjáratok megszervezésével nagyobb távolságokból biztosítsák a szükséges foglalkoztatotti létszámot. A 2000-es évek végén a Suzuki jelentős számban alkalmazott szlovákiai munkavállalókat (a számuk kb. 2700 fő volt), akik döntő mértékben a vállalat által üzemeltetett buszokon közlekedtek (Balogh et al., 2018), a Mercedes megrendelésére a MÁV Személyszállítási Zrt. napjainkban 19 járatot indít a gyárhoz, amelyek több mint 50 településről teszik lehetővé az ingázást[2], míg a Samsung gödi üzeme 2022-ben 50-60 km-es távolságból is működtetett autóbuszjáratokat (Czirfusz, 2022).

A fentiek szellemében a tanulmány célja a BMW-beruházás személyforgalommal kapcsolatos közlekedési következményeinek a vizsgálata, amelynek keretében elsősorban az alábbi kérdésekre keresi a választ:

- hogyan bővült a vállalatot kiszolgáló közúti közlekedési viszonylatok köre,
- milyen földrajzi jellegzetességei vannak a változásnak,
- milyen tényezők álltak a változások mögött.

het vasúton megközelíteni a gyárat (az érkező vonatokhoz a vállalat shuttle-busz kapcsolatot biztosít), ezen vonatok utasforgalma azonban igen alacsony.

2. A FELHASZNÁLT ADATBÁZIS ÉS MÓDSZEREK

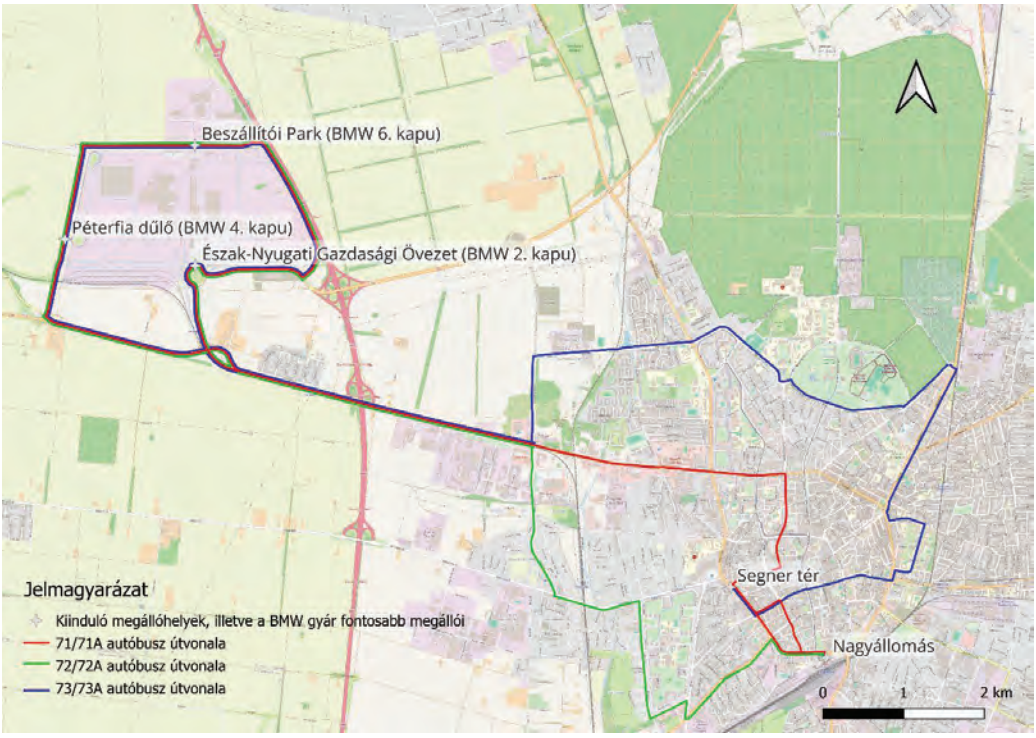
A tanulmány megírása során többfajta adatbázist használtunk fel. Egyrészt támaszkodtunk a BMW honlapján elérhető, a dolgozók munkába járását segítő információkat tartalmazó anyagokra, másrészt fontos információforrást jelentettek a MÁV Személyszállítási Zrt. és a Debreceni Közlekedési Vállalat Zrt. jelenlegi és múltbeli menetrendjei. Harmadrészt felhasználtuk a témában született és különböző internetes honlapon elérhető cikkeket, amelyek a folyamatok hátterébe engedtek bepillantást. Emellett interjút készítettünk a Debreceni Közlekedési Vállalat Zrt. és a BMW Manufacturing Hungary Kft. illetékes munkatársaival, akik a vállalatok személyszállítási politikájával kapcsolatban osztottak meg velünk fontos információkat.

2 https://www.mavcsoport.hu/mercedes

3. A BMW-BERUHÁZÁS HATÁSA A HELYI ÉS HELYKÖZI AUTÓBUSZ-KÖZLEKEDÉSRE

3. 1. A helyi közösségi közlekedés

A BMW debreceni gyárának fejlődésében 2023. második és 2024. első felében több olyan esemény is történt, amely szükségessé tette a közösségi közlekedési kapcsolatok kialakítását. Egyrészt 2023 szeptemberében beindult a középiskolások duális képzése (ennek keretében 2023 októberében került átadásra a Képzési Központ), másrészt 2024 februárjában adták át a BMW Kommunikációs Központját, és ennek következtében az eddig a városközpontban működő, alapvetően szellemi tevékenységet (pl. HR, pénzügy, marketing) végző alkalmazottak is kiköltöztek a vállalat területére. A fentiek miatt megnövekedett közlekedési igényeket szolgálta ki a 2023 szeptemberében elindított 20E viszonylat[3], amely gyors kapcsolatot adott a pályaudvar és a BMW gyár között (*2. ábra*).



2. ábra: A BMW kiszolgálását végző nappali helyi autóbusz-vonalak Debrecenben napjainkban (a 71/71A/71H viszonylat 2024. szeptemberéig 20E viszonylatként működött) (Forrás: saját szerkesztés[4])

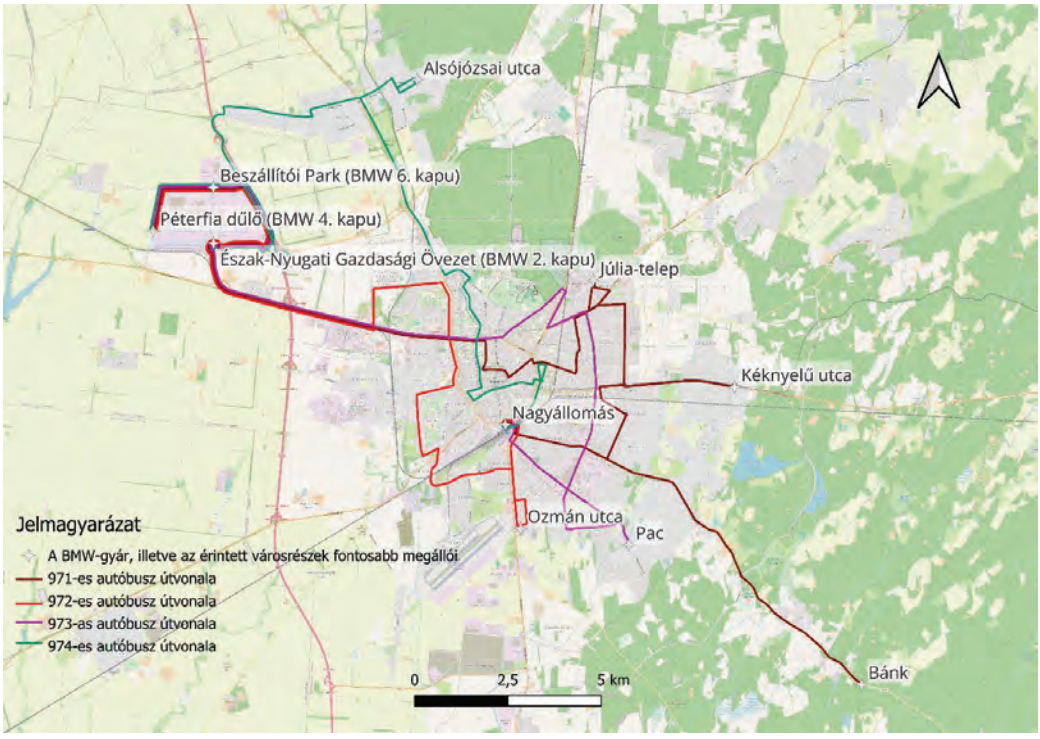
A foglalkoztatotti létszám növekedése következtében 2024 szeptemberében három területen is változások következtek be: egyrészt egy új 70-es vonalcsoport került bevezetésre, és az ebbe tartozó három viszonylat (és három betétviszonylat) már a város sokkal több részét kapcsolta be a közlekedésbe. Másrészt a vonalcsoportba tartozó és „A" betűvel jelölt viszonylatok már nem csak az üzem déli részén elhelyezkedő megállóban álltak meg, hanem az üzem területét övező utakon közlekedve megálltak a BMW-t és az Alvállalkozó Zónát elválasztó BMW körúton is. Így a vállalat északi egységében, illetve az Alvállalkozói Zónában elhelyezkedő cégek munkavállalói

3 https://dkv.hu/hirek/704/ujabb-jaratokat-indit-a-dkv

4 https://www.bmwgroup.jobs/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_jobs/hu/about-us/our-benefits/260630_DOC_transportation_maps_2026June.pdf (letöltve: 2026. június 30.)
https://dkv.hu/hirek/704/ujabb-jaratokat-indit-a-dkv (letöltve: 2025. december 7.)

számára tették könnyebbé a közlekedést. Harmadrészt a 20E viszonylat utódjának tekinthető 71/71A már nem gyorsjáratként közlekedett, így sokkal több helyen állt meg a városban (a megállóhelyek száma 10-ről 16-ra nőtt). A három viszonylat városon belüli útvonalát tekintve (*2. ábra*) igen határozott térbeli elkülönülés figyelhető meg: a 71/71A viszonylatokon közlekedő járatok a város középső (pl. Belváros), a 72/72A viszonylatokon rendszeresített járatok a város nyugati (pl. Tócóskert, Nagysándor-telep), míg a 73/73A jelzésű autóbuszok a város keleti (pl. Dobozi-lakótelep) és északi részét (pl. Sétakert) kapcsolják össze a BMW-gyárral (a járatok útvonalában 2024 szeptembere óta csak az útfelújítások miatt következett be 1-2 ideiglenes változás).

A debreceni üzem által előállított személygépkocsik iránti növekvő igény kielégítése érdekében 2026 februárjában beindult a második műszak (ez 15.00 órától 24.00 óráig tart), amely újabb változtatásokat igényelt a helyi közlekedés térszerkezetében. Elindultak az éjszakai járatok (971, 972, 973, 974), amelyek – annak következtében, hogy egyéb közösségi közlekedési kapcsolatok az éjfél utáni időszakban nem léteznek – a város szinte teljes területét lefedik. Ennek szellemében sokkal hosszabb útvonalon közlekednek (*3. ábra*), és eljutnak több, az egyéb belterületi kategóriába tartozó településrészre is (pl. Józsa, Bánk, Pac).



3. ábra: A BMW kiszolgálását végző éjszakai helyi autóbusz-vonalak Debrecenben napjainkban (Forrás: alapján saját szerkesztés[5])

Az egyes viszonylatokon közlekedő járatok számát tekintve (*2. táblázat*) egyrészt jelentős különbségek, másrészt folyamatos fejlődés figyelhető meg. Az előbbi csoportba sorolható, hogy a 20E, illetve a„jogutódjának" tekinthető 71/71A/71H vonalon sokkal sűrűbben közlekednek az autóbuszok. Ennek a hátterében egyrészt a már korábban említett hosszabb „történelmi" múlt, másrészt az a tény áll, hogy ez a vonal áthalad a város legforgalmasabb csomópontjain (pl. Segner tér, Malompark), és az itteni közösségi közlekedési kapcsolódások

5 https://www.bmwgroup.jobs/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_jobs/hu/about-us/our-benefits/260630_DOC_transportation_maps_2026June.pdf (letöltve: 2026. június 30.)

(átszállási lehetőségek) biztosítása nagyobb járatszámot igényel. A folyamatos fejlődés jeleként tapasztalható járatszám-növekedés alapvetően a gyár működési rendjének a változására vezethető vissza. Egyrészt 2025 októberében a folyamatos termelés kialakulása következtében bevezetésre került a 6.00 és 15.00 óra közötti műszak, és ez a városközpont irányába egy újabb járat beiktatását tette szükségessé (a szellemi dolgozók és a kiszolgáló személyzet esetében megmaradt a 16.00 órás munkabefejezés). Másrészt 2026 februárjában elindult a második műszak (emellett az elektromobilitási üzem napjainkban már három műszakban, azaz 24.00 és 06.00 óra között is üzemel), és ennek hatására a délutáni és az éjszakai órákban is biztosítani kellett a munkavállalók el-, illetve hazajutását.

Év, hónap/viszonylat	20E [járat/irány/munkanap]	71/71A/71H [járat/irány/munkanap]	72/72A [járat/irány/munkanap]	73/73A [járat/irány/munkanap]
2023. IX.	12/12	–	–	–
2024. IX.	–	23/22	2/1	2/1
2025. X.	–	24/23	2/2	2/2
2026. II.	–	27/23	3/2	3/2
2026. VII.	–	30/23	3/2	3/

2. táblázat: A BMW debreceni gyárát kiszolgáló viszonylatokon munkanapokon közlekedő helyi járatok száma (BMW irányába/a városközpont irányába) (Forrás: DKV honlapja[6])

3. 2. A helyközi (regionális) közlekedés

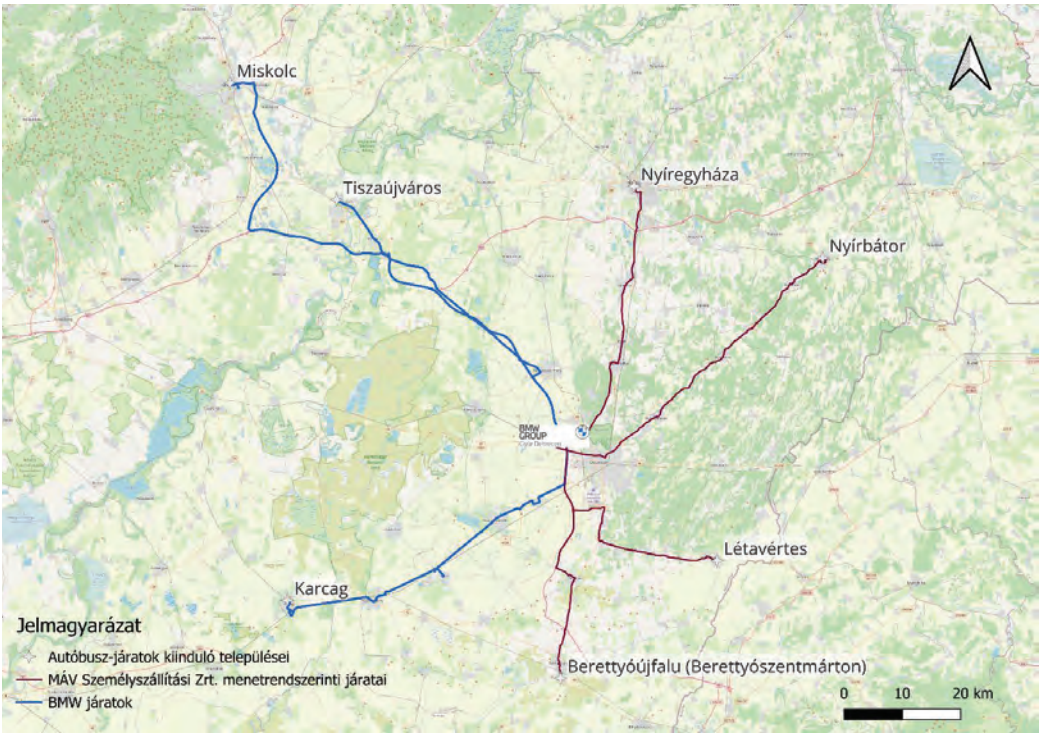
A termelés előkészítése, majd beindulása egyre nagyobb létszámigénnyel járt, és ennek következtében a BMW mind nagyobb földrajzi térségből volt kénytelen biztosítani munkaerőellátást. A vállalat a dolgozók szállítását alapvetően kétfajta módszer segítségével oldotta meg. Egyrészt a napjainkban már a MÁV Személyszállítási Zrt. (korábbi néven VOLÁNBUSZ Zrt.) 2024 szeptemberében négy régióbeli, nagyobb településről (Nyíregyháza, Nyírbátor, Létavértes, Berettyóújfalu) indított menetrendszerinti járatokat a BMW gyárhoz (*4. ábra*).

A járatok rendszerében az elmúlt időszakban több változás is történt (*5. ábra*): 2025 júliusában Hajdúnánás, 2025 októberében Balmazújváros, majd 2026 februárjában Téglás (itt a korábban Nyíregyháza felől közlekedő járat vált önállóvá) is bekapcsolódott ebbe a rendszerbe (a folyamatosan növekvő dolgozói létszám hatására Nyíregyházáról a kezdetektől, míg Berettyóújfaluból 2025 decemberétől közlekednek rásegítő járatok is). Emellett a berettyóújfalui, a létavértesi és a nyírbátori járatok indulási helyei módosultak: az előbbi 2025 októberében Sárrétudvariba, majd 2026 februárjában Szerepre, a létavértesi 2026 februárjában Álmosdra, míg a nyírbátori 2026 júniusában Mátészalkára került át.

Másrészt egy meghívásos tenderpályázat keretében kiválasztott K&V Kft. a BMW megbízásából több településről is indít BMW-partnerjáratokat a debreceni gyárhoz. Az első járatok 2024 októberében indultak Miskolcról, Tiszaújvárosból és Karcagról, majd 2025 októberében 13 település, 2026 februárjában 14 település, 2027 júliusában pedig 15 település működött a rendszerben, mint kiinduló állomás (*5. ábra*). A növekvő munkaerőigény kielégítése érdekében 2026 júliusában jelentős változás következett be: a magyar-román határ túloldaláról, Margittáról is elindultak a BMW-járatok a debreceni üzemhez, és a tervek szerint szeptember 1-jétől Nagyvárad is kiinduló állomás lesz.

Az új vonalak beindítása, illetve a már meglévők útvonalának módosítása több tekintetben is jelentős változást idézett elő (*3. táblázat*). Egyrészt nagymértékben nőtt (és napjainkban már meghaladja a 100 darabot) azon települések száma, ahonnan bejárnak a munkavállalók a BMW debreceni gyárába dolgozni. Másrészt jelentős mértékben emelkedett a megállóhelyek száma is, amely részben az új települések bekapcsolódásának, részben pedig annak a ténynek köszönhető, hogy a foglalkoztatottak jobb kiszolgálása érdekében egy-egy járat egy településen egyre több helyen áll meg (pl. Polgár: 2→3, Téglás: 3→6). Harmadrészt – összhangban a korábban bemutatott változásokkal – kb. háromszorosára nőtt az autóbuszok által egy nap, egy irányba megtett teljesítmény.

6 https://dkv.hu/hirek/704/ujabb-jaratokat-indit-a-dkv (letöltve: 2025. december 7.)



4. ábra: A BMWkiszolgálását végző helyközi autóbuszjáratok 2024. októberében (Forrás: saját szerkesztés[7])

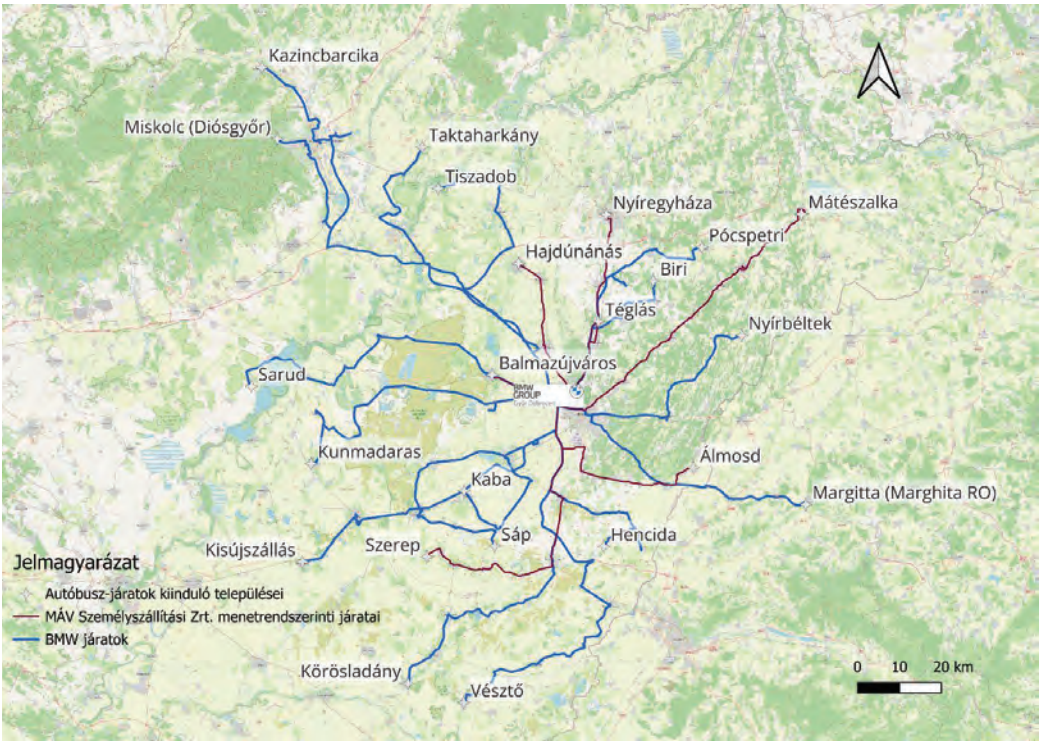
A BMW által kiváltott ingázásban érintett települések földrajzi elhelyezkedését vizsgálva (*6. ábra*) megállapítható, hogy a kezdeti mozaikos képet 2026 közepére egy Debrecen körül formálódó, egyre összefüggőbbé és tágabbá váló gyűrű váltotta fel.

Az ingázásban érintett települések földrajzi jellegzetességeit vizsgálva (*4. táblázat*) megállapítható, hogy a kezdeti időszakban Hajdú-Bihar vármegye dominált, 2025 második felétől ugyanakkor egyre nagyobb szerepet kezdtek el betölteni a szomszédos vármegyék is. A földrajzi közelségnek és az M35-ös autópálya által jelentett közlekedési kapcsolatoknak köszönhetően ez elsősorban Szabolcs-Szatmár-Bereg és Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyéket jelentette, ugyanakkor az utóbbi időszakban már Jász-Nagykun-Szolnok, Békés és Heves vármegyék is megjelentek a BMW beingázási térképén.

Az autóipari munkavégzés céljából történő ingázás kiemelkedő beágyazódását az észak-alföldi régióba jól mutatja Jász-Nagykun-Szolnok vármegye esete, ahol a BMW-járatok hálózata 2026 februárjában szinte összeért a kecskeméti Mercedes munkásjárataival. A Mercedes-hálózat keleti végpontját jelentő Fegyvernek és a BMW-hálózat nyugati végpontját jelentő Kisújszállás között mindössze 19 km és egy település (Kenderes) található.

A *4. táblázatból* levonható másik fontos következtetés az érintett települések lakosságszámával van kapcsolatban: általános tendenciának tekinthető az érintett települések átlagos lakosságszámának a csökkenése. Véleményünk szerint ez elsősorban azzal magyarázható, hogy a vállalat az első időszakokban – tekintettel a nagyobb potenciális munkaerő-tartalékra – az érintett vármegyék nagyobb településeit célozta meg (ez Szabolcs-Szatmár-Bereg és Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyékben a vármegyék székhelyeit is magában foglalta), és csak később kapcsolta be a közlekedési hálózatba az alacsonyabb lakosságszámú településeket.

7 https://www.bmwgroup.jobs/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_jobs/hu/about-us/our-benefits/260630_DOC_transportation_maps_2026June.pdf (letöltve: 2026. június 30.)



5. ábra: A BMW kiszolgálását végző helyközi (regionális) autóbuszjáratok 2026. júliusában (Forrás: saját szerkesztés[8])

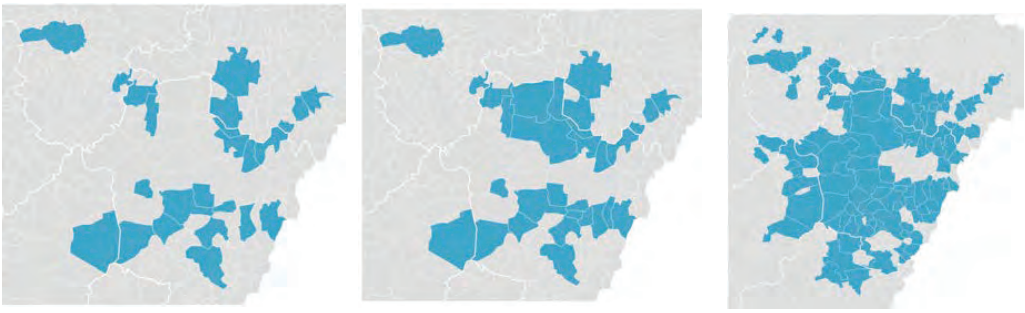
		2024. október	2025. július	2025. november	2026. február	2026. július
A	viszonylatok száma (db)	4	5	6	7	7
	kiszolgált települések száma (db)	14	20	27	30	34
	megállóhelyek száma (db)	21	35	55	67	75
B	viszonylatok száma (db)	3	3	13	14	15
	kiszolgált települések száma (db)	9	10	60	72	75
	megállóhelyek száma (db)	19	21	96	131	146
teljesítmény (km/nap/irány)		513	565	1.549	1.708	1.906

A – MÁV Személyszállítási Zrt. járatai, **B** – BMW-partner járatok

3. táblázat: A BMW debreceni gyárát kiszolgáló helyközi viszonylatok változása 2024. október és 2026. február között (Forrás: Internet[9])

8 https://www.bmwgroup.jobs/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_jobs/hu/about-us/our-benefits/260630_DOC_transportation_maps_2026June.pdf (letöltve: 2026. június 30.)

9 https://www.mavcsoport.hu/mercedes



6. ábra: A BMW debreceni gyárának ingázásában érintett magyarországi települések földrajzi elhelyezkedése 2024 októberében (A), 2025 júliusában (B) és 2026 júliusában (C) (Forrás: saját szerkesztés[10])

Vármegye	Paraméter	A	B	C	D	E
Hajdú-Bihar vármegye	érintett települések száma (db)	15	21	44	56	60
	érintett települések lakosságszáma (fő)	143 801	205 542	271 793	297 142	313 118
	érintett települések átlagos lakosságszáma (település/fő)	9 586	9 788	6 177	5 306	5 219
Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye	érintett települések száma (db)	5	5	16	20	23
	érintett települések lakosságszáma (fő)	145 632	145 632	192 609	203 461	222 875
	érintett települések átlagos lakosságszáma (település/fő)	29 126	29 126	12 038	10 173	9 690
Borsod Abaúj-Zemplén vármegye	érintett települések száma (db)	2	2	12	13	14
	érintett települések lakosságszáma (fő)	161 467	161 467	229 744	236 562	238 452
	érintett települések átlagos lakosságszáma (település/fő)	80 734	80 734	19 145	18 197	17 032
Jász-Nagykun-Szolnok vármegye	érintett települések száma (db)	1	1	6	6	6
	érintett települések lakosságszáma (fő)	18 793	18 793	47 256	47 256	47 256
	érintett települések átlagos lakosságszáma (település/fő)	18 793	18 793	7 876	7 876	7 876
Békés vármegye	érintett települések száma (db)	0	0	3	4	4
	érintett települések lakosságszáma (fő)	0	0	17 824	24 432	24 432
	érintett települések átlagos lakosságszáma (település/fő)	0	0	5 941	6 108	6 108
Heves vármegye	érintett települések száma (db)	0	0	2	2	2
	érintett települések lakosságszáma (fő)	0	0	3 823	3 823	3 823
	érintett települések átlagos lakosságszáma (település/fő)	0	0	1 912	1 912	1 912

A – 2024. október, B – 2025. július, C – 2025. október, D – 2026. február, E – 2026. július

4. táblázat: A BMW debreceni gyárát kiszolgáló helyközi viszonylatok térbeli jellemzőinek változása 2024. október és 2026. július között a 2025. január 1-i állandó népességadatokkal számolva (Hajdú-Bihar vármegye esetében Debrecen nélküli adatok) (Forrás: KSH-Tájékoztatási adatbázis)

10 https://www.bmwgroup.jobs/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_jobs/hu/about-us/our-benefits/260630_DOC_transportation_maps_2026June.pdf (letöltve: 2026. június 30.)

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány legfontosabb megállapításait az alábbiakban lehet összefoglalni. A debreceni BMW-gyár egyre növekvő számú munkavállalója munkába járásának megkönnyítése érdekében, figyelve a környezetvédelmi szempontokra is, az elmúlt másfél-két évben jelentős közösségi közlekedési hálózat alakult ki. A helyi autóbusz-közlekedés esetében a kialakított vonalak alapvetően lefedik a város egész területét, a második műszak beindítása pedig további bővülést váltott ki. A helyközi közlekedés vonatkozásában – a munkaerőigény növekedésének hatására – nagymértékű járatszám-növekedés zajlott le, és ennek következtében Debrecen körül egy szinte teljesen összefüggő, napjainkban már több vármegye területére is kiterjedő ingázási körgyűrű jött létre. Emellett a termelés felfutása következtében 2026 nyarától kezdve – kiegészítve a vasúti közlekedés területén már korábban meglévő kapcsolatot – a magyar-román határ túloldaláról is megkezdődött a foglalkoztatottak autóbusszal történő szervezett utaztatása.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a Debreceni Egyetem, Debrecen Megyei Jogú Város Önkormányzata és a BMW Manufacturing Hungary Kft. által támogatott DEB AUT kutatócsoport munkájának keretében készült.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Balcsók, I. (2021) A távolsági ingázás néhány demográfiai sajátossága. Metszetek-Társadalomtudományi folyóirat, 10(2), pp. 3-19. DOI: https://doi.org/10.18392/metsz/2021/2/1

Balogh, P., Pete, M. (2018) Bridging the gap: Cross-border integration in the Slovak–Hungarian borderland around Štúrovo–Esztergom. Journal of Borderlands Studies, 33(4), pp. 605-622. DOI: https://doi.org/10.1080/08865655.2017.1294495

Czirfusz, M. (2022) Akkumulátoripari fellendülés Magyarországon: Az értéklánc szereplői, dolgozói és szakszervezeti perspektívák. Munkabeszámoló. Friedrich-Ebert-Stiftung Budapesti Irodája, Budapest. URL: https://collections.fes.de/publikationen/ident/fes/19980

Kovács, Z., Egedy, T., Szabó, B. (2015) Az ingázás területi jellemzőinek változása Magyarországon a rendszerváltozás után. Területi Statisztika, 55(3), pp. 233-253.



Spatial Characteristics of Local and Intercity Bus Routes Established to Serve the BMW Investment in Debrecen

Keywords: Debrecen, BMW, bus services, local transport, interurban transport

The purpose of this study is to illustrate the changes that have taken place in recent years in local and interurban bus public transportation to ensure a sufficient labor supply for the BMW plant in Debrecen, which began full-scale production in October 2025 and currently employs more than 4,000 people. Regarding local transportation, it can be noted that the newly established bus lines cover a significant portion of the city's territory, and this is particularly true for nighttime services. As a result of the increase in the number of lines in interurban transport, an increasingly interconnected commuter network has emerged that now extends across the territories of several counties.

Közlekedési profilok klaszterelemzése és a kerékpármegosztó szolgáltatás bővítési lehetőségei Rákosmentén

Tóth Péter[1] – Esztergár-Kiss Domokos[2,*]

[1]BSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék
[2]tudományos főmunkatárs, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék
*felelős szerző

e-mail: toth.peter201@gmail.com, esztergar-kiss.domokos@kjk.bme.hu

Kézirat benyújtva: 2026.02.16.
Kézirat elfogadva: 2026.07.20.

© Tóth P., Esztergár-Kiss D.

Absztrakt

A tanulmány a közösségi kerékpármegosztó szolgáltatás városperemi alkalmazhatóságát vizsgálja Rákosmentén a 15 perces város koncepciójának keretében. Egy 2025-ben végzett kérdőíves felmérés adatai alapján Látens Osztályos Klaszterelemzés segítségével azonosítja a lakosság eltérő mobilitási attitűdjeit. Az eredmények rámutatnak, hogy a kerületben jelentős, de heterogén kereslet mutatkozik egy integrált, kötöttpályás kapcsolatokra épülő kerékpármegosztó rendszer iránt, amely hozzájárulhat az autóhasználat csökkentéséhez és a helyi elérhetőség javításához.

Kulcsszavak: *közösségi kerékpármegosztás, 15 perces város, Látens Osztályos Klaszterelemzés*

DOI: https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.5.5

1. BEVEZETÉS

A nagyvárosi közlekedési rendszerek az elmúlt évtizedben jelentős strukturális átalakuláson mentek keresztül, ami alapjaiban változtatta meg a mobilitáshoz kapcsolódó társadalmi elvárásokat, felhasználói szokásokat és közpolitikai prioritásokat. A fenntarthatósági szempontok erősödése, a digitalizáció térnyerése, valamint a mobilitási igények változása hozzájárultak ahhoz, hogy a városok működésében meghatározó szerepet kapjanak a környezetkímélő, rugalmas és hozzáférhető mobilitási eszközök és szolgáltatások. A hagyományos közlekedési módok – különösen az egyéni gépjárműhasználat – korlátozott kapacitása, térfoglalása és emissziós hatásai miatt egyre több város keresi azokat az alternatív megoldásokat, amelyek érdemben képesek csökkenteni a közlekedési rendszer terhelését, miközben javítják az életminőséget és a közterületek használhatóságát.

Ebben a kontextusban vált kiemelten fontossá a rövidtávú, hálózatba szervezett közlekedési megoldások fejlesztése, valamint azoknak az eszközöknek a bevezetése, amelyek képesek hatékonyan kiegészíteni vagy helyettesíteni a nagy rendszerszintű közlekedési hálózatokat. A kerékpárhasználat, illetve a megosztáson alapuló szolgáltatások – különösen a közösségi kerékpármegosztó rendszerek – nem csupán a mobilitási kínálat bővítését szolgálják, hanem hozzájárulnak az élhetőbb, emberközpontú városi környezet kialakításához is. A városi mobilitás fejlődése ugyanakkor nem értelmezhető egységesen: a különböző településszerkezeti adottságok és társadalmi sajátosságok eltérő feltételeket teremtenek az új mobilitási megoldások befogadására. Míg a sűrűn beépített városmagokban a kerékpáros és megosztáson alapuló rendszerek gyors és intenzív terjedése figyelhető meg, addig a peremkerületi térségekben ezek alkalmazása jóval összetettebb kérdéseket vet fel.

A mikromobilitási eszközök megjelenése és terjedése a városi közlekedésben válasz lehet a nagyvárosok számos közlekedési kihívására (Kienteka et al., 2018; Sulikova et al., 2021). Környezetvédelmi és egészségügyi előnyeik miatt a döntéshozók és a várostervezők a mikromobilitást a fenntartható városi mobilitási stratégia fontos elemeként kezelik (Kazemeini et al., 2023). Kutatások kimutatták, hogy a kerékpáros és mikromobilitási infrastruktúra fejlesztése segíthet csökkenteni a gépjárműforgalmat és a levegőszennyezést, miközben növeli a lakosság fizikai aktivitását és javítja a közegészséget (Iwińska et al., 2018). A megosztott mikromobilitási szolgáltatások – például a kerékpár vagy e-roller megosztás – kiegészítik a közösségi közlekedést, lehetővé téve a kombinált utazásokat (pl. tömegközlekedés és kerékpár használata egy utazáson belül) (Hong et al., 2023). Ezáltal első- és utolsó kilométeres megoldásként szolgálnak: segítenek áthidalni a tömegközlekedési megálló és a végső úti cél közötti távolságot, növelve a közösségi közlekedés hatékonyságát (Bean et al., 2021).

A közösségi kerékpármegosztó rendszerek sikeres működése számos nemzetközi példában bizonyított, azonban ezek hatékonysága erősen függ a városi környezet adottságaitól és a rendszer kialakításától. A szakirodalom alapján az egyik legfontosabb tényező a közösségi közlekedéssel való integráció (Bean et al., 2021). Azok a rendszerek, amelyek közlekedési csomópontokhoz kapcsolódnak, jelentősen növelik a használhatóságot és a kihasználtságot.

További fontos és jó gyakorlat a hálózat decentralizált bővítése, amely lehetővé teszi, hogy a rendszer fokozatosan alkalmazkodjon a felhasználói igényekhez és a helyi sajátosságokhoz. A szakirodalom rámutat arra, hogy a külvárosi vagy alacsonyabb sűrűségű területeken a hagyományos, sűrű állomáshálózatra épülő modell önmagában nem elegendő, hanem célzott, csomóponti alapú telepítés szükséges (Hess and Schubert, 2019). Emellett a megfelelő minőségű és biztonságos kerékpáros infrastruktúra megléte alapvető feltétele a használati hajlandóság növelésének.

A felhasználói attitűdök szintén kulcsszerepet játszanak a rendszerek sikerében. Korábbi kutatások kimutatták, hogy a környezeti szempontokra érzékeny, aktív közlekedési módokat preferáló felhasználók nagyobb valószínűséggel fogadják el a megosztáson alapuló mikromobilitási szolgáltatásokat (Bissel et al., 2024). Ennek megfelelően a rendszer bevezetése során kiemelten fontos a különböző felhasználói csoportok igényeinek figyelembevétele és a célzott fejlesztési megközelítés alkalmazása.

A kerékpármegosztó szolgáltatások alkalmazhatósága Rákosmentén különösen időszerű kérdés, hiszen a városrész jelenleg nem rendelkezik ilyen jellegű szolgáltatással, miközben Budapest több kerületében már bizonyított a rendszer működőképessége és társadalmi hatékonysága. A kerület közlekedéspolitikai döntéshozói és fejlesztési szereplői egyre gyakrabban foglalkoznak azzal a kérdéssel, hogy milyen feltételek mellett, milyen tervezési elvek mentén és milyen társadalmi háttérrel lenne érdemes egy új mobilitási szolgáltatást integrálni a helyi közlekedési rendszerbe. A kerékpármegosztó rendszerek potenciális bevezetése nem csupán közlekedéstervezési kérdés, hanem tágabb városfejlesztési összefüggésben is értelmezhető,

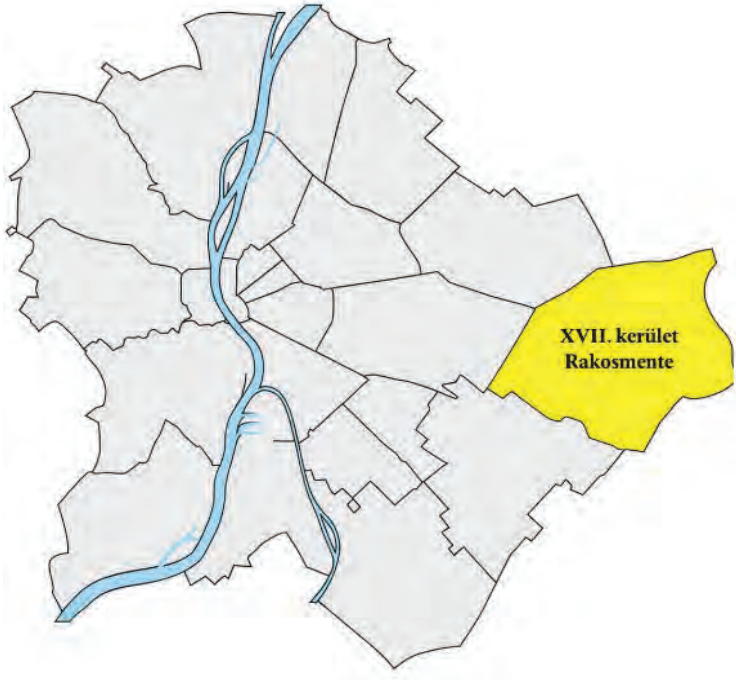
különösen a 15 perces város koncepciójának fényében, amely a helyi hozzáférhetőség javítását és bizonyos szolgáltatások eléréséhez szükséges utazások csökkentését helyezi előtérbe.

A tanulmány célja, hogy elemezze a rákosmenti környezet sajátosságait, amelyek befolyásolják egy kerékpármegosztó rendszer sikeres bevezetésének lehetőségeit. Először Budapest mikromobilitási helyzetét mutatjuk be, kiemelt figyelmet fordítva arra, hogy a kerület hogyan tudna integrálódni a már működő szolgáltatási hálózatba. A kutatás empirikus részében a rákosmenti lakosság mobilitási szokásainak és attitűdjeinek feltárására kerül sor, amely statisztikai módszerekkel vizsgálja, hogy mely felhasználói csoportok lennének leginkább nyitottak a kerékpármegosztó szolgáltatás használatára, és milyen tényezők befolyásolják ezeknek a csoportoknak a mobilitási döntéseit.

A második fejezet a mikromobilitási szolgáltatások hátterét mutatja be, a harmadik fejezet Budapest mobilitási rendszerét ismerteti. A negyedik fejezet a kutatás céljait mutatja be, majd az ötödik fejezetben az alkalmazott módszertan részletes leírására kerül sor. A hatodik fejezet a módszer alkalmazásáról szól a felmérési adatok felhasználásával. A hetedik és nyolcadik fejezetek a klaszter paramétereket és profilokat ismertetik, végül a cikket egy összefoglalás zárja le.

2. A KERÉKPÁRMEGOSZTÓ RENDSZER RÁKOSMENTI BŐVÍTÉSÉNEK VIZSGÁLATA

Budapest közlekedési rendszere az elmúlt években jelentős átalakuláson ment keresztül, amelyben egyre fontosabb szerepet kapnak a fenntartható, rugalmas és gyorsan hozzáférhető mobilitási megoldások. A mikromobilitási eszközök – különösen a közösségi kerékpárok – mára a városi közlekedés meghatározó részévé váltak. A MOL Bubi rendszer fejlesztése és modernizációja jól illeszkedik ehhez a trendhez, ugyanakkor a szolgáltatás területi lefedettsége továbbra is nagyrészt a belvárosi és sűrűn lakott kerületekre koncentrálódik. A külső városrészek, például Rákosmente, még nem részei a hálózatnak, noha a kerület mérete és közlekedési igényei alapján a bővítés indokolt lenne.



1. ábra: Rákosmente elhelyezkedése Budapest közigazgatási térképén (forrás: https://kozetek.blog.hu/2021/05/02/17_tortenete)

Rákosmente Budapest egyik legnagyobb és leginkább kertvárosias jellegű kerülete *(1. ábra)*, ahol a lakók jelentős része napi rendszerességgel ingázik a belváros irányába, és nagy arányban támaszkodnak egyéni közlekedési módokra, elsősorban az autóhasználatra. A jelentős távolságok, a kertvárosias lakóövezetek dominanciája, a tömegközlekedési csomópontok egyenetlen eloszlása és a vasútvonalakra épülő ingázási mintázatok együttesen olyan mobilitási környezetet hoznak létre, amelyben a közösségi kerékpármegosztás bevezetése nem

csupán közlekedési alternatívát, hanem a helyi összeköttetések javítását is jelentheti. A kutatás ezért hangsúlyosan vizsgálja, hogy melyek azok a konkrét mindennapi mobilitási problémák, amelyekre egy jól kialakított MOL Bubi hálózat valós, közvetlen megoldást kínálhat.

A *2. ábra* a XVII. kerület belső szerkezetét ábrázolja, feltüntetve a kerületet alkotó főbb városrészeket, például Rákoskeresztúrt, Rákosligetet, Rákoscsabát, Rákoskertet és Akadémiaújtelepet. A térkép jól szemlélteti a településrészek elkülönülését és a kerület tagolt, több városrészből álló karakterét. Ez a szerkezeti sokszínűség fontos háttérinformációt nyújt a helyi mobilitási igények értelmezéséhez és a mikromobilitási rendszer bevezetésére alkalmas helyszíneinek vizsgálatához.

A MOL Bubi rendszer Rákosmentére történő kiterjesztésének vizsgálata olyan összetett kutatási keretbe illeszkedik, amely egyszerre kívánja feltárni a külvárosi mobilitási környezet sajátosságait és azonosítani a hosszútávú fejlesztési lehetőségeket. A kutatás egyik fő célja annak részletes megértése, hogy a rákosmenti lakosság társadalmi-demográfiai összetétele, a háztartások közlekedési eszközökkel való ellátottsága, valamint a mindennapi közlekedési szokások milyen módon befolyásolják a közösségi kerékpármegosztó rendszer iránti érdeklődést és a szolgáltatás potenciális használatát. A vizsgálat ugyanakkor arra is törekszik, hogy olyan adatokkal és elemzési következtetésekkel szolgáljon, amelyek közvetlenül támogathatják a MOL Bubi hálózat tudatos, igényalapú és fenntartható fejlesztését.



2. ábra: Rákosmente településrészei (forrás: https://hetfa.hu/2022/08/25/rakosmente-integralt-telepulesfejlesztesi-strategiaja-2022-2025/)

A 15 perces város koncepciója szerint az egyén mindennapi tevékenységei rövid távolságon belül történnek. Ez a megközelítés külvárosi környezetben különösen releváns, hiszen a nagyobb távolságok és a többközpontú településszerkezet miatt a lakosság sokszor hosszú utazásokra kényszerül. A kutatás fontos célja ezért annak feltárása, hogy a MOL Bubi miként járulhat hozzá a 15 perces elérhetőség javításához Rákosmentén, és hogy a közösségi kerékpármegosztás milyen módon kapcsolható össze a kerület mindennapi életének meghatározó célpontjaival.

3. A KUTATÁS CÉLJA, KUTATÁSI KÉRDÉSEK ÉS HIPOTÉZISEK

Budapesten több megosztott mikromobilitási szolgáltatás is elérhető, Rákosmentén viszont jelenleg nem működik közösségi kerékpárrendszer, noha a Dott elektromos rollerei elérhetők a területen. Éppen ezért különösen fontos annak megértése, hogy a lakosság milyen mértékben lenne nyitott egy közösségi kerékpár-szolgáltatás bevezetésére.

A vizsgálat során megfogalmazott fő kutatási kérdések arra keresnek választ, hogy a lakosság mely jellemzői határozzák meg leginkább a közösségi kerékpározáshoz való viszonyt, és mely tényezők befolyásolják a szolgáltatás elfogadottságát.

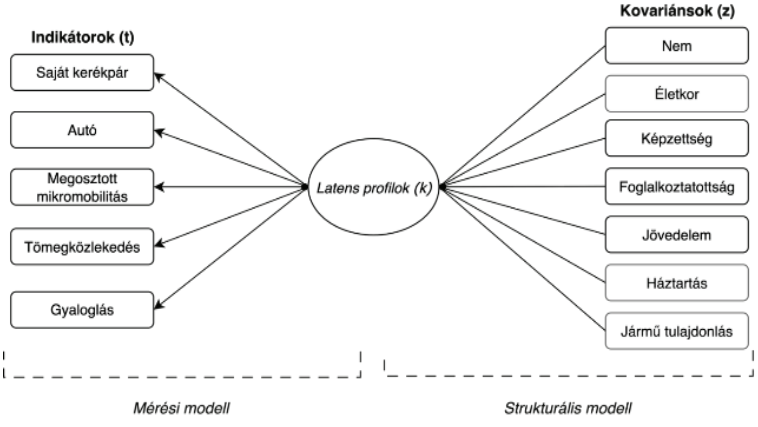
Kiemelt kérdés, hogy a nem, az életkor, az iskolai végzettség, a foglalkoztatási helyzet, a jövedelmi viszonyok vagy a lakhatási forma miként alakítják a mikromobilitási rendszerekhez való

viszonyulást. A kutatás részletesen vizsgálja továbbá a háztartások közlekedési eszközökkel való ellátottságát: rendelkeznek-e saját kerékpárral, e-bike-kal vagy autóval, és ezek megléte hogyan hat a közösségi kerékpármegosztó rendszer használatára. Az eszközellátottság ugyanis összefügg a mobilitási attitűdökkel és a nyitottsággal a megosztott mikromobilitás iránt.

Mindemellett a kutatás azt is értékeli, hogy a közösségi kerékpármegosztás miként járulhat hozzá a kerület tömegközlekedésének hatékonyabb működéséhez. Rákosmentén kiemelt szerepe van a vasútállomásoknak és a nagyobb autóbusz-közlekedési csomópontoknak, amelyek sok lakos számára jelentik a fő kapcsolatot a belváros felé. A vizsgálat ezért arra is keresi a választ, hogy a MOL Bubi miként segítheti ezen csomópontok könnyebb elérését, csökkentve ezzel a tömegközlekedésre való ráhordás időigényét. Ezen összefüggések feltárása hozzájárulhat ahhoz, hogy a MOL Bubi ne pusztán egy új közlekedési eszközként jelenjen meg, hanem integrált elemévé váljon a kerület teljes mobilitási rendszerének.

4. LÁTENS OSZTÁLYOS KLASZTERELEMZÉS (LCCA – LATENT CLASS CLUSTER ANALYSIS) MÓDSZERTANI LEÍRÁSA

Az elemzés módszertani keretét a *3. ábra* foglalja össze, amely bemutatja, hogyan kapcsolódnak egymáshoz az indikátorok *(t),* a kovariánsok *(z)* és a látens profilok *(k).*



3. ábra: Látens attitűdprofilok modellezési keretrendszere (forrás: saját szerkesztés)

Az attitűd- és viselkedésváltozók elemzése előtt megvizsgáltuk, hogy a kérdőív logikailag és statisztikailag alkalmas-e klaszterezésre. A faktorstruktúrát feltáró elemzést (EFA) ennél a kutatásnál nem alkalmaztuk, mivel a kérdőívben szereplő változók döntően nominális, illetve ordinális jellegűek voltak (pl. nem, életkor, közlekedési eszköz-tulajdonlás, közlekedési gyakoriság), így közvetlenül inputként kerültek az LCCA modellbe. A nemzetközi szakirodalom szerint a nominális és ordinális indikátorok közvetlen bevonása gyakori eljárás a mobilitási klaszterezésben (Bissel et al., 2024).

Az LCCA olyan statisztikai módszer, amely a válaszadók közötti rejtett heterogenitás azonosítására szolgál, azaz olyan csoportok feltárására, amelyek a felszíni demográfiai különbségek alapján nem lennének elkülöníthetők. A módszer célja maximalizálni a klaszterek közötti különbségeket, miközben a csoportokon belüli struktúrát homogénné teszi (Sasidharan et al., 2015).

A modell általános formáját az alábbi képlet írja le (Vermunt et al., 2016):

$$P(y_i|z_i^{cov}) = \sum_{k=1}^{K} P(k|z_i^{cov}) \prod_{t=1}^{8} P(y_{it}|k, z_i^{cov})$$

A fenti egyenlet azt mutatja be, hogy a Látens Osztályos Klaszterelemzés (LCCA) két fő valószínűségi komponensre épül. Az első komponens a klasztertagság valószínűsége, vagyis annak valószínűsége, hogy egy válaszadó a demográfiai és háztartási kovariánsai alapján melyik látens osztályba tartozik: $P(k \mid z_i^{cov})$. A második komponens a mérési modell valószínűsége, vagyis, hogy az adott látens osztályba tartozó személy milyen valószínűséggel adja a megfigyelt válaszokat az indikátorokra: $P(y_i \mid z_i^{cov})$.

A klaszterek optimális számát úgy határoztuk meg, hogy a modell egyszerre vegye figyelembe

az indikátorváltozókat (pl. kerékpár-tulajdonlás, autóhasználat, gyaloglási vagy mikromobilitási gyakoriság) és a kovariánsokat (pl. életkor, végzettség, háztartási típus, jövedelem).

A képletben szereplő y_{it} azt jelöli, hogy az i válaszadó mit jelölt a t indikátorra (például milyen gyakran gyalogol, használ autót vagy közösségi közlekedést a 7-fokú skálán). A k látens osztály egy olyan rejtett kategória, amely összekapcsolja az indikátorválaszokat a kovariánsokkal (z_i^{cov}), vagyis segít feltárni, hogy a háttérváltozók hogyan befolyásolják az egyes attitűdprofilokhoz tartozás valószínűségét.

Az LCCA modelljeinek kiválasztását számos statisztikai mutató segítheti, többek között az Akaike-féle információs kritérium (AIC), a Bayes-féle információs kritérium (BIC), valamint a log-likelihood érték változása (Lo et al., 2001; Weller et al., 2020). A konkrét modell kiválasztásánál a Bayesian Information Criterion (BIC) játszott kulcsszerepet, mivel korábbi vizsgálatok szerint a BIC az egyik legmegbízhatóbb kritérium a látens osztályok optimális számának meghatározására (Nylund et al., 2007), ezért a rákosmenti adatbázison végzett elemzés során is ezt használtuk elsődleges döntési szempontként.

A modellilleszkedés értékelése során több statisztikai mutató került alkalmazásra. A BIC esetében az alacsonyabb érték jobb modellilleszkedést jelez, mivel ez a mutató egyszerre veszi figyelembe a modell illeszkedését és annak komplexitását. A klaszterek optimális számának meghatározásakor ezért a legalacsonyabb BIC-értékkel rendelkező modellt tekintettük a legmegfelelőbbnek.

A Wald-statisztika a kovariánsok magyarázó erejének vizsgálatára szolgál. Magasabb Wald-érték erősebb kapcsolatot jelez az adott változó és a klasztertagság között, míg alacsony érték nem szignifikáns összefüggésre utal.

A p-értékek a statisztikai szignifikancia mérésére szolgálnak. A vizsgálat során a 0,05 alatti p-értékeket tekintettük szignifikánsnak, ami azt jelenti, hogy az adott változó hatása statisztikai szempontból megbízhatónak tekinthető. A 0,05 és 0,10 közötti tartomány gyenge szignifikanciát jelez, míg a 0,10 feletti értékek esetében a változó nem tekinthető szignifikánsnak.

Az elemzést a LatentGold programmal végeztük el, amely kifejezetten az olyan komplex, vegyes típusú változókat tartalmazó modellek becslésére készült, mint az LCCA. A módszer alkalmazása a mobilitáskutatásban széles körben elterjedt, különösen akkor, ha a cél a felhasználói attitűdök, motivációk és viselkedésprofilok feltárása (Bissel et al., 2024; Hess et al., 2019).

5. LCCA MÓDSZERTAN ALKALMAZÁSA

A kérdőíves felmérésre a rákosmenti lakosság körében került sor 2025 júliusában egy professzionális kutatócég által üzemeltetett online kérdőíves platformon lebonyolított felmérés segítségével. A kérdőív során szocio-demográfiai adatokra, a háztartás közlekedési eszközparkjára, valamint a mobilitási gyakoriságra irányultak a kérdések. A mobilitási gyakoriság mérésére hétfokú skála került alkalmazásra, ahol 1 = „kevesebb, mint havonta", míg 7 = „naponta". A vizsgálatból a hiányos vagy érvénytelen válaszokat kizártuk, így végül N = 549 fő adatait használtuk fel a klaszterelemzéshez. A minta nem tekinthető reprezentatívnak a teljes lakosság számára az összes paraméter tekintetében.

Az LCCA elemzés bemeneti változói között olyan szocio-demográfiai és mobilitási jellemzők szerepeltek, amelyek a válaszadók attitűdjeit és közlekedési viselkedését várhatóan befolyásolják. Ezek közé tartozott a nem, az életkor, az iskolai végzettség, a foglalkoztatási státusz, a háztartás típusa és a jövedelmi kategória, valamint a háztartás közlekedési eszközparkja – például a saját kerékpár, e-bike vagy autó megléte. A mintát leíró statisztikákat az *1. táblázat* foglalja össze.

Az *1. táblázat* a rákosmenti kérdőíves adatfelvételben részt vevő válaszadók szocio-demográfiai összetételét mutatja be. A nemek eloszlása közel kiegyensúlyozott, ugyanakkor enyhe női többség figyelhető meg (55,54%), ami megfelel a kerület általános demográfiai struktúrájának. Az életkori összetétel alapján a válaszadók legnagyobb arányban a 25–39 éves (28,13%) és a 40–54 éves (26,32%) korosztályhoz tartoztak, míg az idősebb (≥65 év) csoport aránya 20,33% volt. Ez a megoszlás jól tükrözi a kerület

életkori diverzitását, amely fontos tényező a mikromobilitási szolgáltatások iránti nyitottság megértésében.

	Darab	%		Darab	%
Nem			**Háztartás típusa**		
Férfi	245	44,46%	Gyermekkel élők	173	31,40%
Nő	306	55,54%	Gyermek nélkül élők	378	68,60%
Életkor			**Jövedelem (€/hó)**		
18-24	70	12,70%	<1000 €	120	21,79%
25-39	155	28,13%	1000-1499 €	141	25,59%
40-54	145	26,32%	1500-1999 €	148	26,85%
55-64	69	12,52%	2000-3000 €	100	18,15%
>=65	112	20,33%	>3000 €	42	7,62%
Iskolai végzettség			**Járműtulajdonlás**		
Általános iskola	85	15,43%	Kerékpár	254	46,10%
Középiskola	292	52,99%	e-Kerékpár	27	4,90%
Felsőfokú végzettség	174	31,58%	Roller	22	3,99%
Foglalkoztatottsági státusz			Motorkerékpár	22	3,99%
Foglalkoztatott	369	66,97%	Tömegközlekedési bérlet	308	55,90%
Munkanélküli	17	3,09%	Mikromobilitási bérlet	15	2,72%
Tanuló	50	9,07%	Jogosítvány	296	53,72%
Nyugdíjas	115	20,87%			

1. táblázat: Vizsgálati minta szocio-demográfiai jellemzői (forrás: saját szerkesztés)

Az iskolai végzettséget tekintve a minta több mint fele középfokú végzettséggel rendelkezik (52,99%), míg a felsőfokú végzettséggel bírók aránya 31,58%, ami viszonylag magas értéknek tekinthető egy külvárosi kerület esetében. A foglalkoztatottsági státusz adatai azt mutatják, hogy a válaszadók közel kétharmada (66,97%) aktív foglalkoztatott, míg a nyugdíjasok aránya 20,87%. Ez a szerkezet arra utal, hogy a minta mobilitási igényeit elsősorban a napi ingázási szokások és a munkavégzésből adódó közlekedési szükségletek határozzák meg.

A háztartási jellemzők szerint a kitöltők 31,40%-a él gyermekkel a háztartásban, ami tényező lehet a közlekedési módválasztás és különösen a kerékpárhasználat preferenciáinak értékelése során. A jövedelmi megoszlás alapján a válaszadók nagy része a 1000–1999 € közötti kategóriába tartozik (52%), míg a 3000 € feletti jövedelemmel rendelkezők aránya 7,62%. Ez arra utal, hogy a kerület lakossága jövedelmi szempontból viszonylag heterogén, de a középső jövedelmi réteg dominál.

A közlekedési eszközökhöz való hozzáférés fontos indikátora a mobilitási lehetőségeknek. A válaszadók 46,10%-a rendelkezik saját kerékpárral, viszont jelentősen alacsonyabb az e-bike (4,90%), robogó (3,99%) és motorkerékpár (3,99%) tulajdonlási aránya. A közösségi közlekedési bérlettel rendelkezők magas aránya (55,90%) azt mutatja, hogy a tömegközlekedés továbbra is meghatározó szerepet játszik a kerület mobilitási rendszerében. Emellett a jogosítvánnyal rendelkezők aránya (53,72%) kiemeli az autóhasználat jelentőségét, amely a külvárosi mobilitási minták fontos eleme.

A modellkiválasztás során egytől tíz csoportig terjedő látens osztálymodellek becslésére került sor annak érdekében, hogy a viselkedési- és attitűdmintázatok egyszerűbb és részletesebb reprezentációi egyaránt megvizsgálhatók legyenek. A különböző modellspecifikációk illeszkedési mutatóit a *2. táblázat* foglalja összse, amely átlátható módon teszi lehetővé az egyes modellek teljesítményének összehasonlítását. A tesztelt modellek közül a háromcsoportos LCCA-modell rendelkezett a legalacsonyabb BIC-értékkel. A statisztikai előnyök mellett a háromcsoportos modell jól meghatározott paraméterbecsléseket és egyértelműen értelmezhető csoportarányokat eredményezett, ami módszertanilag is megerősítette a választást. A három csoportot tartalmazó megoldás bizonyult a legalkalmasabbnak a rákosmenti mintában jelen lévő látens heterogenitás reprezentálására.

6. KLASZTER PARAMÉTEREK

A mérési modell eredményei egyértelmű különbségeket mutattak a három azonosított klaszterre vonatkozóan *(3. táblázat)*. Az indikátorok alapján jól látható, hogy a válaszadók eltérően viszonyulnak a különböző közlekedési módokhoz. A saját kerékpár használatára vonatkozó értékek szerint az első klaszter kevésbé

jellemzően, míg a harmadik klaszter kifejezetten nagy valószínűséggel használ kerékpárt. Az autóhasználat ezzel szemben erősen meghatározó a második klaszterben, míg a harmadik klaszternél ennek előjele negatív, ami az autóhasználattól való eltávolodást jelezheti. A megosztott mikromobilitási eszközök esetében a különbségek kevésbé markánsak, ugyanakkor a közösségi közlekedés indikátora jól elkülöníti a klasztereket: a második klaszter erősen negatív viszonyulást mutat, míg a harmadik klaszter pozitívabb hozzáállást jelez. A gyaloglás, mint közlekedési mód kisebb mértékű, de szintén érzékelhetően tér el az egyes klaszterek között. A mérési modell eredményei így összességében azt jelzik, hogy a három klaszter eltérő mobilitási preferenciákkal és közlekedési mintázatokkal rendelkezik, amely jól tükrözi a rákosmenti lakosság heterogenitását.

orientációjú klasztert. A kerékpár birtoklása esetében szintén magas Wald-érték figyelhető meg (27,9956), ami azt mutatja, hogy a kerékpártulajdonlás egyértelműen meghatározza a kerékpáros klaszterhez tartozás valószínűségét.

A nem szintén szignifikáns kovariáns, Wald-értéke 10,4749, amely közepesen erős, de egyértelműen kimutatható kapcsolatot jelez a válaszadó neme és a klasztertagság között. A felsőfokú, középfokú és alapfokú végzettségek esetében a Wald-érték (13,9785) azt mutatja, hogy az iskolai végzettség statisztikailag jelentős tényező, amely befolyásolja a klaszterek közötti eloszlást. Hasonlóképpen a jövedelmi kategóriák közül az 1000€ alatti jövedelem (Wald=27,3441) és az 1000–2000€ közötti jövedelem (Wald=19,9470) magas Wald-értékei erős szignifikanciát jeleznek, vagyis a jövedelmi

Csoport száma	Log-likelihood	BIC (LL)	AIC (LL)	Entropy (R^2)
1	-1979,01	4071,57	3994,02	1
2	-1823,85	3986,33	3729,70	0.78
3	-1778,89	**3961,50**	3685,78	0.83
4	-1731,43	4011,66	3636,85	0.85
5	-1710,17	4114,22	3640,33	0.82
6	-1663,37	4165,73	3592,75	0.93
7	-1629,42	4242,89	3570,83	0.90
8	-1610,72	4350,59	3579,44	0.92
9	-1585,02	4444,27	3574,03	0.91
10	-1553,74	4526,80	3557,48	0.95

2. táblázat: Modelllilleszkedési mutatók (forrás: saját szerkesztés)

A 3 klaszteres modellben szereplő Wald-statisztikák alapján egyértelműen látható, hogy több kovariáns is jelentős szerepet játszik a klasztertagság meghatározásában. A foglalkoztatottsági státusz esetében a Wald-érték rendkívül magas (15,4401), amely nagyon erős összefüggést jelez a klasztertagság és a foglalkoztatási státusz között. Ez azt jelenti, hogy az aktív és inaktív státusz szignifikánsan befolyásolja annak valószínűségét, hogy egy válaszadó melyik klaszterbe kerül. Ugyancsak kiemelkedő jelentőségű a tömegközlekedési bérlettel rendelkezés, amelynek Wald-értéke 32,9487. Ez a modell egyik legerősebb prediktora, és arra utal, hogy a tömegközlekedéshez való hozzáférés markánsan elválasztja egymástól a klasztereket, különösen a tömegközlekedő és az egyéni gépjárműhasználó szint határozottan hozzájárul a klasztertagság magyarázatához. A >2000 € jövedelmi kategória Wald-értéke (0,0000) ezzel szemben nem jelent statisztikai összefüggést, ami azt jelzi, hogy a magasabb jövedelem nem differenciálja számottevően a klasztereket.

Az életkor kovariáns esetében alacsonyabb Wald-értékek találhatók (pl. 18–35 év: 4,2545), amelyek nem érik el a szignifikanciaszintet, így az életkor nem bizonyult meghatározó klaszterképző változónak. Hasonlóan gyenge összefüggést mutat a háztartástípus (Wald = 1,8343), amely szintén nem járul hozzá érdemben a klasztertagság magyarázatához. A járműtulajdonlási kategóriák közül az e-kerékpár, a roller, a motorkerékpár és a mikromobilitási bérlet

Wald-értékei szintén alacsonyak, ami azt mutatja, hogy ezek a változók nem szignifikánsak, és nem vesznek részt érdemben a klaszterek közötti különbségek kialakításában. A vezetői engedély esetében a Wald-statisztika (31,4623) kiemelkedően magas, ami azt jelzi, hogy a jogosítvánnyal való rendelkezés az egyik legerősebb prediktora annak, hogy a válaszadó melyik klaszterbe tartozik, különösen az autóhasználó klaszterben.

A modell p-értékei alapján több változó is 95%-os szinten szignifikánsnak minősül. A mérési modellben a saját kerékpárhasználat (p = 0,022), az autóhasználat (p = 0,000), valamint a

	Klaszter1	Klaszter2	Klaszter3	Wald	p-érték
Indikátorok (Mérési modell)					
Saját kerékpár	-0,4307	-3,4891	3,9197	7,6169	0.022
Személygépjármű	-1,8318	1,3285	0,5033	38,8090	0.000
Megosztott mikromobilitás	0,3731	-0,2548	-0,1183	3,8556	0.150
Közösségi közlekedés	1,5910	-1,4844	-0,1065	48,8643	0.000
Gyaloglás	0,0743	-0,0945	0,0202	5,3894	0.068
Latens osztályok (Strukturális modell)					
Nem					
Férfi	-0,2264	-0,1850	0,4114	10,4749	0.0053
Nő	0,2264	0,1850	-0,4114		
Életkor					
18-35	0,1345	-0,2327	0,0982	4.2545	0.37
36-55	0,4911	-0,3488	-0,1423		
>55	-0,6256	0,5815	0,0441		
Iskolai végzettség					
Általános iskola	-0,2268	-0,4272	0,6540	13,9785	0.0074
Középiskola	-0,0530	0,5858	-0,5328		
Felsőfokú végzettség	0,2799	-0,1586	-0,1212		
Foglalkoztatottsági státusz					
Munkanélküli	0,8857	-0,4485	-0,4371	15,4401	0.0004
Foglalkoztatott	-0,8857	0,4485	0,4371		
Háztartás típusa					
Gyermek nélkül élők	-0,0379	-0,1290	0,1669	1,8343	0,40
Gyermekkel élők	0,0379	0,1290	-0,1669		
Jövedelem (€/hó)					
<1000 €	1,0105	-0,0808	-0,9297	27,3441	0.000
1000-2000 €	0,8077	-0,2380	-0,5697	19,9470	0.000
>2000 €	0,6892	0,0697	-0,7588	0.0000	1.00
Járműtulajdonlás					
Kerékpár	-0,5097	-0,3615	0,8711	27,9956	0.0000
e-Kerékpár	-0,7124	0,3793	0,3330	3,0253	0.22
Roller	0,6694	-0,1344	-0,5350	4,1765	0,12
Motorkerékpár	0,2559	-0,1086	- 0,1472	0,4029	0,82
Tömegközlekedési bérlet	0,9689	-0,6040	-0,3649	32,9487	0.0000
Mikromobilitási bérlet	0,2634	-0,5189	0,2555	1,7142	0.42
Jogosítvány	-1,1830	1,2718	-0,0888	31,4623	0.0000

3. táblázat: Az LCCA-modell paraméterei 3 klaszterrel (forrás: saját szerkesztés)

tömegközlekedés igénybevétele (p = 0,000) bizonyultak erős hatásúnak. Ezek az indikátorok szerepet játszanak a klaszterek elkülönítésében, és jól tükrözik a rákosmenti lakosság különböző mobilitási preferenciáit.

A strukturális modellben szintén több kovariáns mutatott 95%-os szignifikanciát. Ilyen a nem (p = 0,0053), az iskolai végzettség (p = 0,0074), a foglalkoztatottsági státusz (p = 0,0004), valamint a jövedelmi kategóriák közül az <1000€ (p = 0,000) és az 1000–2000€ közötti tartomány (p = 0,000). A járműtulajdonláshoz kapcsolódó tényezők közül a kerékpártulajdonlás (p = 0,000), a tömegközlekedési bérlettel rendelkezés (p = 0,000), illetve a jogosítvány megléte (p = 0,000) ugyancsak szignifikáns hatással voltak a klasztertagságra.

A 90%-os szignifikanciaszinthez közel eső, de azt meghaladó p-értéket egyetlen indikátor mutatott: a gyaloglás (p = 0,068). Ez a változó tehát gyenge, de még éppen kimutatható kapcsolatot jelez a klasztertagsággal, azonban hatása jóval mérsékeltebb a 95%-os szinten azonosított tényezőkhöz képest.

A nem szignifikáns változók közé azok tartoznak, amelyek p-értéke meghaladta a 0,10-et. A mérési modellben egyedül a megosztott mikromobilitási eszközök használatára vonatkozó indikátor tartozik ebbe a kategóriába (p = 0,150), így ez az egyetlen tényező, amely 90% alatti szignifikanciaszintet mutat. A strukturális modellben nem bizonyult szignifikánsnak az életkor (p = 0,37), a háztartási státusz (p = 0,40), a 2000€ feletti jövedelem (p = 1,00), valamint a járműtulajdonláshoz kapcsolódó változók közül az e-bike (p = 0,22), a roller (p = 0,12), a motorkerékpár (p = 0,82) és a mikromobilitási bérlet (p = 0,42).

A modell eredményei azt mutatják, hogy a legmeghatározóbb hatású tényezők a saját kerékpár- és autóhasználat, a tömegközlekedés igénybevétele, valamint több demográfiai háttérváltozó, mint a nem, a végzettség, a foglalkoztatottság és a jövedelem. Ezek járulnak hozzá legerősebben a három klaszter elkülönítéséhez, míg a többi változó szerepe statisztikailag nem bizonyult jelentősnek.

7. KLASZTER PROFILOK

Az azonosított klaszterek három jól elkülöníthető attitűdprofilt rajzolnak ki a közösségi kerékpármegosztással kapcsolatban. Ezek a profilok nemcsak abban különböznek, hogy a válaszadók hogyan értékelik a különböző közlekedési módokat és azok használhatóságát, hanem szocio-demográfiai összetételükben és mobilitási jellemzőikben is jelentős eltérések figyelhetők meg. A *4. táblázat* részletesen bemutatja a három klaszter legfontosabb tulajdonságait, beleértve a közlekedési módokhoz való viszonyulás átlagos értékeit, valamint a szocio-demográfiai és mobilitási sajátosságok megoszlását, amelyek együtt határozzák meg a rákosmenti lakosságon belüli látens klasztertagságot.

A három azonosított klaszter elnevezése a különböző közlekedési módok használati gyakoriságán alapul, amelyet a mérési modell indikátorai egyértelműen tükröznek. Mivel az indikátorok értékei egy 1 és 7 közötti skálán mozognak – ahol az 1 a „havonta egyszer vagy ritkábban", míg a 7 a „napi rendszerességű használatot" jelöli –, a magasabb átlagértékek azt jelzik, hogy az adott közlekedési mód milyen mértékben van jelen a klaszter tagjainak mindennapi közlekedési mintázataiban.

Az első klaszter a közösségi közlekedést használók és gyaloglók csoportjaként értelmezhető, mivel a tömegközlekedés (1,66) és a gyaloglás (2,64) átlagértékei számottevően magasabbak, mint a másik két klaszterben, ami arra utal, hogy a tagok elsősorban ezekre a módokra támaszkodnak mindennapi közlekedésük során. A saját kerékpár és az autó használata lényegesen alacsonyabb, így ezek a módok nem befolyásolják érdemben a klaszter profilját. A klaszter elnevezése tehát pontosan tükrözi a domináns közlekedési preferenciákat.

A második klaszter a személygépjármű-használók csoportja, ahol az autóhasználat kiemelkedő értéket mutat (1,68). Ez az érték jelentősen meghaladja a tömegközlekedés (1,05), és különösen a kerékpár (1,00) használatának szintjét, ami egyértelműen az autó domináns szerepét jelzi.

A harmadik klaszter a kerékpárosok csoportja, amelyet elsősorban a saját kerékpár használatának magas átlagértéke (3,34) különít el. Ez azt mutatja, hogy a kerékpár meghatározó szerepet tölt be a tagok mindennapi közlekedésében. A gyaloglás viszonylag magas értéke (2,53) is ezt támasztja alá, ugyanakkor az autó és a tömegközlekedés használata alacsonyabb, így a klaszter egyértelműen a kerékpározási hajlandóság alapján azonosítható.

A megosztott mikromobilitás indikátora egyik klaszter esetében sem kapott kiemelést, mivel – a korábbi eredmények alapján – ez a változó nem bizonyult szignifikánsnak. Ennek megfelelően nem befolyásolta érdemben a klaszterek értelmezését vagy elnevezését.

A *4. táblázat* a három azonosított klaszter szocio-demográfiai és járműtulajdonlási jellemzőit mutatja be, amelyek jól segítik a klasztertagság mögött álló háttérváltozók értelmezését. A nemek tekintetében markáns különbségek figyelhetők meg: a tömegközlekedést és gyaloglást preferáló klaszterben a nők vannak többségben, míg a kerékpáros klaszterben egyértelmű

	Tömegk&Gyalog	Autóhasználók	Kerékpárosok	Σ
Klaszterméret	46,45%	40,52%	13,03%	**100%**
Indikátorok	*átlagérték*			
Saját kerékpár	1,01	1,00	**3,34**	1.31
Személygépjármű	1,04	**1,68**	1,34	1.34
Megosztott mikromobilitás	1,10	1,02	1,03	1.06
Közösségi közlekedés	**1,66**	1,05	1,18	1.35
Gyaloglás	**2,64**	2,32	2,53	2.50
Kovariánsok	*arány*			
Nem				
Férfi	37,49%	44,43%	**67,98%**	44,27%
Nő	**62,51%**	**55,57%**	32,02%	55,73%
Életkor				
18-35	40,08%	28,25%	36,28%	34,79%
36-55	25,96%	39,88%	40,665	33,52%
>55	33,96%	31,87%	23,06%	31,69%
Iskolai végzettség				
Általános iskola	13,75%	13,87%	26,70%	15,49%
Középiskola	**59,20%**	**51,16%**	**38,02%**	53,185
Felsőfokú végzettség	27,05%	34,97%	35,27%	31,335
Foglalkoztatottsági státusz				
Munkanélküli	46,855	23,02%	15,78%	33,14%
Foglalkoztatott	**53,15%**	**76,98%**	**84,22%**	66,86%
Háztartás típusa				
Gyermek nélkül élők	76,31%	59,80%	69,00%	68,67%
Gyermekkel élők	23,69%	40,20%	31,00%	31,33%
Jövedelem				
<1000 €	27,42%	24,81%	12,40%	24,40%
1000-2000 €	**52,81%**	**45,87%**	**63,33%**	51,37%
>2000 €	19,77%	29,32%	24,27%	24,37%
Járműtulajdonlás				
Kerékpár	36,74%	43,98%	**86,09%**	46,10%
e-Kerékpár	1,32%	6,99%	11,33%	4,92%
Roller	4,61%	3,19%	2,98%	3,82%
Motorkerékpár	2,01%	5,13%	6,26%	3,83%
Tömegközlekedési bérlet	**87,05%**	25,29%	40,11%	55,91%
Mikromobilitási bérlet	3,31%	0,95%	6,22%	2,73%
Jogosítvány	16,76%	**94,10%**	60,07%	53,74%

4. táblázat: Látens csoportok profiljai (forrás: saját szerkesztés)

férfi dominancia jelenik meg. Az autóhasználók klaszterében szintén enyhe női többség mutatkozik, ami arra utal, hogy a nem jelentős mértékben befolyásolja a klaszterhez tartozást. Ezzel szemben az életkor nem szignifikáns adat: bár bizonyos arányeltolódások megfigyelhetők, például a fiatalabbak valamivel nagyobb arányú jelenléte a tömegközlekedők klaszterben, illetve a középkorúak magasabb reprezentációja a kerékpáros klaszterben, ezek a különbségek statisztikai szempontból nem tekinthetők meghatározónak. Fontos megemlíteni, hogy mivel a minta nem teljesen reprezentatív, ezért ezeket a megállapításokat fenntartásokkal kell kezelni a teljes lakosságra vonatkozóan.

Az iskolai végzettség jelentős szerepet játszik a klasztertagságban, mivel jól látható, hogy mind a tömegközlekedést használók, mind az autóhasználók, illetve a kerékpárosok körében is a középfokú végzettség dominál. Ugyancsak meghatározó kovariánsnak bizonyult a foglalkoztatottsági státusz: a kerékpáros klasztert a rendkívül magas arányban foglalkoztatott személyek alkotják, míg a tömegközlekedők klaszterében nagyobb arányban jelennek meg munkanélküliek, de még így is a foglalkoztatottak irányába billen a mérleg. Az autóhasználók klaszterében szintén nagyon magas a foglalkoztatottak aránya, ami a rendszeres gépjárműhasználat gazdasági feltételeivel magyarázható. A háztartás típusa ezzel szemben nem mutat szignifikáns eredményt.

A jövedelmi kategóriák közül két tartomány – a 1000 € alatti, illetve a 1000–2000 € közötti jövedelmek – szignifikáns eltérést mutatnak, és jól elkülönítik a klasztereket: a legalacsonyabb jövedelműek elsősorban a tömegközlekedők klaszterben, míg a 1000–2000 € közötti jövedelműek leginkább a kerékpárosok között jelennek meg nagy arányban. A 2000 € feletti kategória nem mutat szignifikáns eredményt. A járműtulajdonlási és jogosultsági változók szintén fontos mintázatokat tárnak fel. A kerékpár tulajdonlása a kerékpáros klaszterben kiemelkedően magas, míg a közösségi közlekedési bérlettel rendelkezők aránya a tömegközlekedők klaszterben a legnagyobb. A jogosítvány megléte az autóhasználók klaszterét jellemzi a leginkább, ahol szinte minden válaszadó rendelkezik vele. A járműtulajdonlási változók közül azonban több nem mutat szignifikáns különbséget: ilyen az e-kerékpár, a roller, a motorkerékpár és a mikromobilitási bérlet tulajdonlása, amelyek esetében az arányok egyik klaszterben sem térnek el számottevően.

Összességében a kovariánsok alapján jól kirajzolódik, hogy több háttérváltozó – különösen a nem, az iskolai végzettség, a foglalkoztatottsági státusz, a jövedelemkategóriák többsége és a meghatározott járműtulajdonlási formák – szoros kapcsolatban áll a klasztertagsággal, míg más tényezők, mint az életkor, a háztartástípus vagy bizonyos járműtulajdonlási kategóriák nem bizonyultak klaszterképző erőnek.

8. DISZKUSSZIÓ ÉS JAVASLATOK

Az elemzés eredményei alapján a válaszadók körében jelentős heterogenitás mutatkozik a mikromobilitással kapcsolatos hozzáállásban. A klaszterezés során több olyan csoportot azonosítottunk, amelyek attitűdjei, motivációi és a szolgáltatás iránti fogékonysága látványosan különbözik egymástól. A pozitívabb, nyitottabb attitűddel rendelkező felhasználók jellemzően kedvezően viszonyulnak az aktív közlekedési formákhoz, és a multimodális közlekedési szemlélet is erősebben megjelenik körükben. Ez összhangban áll a nemzetközi szakirodalom megállapításaival, amelyek szerint a fenntarthatósági szempontok iránt fogékony felhasználók nagyobb valószínűséggel nyitottak a megosztott mikromobilitási szolgáltatásokra (Bissel et al., 2024; Geržinič et al., 2025).

Ezzel szemben a szkeptikusabb csoportoknál a biztonsággal, a mindennapi használhatósággal és a környezeti feltételekkel kapcsolatos aggályok dominálnak. Ezek a tényezők a nemzetközi kutatásokban szintén meghatározó korlátként jelennek meg, különösen akkor, amikor a kerékpárhasználat az autóhasználat alternatívájaként kerül előtérbe (Pernot et al., 2025). A szolgáltatás elfogadása szempontjából a legnagyobb különbséget az adja, hogy az egyes csoportok milyen mértékben tartják a kerékpározást biztonságosnak, illetve mennyire érzik reálisnak a mindennapi használatát a kerület sajátos környezeti feltételei mellett.

A motivációk tekintetében a pozitív attitűdű felhasználók elsősorban az egészségmegőrzés, a költséghatékonyság és a környezeti előnyök

miatt tartják vonzónak a közösségi kerékpármegosztást. A kevésbé érdeklődő csoportok esetében azonban a kerület térbeli szerkezetéből fakadó nehézségek jelentenek korlátot. A szakirodalom szerint a felhasználók percepciói, mobilitási identitása és kockázatérzékelése meghatározó szerepet játszik az új mobilitási szolgáltatások elfogadásában, ami a saját eredményekben is egyértelműen megjelent (Kroesen et al., 2017; Zimmermann et al., 2024).

Az életkori különbségek szintén fontos tényezőként mutatkoztak meg: a fiatalabb korosztály nyitottabb a kerékpármegosztás iránt, míg az idősebb válaszadók nagyobb arányban tartoztak a kevésbé érdeklődő vagy elutasító csoportokba. Ez a megállapítás összhangban áll több korábbi kutatással, amelyek hasonló mintázatokat mutattak ki különböző európai városokban et al., 2019; Marincek et al., 2024).

A klaszterelemzés eredményei alapján a közösségi kerékpármegosztó rendszer bevezethetősége a rákosmenti térségben differenciált módon értelmezhető. A három azonosított mobilitási profil eltérő mértékben és eltérő funkció mentén kapcsolható a szolgáltatás potenciális használatához.

A közösségi közlekedést használók és gyalogosok klasztere esetében a kerékpármegosztás elsősorban a közösségi közlekedéshez való ráhordást és elhordást támogathatja, így első és utolsó kilométeres megoldásként jelenhet meg. Ez a csoport tekinthető a rendszer egyik legfontosabb potenciális felhasználói bázisának.

A kerékpáros klaszter tagjai már rendelkeznek kerékpáros tapasztalattal és pozitív attitűddel az aktív közlekedési módok iránt, ezért ők a rendszer korai felhasználóiként (early adopters) jelenhetnek meg. Számukra a közösségi kerékpármegosztás a meglévő mobilitási szokások rugalmas kiegészítését jelentheti.

A személygépjármű-használók klasztere esetében a közösségi kerékpármegosztás bevezetése önmagában nem feltétlenül vezet azonnali használathoz, azonban megfelelő infrastrukturális fejlesztések és ösztönző intézkedések mellett lehetőséget kínálhat a rövid, helyi autós utak kiváltására.

Az eredmények alapján tehát megállapítható, hogy a közösségi kerékpármegosztó rendszer bevezetése Rákosmentén nem egy egységes keresleti bázisra épül, hanem különböző felhasználói csoportok eltérő szerepére és igényeire kell alapozni. A klaszterelemzés így nem közvetlen használati szándékot mér, hanem a potenciális felhasználói bázis szerkezetét tárja fel, amely alapvető információt nyújt a rendszer bevezetésének megalapozásához.

A kutatás eredményei alapján számos, a közösségi kerékpármegosztó rendszer bevezetését támogató szakpolitikai intézkedés fogalmazható meg.

Elsőként indokolt a közösségi kerékpármegosztó állomások telepítése a közösségi közlekedési csomópontok közelében, ezzel erősítve a rendszer ráhordó és elhordó funkcióját, ami különösen a közösségi közlekedést használó klaszter számára növelheti a szolgáltatás használhatóságát.

Másodsorban szükséges a kerékpáros infrastruktúra célzott fejlesztése, különös tekintettel a biztonságos, folytonos útvonalak kialakítására. Az eredmények alapján a biztonságérzet kulcsfontosságú tényező a használati hajlandóság szempontjából, különösen az autóhasználó klaszter esetében.

Harmadrészt javasolt a differenciált kommunikációs és ösztönző eszközök alkalmazása. A kerékpáros klaszter esetében a rendszer gyors elfogadását elősegíthetik a kedvezményes bevezető csomagok, míg az autóhasználók esetében a rövid utak kiváltását célzó kampányok és ösztönzők lehetnek hatékonyak.

Negyedrészt indokolt a rendszer fokozatos, pilot jellegű bevezetése, amely lehetővé teszi a helyi sajátosságokhoz való alkalmazkodást és a felhasználói visszajelzések beépítését a hálózat további fejlesztése során.

Összességében a közösségi kerékpármegosztó rendszer sikeres bevezetése Rákosmentén nem kizárólag infrastrukturális kérdés, hanem komplex, felhasználóközpontú megközelítést igényel, amely figyelembe veszi a különböző mobilitási profilok eltérő igényeit.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány célja az volt, hogy átfogó képet adjon a megosztott kerékpáros szolgáltatások szerepéről a városi mobilitásban, valamint feltárja a rákosmenti sajátosságokat, amelyek meghatározzák egy ilyen szolgáltatás bevezethetőségét és várható hatásait. A vizsgálat egyaránt épített a nemzetközi és hazai szakirodalom eredményeire, Budapest aktuális mobilitási és szabályozási környezetére, valamint a rákosmenti lakosság körében végzett empirikus kutatásra.

Rákosmente számottevő potenciált hordoz azon mobilitási formáknak a befogadására, amelyek rövid távú, gyors és rugalmas eljutási módot biztosítanak a kerület fontos csomópontjaihoz. A kertvárosias szerkezet, a nagy utazási távolságok és a közösségi közlekedés hálózati hiányosságai miatt a lakosság jelentős része erősen függ az egyéni autóhasználattól, ugyanakkor egy jól megtervezett kerékpármegosztó rendszer képes lenne támogatni azokat a rövid szakaszokat, amelyek a főbb kötöttpályás vagy autóbuszos vonalakhoz vezetnek.

A kutatás eredményei megerősítették, hogy a rákosmenti lakosság mobilitási mintázatai erősen heterogén szerkezetűek. A Látens Osztályos Klaszterelemzés három jól elkülönülő csoportot azonosított, amelyek eltérő közlekedési attitűdökkel, eszközhasználati szokásokkal és mobilitási adottságokkal rendelkeznek. A klaszterek kialakítását leginkább a kerékpár- és autóhasználat, a közösségi közlekedés igénybevétele, a foglalkoztatottság, az iskolai végzettség, a jövedelem, a kerékpár-tulajdonlás, a közösségi közlekedési bérlet megléte és a jogosítvány birtoklása befolyásolta. Ezek a klaszterek más-más mértékben mutatnak nyitottságot a kerékpármegosztó szolgáltatás felé, ami azt jelzi, hogy a rendszer sikeressége nagyban múlik a célzott tervezésen, az állomáshelyek gondos kijelölésén és a szolgáltatás kommunikációján.

Továbbá a klaszterelemzés rávilágított arra, hogy a rendszernek nem egy homogén használói bázist kell kiszolgálnia, hanem differenciált módon kell illeszkednie a kerület három fő mobilitási profiljához. A rendszer bevezetése várhatóan csökkentheti az autóhasználatot, javíthatja a közösségi közlekedés elérhetőségét, és hosszú távon hozzájárulhat egy fenntarthatóbb, alacsonyabb kibocsátású mobilitási struktúra kialakulásához.

Az eredmények alapján a közösségi közlekedést használók és gyalogosok jelentik a legfontosabb potenciális felhasználói csoportot, mivel a kerékpármegosztás náluk első és utolsó kilométeres kapcsolatként erősítheti a vasútállomások és autóbusz-csomópontok elérését. Különösen kiemelendő, hogy a kerületben már ma is számottevő azoknak a lakosoknak az aránya, akik rendelkeznek kerékpárral vagy rendszeresen használják a közösségi közlekedést, így ők lesznek a legvalószínűbb potenciális felhasználók.

A kutatás legfontosabb következtetése, hogy Rákosmentén létezik mérhető potenciális kereslet egy közösségi kerékpármegosztó rendszer iránt, különösen akkor, ha az a közösségi közlekedési csomópontokhoz kapcsolódik, biztonságos kerékpáros infrastruktúrával támogatott, és fokozatosan kerül bevezetésre. Egy ilyen rendszer hozzájárulhat az autóhasználat csökkentéséhez, a közösségi közlekedés elérhetőségének javításához és a 15 perces város koncepciójának megvalósításához.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Bean, R., Pojani, D., Corcoran, J. (2021) How does weather affect bikeshare use? A comparative analysis of forty cities across climate zones. Journal of Transport Geography, 95, 103155. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103155

Bissel, M., Becker, S. (2024) Can cargo bikes compete with cars? Cargo bike sharing users rate cargo bikes superior on most motives – Especially if they reduced car ownership. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 101, pp. 218–235. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.12.018

Geržinič, N., Hagen, M., Al-Tamimi, H., Duives, D., Oort, N. (2025) Drivers and barriers to integrating shared micromobility with public transport: a latent class clustering analysis of adoption attitudes in the Netherlands. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.10943

Hess, A.-K., Schubert, I. (2019) Functional perceptions, barriers, and demographics concerning e-cargo bike sharing in Switzerland. Transp. Res. Part Transp. Environ., The roles of users in low-carbon transport innovations: Electrified, automated, and shared mobility, 71, pp. 153–168. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.12.013

Iwińska, K., Blicharska, M., Pierotti, L., Tainio, M., De Nazelle, A. (2018) Cycling in Warsaw, Poland – Perceived enablers and barriers according to cyclists and non-cyclists. Transp. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, pp. 291–301. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.04.014

Kazemeini, A., Kermanshah, A. (2023) Promoting Sustainable Transport in Developing Countries: A Case Study of University Students in Tehran. Future Transportation, 3(3), pp. 858-877. DOI: https://doi.org/10.3390/futuretransp3030048

Kienteka, M., Camargo, E.M.D., Fermino, R.C., Reis, R.S. (2018) Aspectos quantitativos e qualitativos sobre as barreiras para o uso de bicicleta em adultos de Curitiba, Brasil. Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano, 20(1), pp. 29–42. DOI: https://doi.org/10.5007/1980-0037.2018v20n1p29

Kroesen, M., Handy, S., Chorus, C. (2017) Do attitudes cause behavior or vice versa? An alternative conceptualization of the attitude-behavior relationship in travel behavior modeling. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 101, pp. 190–202. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.013

Lo, Y., Mendell, N.R., Rubin, D.B. (2001) Testing the number of components in a normal mixture. Biometrika, 88(3), pp. 767–778. DOI: https://doi.org/10.1093/biomet/88.3.767

Marincek, D., Rérat, P., Lurkin, V. (2024) Cargo bikes for personal transport: A user segmentation based on motivations for use. International Journal of Sustainable Transportation, 18(9), pp. 751–764. DOI: https://doi.org/10.1080/15568318.2024.2402753

Pernot, D., Weir IV, H. T. (2025) Replacing Car Trips with a Cargo Bike Sharing Service: What Features Do Users Value Most? Future Transportation, 5(1), 7. DOI: https://doi.org/10.3390/futuretransp5010007

Sasidharan, L., Wu, K.-F., Menendez, M. (2015) Exploring the application of latent class cluster analysis for investigating pedestrian crash injury severities in Switzerland. Accident Analysis & Prevention, 85, pp. 219–228. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.020

Sulikova, S., Brand, C. (2021) Investigating what makes people walk or cycle using a socio-ecological approach in seven European cities. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 83, pp. 351–381. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.10.008

Vermunt, J.K., Magidson, J. (2016) Technical Guide for Latent GOLD 5.1: Basic, Advanced, and Syntax. URL: https://www.statisticalinnovations.com/wp-content/uploads/LGtechnical.pdf

Weller, B.E., Bowen, N.K., Faubert, S.J. (2020) Latent Class Analysis: A Guide to Best Practice. Journal of Black Psychology, 46(4), pp. 287–311. DOI: https://doi.org/10.1177/0095798420930932

Zimmermann, K., Palgan, Y.V. (2024) Upscaling cargo bike sharing in cities: A comparative case study. Journal of Cleaner Production, 477, 143774. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143774



Expansion of the Bike-Sharing Service in Rákosmente

Keywords: public bike-sharing, 15-minute city, Latent Class Cluster Analysis

This study examines the feasibility of a community bike-sharing service in the outskirts of Rákosmente within the framework of the "15-minute city" concept. Based on data from a questionnaire survey conducted in 2025, it uses Latent Class Cluster Analysis to identify the population's varying attitudes toward mobility. The results indicate that there is significant but heterogeneous demand in the district for an integrated bike-sharing system based on fixed-route connections, which could contribute to reducing car use and improving local accessibility.

Melléklet

Közlekedésbiztonság – Közlekedési környezetvédelem

KRESZ-VÁLTOZÁS
www.kreszvaltozas.hu

Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudományok Osztálya
Közlekedés- és Járműtudományi Tudományos Bizottság
Elnök: **Dr. Török Ádám**
Titkár: **Dr. Horváth Balázs**

Emlékeztető az MTA Közlekedés- és Járműtudományi Bizottságának üléséről

Horváth Balázs[1*]

1* habilitált egyetemi docens, KJTB titkár, Széchenyi István Egyetem

e-mail: hbalazs@sze.hu

Kézirat benyújtva: 2026. 08. 23.
Kézirat elfogadva: 2026. 09. 06.

CC BY NC ND
© Horváth B.

Absztrakt

A dokumentum az MTA Közlekedés- és Járműtudományi Tudományos Bizottságának üléséről készült emlékeztető, amely részletesen bemutatja az esemény programját, előadásait és szakmai diskurzusait. Az ülést Dr. Horváth Balázs vezette, és egy megemlékezéssel kezdődött Dr. Lányi Péter munkásságáról, amely kiemelte a hazai forgalomtechnikai és közúti tervezési területeken végzett úttörő szerepét, valamint szakmai és emberi örökségét. A szakmai előadások középpontjában a közlekedésbiztonság különböző aspektusai álltak. Dr. Török Árpád előadása az autonóm járművek és a V2X kommunikáció lehetőségeit vizsgálta, hangsúlyozva a decentralizált megoldások fontosságát a biztonságkritikus rendszerekben. Bemutatta a szenzoradatok és a kommunikáció kombinálásának jelentőségét, valamint a szimulációs (MATLAB-Simulink) és Vehicle-in-the-Loop módszerek alkalmazását. Dr. Sipos Tibor az infrastruktúra-biztonság és az indikátorrendszerek fejlődését ismertette, kitérve a halálozási mutatók mellett a súlyos sérülések mérésének fontosságára,

valamint az EU KPI rendszerre. Rámutatott a hazai adatok hiányosságaira és a jogszabályi korlátokra, például a GDPR és az AI Act hatásaira. Dr. Miletics Dániel előadása a közlekedési morál és viselkedés kutatásait mutatta be, beleértve a sebességválasztás, a tréningek hatása, valamint a szimulációs eszközök szerepét. Az eredmények kiemelték az oktatás és infrastruktúra jelentőségét a biztonság javításában.

Kulcsszavak: *MTA, közlekedéstudomány, infrastruktúra biztonság, kiberbiztonság, morál*

DOI: https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.5.6

1. BEVEZETÉS

Dr. Török Ádám, a bizottság elnökének távollétében Dr. Horváth Balázs, a bizottság titkára köszöntötte a megjelenteket, majd ismertette a tervezett programot, amely szerint az ülés megemlékezéssel kezdődik, majd három szakmai előadásra kerül sor:

- Dr. Mocsári Tibor (KTE): Megemlékezés Dr. Lányi Péterről
- Dr. Török Árpád (BME KJK GJT): Autonóm autók közlekedésbiztonsági kérdései
- Dr. Sipos Tibor (KTI): Közlekedésbiztonsági helyzet Magyarországon
- Dr. Miletics Dániel (SZE): Közlekedésbiztonság merre tovább? Válogatott közúti biztonsági kutatások a Széchenyi Egyetemen.

Dr. Horváth Balázs, az ülés levezetőjeként, felkérte Dr. Mocsári Tibort, hogy tartsa meg Dr. Lányi Péterre emlékező előadását.

2. LÁNYI PÉTER MEGEMLÉKEZÉS

Dr. Mocsári Tibor megemlékezésében felidézte Dr. Lányi Péter életútját, tanulmányait, munkahelyeit és az általa elindított programokat, valamint eredményeket. A megemlékezés során az előadó bemutatta, hogy vált Dr. Lányi Péter a hazai forgalomtechnika úttörőjévé, a hazai közúti tervezési szakterület megalapozójává. A hosszú és tartalmas életutat projekteken keresztül ismerhették meg a jelenlévők. A bemutatott projektek témái felölelték a körforgalmak, a forgalombiztonság, illetve az útügyi műszaki szabályozás különböző aspektusait. A megemlékezés rámutatott Dr. Lányi Péter emberi nagyságára, szakmai elhivatottságára, valamint iskolateremtő személyiségére is. Dr. Horváth Balázs megköszönte a megemlékező gondolatokat, megkérte a jelenlévőket, hogy egyperces felállással tisztelegjenek Lányi Péter előtt.

3. KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁG – KIBERBIZTONSÁG

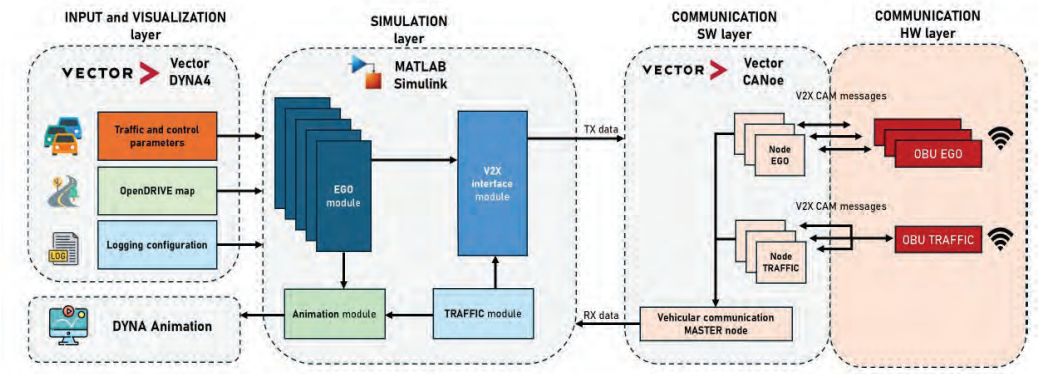
Ezt követően Dr. Horváth Balázs felkérte Dr. Török Árpádot előadásának megtartására, aki prezentációjában elmondta, hogy a következőkben bemutatott eredmények egy kutatócsoport eredményei, ezek az együttműködés sikerei. Előadásában az önvezetés és a kommunikációs megoldások lehetőségeit ismertette, amelyek alapvetően a biztonságosabb közlekedést szolgálják (Pauer et al., 2022). A kutatócsoport több járműkövetési megoldást is kidolgozott egyedi és csoportos érzékelési esetekre is. Külön foglalkoztak a V2X, vagyis a jármű és az egyéb infrastruktúraelemek közötti kommunikáció lehetőségeivel (Pethő et al., 2021). A bemutatott eredmények figyelembe vették az érzékelők adatait, valamint a V2X kommunikáció által szolgáltatott információkat is, külön tekintettel a kommunikáció minőségére *(1. ábra),* így rossz kommunikáció esetén az irányítás alapvetően az érzékelőkre épült (Oppong et al., 2023). Az előadás második felében egy diák-kutatócsoport által elindított kutatásról volt szó, amely a beláthatatlan csomópontok érzékelési és

KRESZ-VÁLTOZÁS
www.kreszvaltozas.hu

beavatkozási lehetőségeit taglalta. Az alkalmazott szimulációs rendszerek MATLAB-Simu-Link rendszerre épültek, melyek alkalmazták a Vehicle-in-the-Loop technikát is, így vizsgálva a módszertan helyességét (Dadashev et al., 2025). A kutatáshoz szabadalmak is kapcsolódnak. Horváth Balázs megköszönte az előadást, és megnyitotta a lehetőséget a kérdésekre.

4. KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁG – INFRASTRUKTÚRABIZTONSÁG

Dr. Sipos Tibor előadásában bemutatta a közlekedésbiztonsági indikátorrendszer változását, fejlődését az 1993-as kezdeti lépésektől kezdve. Míg korábban csak a halálozás csökkentése volt a kitűzött cél, 2013 óta a súlyos sérülések



1. ábra: Több-Ego Gépjármű modellezés architektúrája V2X-alapú ütközés elkerülő rendszer esetén

Dr. Tánczos Lászlóné gratulált az előadáshoz, és felvetette, hogy miként lehetne az értékes kutatáshoz forrást allokálni (például a ZalaZone használatával)? Dr. Török Árpád elmondta, hogy korábban volt lehetőség a pálya használatára, az utóbbi időben azonban ez a lehetőség csak korlátozottan áll rendelkezésre. Dr. Tánczos Lászlóné sajnálatát fejezte ki amiatt, hogy nincsenek ilyen lehetőségek, vélhetően ezért is haladnak a kutatások a szükségesnél lassabban. Dr. Fleischer Tamás megkérdezte, hogy a bemutatott megoldás központi irányításra épül-e, azaz csak akkor működik-e, ha minden jármű képes a kommunikációra? Dr. Török Árpád válaszában kifejtette, hogy a bemutatott megoldás alapvetően nem központra épül, mivel a kommunikációs rendszer könnyen sebezhető, ezért nem alkalmas biztonságkritikus működés vezérlésére. Elvi szinten azonban a központi irányítás megfelelő megoldás lenne, de ez legfeljebb középtávon képzelhető el. Dr. Horváth Balázs megköszönte az előadást, majd felkérte Dr. Sipos Tibort előadásának megtartására.

csökkentése is az, amihez az egységes definíciós rendszer bevezetése elengedhetetlen volt (Ambros et al., 2017). Ekkor került elindításra a MAIS3+ értékelési rendszer. A mérési rendszerek fejlődését hazai számok segítségével mutatta be, beleértve a halálozási, a súlyos sérültek és egyéb relatív mutatók alkalmazását is (Sipos, 2014). Az előadás további részében ismertette az EU-KPI mutatószám rendszert, mely reaktív és proaktív részekre osztható. A reaktív rész alapvetően infrastruktúra minősítésre szolgál (Hamdan et al., 2023), míg a proakítv rész hálózati előrebecslést tartalmaz (Hamdan et al., 2024). Ennek kapcsán részletesen ismertette a sebességmutató, övhasználati mutató, sisakhasználati mutató, kézben tartott mobileszközre vonatkozó mutatók jelenlegi helyzetét is. A hazai számok alapvetően rosszak, bár vannak részmutatók, melyek megfelelnek az európai átlagnak. A közeljövőben indul a TA-RS-HU projekt, mely hálózatértékelési és indikátor számítási részeket is tartalmaz. Dr. Horváth Balázs megköszönte az előadást, és megnyitotta a lehetőséget a kérdésekre.

Dr. Berki Zsolt a valóság és a statisztikák közötti különbség mérhetőségére volt kíváncsi, illetve arra, hogy mennyire dinamikusak a vázolt mutatószámok. Az előadó válaszában kifejtette, hogy a személyi sérüléses balesetek mutatói teljesen megbízhatók és hitelesek, a csak anyagi káros balesetek sajnos csak becsülhetők, mivel a MABISZ adatbázisai nem nyilvánosak, nem hozzáférhetők. A most bemutatott mutatók egyszerű mutatók, de bonyolultabb, összetettebb mutatók képesek dinamikus hatások bemutatására is. Erős korlátot szab azonban a GDPR és az AI Act is. Szerinte a technika, a tudás adott, a jogszabályi környezetet kellene fejleszteni. Dr. Fleischer Tamás szerint a bemutatott indikátorok inkább a szabálykövetést vizsgálják, azaz hol van a döntéshozói felelősség (például a sebességhatárok megalkotásakor)? Dr. Sipos Tibor szerint a megoldás az autonóm járművek elterjedése lenne. A sebességhatárok tekintetében a csökkentés lenne irányadó. Dr. Tímár András felvetette, hogy az EU előírja az adatok gyűjtését, ami helyes, de ki használja ezeket? Dr. Sipos Tibor szerint a beruházások megalapozásához kellene ezeket használni. Dr. Török Árpád hozzáfűzte, hogy ezek gyűjtése, összegzése folyamatos, korábban a minisztérium rendszeresen bekérte ezen vizsgálatok eredményeit, egyben kérdésében arra volt kíváncsi, hogy az E-rolleres adatok külön gyűjtésre kerülnek-e? Dr. Sipos Tibor elmondta, hogy eddig nem volt külön gyűjtés, de felmerült, hogy a jövőben legyen (például a TrendLine+ projektben). Továbbá Dr. Török Árpád megkérdezte, hogy a holland alacsony sisakhasználat és a balesetek súlyossága között van-e összefüggés? Dr. Sipos Tibor nem tud kimutatott összefüggésről. Dr. Mocsári Tibor hozzáfűzte, hogy 2024. január 1 óta a rendőrség gyűjti, hogy egy esetleges baleset során használtak-e védőfelszerelést a közlekedők. Kár azonban, hogy a 2013-ban bevezetett MAIS3+ ellenére a kórházi és rendőrségi rendszerek nincsenek összekötve. Dr. Horváth Balázs megköszönte az előadást, majd felkérte Dr. Miletics Dánielt előadásának megtartására.

5. KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁG – MORÁL

Dr. Miletics Dániel előadásában három kutatást mutatott be. Az első az infrastruktúra kiépítettsége és a sebességválasztás közötti összefüggést vizsgálta egy diákkutatásból kiindulva (Khaska et al., 2023), amelyben megállapították, hogy a kiépítettség, – mint a járda, a kiemelt szegély –csökkenti, míg az útmenti zöldfelület növeli a sebességválasztást. A következőkben az útállapot is beépítésre kerül a vizsgálatba (Basa et al., 2023). A második kutatást Dr. Henézi Diána Sarolta vezette, melynek célja az oktatás hatékonyságának és megmaradásának vizsgálata volt. A kísérlet során 20 önkéntes végzett vészfékezést, majd vezetéstechnikai tréninget követően ismételten, és újabb 3 hét múlva megint. A vizsgálat során bebizonyosodott, hogy a tréningnek azonnali hatása van a fékútra, mely hatás hosszútávon meg is marad (Májer et al., 2025). A fékutat jelenleg kézi méréssel jegyezték, de kísérletek történtek kameraalapú rögzítésre is. A harmadik bemutatott kutatást Borsos Attila vezeti. Vezetésével létrejött egy kerékpáros szimulátor, mely szemkamerával összekötve alkalmas különböző, kerékpáros létesítmények kerékpárosokra gyakorolt hatásának vizsgálatára (Hammami et al., 2025). E kutatás egy kiegészítése, amikor a szemkamerával a járművezetők gyalogátkelők közelében végzett szemmozgásait vizsgálták. A kutatás eredményeképpen megállapítható, hogy a járművezetők többsége világosban és szürkületben hasonlóan, sötétben kicsit lassabban képes az esetlegesen átkelő gyalogosokra fókuszálni. A kerékpáros szimulátor használhatóságához egy nemzetközi kutatás is kapcsolódik, melyben több kutatóhely tapasztalatait összesítik annak érdekében, hogy az ilyen eszközök minél hitelesebbek lehessenek. Az eddigi eredmények nyilvános repozitóriumban is elérhetők.

Dr. Horváth Balázs megköszönte az előadást, és megnyitotta a lehetőséget a kérdésekre. Dr. Berki Zsolt gratulált a kutatásokhoz, azokat rendkívül fontosnak tartja, sajnos az eredmények kevés ember érdeklődési körébe tartozónak számítanak, azok nem kerülnek át az

KRESZ-
VÁLTOZÁS
www.kreszvaltozas.hu

ÚME-ba. Kérdésében a kerékpárosok, rolleresek sebességválasztásának vizsgálatára kérdezett rá. Dr. Miletics Dániel elmondta, hogy a vizsgált esetek mindig a szabályos közlekedésre épülnek. Hozzátette, hogy minden lehetőséget megragadnak az eredmények megosztására, esetleges ÚME-ba történő átültetésére. Dr. Mocsári Tibor üdvözölte a vészfékezéses vizsgálatot, örült az eredményeknek. Az előadó kifejtette, hogy Dr. Henézi Diána Sarolta hisz a képzés erejében, ezért is született meg ez a kutatás. Dr. Horváth Balázs megköszönte az előadást.

Az egyebekben Dr. Horváth Balázs elmondta, hogy az elmúlt héten lezajlott a Transport Research Arena, Európa legnagyobb közlekedési konferenciája. A négy nap alatt 3000 fő látogatta meg az eseményt. A kiállításon a bemutatott kerékpárszimulátor is megjelent a Széchenyi István Egyetem standján. A Közlekedéstudományi Egyesület standján pedig az érdeklődők megismerhették A Közlekedési Kultúra Napja eseménysorozatot is.

Ezt követően Dr. Horváth Balázs lezárta a bizottsági ülést.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Ambros, J., Borsos, A., Sipos, T. (2017) Exploring an alternative approach to iRAP Star Rating validation. Transportation Research Board 96th Annual Meeting, Washington DC, United States.

Basa, B. K., Horváth, B., Miletics, D. (2023) Analysis of the economic benefits of an appraisal of an intersection. POLLACK PERIODICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES, 18(2), pp. 78-83. DOI: https://doi.org/10.1556/606.2023.00767

Dadashev, A., Török, Á. (2025) SmartDENM—A System for Enhancing Pedestrian Safety Through Machine Vision and V2X Communication. Electronics, 14(5), 1026. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics14051026

Sipos, T. (2014) Coherence between Horizontal and Vertical Curves and the Number of the Accidents. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 42(2), pp. 167–172. DOI: https://doi.org/10.3311/PPtr.7224

Hamdan, N., Sipos, T. (2023) Classification of traffic accident severity using machine learning models. In: IEEE International Conference on Cognitive Mobility, pp. 177-186. Springer Nature Switzerland. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-87620-2_17

Hamdan, N., Sipos, T. (2024) Traffic Accidents Severity Prediction Using Support Vector Machine Models. In: IEEE International Conference on Cognitive Mobility, pp. 153-161. Springer Nature Switzerland. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-81799-1_15

Hammami, A., Borsos, A., Sándor, Á. P. (2025) How realistic a bicycle simulator can be?-a validation study. Multimodal Transportation, 4(1), 100193. DOI: https://doi.org/10.1016/j.multra.2025.100193

Khaska, K., Miletics, D. (2023) The role of driver's eye height in the design of crest curves of roads. Pollack Periodica, 18(3), pp. 113-118. DOI: https://doi.org/10.1556/606.2023.00808

Májer, C. J., Henézi, D. (2025) Introduction of a New Variable and the Problem of Complexity in Determining Impact Speeds in Vehicle–Pedestrian Accidents. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 53(4), pp. 381–388. DOI: https://doi.org/10.3311/PPtr.40813

Oppong, A. E. K., Silas, G. F., Pethő, Z., Kazár, T. M., Török, Á. (2023) Applying DNN Model for V2X Communication Anomaly Detection. In: IEEE International Conference on Cognitive Mobility, pp. 197-205. Springer Nature Switzerland. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-87620-2_19

Pauer, G., Török, Á. (2022) Introducing a novel safety assessment method through the example of a reduced complexity binary integer autonomous transport model. Reliability Engineering & System Safety, 217, 108062. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108062

Pethő, Z., Török, Á., Szalay, Z. (2021) A survey of new orientations in the field of vehicular cybersecurity, applying artificial intelligence based methods. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 32(1), e4325. DOI: https://doi.org/10.1002/ett.4325

Minutes of the Meeting of the Hungarian Academy of Sciences (MTA) Committee on Transportation and Vehicle Science

Keywords: HAS, transport science;infrastructure safety, cyber safety, morale

The document is a memorandum of a meeting of the Hungarian Academy of Sciences' Committee on Transport and Vehicle Engineering, providing a detailed overview of the agenda, presentations, and professional discussions. The session was chaired by Dr. Balázs Horváth and began with a commemorative lecture on Dr. Péter Lányi, highlighting his pioneering contributions to traffic engineering and road design in Hungary, as well as his professional legacy. The core of the meeting focused on various aspects of transport safety. Dr. Árpád Török presented research on autonomous vehicles and V2X communication systems, emphasizing the importance of decentralized control due to vulnerabilities in communication networks. He also discussed the integration of sensor data and communication inputs, and the use of simulation tools such as MATLAB-Simulink and Vehicle-in-the-Loop methodologies. Dr. Tibor Sipos addressed infrastructure safety and the evolution of safety indicators, explaining the shift from focusing solely on fatalities to also including serious injuries. He introduced the EU KPI framework and discussed challenges related to data availability, reliability, and regulatory constraints such as GDPR and the AI Act. Dr. Dániel Miletics presented research on transport safety behavior and morality, including studies on speed choice, the effectiveness of training, and the application of simulation tools such as bicycle simulators. The findings underline the importance of education and infrastructure design in improving safety outcomes.

Támogatóink

KÖZLEKEDÉSI ÉS BERUHÁZÁSI MINISZTÉRIUM

KTI

STADLER

Stadler Trains Magyarország Kft.

FŐMTERV

GYSEV Raaberbahn

MÁV SZEMÉLYSZÁLLÍTÁSI ZRT.

HungaroControl

Magyar Légiforgalmi Szolgálat