

LXXVI. ÉVFOLYAM 3. SZÁM
2026. JÚNIUS

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVÁ 1951-BEN

Komplex megoldások a közlekedési ipar számára

Pécsi kutató-fejlesztő központunkban, több mint 2000 m²-en fejlesztünk és gyártunk közlekedés informatikai rendszereket. Forgalmirányítási és utastájékoztató megoldásaink már három országban, több mint 9500 járművön segítik a közlekedők mindennapjait. Tevékenységünk a teljes folyamatot lefedi, biztosítva a rendszerek magas fokú megbízhatóságát.

Utastájékoztató, forgalmirányítás, jegyértékesítés, érvényesítés:

- tervezése,
- fejlesztése,
- gyártása és
- üzemeltetése.

3

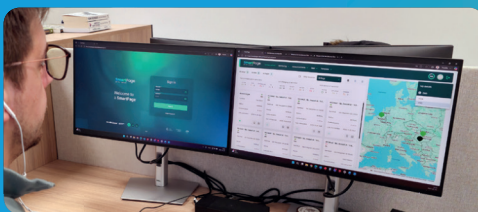
Ország

15+

Város

9500+

Jármű



Találkozunk az InnoTrans kiállításon!

**SZEPTEMBER 22-25.
BERLIN**

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. Henézi Diána Sarolta
Dr. habil. Horváth Balázs
Horváth Gábor
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 főtítkára

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 örüünk meg.

TARTALOM

Nagy Dávid

A dunai hajózás alapvető feltételeinek és infrastruktúrájának értékelése, kiemelten Magyarország példáján2

Farkas-Németh Zoltán

Térbeli autokorrelációs vizsgálat városi közlekedési hálózatban Voronoi-diagram alapú területi interpolációval.....12

Fecske Tamás – Kecskés Rita

Valós idejű utastájékoztató SmartPage e-papír alapú kijelző rendszerrel20

Fodor Károly – Rövid András

Kooperatív vizuális SLAM rendszer járműalapú környezetérzékelésre.....28

Melléklet

Közlekedésbiztonság – Közlekedési környezetvédelem
Dr. Koren Csaba – Dr. Kosztolányi-Iván Gabriella
A baleseti kockázati mutatók változása az országos közúthálózaton 2002-2024.....38

Szigeti Szilárd – Dr. Pauer Gábor

– **Dr. Földes Dávid**
Gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági kérdései hagyományos és önvezető járművek esetén45

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)

A dunai hajózás alapvető feltételeinek és infrastruktúrájának értékelése, kiemelten Magyarország példáján

Nagy Dávid PhD

tudományos munkatárs

ELTE Közgazdaság-és Regionális Tudományi Kutatóközpont, Regionális Kutatások Intézete

e-mail: nagy.david@krtk.elte.hu

Kézirat benyújtva: 2025.12.12.

Kézirat elfogadva: 2026.04.08.



© Nagy D.

Absztrakt

A Dunán a belvízi hajózás potenciáljának kihasználását a folyó természet-földrajzi adottságai, valamint a klímaváltozás okozta szélsőséges vízjárási viszonyok korlátozzák. A magyarországi Duna-szakasz kiemelt szűk keresztmetszeteket (gázlókat) mutat, ahol a szükséges merülési mélység biztosítása csak korlátozott ideig lehetséges. Ez a hidrológiai bizonytalanság jelentősen rontja a vízi szállítás versenyképességét és tervezhetőségét a logisztikai láncokban. A fejlesztési szükségletek a járműflotta elöregedett állapotára és a kikötői infrastruktúra modernizációjára is kiterjednek, de problémát jelent a humán-erőforrás biztosítása is. A tanulmány célja a dunai hajózás alapfeltételeinek és infrastruktúrájának átfogó értékelése. Vizsgálja a hajózhatóság javítását célzó, nemzetközi egyezményekben (AGN) foglalt előírások teljesítésének feltételeit, ezek hazai környezeti és társadalmi korlátozó tényezőit [1].

Kulcsszavak: Duna, hajózás, belvízi hajózás, infrastruktúra, Magyarország, teherhajózás

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.3.1>

1. BEVEZETÉS

A Duna, mint a VII. számú páneurópai közlekedési folyosó, kiemelkedően fontos szerepet tölt be az európai közlekedési hálózatban, hiszen része az E-víziút hálózatnak (E80) [2]. A belvízi hajózás a fajlagos energiafogyasztás és a külső költségek tekintetében a leginkább környezetbarát szállítási mód. A szektor alacsony társadalmi külső költségei (a közúti szállítás több mint 90%-ához képest mindössze 0,5%-os

részarány) és megbízható kapacitása miatt óriási potenciál rejlik benne [3]. Az Európai Unió fenntartható közlekedésre vonatkozó célkitűzései között szerepel, hogy a belvízi hajózás részarányát növelje a teherszállításban. Ennek megvalósításához elengedhetetlen a dunai hajózás versenyképességének fokozása, amelynek előfeltétele a megfelelő hajózhatósági feltételek folyamatos biztosítása.

A Duna magyarországi szakasza azonban jelentős kihívásokkal néz szembe, melyek megakadályozzák a benne rejlő potenciál kiaknázását. A folyó vízjárása nem egyenletes; gyakoriak a nyár végi és őszi alacsony vízállások. A hajóút megfelelő mélysége – figyelembe véve a hajófenék alatti 2–3 dm-es biztonsági távolságot, ami 27–28 dm hajóút mélységet igényel – átlagosan csak az éves időtartam 60–70%-ában biztosított [2]. Ez a jelentős bizonytalansági faktor a logisztikai piac szereplői számára nehezen tolerálható.

A hajózhatóság romlásához hozzájárul a Duna felső folyásán épített vízlépcsők hordalékviszatartható hatása, ami medersüllyedést (degradálódást) idézett elő. A medersüllyedés a folyó környezetében a talajvízszint csökkenését okozza. A fejlesztések tervezése azonban rendkívül összetett, mivel egyszerre kell figyelembe venni a gazdasági előnyöket (például a fuvarköltség-megtakarítást a jobb kapacitáskihasználás révén) és a környezeti korlátokat. A hazai vízbázisok (különösen a parti szűrésű ivóvízbázisok) védelme, valamint az uniós környezetvédelmi irányelvek (Víz Keretirányelv, Natura 2000) betartása jelentős korlátozó tényezőt képeznek.

Ez a tanulmány a dunai hajózás alapvető feltételeit (vízi út, flotta, kikötők, áruhal, munkaerő) és infrastruktúráját értékeli, kiemelten a magyarországi szakasz példáján. A tanulmány igyekszik az elmúlt időszak szakirodalmának eredményeit összegezni a hazai szakemberek véleményének figyelembevételével. Geográfusként igyekszem felhívni a figyelmet a környezetvédelmi és vízépítési problémákra, ugyanakkor nem tartom kompetensnek magam tudományos szintű vélemény megfogalmazására ezekben a kérdésekben. Erre megítélésem szerint az adott vagy mindkét szakterületen tudományos fokozattal rendelkező és a konkrét témában szakértő kutató véleménye lehet mérvadó.

2. MÓDSZERTAN

A tanulmány a 2022-ben véglegesített disszertációhoz kapcsolódó kutatáson alapszik [4]. Módszertanilag a témával foglalkozó tudományos művek, hajózással kapcsolatos riportok és programok elemzésére, statisztikai adatelemzésre, valamint szakértői interjúra támaszkodik.

A hajózási adatokat országos szinten vizsgálom, mivel teljeskörűen így állnak rendelkezésre, ez alól kivétel Németország. Annak érdekében, hogy Németország adatai csak a Duna teherforgalmára vonatkozzanak a Bajor Statisztikai Hivatal (BSH) mutatóit vettem figyelembe [5]. A BSH belvízi hajózásra vonatkozó adattárában lehetőség van elkülönítve, csak a dunai teherforgalmi adatok elérésére. A belvízi teherszállítás adatai az Eurostat adattárából származnak, amelyeket összevettem a Duna Bizottság adataival, a legpontosabbnak a negyedéves adatok összesítésével számolt éves adatok bizonyultak (kiemelten Szerbia esetében).

A járműflottára vonatkozó adatok a Duna Bizottság legutolsó éves statisztikai jelentéséből (2022) érhetők el [6]. A vontató- és tolohajók, önjáró uszályok építés szerinti megoszlására vonatkozó adatok nem tartalmazzák a Németországban regisztrált hajókat, de a dunai flotta 95%-át lefedik. Az uszályok többsége esetében a kor szerinti megoszlásra nincs adat.

A belvízi hajózás infrastruktúrájának fejlesztésére fordított források mértékét az OECD adattárban szereplő adatokkal lehet bemutatni [7]. Sajnos az adattárban nincs Romániára vonatkozó adat, és Németország esetében nem tudható a dunai hajózásra fordított beruházások aránya.

Az interjúsorozat 10 hazai és külföldi hajózási szakember, kutató, dunai hajózásban tevékenykedő szervezet képviselője megkérdezésével zajlott. Az interjúk személyes találkozó vagy online beszélgetés keretében valósultak meg és hangrögzítésre kerültek. Bár elsősorban magyar szakértőket kérdeztem, szerencsére sikerült olyan interjúalanyokat is megszólaltatni, akik munkájukat külföldön vagy részben külföldön végzik, és jól ismerik más országok viszonyait is. Az interjúalanyokat kódszámmal jelöltem, ami alapján látható, hogy hajózási (H), kikötő üzemeltetési (K) vagy akadémiai szektorban tevékenykedő szakember (A) megállapítását közlöm (1. táblázat).

Sorszám	Kódolás	Interjúalany
1.	H1	hajózási szakember
2.	K1	tengeri kikötő képviselőének vezetője
3.	H2	hajózási szakember, kikötő üzemeltetési szakember
4.	A1	akadémiai kutató, közlekedési szakember
5.	K2	kikötő üzemeltetési szakember
6.	H3	hajózási szakember
7.	H4	hajózási szakember, hajózhatóságért dolgozó szervezet képviselője
8.	K3	kikötő üzemeltetési szakember
9.	K4	kikötő üzemeltetési szakember
10.	A2	akadémiai kutató, nemzetközi kapcsolatok szakértője

1. táblázat: Interjúalanyok

3. EREDMÉNYEK

3.1. A dunai teherhajózás jelentősége

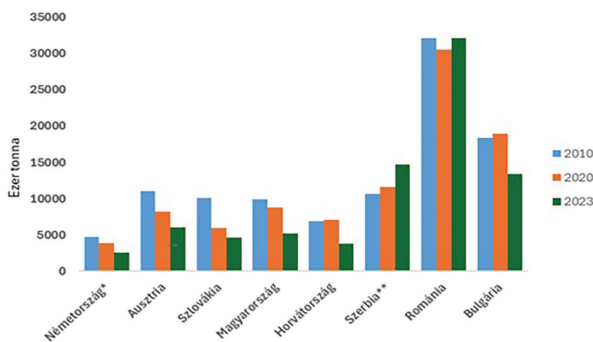
A bemutatott 2010 és 2023 közötti időszak közvetlen előzménye a 2008-as gazdasági világválság [8]. Az Európában 2009-ben kiteljesedő hitelválságot követő általános szállítási igény-visszaesés következményeként, a szállítási volumen 2011-ben érte el mélypontját, és azt követően stagnálás, majd lassú csökkenés figyelhető meg. Egyre inkább elkülönül a Duna alsó szakaszának három országa (Románia, Bulgária és Szerbia).

Ha az országokat vizsgáljuk, kitérünk Románia, amely a legjelentősebb forgalmat bonyolítja le, számára a torkolat és a Duna–Fekete-tenger-csatorna kiemelkedő előnyöket biztosít. Jelentős folyamati teherszállítás van Bulgáriában is, de ez már csak a román szállítási volumen felét jelenti. Szerbia a 2017-es mélyponthoz követően dinamikusan tudta növelni eredményeit. Évi 5 millió tonna áruszállítási volumen jellemzi Ausztriát, Szlovákiát, Magyarországot és Horvátországot, az utóbbi években csökkenés volt megfigyelhető. Németország dunai teherszállítása, ami egyben a Duna–Majna-csatorna átmenő forgalmára is utal, nem jelentős (1. ábra).

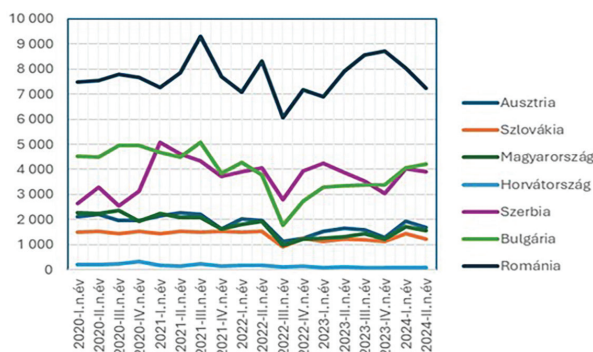
Fontos megvizsgálni, hogy az elmúlt években a geopolitikai események és válságok milyen módon befolyásolták a

teherszállítás volumenét a Dunán (2. ábra). Elmondható, hogy a 2020-ban Európában jelentős szállítási problémákat generáló COVID-19 világválság érdemi csökkenést nem okozott. Ugyanígy nem mutatható ki az ukrán-orosz háború, amely 2022 tavaszától érezte hatásait [10]. A 2022. 3. negyedévében és a 2023. 4. negyedévében jelentkező visszaesés a hajózást akadályozó, tartósan alacsony vízállás következménye. A 2022-es kisvízi időszak azért volt érdekes, mert egybeesett a Fekete-tengeren jelentkező gabonaszállítási válsággal, amely kapcsán a dunai hajózásra átmenetileg fontos szerep hárult és kiemelt figyelmet kapott.

Összefoglalva: a dunai teherforgalom egyre inkább a Vaskapu alatti szakaszra koncentrálódik, Magyarországon a forgalom folyamatosan csökken. A dunai hajózás volumene a COVID-19 világválság és az ukrán-orosz háború alatt nem esett vissza érdemben, viszont a kedvezőtlen környezeti feltételek, kiemelten a tartósan alacsony vízállások, súlyos gondokat okoztak.



1. ábra: Belvízi teherforgalom a Duna menti országokban 2010-2023, adatok: [4], [9].



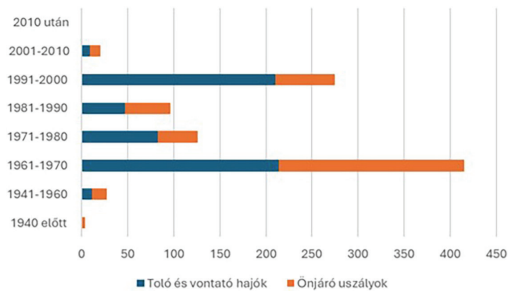
2. ábra: Belvízi teherforgalom a Duna-menti országokban 2020-2024. II. negyedév., adatok: [9]

3. 2. A dunai hajózás alapvető feltételeinek értékelése

A dunai teherhajózás vizsgálatokor szükséges figyelembe venni azokat a tényezőket, amelyek alapvetően befolyásolják az ágazat működőképességét, a szállítási módok között betöltött szerepét. Mi szükséges a teherhajózás fenntartásához? Egyrésztől jármű, ami egy működőképes, jogszabályi követelményeknek megfelelő és az állandó kihívásokhoz alkalmazkodni képes dunai flottát jelent. A legnagyobb kihívás éppen a vízi út, amely a már a bevezetésben leírt természetföldrajzi okok miatt mindig nehézséget jelent a Duna esetében. A megfelelő mélységű (2,5 méteres merülés) és egész évben hajózható Duna lenne az ideális feltétel. A hajózás a kikötők révén kapcsolódik a szállítási láncokhoz, ezek jó megközelíthetősége, rakodási, tárolási, hajózást kiszolgáló infrastruktúrája szintén alapfeltétel. Lényeges, hogy álljon a teherhajózás számára rendelkezésre versenyképesen szállítható árualap, amely ideális esetben a keresletet generálja. Végezetül nem lehet megelégedni a szakképzett személyzetről, akik a rendszert működtetik (hajósok, kikötői kiszolgáló személyzet, adminisztrátorok). Az alábbiakban röviden bemutatom ezen tényezők alapján, hogy milyen a dunai teherhajózás feltételrendszere.

3. 2. 1. Járműflotta

A Duna Bizottság adatai szerint 2022-ben a dunai flotta 681 vontató- és tolóhajóból, 389 önjáró hajóból és 1988 uszályból, valamint bárkából állt [6]. A dunai flottának sikerült megőriznie működőképességét, annak ellenére, hogy előregedett a hajóállomány. Szinte a teljes dunai flotta 2000 előtt épült, így elmúlt 25 éves. Még mindig lényeges szerepet kapnak az 1960-as években épült vontató- és tolóhajók, önjáró uszályok, amelyek a motoros flotta 43%-át alkotják (3. ábra). A jelenlegi szabályozások csak az új hajók esetében érvényesítik a szigorú környezetvédelmi előírásokat. Problémát a hajóállomány megújítása okoz, a hajók gépészeti korszerűsítése, új hajók építése nagyon költségigényes beruházás (H3 jelzésű szakértő szóbeli közlése alapján 2022-ben). Az uszályok esetében is megállapítható, hogy jelentős részük több évtizede épült, de ennek megoszlására nincsenek pontos adatok.



3. ábra: A dunai flotta járműveinek darabszáma az építés éve alapján 2022, adatok: [6]

A flotta megújítása magával hozhatja az innovatív hajótervezés eredményeinek felhasználását, így az új hajók alkalmazkodhatnak a változó környezetvédelmi elvárásokhoz és környezeti viszonyokhoz [10]. A hajók rendelkezésre állása ugyanakkor nem mindig biztosított. Az egyik nehézség, hogy egy fuvarigény felmerülésekor nincs a közelben megfelelő hajó, és meg kell várni, hogy az adott kikötőbe megérkezzen egy alkalmas jármű. A másik probléma akkor keletkezik, amikor olyan mértékű szállítási igény jelentkezik egy időszakon belül, amit a rendelkezésre álló szállítóképesség nem képes kezelni. Ilyen helyzet alakult ki a Duna középső szakaszán 2022 júliusában az ukrán gabona szállítási igényei miatt (K3 jelzésű szakértő szóbeli közlése alapján 2022-ben).

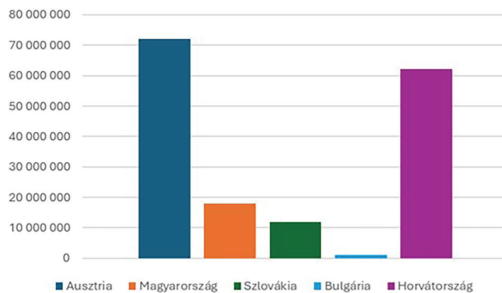
3. 2. 2. Vízi út

Az elsődleges hátráltató tényező – a szakemberek egybehangzó véleménye szerint – a vízi út állapota, mindenekelőtt az alacsony vízállás miatt a kritikus szakaszokon kialakuló gázlók (H2, H1, H3, H4, K3 jelzésű szakértők szóbeli közlése alapján 2022-ben). Ezeket csak csökkentett rakománnyal vagy súlyos esetben semmilyen módon nem tudnak a hajók áthaladni. A csökkentett rakománnyal történő hajózás a szállítás hatékonyságát csökkenti, ami a fuvardíjak növekedését jelenti, sok esetben a fuvarozó cég számára veszteséget eredményez. Ezek a körülmények egy bizonytalansági faktort jelentenek, amit nem tudnak tolerálni a logisztikai piac szereplői.

A vízi út egész évben történő hajózhatóságának megteremtése összetett feladat, mivel a folyómeder egy állandóan változásban lévő képződmény. A nagyobb vízépítési beruházások mellett szükség van a szabályozási művek

karbantartására, a meder monitoringra és az erre reagáló kotrási munkálatokra [11]. A hajózást maguk a munkálatok is hátráltatják, de elsősorban az árvizek, a jegesedés és az alacsony vízállás tudja megnehezíteni. Teljes jégmegállásra utoljára 1985-ben volt példa a magyarországi szakaszon, ahol az árvíz és különösen a jegesedés egyre ritkábban fordul elő, ezért nem jelent érdemi korlátozó tényezőt. Az alacsony vízállás azért a legproblematisabb, mert hosszabb ideig képes fennállni, és azonnali beavatkozással nem szüntethető meg a korlátozó tényező. A klímaváltozás hatására a Duna magyarországi szakaszán a vízállás szélsőségesége az elmúlt évtizedekben egyre erősebben emelkedő tendenciát mutat [12], ami elsősorban a kisvízi időszakok gyakoribb előfordulása miatt okoz problémát a hajózásban. Német kutatók vizsgálták a különböző klímamodellek (2031–2060 közötti időszakra) várható hidrológiai hatásait a Duna-medencében, ezek a nyári lefolyás egyértelmű csökkenését jelzik. A Kárpát-medencében ez a jelenség az előrejelzések szerint még markánsabb lesz és elhúzódó, késő tavasztól kora ősziig [13].

Ha a belvízi hajózás infrastruktúrájának fejlesztésére fordított forrásokat vizsgáljuk, megfigyelhető, hogy Magyarország, Szlovákia és Bulgária 2010 és 2023 között minimális mértékben költött beruházásokra (4. ábra). Magyarország 13 év alatt 18 millió eurót fordított a célra (ez az ugyanebben az időszakban autópályára fordított összeg 0,4%-a), ebből 10 millió eurót a 2016-os évben, 3 milliót 2020-ban, a fennmaradó években pedig 5 millió eurót. Horvátország és Ausztria viszonylag egyenletes eloszlásban évi 4-5 millió eurót költ a belvízi infrastruktúrára. Szerbia az OECD adatai szerint ebben az időszakban 489 millió eurót fordított erre a célra, aminek látványos eredményei vannak (pl. Futog gázló megszüntetése). Ennél is többet költött Románia, amelyre nem áll rendelkezésre OECD adat, de csak a Duna Régió Stratégiához kapcsolódó projektek keretében, az elmúlt 10 évben 1106, 5 millió eurót fordított a hajózás infrastruktúrájának fejlesztésére [14]. Németország esetében sincs csak a dunai hajóútra vonatkozó adat, de a zárógátak rekonstrukciója a Majnán (Oberнау), a Dunán (Kachlet) és kiemelten a Duna–Majna-csatornán (Kriegenbrunn, Erlangen) több mint 600 millió eurós beruházást igényelt.



4. ábra: A belvízi hajózás infrastruktúrájának fejlesztésére fordított beruházások értéke euro-ban 2010–2023, adatok: OECD [7]

A hajózhatóságot vizsgálva kijelenthető, hogy a 2,5 méternél sekélyebb vízmélység esetén a nagyobb hajók már csak csökkentett rakománnyal tudnak közlekedni. Általában nem a hajóút szélessége, hanem mélysége okoz problémát. Vanak kritikus szakaszok, ahol ez visszatérő gondot jelent. A FAIRway Danube nemzetközi projekt keretében évente többször kerül felülvizsgálatra a dunai vízi út állapota és az infrastruktúrájának előrehaladása [15].

A 2017-es évet bemutató jelentés 20 kritikus helyszínt azonosít, ahol az év egészében nem sikerült biztosítani a 2,5 méteres merülési mélységet. Ezek közül a leghosszabb szakaszok Németországban a csatornázott szakaszon találhatók, amelynek átfogó rehabilitációja szükséges. A további szakaszok láthatóan kisebb hosszúságúak, esetükben mederrendezési és kotrási munkálatok révén megteremthetők a szükséges feltételek (2. táblázat).

Bár a vízi út számos szűkületet tartalmaz (a magyar szakaszon 43 szűkületet és gázlót tartanak számon), a leginkább problémás szakaszok hajózhatóságának biztosítása már jelentős előrelépést hozhat. A Duna hajózhatóságáért dolgozó Pro Danube International képviselője szerint már 5-6 kritikus, akadályozó szakasz felszámolása 70–80%-os csökkenést eredményezne a nem hajózható napok számában. Ezek a lényeges beavatkozási helyszínek a Béctől keletre lévő szakaszok, Nyergesújfalun, Dunaföldvár (Solt), román–bolgár szakasz pár helyszíne (H4 jelzésű szakértő szóbeli közlése alapján 2022-ben). A magyar szakaszon a legkritikusabb szűk keresztmetszeteket a nyergesújfalui, dömösi, dunaföldvári és solti gázlók adják. A hajóút tartós rendezéséhez folyamszabályozási és

Folyamkilométer -tól	Folyamkilométer -ig	Szakasz hossza (km)	Parti ország	Szakasz neve, elhelyezkedése
2 321,70	2 312,00	9,70	DE / DE	Straubing (vízlépcső)–Straubing-Sand (kikötő)
2 312,00	2 282,50	29,50	DE / DE	Straubing-Sand (kikötő)–Deggendorf
2 282,50	2249,90	32,60	DE / DE	Deggendorf – Vilshofen
2 014,60	2 013,50	1,10	AT / AT	Weißkirchen
2 010,20	2 008,90	1,30	AT / AT	Dürnstein
1 888,60	1 887,60	1,00	AT / AT	Treuschütt
1 885,00	1 883,50	1,50	AT / AT	Hainburg
1 735,50	1 733,70	1,80	HU / SK	Nyergesújfalu
1 698,00	1 697,00	1,00	HU / HU	Dömös
1 638,40	1 637,40	1,00	HU / HU	Budafok
1 559,80	1 559,70	0,10	HU / HU	Dunaföldvár
1 558,50	1 557,50	1,00	HU / HU	Solt
1 408,20	1 400,00	8,20	HR / RS	Apatin
568,20	567,80	0,40	BG / RO	Milka-sziget
567,00	566,70	0,30	BG / RO	Belene-sziget
562,00	561,50	0,50	BG / RO	Coundur-sziget
541,60	541,00	0,60	BG / RO	Vardim-sziget
538,50	537,00	1,50	BG / RO	Giska-sziget
425,90	425,20	0,70	BG / RO	Kosui-sziget
309,00	308,00	1,00	RO / RO	Cochirleni

2. táblázat: A FAIRway Danube projekt által azonosított 20 kritikus szakasz a Dunán Forrás:[15]

mederkotrás munkákra van szükség, azonban a tervek megvalósítását környezeti és vízbázis-védelmi korlátok nehezítik. Bár az eddig elkészült fejlesztési programok, saját értékelésük szerint, a legkisebb beavatkozás elvét követték, sem a környezetvédelmi szervezetek, sem a politikai döntéshozók támogatását nem nyerték el.

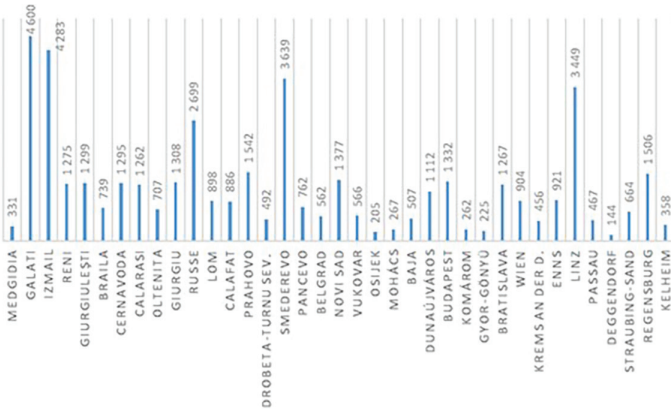
A mederrendezés és -kotrás ugyanakkor csak ideiglenes megoldást jelent, a munkákat folyamatosan szükséges végezni. Jelentős előrelépést jelentene a középső szakaszon a duzzasztás, amelynek szükségességében a hajós szakmában konszenzus van (H1, H2, H3, H4, K3 jelzésű szakértők szóbeli közlése alapján 2022-ben). A duzzasztás jelentős mértékben megkönnyítené a hajóút fenntartását és csökkentené annak költségét is, ugyanakkor a kutatók felhívják a figyelmet a negatív hatásokra is. Ezek közül a legfontosabbak a hordalékképződési, áramlási viszonyok megváltozása [11], a hordalék felhalmozódása a víztározókban és a vízbázisok veszélyeztetése. Bár a zárógát létesítése egyéb előnyökkel is jár (vízenergia-termelés, vízvisszatartás, öntözés és talajvízszint emelkedése, ipari víz és hűtővíz biztosítása), elsősorban az uniós környezetvédelmi irányelvek,

természetvédelmi szempontok és a hazai társadalmi és politikai támogatottság hiánya miatt előreláthatólag nem fog megvalósulni. Hosszú távon ezért Magyarország kénytelen berendezkedni a felső szakaszon már kiépült, duzzasztás okozta lényeges környezeti és gazdasági károk viselésére, miközben ennek előnyeit a szomszédos országok élvezik.

A dunai hajózás fenntartásához szükséges vízi út feltételei csak integrált megközelítéssel teremthetők meg, ami magába foglalja a meder fizikai rendezését, a folyamatos karbantartást, a hajóforgalom modern irányítási rendszerekkel (RIS) történő támogatását. Az egyik legsikeresebb együttműködési terület a dunai országok körében a folyami információs rendszerek fejlesztése és az adminisztráció harmonizációja, amely területeken az elmúlt évtizedben jelentős előrelépések történtek (Iris Europe, Dante, Ris Comex projektek) (H4, A2 jelzésű szakértők szóbeli közlése alapján 2022-ben).

3. 2. 3. Kikötők

A kikötői infrastruktúra rendelkezésre áll, a felső szakaszon magas szintű hatékonysággal működő trimodális terminálokkal. Megfigyelhető a kikötők szerepének átalakulása. Ipari és logisztikai központokká válásuk során a folyami kikötői funkciók kiegészítő jelentőségűvé válnak. A középső és alsó szakaszon alapvetően az ömlesztett áru kezelésére képes kikötők jellemzőek, a konténerek professzionális kezelése itt csak kevés esetben biztosított. A legnagyobb forgalmú kikötők (Galati, Izmail, Russe, Smederevo, Linz) bányászati termékek, elsősorban a vaskohászat alapanyagainak forgalmát biztosítják (5. ábra). Ennek sajnálatos magyarországi vonatkozása, hogy a dunaujvárosi vasmű bezárása, az egyik legforgalmasabb kikötő forgalmának jelentős csökkenését eredményezte.



5. ábra: A fontosabb dunai kikötők forgalma: a ki- és berakodott áruk mennyisége összesen 2023-ban, ezer tonnával megadva, adatok: [7]

A folyami teherszállítás fejlesztésének egyik kulcskérdése a kiszolgáló infrastruktúra és szolgáltatások minősége lehet. Erre vonatkozóan az osztrák Via Donau készített 2024-ben átfogó kutatást, elsősorban hajós kapitányok és hajótulajdonosok megkérdezésével. Az eredmények alapján a magyarországi kiszolgáló infrastruktúrát és szolgáltatások minőségét a válaszadók 30%-a elégségesnek vagy kedvezőtlennek ítélte meg, csak a romániai és bulgáriai feltételeknél értékelték a hajósok kedvezőbbnek a hazai körülményeket [16].

Magyarország jelentős dunai kikötőfejlesztési programot hajt végre, ennek alapja az Országos

Kikötőfejlesztési Főterv, amely parlamenti jóváhagyásra került [17]. A stratégia átfogó, megalapozó vizsgálatok és széles körű szakmai egyeztetést követően készült el. Víziója, hogy a kikötők hatékony multimodális csomópontokká váljanak, amelyek képesek a megnövekedő belvízi forgalom fogadására. A stratégia konkrét fejlesztési elképzeléseket tartalmaz a legfontosabb hazai kikötőkre, amelynek alapján, elsősorban az IKOP források révén, tényleges beruházások valósultak meg. Az IKOP-2.1.0-15 Nemzetközi (TEN-T) vasúti és vízi elérhetőség javítása pályázat keretében Baja, Mohács, Győr-Gönyű kikötőinek fejlesztése és egyéb kisebb léptékű kikötőfejlesztések zajlottak le 18,5 Mrd Ft értékben [18]. A Csepeli Szabadkikötő fejlesztése, megújítása és korszerűsítése teljes mértékben előkészített, jelenleg is több nagyberuházás van folyamatban. Az egykori hármasszámú kikötő-

medence rekultivált 30 hektáros területén, a közművek és a közlekedési hálózat kialakítása után, 120.000 m²-es logisztikai és ipari fejlesztés valósul meg, döntően 5–40 ezer m²-es épületekkel (K4, K2 jelzésű szakértők szóbeli közlése alapján 2022-ben).

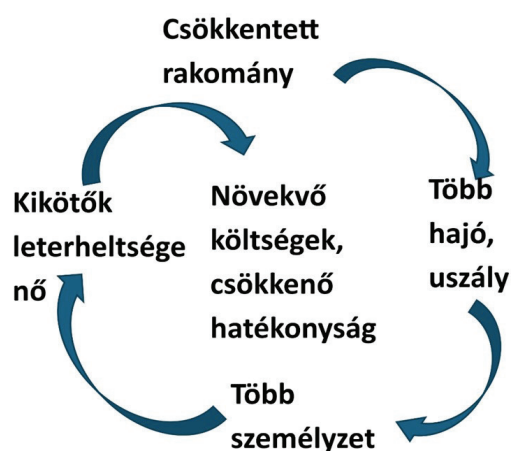
Fontos azonban megjegyezni, hogy számos kikötői beruházás nem feltétlenül kapcsolódik közvetlenül a hajózáshoz. Különösen a Csepeli Szabadkikötő egyre inkább egy logisztikai központ szerepet vesz fel, a felső szakasz menti kikötőkhöz hasonlóan.

3. 2. 4. Árualap, versenyképesség

A versenyképesen szállítható árualap tekintetében nem látnak problémát a szakemberek: a mezőgazdasági termékek, a vasipar alapanyagai, késztermékei és az egyéb ömlesztett áruk szállítása elegendő keresletet biztosít. A hajóval történő szállítás költsége ezen áruk esetében átlagosan 30%-kal kedvezőbb, mint a vasúti szállításé (K3 jelzésű szakértő szóbeli közlése alapján 2022-ben). Ugyanakkor a folyami szállítás esetében nem mindegy az áru kiinduló pontja és végcélja. Minden esetben számolni kell a ráhordás és az elhordás költségével, és csak

megfelelő távolságú hajóút révén biztosítható a versenyképes ár. A rá- és elhordás távolsága nem haladhatja meg a 150 km-t, míg a hajóút 300 km-t meghaladó kell legyen (H3 jelzésű szakértő szóbeli közlése alapján 2022-ben).

Korlátozó tényezőt jelent a bizonytalan fuvarozási idő és fuvardíj, amit nem minden megrendelő tolerál. Ezt a kockázatot tudja kritikussá tenni az alacsony vízállás miatt jelentkező hajózhatósági probléma [19]. A klímaváltozás által is gerjesztett „kiszvízi negatív spirál” [4] is problémát jelenthet, amelynek lényege, hogy az alacsony vízállás esetén csökkentett rakománnyal (pl. csak 750 tonna áru szállítása 1500 tonnás hajókkal) történő szállítás több hajót és személyzetet, elsősorban hajóvezetőt, kapitányt igényel (hajó és hajóvezető hiányt idéz elő), a kikötők működése is kevésbé hatékonyra válik (lassabb és kevésbé hatékony rakodás), ugyanakkor mindezek emelik a fuvardíjat és csökkentik a jövedelmezőséget és a versenyképességet is (6. ábra).



6. ábra: A kiszvízi negatív spirál

3. 2. 5. Munkaerő és oktatás

Problémát jelent az ágazat munkaerő-ellátása is. Egyre inkább gondot okoz a szakképzett személyzet, kiemelten a hajóskapitányok hiánya. Ezt a problémát a teherszállításban csak fokozta a személyszállítás elszívó hatása, ami kedvezőbb feltételeket kínált a hajósoknak.

Lényeges különbség van a tengerparti és „landlocked” országok oktatási kapacitása között, ezeket fejlesztési projektekkal nem lehet rövid

távon kiegyenlíteni. Viszont esély van a felhalmozott tudás megosztására az uniós országok között, amit több projekt is célul tűzött ki (HINT, Neli, DREAM, Danube Skills projektek). A harmonizáció kapcsán probléma, hogy a nemzeti oktatási rendszerek nem rugalmasak, a kialakult képzési formák és gyakorlatok csak lassan módosíthatók.

Magyarországon a képezett hajós (FEOR-szám: 8430) képzés egy hároméves szakközépiskolai tanfolyam, amelyet két városban lehet megszerezni (Budapest, Siófok). A szükséges elméleti tananyag hajós szakemberek szerint egy év alatt elsajátítható lenne. A bentlakásos hajós iskoláknak nagy hagyományai vannak azokban az országokban (Németország, Hollandia), ahol többgenerációs családi (partikuláris) hajós vállalkozások működnek (H3 jelzésű szakértő szóbeli közlése alapján 2022-ben). Az egyetemi okleveles hajós képzés Magyarországon megszűnt [20]. A legnagyobb probléma, hogy a hajós életpálya elvesztette vonzerejét, kevés fiatal választja ezt a sokszor kötöttségekkel járó pályát, ahol többnyire távol kell lenni az otthontól, családtól (H1 jelzésű szakértő szóbeli közlése alapján 2022-ben). Pedig népszerű volt a szocialista országokban, mert külföldre tudtak menni, de ez manapság a nyitott határok idején már nem biztosít előnyt (A1 jelzésű szakértő szóbeli közlése alapján 2022-ben).

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A dunai teherhajózás területileg az elmúlt 15 évben egyre inkább két részre oszlott. A folyó felső és középső szakaszán stagnálás és visszaesés jellemző, még a Duna alsó szakaszán a szállítás volumene növekedni tudott. Az elmúlt évek logisztikai piacot érintő kríziseit sikeresen vészelte át, de a klímaváltozás és a környezeti kockázatok, kiemelten az elhúzódó kiszvízi időszakok jelentős problémát okoztak.

A dunai hajóflotta előregedett, megújítása jelentős beruházásokat igényel, de középtávon elkerülhetetlen. A teherhajózási ágazat kulcsproblémája a vízi út egész évben nem biztosított hajózhatósága, a folyamatos karbantartás igénye. Ezt ugyan nemzetközi szerződésben rögzítették, de az egyes országok elkötelezettsége, a környezetvédelmi előírások és a társadalmi

tiltakozások miatt nem minden esetben valószínűleg meg. A kikötők a folyó felső és középső szakaszán egyre inkább logisztikai központokká válnak, de hajózási jelentőségük csökken. A folyami szállítás versenyképességét alapvetően ássa alá az ágazatban jelen lévő bizonytalanság, aminek legfontosabb eleme a kisvízi időszakok kialakulása. A munkaeő rendelkezésre állása esetén alapvető probléma a szakma vonzerejének csökkenése, illetve a képzési rendszer rugalmatlansága. Megoldást az oktatási rendszerek harmonizációja és vonzó életpálya biztosítása mellett az automatizáció nyújthat.

A kutatás megállapítja, hogy a fenntartható dunai hajózás feltételei csak integrált megközelítéssel és nemzetközi összefogással teremthetők meg. Amennyiben a dunai országok elkötelezettek lesznek a belvízi hajózás fejlesztésében, az magával hozhatja a közúti teherszállítás modal splitben betöltött szerepének megváltozását is. Ezt tűzi ki célul az EU 2011-ben publikált Fehér Könyv - Útitervezés az egységes európai közlekedési térség megvalósításához is, amelyben deklarálásra került, hogy 2030-ig a 300 km-nél hosszabb távolságú közúti áru fuvarozás 30%-át a vasúti vagy a vízi közlekedésnek kell átvállalnia [21].

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] AGN (1996) European Agreement On Main Inland Waterways Of International Importance, United Nations, Genova.
- [2] Rafael, R., Bálint, Á., Jármy, T. (2013) A Dunai Hajózás Kézikönyve (DHK), RSOE (eredet kiadó via donau), Budapest,
- [3] Simongáti, Gy. (2009) STPI (a fenntartható közlekedés mutatója) kidolgozása a belvízi hajózás fenntarthatóság elve szerinti értékeléséhez. Baross Gábor Közlekedéstudományok Doktoriskola, pp. 123.
- [4] Nagy, D. (2022) A dunai teherhajózás helyzete és fejlesztésének lehetőségei, a Duna Régió Stratégia eredményeinek értékelése. Pécsi Tudományegyetem.
- [5] <https://www.statistik.bayern.de/> (2025. 02. 14.)
- [6] Duna Bizottság (2022), Statistical yearbook of the Danube Commission, Budapest, pp. 106
- [7] <https://www.oecd.org/en/data.html> (2025. 10. 01.)
- [8] Hardi, T., Mladenov, C., Kazakov, B., Săgeată, R. (2024). A Duna menti város-hálózat kialakulása és fejlődése a folyó középső és alsó szakaszán. Comitatus Önkormányzati Szemle, 34 (250), pp. 89-102. DOI: <https://doi.org/10.59809/Comitatus.2024.34-250.89>
- [9] <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser> (2025. 02. 14.)
- [10] Dávid, A., Blaško, S., Ficzer, P. (2023). The impact of the war in Ukraine on inland water transport in the Danube region. Transportation Research Procedia, 74, pp. 188-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.129>
- [11] Horváth, G., Kozma, B. (2017) A dunai víziút fenntartható kihasználtságának vizsgálata, In: Horváth, Balázs; Horváth, Gábor; Gaál, Bertalan (szerk.) Térség és mobilitás : Közlekedéstudományi Konferencia, Győr, 2017: 2017. március 30-31. Győr, Magyarország: Széchenyi István Egyetem Közlekedési Tanszék, pp. 386-400.,
- [12] Konecsny, K. (2014) A vízjárás szélsőségei néhány jellemzője a Duna magyarországi szakaszán. A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett 32. Országos Vándorgyűlés dolgozatai.
- [13] Stagl, J. C., Hattermann, F. (2016) Impacts of Climate Change on Riverine Ecosystems: Alterations of Ecologically Relevant Flow Dynamics in the Danube River and Its Major Tributaries, In: Water 8 (12): 566 p. 34, DOI: <https://doi.org/10.3390/w8120566>
- [14] Nagy, D., Munkácsy, A., Jászberényi M. (2019) Impacts of the EU Strategy for the Danube Region (EUSDR) in light of transport volumes on the Danube river. Deturope, 11 (3), pp. 59-79. <https://doi.org/10.32725/det.2019.026>
- [15] <https://www.fairwaydanube.eu/> (2022. 06. 01.)
- [16] Via Donau (2024) Annual Report on Danube Navigation in Austria. via donau, Vienna, p. 46
- [17] Országos Kikötőfejlesztési Főtervezési Stratégia (2019), egyeztetési változat, MAHART Magyar Hajózási Zrt.
- [18] palyazat.gov.hu

- [19] Scholten, A., Rothstein, B. (2016) Navigation on the Danube – Limitations by low water levels and their impacts; JRC Technical Reports, 106 p. DOI: <https://doi.org/10.2788/236234>
- [20] Horváth, G. (2020) Navigare necesse est... Közlekedéstudományi Szemle, 70 (1), pp. 44-48.
- [21] Bizottság, EU. (2011). FEHÉR KÖNYV Útiterv az egységes európai közlekedési térség megvalósításához – Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé.



Evaluation of the basic conditions and infrastructure of Danube navigation, with a focus on the example of Hungary

Keywords: Danube, shipping, inland waterways, infrastructure, Hungary, cargo shipping

The exploitation of the potential of inland navigation on the Danube is limited by the natural geographical features of the river and the extreme water conditions caused by climate change. The Hungarian section of the Danube shows highlighted bottlenecks, where the necessary diving depth can only be provided for a limited time. This hydrological uncertainty significantly impairs the competitiveness and predictability of water transport in logistics chains. Development needs include the aging of the fleet and the modernization of port infrastructure, but there is also a problem with the provision of human resources. The aim of the study is to comprehensively assess the basic conditions and infrastructure of navigation on the Danube. It examines the conditions for the fulfilment of the requirements of international conventions aimed at improving navigability (AGN) and their domestic environmental and social limiting factors [1].

Térbeli autokorrelációs vizsgálat városi közlekedési hálózatban Voronoi-diagram alapú területi interpolációval

Farkas-Németh Zoltán

ITS adatelemző – doktori hallgató, Budapest Közút Zrt.
ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskola

e-mail: zoltanfarkasnemeth@gmail.com

Kézirat benyújtva: 2026.02.10.

Kézirat elfogadva: 2026.04.28.



© Farkas-Németh Z.

Absztrakt

Jelen tanulmány geoinformatikai-kartográfiai módszerekkel vizsgálja a budapesti közlekedési hálózat térbeli korrelációs mintázatait két, független adatbázison (független forgalomszámlálási csomópont-halmazok, összesen 19,6 millió mérés). A térbeli hozzárendelés Voronoi-diagram (Thiessen-poligon) alapú interpolációval történt, amely négy meteorológiai állomás és 1196 EOY koordináta-rendszerben georeferált csomópont között biztosította az objektív területi felosztást. A gráfelméleti modellezés és Pearson-féle térbeli autokorrelációs analízis mintaméret-függő eredményeket tárt fel: a nagyobb minta (A1) 12,4%-kal magasabb átlagos korrelációs együtthatót mutat ($r=0,579$ vs. $r=0,507$). A távolság-függetlenség vizsgálata ellentmond Tobler első földrajzi törvényének: az 5 km feletti és az 500 m alatti csomópont-párok gyakorlatilag azonos térbeli hasonlóságot mutatnak (42,8% vs. 41,7%). Az eredmények alátámasztják, hogy a topológiai kapcsolatok fontosabbak a térbeli autokorrelációban, mint az euklideszi távolság. A tanulmány hozzájárul a térinformatikai alapú közlekedési hálózatelemzés metodológiai fejlesztéséhez.

Kulcsszavak: *térbeli autokorreláció, Voronoi-diagram, Thiessen-poligon, térinformatika, EOY koordináta-rendszer, gráfelmélet, közlekedési hálózat, mintaméret-hatás, topológiai kapcsolatok*

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.3.2>

1. BEVEZETÉS

1. 1. Térbeli autokorrelációs elemzés a közlekedési földrajzban

A térbeli autokorreláció (spatial autocorrelation) vizsgálata alapvető jelentőségű a geodézia és térinformatika területén, különösen hálózati adatstruktúrák esetében (Anselin, 1995). Tobler (1970) szerint a földrajz első törvénye, hogy minden összefügg mindennel, de a közeli dolgok erősebben összefüggenek, mint a távoliak. Azonban olyan komplex hálózati rendszerekben, mint a városi közlekedési infrastruktúra, ez a törvény nem feltétlenül érvényes: a funkcionális-topológiai kapcsolatok gyakran fontosabbak lehetnek, mint a pusztai földrajzi távolság.

A közlekedési hálózatok térbeli elemzésében kulcsfontosságú a georeferált csomópontok közötti kapcsolatok feltárása. A közlekedéstudományban az egyes helyszínek közötti forgalom nagyság és a távolság összefüggését hagyományosan a gravitációs modell írja le, amely már a XIX. század óta ismert és évtizedek óta széles körben alkalmazott eszköz (Zipf, 1946; Wilson, 1967). E modell alapján a közelebbi helyszínek között nagyobb forgalom várható, ami összhangban van Tobler törvényével, ugyanakkor városi hálózatokban a topológiai és funkcionális kapcsolatok ezt az összefüggést felülírhatják. Maze et al. (2006) kimutatta, hogy az időjárás körülmények – köztük a csapadék – szignifikánsan befolyásolja a forgalom nagyságát és a közlekedés biztonságát. Koetse és Ritveld (2009) átfogó metaanalízise megerősítette, hogy e hatások térbeli mintázatot követnek, geoinformatikai-kartográfiai módszerekkel való kvantifikálásuk azonban hiányos. A korábbi tanulmányok kis mintával (15-30 csomópont) dolgoztak, és nem vizsgálták a mintaméret hatását a térbeli autokorrelációs mutatókra.

1. 2. Voronoi-diagram alkalmazása térbeli interpolációban

A Voronoi-diagram (más néven Thiessen-polygon, Dirichlet-tesszelláció) a térfelosztás egyik legfontosabb eszköze a térinformatikában (Thiessen, 1911; Aurenhammer, 1991). Legközelebbi pont elve alapján osztja fel a síkot: minden területi egység ahhoz a generátorponthoz tartozik, amelyhez a legközelebb van. A módszer előnyei:

- az objektív, reprodukálható felosztás;
- nem igényel előzetes tudást a térbeli struktúráról;
- a matematikailag egyértelmű határok, valamint
- hatékony számítási algoritmusok állnak rendelkezésre.

Meteorológiai interpolációban a Voronoi-diagram széles körben alkalmazott (Szentimrey, 1999). Jelen kutatásban négy OMSZ állomás (János-hegy, Budafok, 2. kerület, Érd) és 1196 forgalomszámlálási csomópont közötti térbeli hozzárendelésre használjuk, EOVS (Egységes Országos Vetületi) koordináta-rendszerben.

1. 3. Kutatási célkitűzések és hipotézisek

A tanulmány komparatív megközelítést alkalmaz: két, független térbeli adatbázist elemez párhuzamosan (101 és 72 csomópont) ugyanabból a területről és időszakból, ami lehetővé teszi a mintaméret-hatás statisztikai vizsgálatát. A kutatás négy hipotézis köré szerveződik:

- Az első szerint a mintaméret szignifikánsan befolyásolja a térbeli autokorrelációs együtthatókat (H1).
- A második szerint a Voronoi-diagram alapú területi interpoláció objektív, reprodukálható eredményeket ad (H2).
- A harmadik szerint a topológiai (hálózati) kapcsolatok erősebb prediktorai a forgalmi korrelációnak, mint az euklideszi távolság (H3).
- A negyedik szerint az időjárás tényezők térbeli hatása csomópont-specifikus, nem távolságfüggő (H4).

2. ADATOK ÉS MÓDSZEREK

2. 1. Térképi adatbázis és koordináta-rendszerek

Az elemzés két, független forgalomszámlálási adatbázisra épül Budapest közigazgatási területéről (1. táblázat). A vizsgálati időszak: 2024. november 19. – 2025. december 18. (393 nap). Az alapul vett 1196 forgalomszámlálási csomópont georeferálása az OpenStreetMap 2026. február 10-i állapotú Budapest közúthálózati adatbázisán alapul (OpenStreetMap Contributors, 2026), az adatgyűjtés módszertanát

Leduc (2008) foglalja össze átfogóan. Mind az 1196 forgalomszámlálási csomópont EOVS (EP-SG:23700) koordinátákkal rendelkezik. Ez az adatbázis közlekedéstervezési szempontrendszer alapján lett kialakítva, amely a kisebb forgalmú csomópontokat alulreprezentálhatja. A negyedórás bontású forgalmi adatok, – amelyek egységjárműre (pcu) átszámított értékeket tartalmaznak – óránkénti aggregálással kerültek feldolgozásra. Az 1. táblázatban szereplő átlagforgalom-értékek csomópontonként a mérési időszak összes mérési időpontjának számtani átlagát jelölik. A két rész minta (A1: n=101, A2: n=72) az 1196 csomópontos adatbázisból lett kiválasztva:

- az A1 nagyminta a forgalomszámlálási időszak teljes területi lefedettségét biztosító csomópontokat tartalmazza;
- az A2 almintá ennek azon részhalma, amelyre az adott időszakban hiánymentes idősor állt rendelkezésre.

A két minta részben átfedő, ám topológiailag különböző eloszlást mutat.

Geodéziai-térinformatikai jellemző	Nagyminta (A1)	Alminta (A2)
Georeferált csomópontok száma (n)	101	72
Összes mérés (idősor-pont)	10 790 950	8 787 397
Átlagforgalom (pcu/óra)	202,6	252,0
Koordináta-rendszer	EOV (EPSG: 23700)	EOV (EPSG:23700)
Csapadékos időszakok aránya	1,19%	1,37%
Meteorológiai állomások száma	4 (OMSZ)	4 (OMSZ)

1. táblázat: Két térbeli adatbázis összehasonlító jellemzői

A két minta különböző sűrűségi jellemzőkkel rendelkezik: az A1 nagyminta alacsonyabb átlagforgalmat mutat (202,6 vs. 252,0 pcu/óra), jelezve nagyobb térbeli heterogenitást és több alacsony forgalmú csomópont reprezentációját.

2. 2. Voronoi-diagram alapú térbeli interpoláció

A meteorológiai adatok (csapadék) és a forgalomszámlálási csomópontok térbeli hozzárendelése Voronoi-tesszellációval történt (Aurenhammer, 1991). Az algoritmus lépései:

(1) Négy generátorpont (meteorológiai állomások) EOVS koordinátáinak meghatározása:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$$

(2) Minden forgalomszámlálási csomópont (q_i, i=1...1196) az euklideszi távolság számítása minden generátorponthoz:

$$d(q_i, p_j) = \sqrt{[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]}$$

(3) Csomópont hozzárendelése a legközelebbi generátorponthoz:

$$V(p_i) = \{q_i \in Q : d(q_i, p_i) \leq d(q_i, p_k), \forall k \neq i\}$$

(4) Voronoi-cella határainak meghatározása: minden határ olyan pontok halmaza, amelyek két generátorponttól azonos távolságra vannak.

Ez a módszer biztosítja a térbeli kontinuitást és az objektív, reprodukálható területi felosztást. Az algoritmus implementációja Python Scipy könyvtár használatával történt (Virtanen et al., 2020).

2. 3. Gráfelméleti modellezés és térbeli autokorrelációs analízis

A forgalomszámlálási hálózat irányítatlan gráfként került modellezésre:

$$G = (V, E),$$

ahol V a csomópontok halmaza (vertices), E az élek halmaza (edges).

Él (e_{ij}) létrejön i és j csomópont között, ha a Pearson-féle korrelációs együttható meghaladja az r(i,j) ≥ 0,7 küszöbértéket (α = 0,05 szignifikanciaszint). A korrelációs együtthatók az egyes csomópontpárok óránkénti pcu-értékeinek teljes időszóra vonatkoznak, irány és járműkategória szerint aggregálva. Térbeli autokorrelációs metrikák:

(1) Átlagos korrelációs együttható

$$\langle \bar{r} \rangle = \sum r(i,j)/n, \text{ ahol } n \text{ a csomópontpárok száma.}$$

(2) Térbeli hasonlósági index (TSI) = (egyező előjelű korrelációk száma) / (összes pár) × 100%

(3) Késletetett korreláció (lag correlation) vizsgálata ± 3 órás időablakban. Kategóriáképzés: A naptípus (munkanap / hétvége / munkaszüneti nap) és az időjárás (száraz / csapadékos) Descartes-szorzata elvben $3 \times 2 = 6$ kategóriát adna; a munkaszüneti napokat a hétvégetől elkülönítve kezeljük, mivel forgalmi szempontból eltérő mintázatot mutatnak (törvényes munkaszüneti nap, amely hétköznapra esik).

A vizsgálat a 2. táblázatban szereplő öt kategóriára és az összesített esetre tér ki; a legritkább kombinációkra (pl. munkaszüneti+csapadékos) az alacsony előfordulási arány (1,19–1,37%) miatt önálló következtetések nem vonhatók le.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Térbeli autokorrelációs együtthatók mintaméret-függése

A két térbeli adatbázis átlagos korrelációs együtthatóit a 2. táblázat mutatja be kategóriánként. A nagyminta (A1, $n=101$) szisztematikusan magasabb \bar{r} értékeket produkál minden kategóriában. Az ÖSSZES kategóriában $\Delta r = +0,072$ (12,4% relatív növekedés), amely statisztikailag szignifikáns ($p < 0,001$, bootstrap teszt 10000 iterációval).

Kategória	A1 ($n=101$) \bar{r}	A2 ($n=72$) \bar{r}	Δr	Változás %
Munkanap	0,539	0,486	+0,053	+10,9%
Száraz	0,579	0,505	+0,074	+14,7%
Csapadékos	0,556	0,473	+0,083	+17,5%
Munkaszüneti	0,563	0,478	+0,085	+17,8%
Munkaszüneti + Csapadékos	0,447	0,463	-0,016	-3,5%
ÖSSZES	0,579	0,507	+0,072	+14,2%

2. táblázat: Térbeli korrelációs együtthatók összehasonlítása kategóriánként

A legnagyobb mintaméret-hatás a „Munkaszüneti” kategóriában mutatkozik ($\Delta r = +0,085$, +17,8%), míg a „Munkaszüneti+Csapadékos” kategória minimális inverz hatást mutat ($\Delta r = -0,016$, -3,5%). Ez arra utal, hogy a térbeli autokorreláció robusztussága kontextusfüggő: normál körülmények között stabil, szélsőséges körülmények között nagyobb mintavételi

variációval rendelkeznek. A H1 hipotézis tehát igazolódott: a mintaméret szignifikánsan befolyásolja a térbeli autokorrelációs együtthatókat.

3.2. Távolság-függő térbeli hasonlóság vizsgálata

Az 1. ábra a térbeli hasonlósági index (TSI) változását mutatja az euklideszi távolság függvényében. Mindkét minta ellentmond Tobler törvényének: a TSI értékek közel állandóak (41–50%) minden távolság-kategóriában.

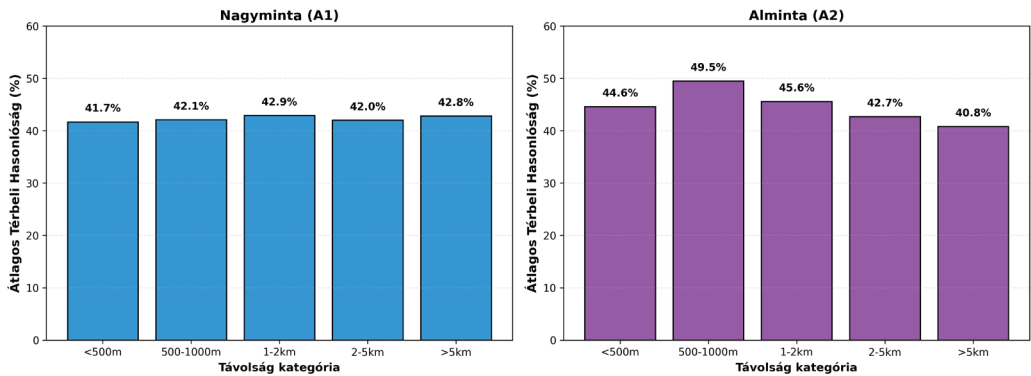
Az A1 nagymintában a <500 m és >5 km kategóriák gyakorlatilag azonos TSI értékeket mutatnak (41,7% vs. 42,8%, $\Delta=1,1$ százalékpont). Ez térinformatikai szempontból fontos megfigyelés: az euklideszi metrika gyenge prediktor a hálózati rendszerekben. A legnagyobb eltérés a mintaméretek között az 500–1000 m kategóriában jelentkezik (49,5% vs. 42,1%, $\Delta=-7,4$ százalékpont), ami a térbeli klaszterezés különbségére utal (1. ábra). A H3 hipotézis igazolódott: a topológiai kapcsolatok fontosabbak, mint az euklideszi távolság.

3.3. Mintaméret-hatás térbeli eloszlása

A 2. ábra a mintaméret-hatás nagyságát (Δr) vizualizálja kategóriánként. A pozitív értékek jelzik, hogy a nagyobb térbeli minta erősebb autokorrelációt detektál, a „Munkaszüneti+Csapadékos” kategória kivétel: itt az almlinta mutat minimálisan magasabb értéket.

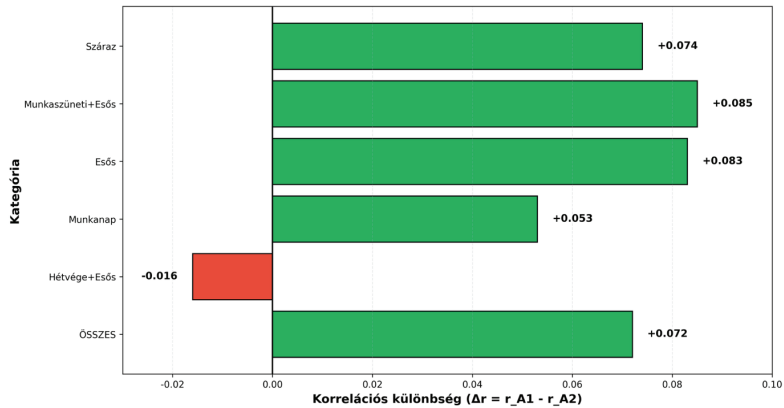
A mintaméret növelése javítja a térbeli reprezentációt, különösen normál körülmények (Száraz: $\Delta r=+0,074$, Munkanap: $\Delta r=+0,053$) esetén (2. ábra). Ez alátámasztja a H1 hipotézist: a mintaméret szignifikánsan befolyásolja a térbeli autokorrelációs mutatókat. A térinformatikai gyakorlat szempontjából figyelemre méltó, hogy a két vizsgált minta ($n=72$ és $n=101$) közötti különbség szisztematikus eltérést mutat. Az optimális elemszámra vonatkozó általánosítható ajánlás megfogalmazásához azonban további, különböző méretű minták szisztematikus vizsgálata szükséges.

1. ábra: Térbeli autokorreláció távolság szerint
Mintaméret-specifikus mintázatok



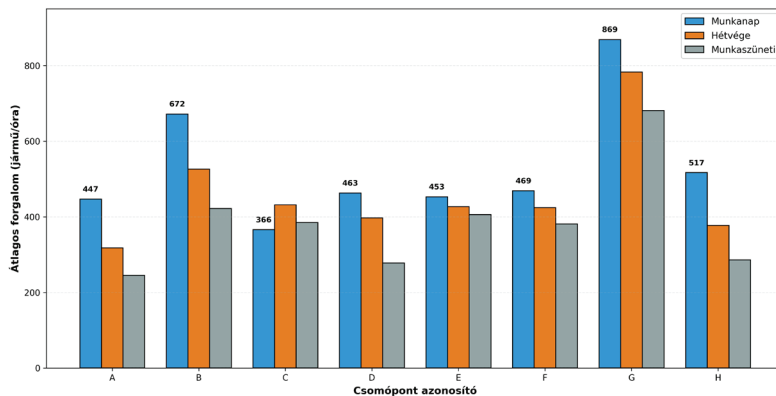
1. ábra: Térbeli autokorreláció az euklideszi távolság függvényében (bal: A1, jobb: A2)

2. ábra: Mintaméret-hatás térbeli autokorrelációs együtthatókra
Pozitív érték: nagyobb minta erősebb korrelációt mutat



2. ábra: Mintaméret-hatás térbeli autokorrelációs együtthatókra ($\Delta r = r_{a1} - r_{a2}$)

3. ábra: Naptípus szerinti térbeli variabilitás (A2 minta, kiválasztott csomópontok)



3. ábra: Naptípus szerinti térbeli variabilitás (A2 minta, kiválasztott csomópontok)

3. 4. Időbeli-térbeli minták: naptípus szerinti variabilitás

A 3. ábra a naptípus szerinti forgalmi mintákat mutatja be az A2 alminta nyolc kiválasztott csomópontján. A térbeli heterogenitás jelentős: egyes csomópontok (571, 822) hétvégén is 90% feletti forgalmat tartanak, míg mások (233) 50% alá esnek.

Kartográfiai szempontból fontos, hogy a térbeli autokorrelációt nem kizárólag a földrajzi elhelyezkedés határozza meg, hanem a funkcionális tipológia is (főút vs. mellékút) – ahogy azt a 3. ábra is szemlélteti. Ez alátámasztja a H3 hipotézist a topológiai kapcsolatok elsődlegességéről.

4. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE ÉS GEODÉZIAI IMPLIKÁCIÓK

4. 1. Mintaméret-hatás a térbeli statisztikában

A két független térbeli adatbázis komparatív elemzése egyértelmű mintaméret-függést tárt fel ($\Delta\bar{r} = +0,072, +14,2\%, p < 0,001$), amit a 2. ábra is szemléltet. Ez geodéziai-statisztikai szempontból fontos eredmény: a térbeli autokorrelációs mutatók megbízhatósága erősen függ a georeferált pontok számától. A nagyobb minta (A1) esetében a több csomópontpár (5050 vs. 2556) növeli a ritka, de erős korrelációk detektálásának valószínűségét, a térbeli heterogenitás pontosabban leképezhető, és a bootstrap-tesztekkel ellenőrzött eredmények stabilabbak. Ennek geodéziai magyarázata, hogy a térbeli mintavétel nem független, mint a klasszikus statisztikában, hanem a földrajzi elhelyezkedés által strukturált (Anselin, 1995). A nagyobb minta csökkenti a térbeli autokorrelációból eredő standard hiba alulbecslését.

4. 2. Tobler törvényének érvényessége hálózati rendszerekben

A legfontosabb térinformatikai eredmény, amit az 1. ábra is demonstrál: mindkét adatbázis elemzése ellentmond Tobler első földrajzi törvényének. Az euklideszi távolság (d) és a térbeli hasonlóság (TSI) között nincs statisztikailag szignifikáns kapcsolat (Pearson $r = -0,08, p = 0,67$ az A1 mintában; $r = 0,12, p = 0,51$ az

A2 mintában). A <500 m és >5 km kategóriák TSI értékei szinte azonosak ($42\% \pm 2\%$). Ez a városi közúthálózat sajátosságainak figyelembevételével értelmezhető: a hálózati metrikák (legrövidebb út, topológiai távolság) relevánsabbak, mint az euklideszi távolság, és a funkcionális integráció – például egy főútvonal egymástól távoli szakaszai – erősebb kapcsolatot eredményez, mint a földrajzi szomszédság. A „közeli dolgok erősebben összefüggnek” axióma hálózati struktúrák esetén tehát nem érvényes automatikusan. Fontos hangsúlyozni, hogy ez az eredmény a vizsgált városi hálózati kontextusra érvényes. A hálózat kiterjedése és az átlagos utazási távolságok nagyságrendje összemérhető, ami a topológiai hatás felerősítéséhez vezet. Más kontextusban – például az országos közúthálózaton, ahol a hálózat kiterjedése lényegesen meghaladja az átlagos utazási távolságot – a távolságfüggő összefüggés feltehetően más képet mutatna. Városon belül is lényeges tényező a csomópontok kapacitáskihasználtsága: telített keresztmetszeteken a mért forgalomnagyságot a kapacitás, nem az igény határozza meg. Az eredmények tehát nem általánosíthatók korlátok nélkül, alkalmazásuk más hálózati rendszerekre körültekintést igényel. Mindebből következik, hogy a térinformatikai rendszerek tervezésekor nem elégséges az euklideszi szomszédsági viszonyok figyelembevétele – a hálózati kapcsolatok explicit modellezése szükséges.

4. 3. Voronoi-diagram térbeli interpolációs pontossága

A Voronoi-tesszelláció alkalmazásának értékelése több szempontból lehetséges. A módszer legfőbb előnye az objektív területi felosztás: nincs szubjektív paraméterválasztás, az algoritmus determinisztikus, ezért az eredmények reprodukálhatók, és minden csomópont egyértelműen hozzárendelhető a legközelebbi meteorológiai állomáshoz. A hálózati szintű átlag nem mutat szisztematikus torzítást. Ugyanakkor a módszer feltételezi a csapadék térbeli homogenitását a cellán belül. Budapest domborzati viszonyai (János-hegy: 527 m, Duna-part: 96 m) lokális, mikroklimatikus eltéréseket okozhatnak, amelyek a négy állomás között interpolálhatatlanok. Az egyes cellákhoz rendelt csomópontok és a meteorológiai adatok közötti hozzárendelés megfelelőségét önálló validálási

lépéssel nem vizsgálatuk; a módszer értékelése az algoritmus determinisztikus jellegére és belső konzisztenciájára épül. A jövőbeli kutatásban súlyozott Voronoi-diagram – például magasság alapján – javíthatná a pontosságot.

4. 4. Geodéziai ajánlások térinformatikai elemzésekhez

A kutatási eredmények alapján, – amelyeket az 1., 2. és 3. ábra is szemléltet – a következő, elsősorban a vizsgált városi kontextusra vonatkozó módszertani megfontolások fogalmazhatók meg. A mintaméret kérdésében a két vizsgált minta ($n=72$ és $n=101$) szisztematikus különbséget mutat, ami arra utal, hogy a nagyobb elemszám javítja az autokorrelációs mutatók stabilitását, általánosan érvényes minimális elemszám meghatározásához azonban szélesebb összehasonlítás szükséges. Interpolációs módszer tekintetében a Voronoi-diagram az objektív, reprodukálható területi felosztás miatt előnyösnek mutatkozott a kriging vagy az IDW alternatívákhoz képest, bár a módszer validálása minden alkalmazásban ajánlott. A koordináta-rendszer megválasztásánál az EOVS (EPSG:23700) Magyarország területére megfelelő, nemzetközi összehasonlításokhoz azonban ETRS89 vagy WGS84 ajánlott. Hálózati metrikák szempontjából a vizsgált hálózatban a topológiai távolság relevánsabbnak mutatkozott az euklideszi távolságnál, bár topológiai távolságon alapuló közvetlen összehasonlítást jelen tanulmány nem végezt. Végül a kontextusfüggő kategorizálás lényegesnek bizonyult a térbeli autokorrelációs minták helyes értelmezéséhez.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen kutatás térinformatikai módszerekkel vizsgálta a budapesti közlekedési hálózat térbeli autokorrelációs mintázatait két független adatbázis ($n_1=101$, $n_2=72$) komparatív elemzése révén, ami lehetővé tette a mintaméret-hatás kvantitatív vizsgálatát.

A vizsgálat legfontosabb eredménye, hogy a mintaméret szignifikánsan befolyásolja a térbeli autokorrelációs együtthatókat: a nagyobb minta 14,2%-kal magasabb \bar{r} értéket mutat (0,579 vs. 0,507, $p<0,001$). A Voronoi-tesszelláció objektív, reprodukálható térbeli interpolációt biztosít

meteorológiai adatokhoz. Tobler első földrajzi törvénye a vizsgált városi hálózatban nem érvényes: az euklideszi távolság gyenge prediktor ($r=-0,08$, $p=0,67$), a topológiai kapcsolatok dominálnak. A térbeli autokorrelációs minták kontextusfüggőnek bizonyultak: normál körülmények között robusztusak, szélsőséges körülmények között mintaspecifikusak. A két vizsgált minta eredményei alapján a nagyobb elemszám ($n=101$) stabilabb autokorrelációs mutatókat adott, általánosan alkalmazható minimális elemszám-ajánláshoz további vizsgálatok szükségesek.

A tanulmány hozzájárulása a térinformatika tudományához több szempontból értelmezhető: komparatív megközelítéssel elsőként kvantifikálja a mintaméret-hatást térbeli autokorrelációs analízisben, bemutatja a Voronoi-diagram meteorológiai interpolációra való alkalmazhatóságát hálózati kontextusban, és vizsgálja a Tobler-törvény érvényességét városi közúthálózaton. Az eredmények alapján szempontok fogalmazhatók meg térbeli mintavételi stratégiákhoz. Az eredmények adaptálhatók más városi hálózatokra és felhasználhatók intelligens közlekedési rendszerek geodéziai alapjainak fejlesztéséhez, a jelen tanulmányban tárgyalt korlátok figyelembevételével.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Anselin, L. (1995) Local indicators of spatial association – LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), pp. 93–115. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- [2] Aurenhammer, F. (1991) Voronoi diagrams – a survey of a fundamental geometric data structure. *ACM Computing Surveys*, 23(3), pp. 345–405. DOI: <https://doi.org/10.1145/116873.116880>
- [3] Koetse, M. J., Rietveld, P. (2009) The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), pp. 205–221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004>
- [4] Leduc, G. (2008) Road traffic data: Collection methods and applications. Working Papers on Energy, Transport and Climate Change, 1 (55), pp. 1–55. European Commission, Joint Research Centre.

- [5] Maze, T. H., Agarwal, M., Burchett, G. (2006) Whether weather matters to traffic demand, traffic safety, and traffic operations and flow. *Transportation Research Record*, 1948 (1), pp. 170–176. DOI: <https://doi.org/10.1177/0361198106194800119>
- [6] OpenStreetMap Contributors (2026) OpenStreetMap – Budapest közúthálózati adatbázis [adatbázis, 2026. február 10-i állapot]. OpenStreetMap Foundation. URL: <https://www.openstreetmap.org> (Letöltés: 2026. február 10.) Licenc: Open Database License (ODbL) v1.0.
- [7] Szentimrey, T. (1999) Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*, Budapest, Hungary, WMO, WCD-MP-No. 41, pp. 27–46.
- [8] Thiessen, A. H. (1911) Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review*, 39 (7), pp. 1082–1089. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1911\)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1911)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2)
- [9] Tobler, W. R. (1970) A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46 (sup 1), pp. 234–240. DOI: <https://doi.org/10.2307/143141>
- [10] Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T.E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., Weckesser, W., Bright, J., van der Walt, S.J., Brett, M., Wilson, J., Millman, K.J., Mayorov, N., Nelson, A.R.J., Jones, E., Kern, R., Larson, C.J.C., Polat, Í., Feng, Y., Moore, E.W., VanderPlas, J. (2020) SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17(3), pp. 261–272. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
- [11] Wilson, A. G. (1967). A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, 1(3), pp. 253–269. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(67\)90035-4](https://doi.org/10.1016/0041-1647(67)90035-4)
- [12] Zipf, G. K. (1946). The P_1P_2/D hypothesis: on the intercity movement of persons. *American Sociological Review*, 11(6), pp. 677–686. DOI: <https://doi.org/10.2307/2087063>



Spatial autocorrelation study in urban transport networks using Voronoi diagram-based interpolation

Keywords: spatial autocorrelation, Voronoi diagram, Thiessen polygon, GIS, EOVS coordinate system, graph theory, transportation network, sample size effect, topological relationships

This study uses geoinformatics-cartographic methods to investigate the spatial correlation patterns of the Budapest transport network on two independent databases (independent traffic counting node sets, a total of 19.6 million measurements). Spatial assignment was performed using Voronoi diagram (Thiessen polygon)-based interpolation, which ensured an objective spatial division between four meteorological stations and 1196 nodes georeferenced in the EOVS coordinate system. Graph theory modeling and Pearson spatial autocorrelation analysis revealed sample size-dependent results: the larger sample (A1) shows a 12.4% higher average correlation coefficient ($r=0.579$ vs. $r=0.507$). The distance-independence test contradicts Tobler's first geographical law: node pairs above 5 km and below 500 m show practically the same spatial similarity (42.8% vs. 41.7%). The results support that topological relationships are more important in spatial autocorrelation than Euclidean distance. The study contributes to the methodological development of GIS-based transport network analysis.

Valós idejű utastájékoztató SmartPage e-papír alapú kijelző rendszerrel

Fecske Tamás¹ – Kecskés Rita²

HC LINEAR Műszaki Fejlesztő Kft.

e-mail: fecske.tamas@hcllinear.hu, kecskes.rita@hcllinear.hu

Kézirat benyújtva: 2026.04.02.

Kézirat elfogadva: 2026.05.05.



© Fecske T., Kecskés R.

Absztrakt

A korszerű közösségi közlekedési rendszerek egyik kulcseleme a pontos és megbízható utastájékoztató biztosítása. A hagyományos papíralapú menetrendek statikus jellegűek, így nem képesek megjeleníteni a közlekedési rendszer valós idejű változásait, míg a digitális LED vagy TFT/LCD kijelzők jelentős energiafogyasztási és infrastruktúra-igénnyel működnek. Ezekre a problémákra nyújt megoldást az e-papír technológián alapuló, energiahatékony utastájékoztató eszköz a közösségi közlekedés résztvevői számára. Vállaltunk, a HC Linear Kft. egy projekt keretén belül fejlesztette ki a SmartPage utastájékoztató rendszert.

Kulcsszavak: e-papír kijelző, utastájékoztató rendszer, intelligens közlekedési rendszerek, valós idejű utastájékoztató, SmartPage

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.3.3>

1. BEVEZETÉS

A megbízható utastájékoztató a modern közösségi közlekedési rendszerek egyik alapvető eleme. A járművek érkezésére, indulására és az esetleges szolgáltatási változásokra vonatkozó pontos és naprakész információk jelentősen javítják az utasélményt, valamint hozzájárulnak a közlekedési hálózatok hatékonyabb működéséhez. Az elmúlt években a közösségi közlekedési infrastruktúra digitalizációja lehetővé tette a valós idejű utastájékoztató rendszerek széles körű elterjedését, amelyek járműkövetési adatok és központi adatfeldolgozás segítségével biztosítanak dinamikus információkat az utasok számára.

A megállóhelyeken elhelyezett hagyományos utastájékoztató általában nyomtatott menetrendeken alapul. Bár ezek a megoldások

egyszerűek és költséghatékonyak, alapvetően statikus jellegűek, így nem képesek tükrözni a közlekedési helyzet valós idejű változásait, a kéréseket vagy az esetleges szolgáltatási zavarokat. A papíralapú menetrendek frissítése manuális beavatkozást igényel, ami korlátozza a gyakori módosítások lehetőségét és növeli az üzemeltetési terheket. Ugyanakkor a papíralapú indulási jegyzékek fontos előnye a teljes menetrendi információ egyidejű, strukturált megjelenítése, amely a felhasználók számára jól áttekinthető és megszokott formátumot biztosít, ezért teljes kiváltásuk műszaki és felhasználói szempontból egyaránt mérlegelést igényel.

Az elmúlt évek kijelző-technológiai fejlődése új lehetőségeket teremtett az alacsony energiafogyasztású információs rendszerek számára. Az elektronikus papír (e-paper) technológia ígéretes alternatívát jelent, mivel rendkívül alacsony

energiafelhasználással működik, miközben különböző fényviszonyok mellett – beleértve a közvetlen napsütést is – kiváló olvashatóságot biztosít. A hagyományos LED és LCD kijelzőkkel ellentétben az e-papír technológia csak a tartalom frissítésekor fogyaszt energiát, ami lehetővé teszi az akkumulátoros és napelemes működést (1. ábra).



1. ábra: HC LINEAR Kft. által fejlesztett SmartPage kijelző (Forrás: saját szerkesztés)

Az e-papír alapú megoldások alkalmazása a megállóhelyi utastájékoztatóban alapvetően két irányban értelmezhető: egyrészt a hagyományos papíralapú indulási jegyzékek teljes kiváltásaként, másrészt azok kiegészítéseként, dinamikus és valós idejű információk biztosítására. Mindkét megközelítés eltérő műszaki és üzemeltetési kompromisszumokat hordozott, különös tekintettel a megjeleníthető információ mennyiségére, a frissítési gyakoriságra, az energiellátási feltételekre, valamint a felhasználói elvárásokra.

2. TECHNOLÓGIAI ÁTTEKINTÉS

A modern városi közlekedési rendszerek fejlődése szorosan összefügg az intelligens közlekedési rendszerek (Intelligent Transportation Systems – ITS), az IoT (Internet of Things), valamint az energiahatékony megjelenítési technológiák térnyerésével. E technológiai konvergencia különösen az utastájékoztatói rendszerek területén eredményezett jelentős előrelépést, ahol a fizikai infrastruktúra és a digitális adatfeldolgozás integrációja egyre hangsúlyosabbá

válik. A szakirodalomban egyre nagyobb hangsúlyt kapnak azok a megoldások, amelyek valós idejű információval támogatják az utasokat, növelve a szolgáltatás megbízhatóságát és vonzerejét. Ezen megoldások közé tartoznak a megállóhelyi kijelzők, amelyek a hagyományos statikus információhordozók és a dinamikus, hálózatba kapcsolt rendszerek közötti átmenetet képviselik és amelyek esetében kiemelt kérdés a funkcionalitás, az energiahatékony és az üzemeltetési költségek közötti optimalizáció.

2. 1. Valós idejű utastájékoztató rendszerek

A valós idejű utastájékoztató rendszerek (RTPI – Real-Time Passenger Information) kulcsszerepet játszanak a közösségi közlekedés minőségének javításában. Kutatások szerint az ilyen rendszerek jelentősen növelik az utasok elégedettségét és csökkentik az utazással kapcsolatos bizonytalanságot (Zhang et al., 2021).

Az RTPI rendszerek alapját az automatikus járműkövető rendszerek – Automatic Vehicle Location (AVL) – technológiák adják, amelyek jellemzően GPS-alapú járműkövetést alkalmaznak (Furth & Muller, 2006). A járművek fedélzeti egységei folyamatosan továbbítják a pozíció adatokat egy központi szerver felé, amely feldolgozza azokat és elérhetővé teszi az utasok számára.

A hazánkban elterjedt, a HC Linear Kft. által kifejlesztett GPS-alapú flottakövető rendszer is lehetővé teszi a járművek aktuális helyzetének meghatározását, valamint a mozgási paraméterek elemzését. A rendszer folyamatos adatgyűjtést és -továbbítást biztosít, amely a központi feldolgozó rendszerek számára naprakész állapot-információkat szolgáltat a járművek üzeméről és pozíciójáról. Ezek az adatok alapvető bemeneti információként szolgálnak az ETA (Estimated Time of Arrival), azaz a várható érkezési idő számításához. Az ETA modellek gyakran kombinálják a valós idejű és historikus adatokat, így dinamikus módon képesek alkalmazkodni a forgalmi viszonyokhoz (Zanella et al., 2014). Ezen modellek pontossága kulcsfontosságú a megállóhelyi utastájékoztatói szempontjából, mivel közvetlenül befolyásolja a megjelenített információk megbízhatóságát és az utasok döntéshozatali folyamatait.

A fejlettebb megközelítések már mesterséges intelligenciát is alkalmaznak. A neurális háló alapú modellek jelentősen javíthatják az előrejelzési pontosságot, különösen komplex városi környezetben (Jeong et al., 2005). Az ilyen típusú modellek képesek nagy mennyiségű, heterogén adat, például forgalmi terhelés, időjárási körülmények és korábbi közlekedési mintázatok együttes feldolgozására, ezáltal robusztusabb és adaptívabb előrejelzést biztosítva.

2. 2. IoT megoldások a közösségi közlekedési infrastruktúrában

Az IoT technológiák integrációja új lehetőségeket teremt a közlekedési rendszerek fejlesztésében. Az IoT-alapú rendszerek lehetővé teszik különböző szenzorok és eszközök hálózatba kapcsolását, amelyek valós időben gyűjtik és továbbítják az adatokat (Zanella et al., 2014).

A közösségi közlekedésben az IoT alkalmazása több területet is érint, beleértve a járműkövetést, az utasszámlálást és a forgalmi adatok gyűjtését. Egyes rendszerek már képesek a járművek telítettségének becslésére is, amely segíti az utasokat az optimális döntések meghozatalában (Al-Fuqaha et al., 2015).

Az „okos megálló” (smart bus stops) az IoT infrastruktúra fontos elemei. Ezek digitális kijelzőkkel és kommunikációs modulokkal vannak felszerelve, amelyek valós idejű információkat jelenítenek meg. Egyes kutatások szerint ezek a rendszerek energiahatékony módon is működtethetők, például napelemes ellátással (Rosa et al., 2023).

Az IoT rendszerek skálázhatóságuk és integrálhatóságuk miatt kulcsszerepet játszanak az okos város koncepciók megvalósításában.

2. 3. E-papír kijelzők a közösségi információs rendszerekben

Az utastájékoztató rendszerek egyik fontos eleme a megfelelő kijelző-technológia kiválasztása. Az e-papír kijelzők, bizonyos közismertebb nevén e-ink kijelzők, egyre népszerűbbek az alacsony energiafogyasztásuk miatt. Mivel ezek a kijelzők csak frissítéskor fogyasztanak energiát, ideálisak kültéri, autonóm rendszerekhez (Heikenfeld et al., 2011; Henriquez-Jara et al., 2025).

További előnyük a kiváló olvashatóság erős napfényben, amely különösen fontos kültéri környezetben. Az e-papír kijelzők reflektív működése biztosítja a jó kontrasztot nappali fényviszonyok között is.

Bár a technológia korlátai közé tartozik a lassabb frissítési sebesség és a korlátozott színtartomány, ezek az utastájékoztató szempontjából általában nem jelentenek problémát.

Az e-papír technológia felhasználása számos esetben már elterjedt, többféle igényre is használható (e-book, árjelzők, stb.), ám ezek főként szobahőmérsékletre tervezett, korlátozott élettartamú készülékek. Megfelelő működésük jó megvilágítás, normál beltéri környezeti viszonyok között biztosított. Utastájékoztatósi célokra ugyan voltak korábbi nemzetközi próbálkozások, ám ezek általában prototípus jelleggel kerültek megvalósításra bizonyos városokban, pilot-üzemben.

Csatlakozva ezen törekvésekhez, a HC Linear Kft.-nél rendelkezésre álló utastájékoztató kijelző portfólió bővítése történt e-papír alapú technológiát használó kijelzővel, feloldva a technológiához és a fejlesztéshez kapcsolódó műszaki bizonytalanságokat, ezzel egy újszerű terméket létrehozva, mely mind hazai, mind nemzetközi piacon is versenyképes tud lenni.

3. A PROJEKT ÚJSZERŰSÉGE

A kutatás-fejlesztési projekt (GINOP_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00149 azonosítószám-mal) újszerűsége az e-papír kijelző-technológia kültéri körülmények között üzemelő eszköz alkalmazásában rejlik, napelemes energiaellátással, vezeték nélküli kommunikációval, valamint hazai utastájékoztató rendszerekkel integrált kialakítás mellett.

A K+F tevékenység megkezdését megelőzően átfogó piackutatást végeztünk, amelynek eredményeként megállapítottuk, hogy sem hazai, sem nemzetközi viszonylatban nem azonosítható olyan vállalat, amely alacsony energiafogyasztású, napelemes működésű e-papír alapú utastájékoztató megoldást komplex módon fejlesztett volna, beleértve a hardver, az üzemeltető szoftver, a háttérrendszer és a kapcsolódó szolgáltatások integrált szintjét,

továbbá, amely képes lett volna valamely magyarországi utastájékoztató rendszerrel való natív együttműködésre.

A fejlesztés egyik meghatározó célkitűzése egy gyakorlatban alkalmazható alternatíva biztosítása volt a hagyományos, közműegyeztetési és engedélyeztetési folyamatokhoz kötött, jelentős beruházási költségű, LED-alapú kültéri utastájékoztató kijelzők mellé. A városi közlekedésben elterjedt, nagyméretű megállóhelyi és pályaudvari LED kijelzők nem alkalmasak a megállóokban elhelyezett papíralapú menetrendi tájékoztatók teljes körű kiváltására. A LED kijelzők által megjelenített adattartalom jellemzően a következő néhány járat megnevezésére és érkezési idejére korlátozódik, miközben felbontásuk és megjelenítési képességük korlátozott. Egy átlagos méretű LED kijelző beszerzési és telepítési költsége jelentős, amely magában foglalja az energiaellátás kiépítését, az alaptettek kialakítását, a nagy tömegű kijelzőt tartó egyedi oszlop telepítését, valamint a kivitelezési és helyreállítási munkálatokat. Városi környezetben mindezek összköltsége kijelzőnként átlagosan a nettó 1,5–2,5 millió forintot is elérheti, és számos nehezítő körülménnyel is számolni kell (például út alatti átfúrás, távoli energiavételezési pont, csak éjszakai árammal érhető el, műemléki környezet). Helyközi közlekedésben, különösen kistéleplési környezetben és bekötötak mentén a távoli energiaellátás miatt a telepítés gyakran műszakilag nem megvalósítható vagy aránytalanul magas költségekkel járna. Amennyiben mégis kivitelezhető, komplex tervezési, engedélyezési és kivitelezési folyamatokat igényel, beleértve az útbontást, forgalomkorlátozást, betonozást, helyreállítást, valamint a kapcsolószekrény és a mérőhely kialakítását, amelyek jellemzően legalább 4–6 hónapos kivitelezési időt eredményeznek, majd ezt követően folyamatos energiafelvétel merül fel. Ezzel szemben az e-papír alapú megállóhelyi kijelző teljes életciklusra vetített bekerülési és üzemeltetési költsége, mind helyi, mind helyközi környezetben lényegesen kedvezőbb. Az e-papír kijelzők emellett nagyobb felbontást és szélesebb funkcionális biztosítanak.

Az újszerű megoldás külső energiaellátás kiépítése és folyamatos energiafelvétel nélkül is üzemképes, ezáltal fenntartható alternatívát kínál a közlekedési szolgáltatók és önkormányzatok

számára. Az üzemeltetés magas fokon automatizált, így nincs szükség menetrendi lapok rendszeres újra nyomtatására és fizikai kihelyezésére. Az e-papír alapú dinamikus utastájékoztató kijelző nem csupán a statikus információk megjelenítésére alkalmas, hanem valós idejű, kiterjesztett utastájékoztatói funkciókat is támogat, miközben csökkenti a papírfelhasználást és az ehhez kapcsolódó munkaerőigényt is. A rendszer funkcionális meghaladja a jelenleg utastájékoztatói célokra alkalmazott, alacsony felbontású LED kijelzők képességeit.

A fenti technológiai alapokra építve került ki fejlesztése a SmartPage termékcsalád és a hozzá kapcsolódó szoftverrendszer, amely egy energiahatékony, integrált utastájékoztatói platform, kifejezetten közösségi közlekedési környezetben történő alkalmazásra optimalizálva. A rendszer tervezésének kiemelt szempontja az energiafogyasztás minimalizálása, miközben megbízható, jól olvasható és magas információ-sűrűségű megjelenítést biztosít az utasok számára.

4. E-PAPÍR KIJELZŐ INTEGRÁLHATÓSÁGA KÖZLEKEDÉSINFORMATIKAI RENDSZEREKBE

A készülék könnyen integrálható a MÁV-Csoport által rendszeresített Helyközi Közösségi Közlekedési Információs Rendszerhez (HKIR) és számos város forgalomirányító és utastájékoztató rendszeréhez, akár hazai, akár nemzetközi környezetben. A hazai célpiac számára tehát mindenképpen előnyös, hogy egy meglévő komplex rendszert bővíthet ugyanazon fejlesztő-gyártó termékcsaládjával. Emellett olyan központi adatkommunikációs és eszközmenedzselő szoftverrendszert is fejlesztünk a kijelző mellé, amely a meglévő rendszerektől függetlenül is működőképes, tehát bármely más ország vagy város szakmai rendszeréhez is integrálható lesz.

Olyan, kültéri környezeti viszonyok között is megbízhatóan működő, árban versenyképes, tervezési és telepítési sebességben gyors, rugalmasan paramétereztető és távolról is felügyelhető, nemzetközi szinten is versenyképes, napelemes üzemű, e-papír technológián alapuló megoldást fejlesztettünk, amely kiválthatja a

jelenlegi nyomtatott utastájékoztató menetrendi papírokat a megállókban és a pályaudvari várótermekben, továbbá képes kiváltani vagy kiegészíteni az egyéb kihelyezett utastájékoztató kijelzőket is.

A szűken vett utastájékoztatókon kívül városokban, falvakban és kistelepüléseken hirdetések, helyi tájékoztató anyagok megjelenítésére is alkalmas – beágyazott szoftverre tehát nem valós idejű menetrendi adatokra specifikus, hanem képes lehet időzített reklámblokkok megjelenítésére is.

Célunk, hogy az eszköz elterjedésével a közösség számára az utastájékoztató sokkal dinamikusabbá, gyorsabbá váljon, a járatkimaradások, a menetrendváltozások azonnal láthatóak legyenek.

A fejlesztés azért is újszerű és időszerű, mert okos városok és falvak születnek, a valós idejű utastájékoztató, az utazóközönség korától (fiatal és idősebb korosztály), pénzügyi lehetőségeitől (internetképes modern okostelefontól) és lakhelyétől (kis települések) függetlenül mindenki számára elérhető lesz. A több ezer megállóban szükségletné váló menetrendi papírok cseréje jelentős költségmegtakarítást eredményezhet.

5. A FEJLESZTÉS EREDMÉNYTERMÉKE, A RENDSZER BEMUTATÁSA

A kutatás-fejlesztési projekt eredményeképp létrehozott SmartPage termékcsalád egy alacsony fogyasztású, valós idejű tájékoztató eszköz, kültéri környezetre tervezve.

A 13,3"-os e-papír kijelző 1600×1200 pixeles felbontással, 16 szintű szürkeárnyalattal és kiváló olvashatósággal rendelkezik nappali fényben is. Sötétédkor a beépített fényérzékelő automatikusan aktiválja az előtétvilágítást, így a tartalom minden napszakban jól látható marad. (2. ábra)

A készülék alapértelmezett megjelenítési módja a dinamikus érkezési jegyzék, amely az adott megállóhelyen rövid időtávon belül érkező járatokat jeleníti meg, valós idejű adatok alapján. A megjelenített információk a központi



2. ábra: Minden napszakban jól látható SmartPage kijelző (Forrás: saját szerkesztés)

járműkövetési és adatfeldolgozó rendszerekből származó ETA számításokra épülnek, így figyelembe veszik az aktuális forgalmi viszonyokat, késéseket és egyéb üzemeltetési tényezőket. Ez a működési mód elsősorban az azonnali döntéshozatalt támogatja, lehetővé téve az utasok számára a gyors és releváns információkhoz való hozzáférést.

A készüléken elhelyezett fizikai nyomógombok biztosítják a felhasználói interakció lehetőségét. Ezek segítségével a felhasználók egyszerű és egyértelmű módon válhatnak a dinamikus megjelenítésről a statikus menetrendi nézetre, amely a hagyományos papíralapú indulási jegyzékeknek megfelelő, teljes körű menetrendi információt tartalmazza. A statikus nézet strukturált formában jeleníti meg az adott megállóból induló összes járatot, azok menetrendi időadataival és sajátosságaival.

A felhasználói interakciók kezelése során kiemelt szempont volt az intuitív használhatóság és az akadálymentesség: a kezelőfelület kialakítása minimalizálja a szükséges beavatkozások számát, miközben egyértelmű visszajelzést ad a kiválasztott megjelenítési módról. A rendszer támogatja azt az üzemeltetési követelményt is, hogy a dinamikus és statikus információk közötti váltás minden felhasználó számára gyorsan és megbízhatóan elérhető legyen, függetlenül a hálózati kapcsolat aktuális állapotától.

A kijelzőt egy oszlopra szerelhető 20 W-os nap-elem és egy 20 Ah-s belső akkumulátor látja el energiával alapesetben, mely opcionálisan bővíthető. Energiafogyasztása minimális, így rendszerint 2 hétig is működik töltés nélkül, ami

jelentős megtakarítást eredményez az üzemeltetés és karbantartás terén. Ez azt jelenti, hogy az információ megbízhatóan elérhető – időjárástól és hálózati áramellátástól függetlenül.

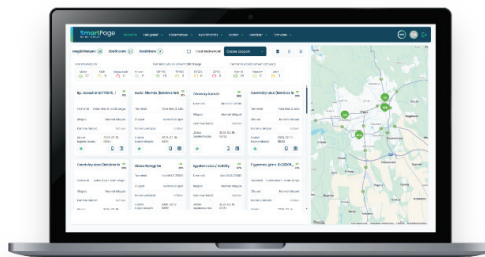
5. 1. Valós idejű adatkapcsolat és menetrend információk

Az e-papír alapú indulási jegyzékek bevezetése során a fejlesztés egyik meghatározó szempontja volt a közszolgáltatási szerződésekben rögzített utastájékoztatói követelményeknek való megfelelés biztosítása. A hazai közszolgáltatási gyakorlatban a szerződések és azok szolgáltatási szintre vonatkozó mellékletei (például: MÁV Személyszállítási Zrt. - Vasúti és buszszemélyszállítási közszolgáltatási szerződés – 2025) előírják a megállóhelyi utastájékoztató kötelező adattartalmát, ideértve a megállóból induló járatok teljes körű felsorolását, azok menetrendi időadatait, valamint az információk folyamatos hozzáférhetőségét és naprakészségét. Elvárás továbbá, hogy az utastájékoztatóknak egyértelműnek, jól olvashatónak és a felhasználók számára megszokott struktúrában kell megjelennie, valamint biztosítani kell az információk elérhetőségét hálózati vagy informatikai hiba esetén is.

Ennek megfelelően a fejlesztett e-papír alapú rendszer kialakítása biztosítja a hagyományos papíralapú indulási jegyzékek teljes menetrendi adattartalmának megjelenítését, valamint annak kiegészítését valós idejű információkkal. A rendszer működése megfelel annak a követelménynek is, hogy kiesés esetén legalább a statikus menetrendi információk folyamatosan elérhetőek maradjanak.

A kijelzők kialakítása és működése illeszkedik a korszerű utastájékoztatói rendszerek műszaki követelményeihez: kompatibilisek a GFS-RT szabvánnyal, így képesek valós idejű menetrendi adatok, késések, sietések és forgalmi információk megjelenítésére. A beépített LTE modem biztosítja a távoli tartalomfrissítést és a folyamatos rendszerfelügyeletet. Az akadálymentes használatot fizikai nyomógombok, valamint például 433,92 MHz-es távirányítós vezérlés támogatja, míg a beépített, többnyelvű TTS (text-to-speech) funkció állítható hangerő mellett teszi lehetővé az auditív utastájékoztatót.

A kijelzőkhöz tartozó saját fejlesztésű, online, felhőalapú kezelőrendszer lehetővé teszi, hogy a tartalom szerkesztése bárholonnan, bármikor megtörténhessen – mindössze egy internetkapcsolattal rendelkező böngésző szükséges hozzá. Nemcsak közlekedési információk megjelenítésére alkalmas az eszköz, hanem közlemények, hírek, helyi információk és események dinamikus közzétételére is. A frissítések azonnal végrehajthatók, de lehetőség van előre időzített tartalom közzétételre is. A rendszer kialakításánál elsődleges szempont volt az átláthatóság és az egyszerű kezelhetőség. (3. ábra)



3. ábra: SmartPage tartalomszerkesztő felület
(forrás: saját szerkesztés)

5. 2. Robusztus kialakítás kültéri használatra

A porszórt acél burkolat, a 4 mm vastag IK09 minősítésű, csillogásmentes edzett üveg, valamint az IP65 védetség garantálják a kijelző tartósságát. Az eszköz -15 °C és +65 °C közötti hőmérsékleten is megbízhatóan üzemel – legyen az peron, megállóhely vagy információs csomópont. A készülék nem csupán hardver, hanem egy megbízható, hosszú élettartamú digitális infrastruktúra eleme a jövő városaihoz.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A HC Linear Kft. SmartPage termékfejlesztése magyar mérnöki munka eredménye, amely európai minőségben válaszol a városok hosszú távú igényeire. Célunk, hogy hozzájáruljunk egy átláthatóbb, fenntarthatóbb és élhetőbb közlekedési rendszerhez. (4. ábra)

Az e-papír technológiára épülő megállóhelyi utastájékoztatói rendszerek képesek áthidalni a hagyományos papíralapú és a dinamikus,

digitális megoldások közötti funkcionális és üzemeltetési szakadékot. A bemutatott fejlesztés igazolja, hogy megfelelő rendszerintegráció és architektúra mellett biztosítható a közszolgáltatási szerződésekben előírt teljes körű menetrendi adattartalom megjelenítése, miközben lehetőség nyílik valós idejű információk szolgáltatására is. A dinamikus és statikus megjelenítési módok kombinációja, valamint a felhasználói interakciók támogatása olyan hibrid megközelítést eredményez, amely mind műszaki, mind felhasználói szempontból alternatívát jelent a meglévő rendszerek mellé vagy azok kiváltására.

A SmartPage kijelzők egyidejűleg kezelik a fenntarthatósági, gazdasági és informatikai kihívásokat. A papíralapú menetrendek kiváltásával csökkenthető az üzemeltetési költség és

az erőforrás-felhasználás, valamint a rendszeres nyomtatási és helyszíni karbantartási igény, ezáltal mérsékelhető az üzemanyag-felhasználás és a kapcsolódó CO₂-kibocsátás. Az energiahatékony működés, különösen napelemes alkalmazás esetén, lehetővé teszi a hagyományos infrastruktúrától független telepítést, ami új alkalmazási területeket nyit meg energiaellátással nehezen lefedhető helyszíneken.

A rendszer az utasok számára folyamatosan elérhető, jól olvasható és valós idejű információkat biztosít, ezáltal növeli a szolgáltatás megbízhatóságát és használhatóságát. A SmartPage megoldás hazai fejlesztésként illeszkedik az európai közlekedési és digitalizációs törekvésekhez és hosszú távon hozzájárulhat egy hatékonyabb, fenntarthatóbb és felhasználóközpontú közösségi közlekedési rendszer kialakításához.



4. ábra: Közlekedési rendszer fenntarthatóságának növelése SmartPage eszközzel (forrás: saját szerkesztés)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammedi, M., Aledhari, M., Ayyash, M. (2015) Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17 (4), pp. 2347–2376. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- [2] Furth, P. G., Muller, T. H. J. (2006) Service reliability and hidden waiting time: Insights from automatic vehicle location data. *Transportation Research Record*, 1955 (1), pp. 79–87. DOI: <https://doi.org/10.1177/0361198106195500110>
- [3] Heikenfeld, J., Drzaic, P., Yeo, J. S., Koch, T. (2011) A critical review of the present and future prospects for electronic paper. *Journal of the Society for Information Display*, 19 (2), pp. 129–156. DOI: <https://doi.org/10.1889/JSID19.2.129>
- [4] Rosa, M. P., Sousa, N., Rodrigues, J., Cavaleiro, R., & Lamarão, H. (2023). Sustainable Bus Stop for Inclusive and Smart Cities. *INCREaSE 2023: Proceedings of the 3rd International Congress on Engineering and Sustainability in the XXI Century* (pp. 243–257). Springer https://doi.org/10.1007/978-3-031-44006-9_18
- [5] Jeong, R., & Rilett, L. R. (2005). Bus arrival time prediction using artificial neural network model. In *Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference* (pp. 988–993). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2004.1399041>
- [6] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1 (1), 22–32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>
- [7] Henríquez-Jara, B., Arriagada, J., & Tirachini, A. (2025). Impact of real-time information on passenger satisfaction across varying public transport quality levels in 13 Chilean cities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 200, 104622. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2025.104622>
- [8] MÁV Személyszállítási Zrt. – Vasúti és buszos személyszállítási közszolgáltatási szerződés – 2025 <https://www.mavcsoport.hu/mav-szemelyszallitas/bemutakozas/vasuti-es-buszos-szemelyszallitasi-kozszoalgalatasi-szerzodes>



Real-time passenger information with the SmartPage e-paper display system

Keywords: e-paper display, passenger information system, intelligent transportation systems, real-time passenger information, SmartPage

A key element of modern public transportation systems is providing accurate and reliable information for passengers. Traditional paper-based schedule boards are static and thus unable to display real-time changes affecting the public transportation system, while digital LED or TFT/LCD displays operate with significant energy consumption and require substantial investment in infrastructure. An energy-efficient passenger information device based on e-paper technology offers a solution to these challenges for operators of public transportation, which has been implemented by the company, HC Linear Kft.



Kooperatív vizuális SLAM rendszer járműalapú környezetérzékelésre

Fodor Károly¹ – Rövid András²

¹Doktornadusz, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés és Járműmérnöki Kar, Gépjárműtechnológiai Tanszék

²Tudományos főmunkatárs, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés és Járműmérnöki Kar, Gépjárműtechnológiai Tanszék

e-mail: fodor.karoly@kjk.bme.hu, rovid.andras@kjk.bme.hu

Kézirat benyújtva: 2026.01.10.

Kézirat elfogadva: 2026.03.30.



© Fodor K., Rövid A.

Absztrakt

Az önvezető járművek számára kulcsfontosságú a környezet pontos felmérése és a megbízható lokalizáció. Ehhez egy kooperatív vizuális SLAM rendszert ismertetünk, ahol az egyik jármű monokuláris kamerával térképet készít, és ezt a térképet GNSS referencia koordinátákkal globális méretarányra kalibrálja. A második jármű a létrehozott már globális koordináta-rendszerben értelmezett térképet felhasználva vizuálisan lokalizálja magát. A bemutatott módszer kiértékeléshez egy saját készítésű adatszettet használtunk. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a módszer növeli a helymeghatározás pontosságát, és lehetővé teszi a térképek újrafelhasználását a járművek között.

Kulcsszavak: lokalizáció, GNSS-integráció, kooperatív vSLAM, önvezető járművek

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.3.4>

A könnyebb értelmezhetőség és áttekinthetőség érdekében a cikk szövegében alkalmazott rövidítések magyarázatait az 1. táblázat tartalmazza.

1. BEVEZETÉS

A modern, intelligens járművek számára elengedhetetlen a környezet pontos érzékelése és a jármű pozíciójának megbízható meghatározása. Ehhez gyakran használnak fedélzeti szenzorokat, köztük kamerákat, lidarokat, GNSS-t és/vagy inerciális mérőegységeket. A vizuális SLAM algoritmusok lehetővé teszik, hogy egy jármű a kameraképek alapján egyszerre térképet építsen és meghatározza saját helyzetét ezen a térképen.

Az ORB-SLAM3 egy korszerű, nyílt forráskódú vizuális SLAM algoritmus, amely monokuláris

kamerával is képes valós idejű térképezésre és lokalizációra (Campos et al., 2021). A hagyományos monokuláris SLAM rendszerek ugyanakkor nem tudják meghatározni a térkép abszolút méretét. A monokuláris pozíció gráf hibája út-időben folyamatosan növekszik, így a térkép egyre torzultabbá válik. Ennek kiküszöbölésére és a globális helymeghatározás biztosítására integrálható a GNSS-technológia a vizuális SLAM folyamataiba.

Jelen cikk egy olyan kooperatív vSLAM rendszert mutat be járművek számára, amelyben az első jármű kamerás érzékeléssel térképet épít, és a GNSS mérések felhasználásával biztosítja

Rövidítés	Angol megnevezés	Magyar jelentés/leírás
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	Egyidejű helymeghatározás és térképezés; a rendszer egyszerre becsüli saját helyzetét és építi fel a környezet térképét.
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globális navigációs műholdrendszer; a műholdas helymeghatározó rendszerek összefoglaló neve.
IMU	Inertial Measurement Unit	Inerciális mérőegység; gyorsulást és szögsebességet mérő szenzoregység.
BA	Bundle Adjustment	Kötegelt kiegyenlítés; kamerapózok és térképpontok együttes optimalizálása a vetítési hibák csökkentésére.
LiDAR	Light Detection and Ranging	Lézeralapú távolságmérő rendszer; lézersugarak segítségével állít elő távolság- és térbeli információt.
PTP	Precision Time Protocol	Precíziós időszinkronizációs protokoll; különböző szenzorok időbelyegeinek pontos összehangolására szolgál.
SE (3)	Special Euclidean Group in 3D	A háromdimenziós merevtest-mozgások matematikai csoportja; eltolást és forgatást tartalmaz, skálázást nem.
Sim(3)	Similarity Transformation Group in 3D	Háromdimenziós hasonlósági transzformációk csoportja; eltolást, forgatást és skálázást is tartalmaz.
UTM	Universal Transverse Mercator	Egy vetületi koordinátarendszer, amely a földrajzi pozíciók síkbeli, méterben értelmezhető ábrázolását teszi lehetővé.
UGBA	UTM-based Global Bundle Adjustment	UTM-alapú globális kötegelt kiegyenlítés; olyan végső optimalizáció, amely a vizuális és UTM-alapú GNSS információkat együtt használja.
APE	Absolute Pose Error	Abszolút pózhiba; a becsült és referencia pálya közötti abszolút helyzeti eltérés mérőszáma.
ORB	Oriented FAST and Rotated BRIEF	Képelem-detektor és leíró (descriptor) algoritmus, amelyet a kamera képen található jellegzetes pontok (sarkok, élek) gyors felismerésére és követésére használnak.
vSLAM	Visual Simultaneous Localization and Mapping	Vizuális egyidejű helymeghatározás és térképezés.
LD-SLAM	Laser/LiDAR-based Simultaneous Localization and Mapping	Lézer alapú egyidejű helymeghatározás és térképezés.
RGB-D	Red, Green, Blue – Depth	A számítógépes látásban és képpalkotásban használt kifejezés, amely a hagyományos színes képpalkotást kombinálja a távolságadatokkal.

1. táblázat: A cikkben alkalmazott rövidítések magyarázatai

a térkép valós méretét és globális pozícióit. Az általa létrehozott pontos, abszolút térképet egy második jármű felhasználhatja, és saját kamerája alapján lokalizálni tudja magát a megosztott térképen belül. Ezzel a közös rendszerrel a járművek megoszthatják egymás közt a környezeti információkat, javul a helymeghatározás pontossága, és csökken az egyes járművek által végzett párhuzamos adatgyűjtés igénye. A következőkben megvizsgáljuk a kapcsolódó irodalmat, részletesen ismertetjük a rendszer felépítését, a GNSS-integráció módját, továbbá kitérünk a megoldás előnyeire és a lehetséges további szenzorbővítési irányokra is. A módszert ezután egy saját készítésű adatszettten kiértékeljük.

2. KAPCSOLÓDÓ KUTATÁSOK

A vizuális SLAM algoritmusok fejlődése az elmúlt évtizedben jelentős előrelépéseket hozott a környezetérzékelés és helymeghatározás terén. Az ORB-SLAM család algoritmusai – különösen az ORB-SLAM2 és a 2021-ben bemutatott ORB-SLAM3 – már képesek monokuláris,

sztereó és RGB-D kameraképek feldolgozására, valamint inerciális szenzorral történő kiterjesztésre is (Mur-Artal et al. 2015; Mur-Artal & Tardós, 2017; Campos et al., 2021). Az ORB-SLAM3 egyik fő előnye, hogy szálanként elkülöníti a képkövetést, a lokális térképezést és a globális optimalizálást, így nagy térben is képes valós idejű működésre. Továbbá képes több térkép együttes kezelésére. A térképezést aktív és inaktív térképekre osztja. A módszer képes térképek tárolására és újrafelhasználására (Campos et al., 2021).

A monokuláris vizuális SLAM rendszerek gyengesége ugyanakkor a globális referencia hiánya: a térképek relatív koordináta-rendszerben épülnek fel, így a valós helyzet és skála ismeretlen. Tetszőleges skála felvételével történik az inicializálás, azonban ez a felvett skála fokozatosan torzul. Ennek kiküszöbölésére több kutatás is foglalkozott GNSS adatok SLAM-be történő integrálásával. Kiss-Illés et al. (2019) a GPS-SLAM rendszerben a monokuláris SLAM által becsült lokális pályát műholdas mérésekkel támogatták annak érdekében, hogy stabilabb globális pozícióbecslést érjenek el. A módszer elsősorban

nem globális optimalizációra épül, hanem a GNSS és IMU adatok felhasználásával javítja a vizuális követés póz-előrejelzését. A szerzők kimutatták, hogy már ritkább és zajosabb GNSS mérések is elegendőek lehetnek a globális sodródás csökkentésére és a pálya abszolút koordináta-rendszerhez való rögzítésére, különösen alacsony képkockaszámú felvételek esetén.

Chen et al. (2018) a GVORB rendszerben az ORB-SLAM lokális és globális kötegelt igazítási (továbbiakban BA) eljárás közé egy köztes méretű optimalizációs lépést illesztettek, amely már GNSS-alapú, abszolút pozíció méréseket is tartalmaz. Ez a köztes optimalizáció nagyobb kiterjedésű, mint a lokális BA, ugyanakkor számításigénye kisebb a teljes globális BA-nál, így lehetővé teszi a globális sodródás folyamatos, valós idejű csökkentését. A rendszer többszálú architektúrában működik, ahol a GNSS mérésekkel kiegészített optimalizáció elkülönített szálakon fut, megőrizve a vizuális SLAM lokális stabilitását.

Engel et al. (2018) az LD-SLAM rendszerben a nagy léptékű direkt SLAM skálázhatóságát lokális térképrészletek alkalmazásával biztosítják. Az egyes térképrészletek közötti kapcsolatot lokálisan becsült hasonlósági transzformációk írják le, ami lehetővé teszi a valós idejű követést és térképezést, ugyanakkor globális inkonzisztenciákat és fragmentációt eredményezhet hosszú trajektóriák esetén. A rendszer ezért időszakosan egy globális optimalizációs lépést futtat, amely a lokálisan becsült hasonlósági transzformáció-kapcsolatok összehangolásával helyreállítja a globális konzisztenciát. Ez a globális optimalizáció aszinkron, háttér folyamatként működik, így nem blokkolja a valós idejű működést, de nem tekinthető folyamatosan valós idejűnek.

A kooperatív SLAM rendszerek esetében további kihívás a térképek megosztása és az együttműködés: Wang et al. (2022) megállapították, hogy a térképek újrafelhasználása más ágens lokalizációjára jelentős számítási kapacitást takaríthat meg, miközben a GNSS-re épülő térképek közös referencia-rendszerként is szolgálhatnak. Ezen alapelvek mentén jelen tanulmány célja egy olyan vSLAM rendszer megalkotása, amely valós idejű működés mellett képes GNSS-pontosságú térképet előállítani és azt kooperatív módon lokalizációs célra újrafelhasználni.

2. 1. Alternatív érzékelők a skálázás támogatására

A bemutatott rendszerben a GNSS szolgáltatja az abszolút skálát és a globális referenciát. Ugyanakkor léteznek más szenzorok és mérőrendszerek is, amelyek segítségével a vizuális SLAM skálázása és pontossága tovább javítható, illetve GNSS hiányában is biztosítható a helyes méretarány (Scaramuzza és Fraundorfer, 2011; Cadena et al., 2016).

Az alábbiakban a legfontosabb alternatív megoldásokat foglaljuk össze:

Kerékodometria használata esetén a jármű kerékeinek forgásából származtatott megtett út értéke alkalmas lehet a vizuális SLAM méretarányának kalibrálására. A kamerából becsült elmozdulás összevethető a kerékodometria által mért távolsággal, amelyből abszolút skálafaktor határozható meg (Geiger et al., 2012). A módszer hátránya, hogy a kerékmegcsúszás és a talajviszonyok jelentős hibát okozhatnak, ezért önmagában nem tekinthető megbízhatónak. Vizuális SLAM-mel kombinálva azonban hatékony kiegészítő információt biztosíthat (Zhang és Singh, 2014). A giroszkópból és gyorsulásmérőből álló inerciális mérőegység (IMU) folyamatosan méri a jármű forgásait és gyorsulásait. A vizuális SLAM-mel integrálva javítja a pályabecslés stabilitását, és a gravitációs gyorsulás ismert értékének felhasználásával a rendszer közvetlenül képes meghatározni a skálát (Leutenegger et al., 2015). Az IMU különösen hasznos olyan rövid időszakokban, amikor a vizuális információ gyenge vagy hiányos, például gyors mozgás vagy elmosódás esetén (Qin et al., 2018). A lézeralapú távolságmérők közvetlen, metrikus távolságmérést biztosítanak, így a LiDAR-alapú SLAM rendszerek alapvetően nem szenvednek skálabizonytalanságtól (Zhang és Singh, 2014). A kamerás és LiDAR-alapú érzékelés kombinálásával a vizuális SLAM robusztussága és pontossága tovább növelhető, különösen strukturálatlan vagy rosszul megvilágított környezetekben (Behley és Stachniss, 2018).

Az alternatív szenzorok bevonásával a kooperatív vizuális SLAM rendszer rugalmasan adaptálható különböző környezeti és üzemeltetési feltételekhez. GNSS-szel nem lefedett területeken – például alagutakban vagy beltéri környezetben – az inerciális és odometriai adatok

meghatározóvá válhatnak a globális pozíció megtartásában. Általános megállapítás, hogy a kamerát érdemes olyan kiegészítő szenzorral társítani, amely a vizuális SLAM ismert gyenge pontjait ellensúlyozza (Cadena et al., 2016).

3. MÓDSZERTAN

A javasolt módszer alapját az ORB-SLAM3 vizuális SLAM rendszer monokuláris konfigurációja képezi. Az ORB-SLAM3 szálanként elkülöníti a képkövetési, a lokális térképezési és a hurok zárási folyamatokat, ami lehetővé teszi a valós idejű működést nagy kiterjedésű környezetekben is. A rendszer kulcsképeket és hozzájuk tartozó térképpontokat használ a környezet reprezentálására, miközben a kamera pózait egy lokálisan konzisztens pózgráfban tárolja.

A monokuláris konfiguráció sajátossága, hogy a térkép egy relatív koordináta-rendszerben épül fel, ahol a skála nem ismert és az idő előrehaladtával globális sodródás jelenhet meg. A javasolt módszer célja ezen sodródás csökkentése és a térkép abszolút, földrajzi referencia-rendszerhez történő rögzítése globális navigációs műhold-rendszer mérések felhasználásával, a vizuális SLAM belső struktúrájának megőrzése mellett.

3. 1. UTM koordináták alkalmazása pózgráf optimalizációra

A GNSS rendszer által szolgáltatott pozíciómérések az egységes térbeli referencia biztosítása érdekében az UTM vetületi koordináta-rendszerbe kerülnek átalakításra. A GNSS mérések időben szinkronizáltak a kameraképekkel, így minden kulcsképhez hozzárendelhető egy megfelelő UTM pozíció.

A vizuális SLAM által becsült kamera pozíciók és az UTM koordináták közötti kapcsolatot nem közvetlen korlátozásokkal építjük be a pózgráfba, hanem egy globális hasonlósági transzformáción keresztül írjuk le. Ez lehetővé teszi, hogy a vizuális SLAM lokális konzisztenciája sértetlen maradjon.

3. 2. UTM koordináták integrációja valós idejű vSLAM térképezés megvalósítására

A javasolt módszer célja a monokuláris vizuális SLAM rendszer által becsült pálya és térkép globális, GNSS-alapú referencia-rendszerhez történő rögzítése oly módon, hogy a valós idejű működés és a vizuális SLAM lokális geometriai konzisztenciája végig megmaradjon. Ennek érdekében a GNSS integráció nem egyetlen, teljes optimalizációs lépésben történik, hanem fokozatosan, különböző számítási igényű műveletek egymásutánjaként valósul meg. A vizuális SLAM által becsült pálya és a GNSS mérésekből származó UTM koordináták közötti kapcsolatot egy globális hasonlósági transzformáció leképezés írja le, amelyek kezdeti becslését az Umeyama módszerrel (Umeyama, 1991) határozzuk meg a kulcsképek pozíciói alapján.

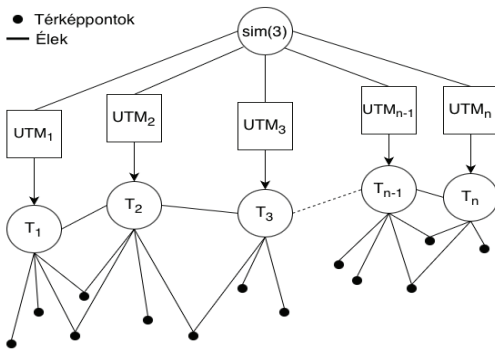
A térképezési folyamat során a GNSS információkat valós időben kizárólag egy korlátozott szabadsági fokú és paraméterű póz-igazítás formájában használjuk fel. Ebben a fázisban a hasonlósági transzformáció rögzített paraméterként szerepel, és az optimalizáció kizárólag a kulcskép-pózokra hat. A térképpontok nem vesznek részt az optimalizációban, azok a kulcsképekhez viszonyítva rögzítettnek tekinthetők, ezért ez a lépés nem tekinthető klasszikus köteget kiegészítésnek.

Legyen $T_i \in SE(3)$ az i -edik kulcskép póza, $u_i \in \mathbb{R}^3$ a hozzá tartozó GNSS mérés UTM koordinátában, valamint $S \in Sim(3)$ a rögzített globális hasonlósági transzformáció. A kulcskép UTM térbe vetített pozíciója $S \circ \text{trans}(T_i)$ alakban adódik, és az optimalizáció célja ezen pozíciók illesztése a GNSS mérésekhez a következő költségfüggvény minimalizálásával:

$$\min_{\{T_i\}_{i \in \mathcal{K}}} \sum_{i \in \mathcal{K}} \rho \left(\| u_i - S \circ \text{trans}(T_i) \|_{\Sigma_i}^2 \right),$$

ahol \mathcal{K} a GNSS-sel ellátott kulcsképek halmaza, Σ_i az adott GNSS mérés kovariancia mátrixa, és $\rho(\cdot)$ robusztus veszteségfüggvény. A számítási igény korlátozása érdekében ezt az igazítást jellemzően öt kulcsképenként futtatjuk, ami már a térképezés során is jelentősen csökkenti a vizuális odometria globális torzulásait, miközben nem veszélyezteti a valós idejű működést. Az UTM-alapú póz-igazítást minden esetben egy

lokális kötegelt igazítás követi, amely kizárólag képi megfigyelésekre támaszkodva finomítja a lokális térképpont-struktúrát, biztosítva a vSLAM belső konzisztenciáját és a stabil leíró követés fenntartását.



1. ábra: A tervezett módszer faktorgráfja UGBA esetén. A térképpontok és a GNSS alapú UTM mérések is részt vesznek az optimalizációban. A globális hasonlósági transzformációt a „sim(3)” elnevezésű csúcs jelöli (Forrás: saját szerkesztés)

A térképezési folyamat lezárását követően egy teljes, nem valós idejű UTM-alapú globális kötegelt kiegyenlítést futtatunk (1. ábra), amely a végleges térkép előállítását szolgálja. Ebben a fázisban a korábban rögzített hasonlósági transzformáció felszabadításra kerül, és a kulcskép-pózok mellett a térképpontok is részt vesznek az optimalizációban (UGBA). Ez különösen indokolt, mivel az Umeyama módszerrel számított kezdeti hasonlósági transzformáció a kulcsképek kezdeti pozícióira épül, miközben az UGBA során a kulcskép-pózok fokozatosan finomodnak. A globális hasonlósági transzformáció optimalizálása így lehetővé teszi, hogy a GNSS-alapú abszolút referencia jobban illeszkedjen a már finomított vizuális struktúrához. A teljes UGBA során az optimalizációs probléma a következőképpen írható fel:

$$\min_{\mathbf{S}, \{\mathbf{T}_i, \mathbf{X}_j\}} \sum_{(i,j) \in \mathcal{O}} \|\mathbf{z}_{ij} - \pi(\mathbf{T}_i, \mathbf{X}_j)\|_{\Omega_{ij}^{-1}}^2 + \sum_{i \in \mathcal{K}} \rho(\|\mathbf{u}_i - \mathbf{S} \circ \text{trans}(\mathbf{T}_i)\|_{\Sigma_i^{-1}}^2),$$

ahol \mathbf{X}_j a térképpontok, \mathbf{z}_{ij} a képi megfigyelések, $\pi(\cdot)$ a kamera vetítési modellje, míg Ω_{ij} és Σ_i rendre a vizuális és GNSS mérések információs mátrixai. Ebben a végső optimalizációs lépésben a vizuális és GNSS-alapú információk együttesen kerülnek figyelembevételre, amely globálisan konzisztens, abszolút koordináta-rendszerhez rögzített térképet eredményez. A kész térképet a becsült hasonlósági transzformációval együtt mentjük el, ami lehetővé teszi, hogy egy másik jármű saját, előzetesen kalibrált kamerájával az ORB-SLAM3 belső relokalizációs algoritmusát használva vizuálisan lokalizáljon, miközben a póz közvetlenül UTM koordináta-rendszerben is meghatározható.

4. EREDMÉNYEK

A tervezett rendszer kiértékeléséhez egy saját készítésű adatszettet használtunk, amely a ZalaZone tesztpálya közvetlen környezetében került rögzítésre az általunk konfigurált mérőjármű alkalmazásával. A mérőjármű a 2. ábrán látható. Az adatszett 20 Hz frekvenciával rögzített, 2 megapixel-es kamera képeket, valamint PTP-alapú időszinkronizációval ellátott, 100 Hz-es mintavételezésű, hozzávetőleg ± 5 cm pontosságú műholdas pozícióméréseket tartalmaz.

A kijelölt útvonalon a mérést kétszer végeztük el: az első bejárás a térképezési fázist, míg a második a lokalizáció vizsgálatát szolgálta. Ez a felosztás lehetővé tette a térkép és a lokalizáció teljesítményének egymástól független vizsgálatát.



2. ábra: Felszenzorozott mérőjármű

A bemutatott módszert egyrészt valós időben, a helyszínen is vizsgáltuk, másrészt a felvett adatokat ROS2 (Macenski et al., 2022) adatszettként rögzítettük, és utólagos módon visszajátszottuk a részletes kiértékeléshez. A méréseket mind a tervezett UTM-alapú GNSS integráció alkalmazásával, mind annak mellőzésével elvégeztük, így közvetlen összehasonlításra nyílt lehetőség.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a folyamatos GNSS (UTM) integráció már a térképezési folyamat során is érdemben javította a pózgráf globális pontosságát. A végső, GNSS-asszisztált globális optimalizáció (UG-BA) után kapott pálya további, egyértelmű javulást mutatott. A 3. ábrán zöld színnel látható a GNSS-sel korrigált útvonal, míg késsel az alap ORB-SLAM3 által becsült pálya.

Az útvonalak pontosságát az abszolút póz hiba (APE) kiértékelési módszerrel értékeltük, amely a referencia és a becsült pálya időben illesztett pontjai közötti eltérést méri. A kiértékelés során az evo nyílt forráskódú eszközkészlet segítségével számoltuk ki az APE értékeket és vizualizáltuk a pályákat (Grupp, 2017). A 3. ábrán szemléletesen is látható, hogy a javasolt módszerrel a pálya lényegesen pontosabban követi a referencia trajektóriát. A 2. táblázat a térképezési fázis számszerű eredményeit foglalja össze. Ezek alapján megállapítható, hogy a GNSS mérések integrálásával a pálya globális deformációja jelentősen csökkenthető: az átlagos APE értéke

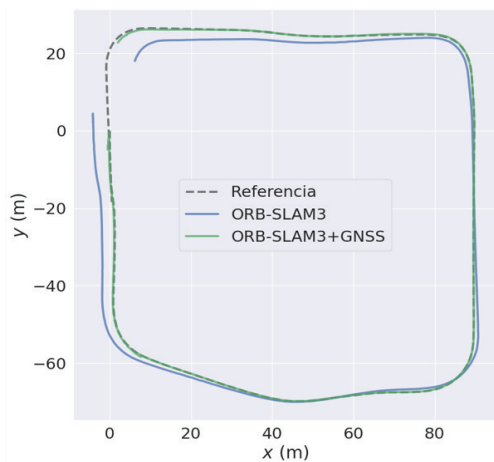
több mint harmadára csökkent az eredeti ORB-SLAM3 megoldáshoz képest. Ennek eredményeként a létrejövő vSLAM térkép tiszta lokalizációs célú újrafelhasználása is egy lényegesen pontosabb térbeli reprezentáción alapul.

Mérték[m]	ORB-SLAM3	ORB-SLAM3 + GNSS
Maximum	6.88	4.06
Átlag	2.41	0.20
Medián	1.87	0.14
Minimum	0.55	0.02
RMSE	2.90	0.35
SSE	13851.29	205.63
Szórás	1.61	0.29

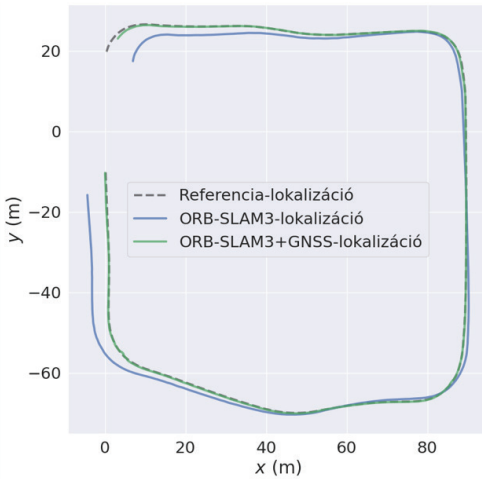
2. táblázat: Az APE eredmények számszerűsítve térképkészítés során. A táblázatban jelölt hibák mértékegysége: [m].

A további kiértékelés során megvizsgáltuk, hogy a globális pozíciómérések felhasználásával készített térképen történő lokalizáció megbízhatóan működik-e, és a várt pontos lokalizációt eredményezi-e. A lokalizáció pontosságának vizsgálatához, a korábban elkészített térképrezen képi és globális pozíció adatokat rögzítettünk, közel ugyanazon az úton haladva, mint a térkép készítése során. A vizsgálat során elemeztük, hogy a GNSS mérések felhasználásával készült térkép mennyire alkalmas pontos és megbízható helyzetmeghatározásra. A rögzített kamera képeket ROS2 keretrendszeren keresztül továbbítottuk a vSLAM algoritmus felé, amelyet a korábban elkészített térkép betöltésével indítottunk. A ROS2 keretrendszer alkalmazása biztosította az utólagos, de mégis valós idejű tesztelési környezetet.

A felvétel elindítása után a rendszer automatikusan relokálta magát, majd lokalizációs módba kapcsolott. Ebben az üzemmódban a vSLAM nem bővíti tovább a térképet, nem ad hozzá új kulcsképeket vagy térképpontokat, hanem kizárólag a meglévő térkép elemei alapján becsüli az aktuális kamera-pózt. A térképhez eltárolt hasonlósági transzformációs mátrix felhasználásával az aktuális kameraképekhez tartozó UTM koordinátákat meghatároztuk. Vagyis a vSLAM által becsült pózt eltranszformáltuk a hasonlósági transzformációs mátrix-szal. Az így kapott UTM koordinátákat összevetettük az adatszettben referenciaként rögzített képekhez tartozó UTM koordinátákkal.



3. ábra: A térkép készítése során bejárt útvonal pályája GNSS használata nélkül késsel és GNSS használata esetén zölddel jelölve



4. ábra: A lokalizáció vizuális eredménye a GNSS felhasználása nélkül kékkel, és a GNSS mérések használata esetén zölddel jelölve

A lokalizáció számszerű eredményeit a 3. táblázat, míg a vizuális összehasonlítást a 4. ábra mutatja be. Az eredmények egyértelműen igazolják, hogy a GNSS mérésekkel korrigált térkép használata nemcsak a térképezés pontosságát javítja, hanem a későbbi lokalizáció során is szignifikánsan kisebb hibát eredményez.

Mérték[m]	ORB-SLAM3-lok.	ORB-SLAM3 + GNSS-lok.
Maximum	6.97	4.30
Átlag	2.45	0.255
Medián	1.83	0.15
Minimum	0.46	0.03
RMSE	2.93	0.49
SSE	16904.58	489.08
Szórás	1.61	0.41

3. táblázat: Számszerűsített eredmények a lokalizációs vizsgálat során, ahol a készített térkép alapján történt a helyzetmeghatározás

5. KONKLÚZIÓ

A bemutatott módszer alapján megállapítható, hogy a tervezett módszer képes jelentősen csökkenteni a monokuláris vSLAM rendszerekre jellemző skálahibát, ezáltal pontosabb pozícióbecslést és megbízhatóbb környezeti térképet biztosít. A globálisan skálázott és UTM koordináta-rendszerbe illesztett térkép más járművek számára is újrafelhasználható lokalizációs célra,

így lehetőség nyílik olyan kooperatív rendszerek kialakítására, amelyekben nem minden járműnek szükséges nagy pontosságú, költséges GNSS-RTK rendszerrel rendelkeznie – ez a megközelítés érdemi költségcsökkentést eredményezhet flottaszintű alkalmazásokban.

A jelen vizsgálat során elsősorban statikus környezetben, többnyire állandó fényviszonyok mellett került sor a rendszer értékelésére. A dinamikus objektumok (pl. járműforgalom) és a környezeti változások (pl. időjárás, megvilágítás) hatását a térkép megbízhatóságára jelen tanulmány nem tárgyalta. Ugyanakkor az elvégzett kísérletek azt mutatják, hogy a javasolt módszer stabil és pontos lokalizációt képes biztosítani azonos vagy hasonló körülmények között, mint amelyek során a térképezés készült – ez pedig megfelelő alapot nyújthat a jövőbeni, kiterjesztett alkalmazások számára.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatást a Kulturális és Innovációs Minisztérium támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap keretében, a „Nemzeti Laboratóriumok Pályázati Program” támogatási konstrukcióján keresztül, a 2022-2.1.1-NL-2022-00012 számú projekt keretében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Cadena, C., Carlone, L., Carrillo, H., Latif, Y., Scaramuzza, D., Neira, J., Reid, I., Leonard, J. J. (2016) Past, present, and future of simultaneous localization and mapping: Toward the robust-perception age. *IEEE Transactions on Robotics*, 32 (6), pp. 1309–1332. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2016.2624754>
- [2] Campos, C., Elvira, R., Gómez Rodríguez, J. J., Montiel, J. M. M., Tardós, J. D. (2021) ORB-SLAM3: An accurate open-source library for visual, visual-inertial, and multi-map SLAM. *IEEE Transactions on Robotics*, 37 (6), 1874–1890. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2021.3075644>
- [3] Chen, X., Miao, Y., Wang, J., Li, Y. (2018) GVORB-SLAM: A GPS-aided visual SLAM system. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7 (11), 425. DOI: <https://doi.org/10.36227/techrxiv.23898246>

- [4] Geiger, A., Lenz, P., Stiller, C., Urtasun, R. (2012) Vision meets robotics: The KITTI dataset. *International Journal of Robotics Research*, 32 (11), pp. 1231–1237. <https://doi.org/10.1177/0278364913491297>
- [5] Grupp, M. (2017) evo: Python package for the evaluation of odometry and SLAM [Computer software]. GitHub repository. URL: <https://github.com/MichaelGrupp/evo>
- [6] Kiss, B., Illés, G., Tóth, C. K. (2019) GPS-SLAM: Global localization using visual SLAM and GPS measurements. *Sensors*, 19 (12), 2740.
- [7] Leutenegger, S., Lynen, S., Bosse, M., Siegwart, R., Furgale, P. (2015) Keyframe-based visual-inertial odometry using nonlinear optimization. *International Journal of Robotics Research*, 34 (3), pp. 314–334. DOI: <https://doi.org/10.1177/0278364914554813>
- [8] Macenski, S., Foote, T., Gerkey, B., Lalanette, F., Woodall, W. (2022) Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in robotics. *Science Robotics*, 7 (66), eabm6074. DOI: <https://doi.org/10.1126/scirobotics.abm6074>
- [9] Mur-Artal, R., Montiel, J. M. M., Tardós, J. D. (2015) ORB-SLAM: A versatile and accurate monocular SLAM system. *IEEE Transactions on Robotics*, 31 (5), pp. 1147–1163. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2015.2463671>
- [10] Mur-Artal, R., Tardós, J. D. (2017). ORB-SLAM2: An open-source SLAM system for monocular, stereo, and RGB-D cameras. *IEEE Transactions on Robotics*, 33 (5), pp. 1255–1262. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2017.2705103>
- [11] Qin, T., Li, P., Shen, S. (2018) VINS-Mono: A robust and versatile monocular visual-inertial state estimator. *IEEE Transactions on Robotics*, 34 (4), pp. 1004–1020. DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2018.2853729>
- [12] Scaramuzza, D., Fraundorfer, F. (2011) Visual odometry [Tutorial]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 18 (4), 80–92. DOI: <https://doi.org/10.1109/MRA.2011.943233>
- [13] Wang, Y., Zhang, J., Zhao, H. (2022) Map reuse and cooperative localization for multi-agent SLAM systems. *Robotics and Autonomous Systems*, 148, 103922.
- [14] Zhang, J., Singh, S. (2014) LOAM: Lidar odometry and mapping in real-time. In *Proceedings of Robotics: Science and Systems (RSS)*. DOI: <https://doi.org/10.15607/RSS.2014.X.007>
- [15] Zhang, Z., Qin, T., Shen, S. (2019) LD-SLAM: A robust and efficient monocular SLAM system based on line and point features. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4 (2), pp. 1378–1385.



Cooperative visual SLAM system for vehicle based environmental perception

Keywords: localization, GNSS-integration, cooperative vSLAM, autonomous vehicle

For autonomous vehicles, accurate assessment of the environment and reliable localization are crucial. To do this, we present a cooperative visual SLAM system, where one vehicle creates a map with a monocular camera and calibrates this map to a global scale using GNSS reference coordinates. The second vehicle visually localizes itself using the created map interpreted in the global coordinate system. We used a self-generated dataset to evaluate the presented method. Based on the results, it can be concluded that the method increases the accuracy of localization and allows the reuse of maps between vehicles.

Közlekedésbiztonság – Közlekedési környezetvédelem

A baleseti kockázati mutatók változása az országos közúthálózaton 2002-2024

Dr. Koren Csaba – Dr. Kosztolányi-Iván Gabriella

Széchenyi István Egyetem

e-mail: koren@sze.hu, gabriella.ivan@gmail.com

Kézirat benyújtva: 2026.01.17.

Kézirat elfogadva: 2026.04.30.



© Koren Cs., Kosztolányi-Iván G.

Absztrakt

A cikk az országos közúthálózaton bekövetkezett személyi sérüléssel járó balesetek számának a megtett járműkilométerekhez viszonyított kockázati mutatóit elemzi 23 éves időszakra. Az elemzés a halálos, súlyos és könnyű sérüléssel kimenetelű baleseteket, ill. autópálya, autóút, főút, alsóbbrendű út kategóriákra bontva történik. Az egyes csoportokra bontva bemutatásra kerül, hogy a baleseti kockázat hogyan változott az elmúlt időszakban, az adatsorokra a változásokat jól leíró függvények illesztésével.

Kulcsszavak: közúti baleset; úthálózat; kockázat; idősoros elemzés

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.3.5>

1. BEVEZETÉS: A KUTATÁSI PROBLÉMA ÉS CÉL

A személysérüléssel járó közúti közlekedési balesetek számának alakulásáról rendszeres, hosszú idősoros, hazai és nemzetközi országos statisztikai kimutatások állnak rendelkezésre. Számos elemzés azonosított összefüggéseket egyes közlekedésbiztonsági intézkedések és a balesetek számának változása között (Holló, 2008), (Holló, 2010), (Berta, 2020), (Pauer 2023), (Pauer és Ötvös, 2025). Az elemzések ezen csoportja a balesetek vagy a sérültek számát veszi alapul.

Ha a balesetek előfordulásának valószínűségét akarjuk vizsgálni, akkor valamilyen közlekedési teljesítmény-mutatót (megtett kilométer, eltöltött idő, felszállások száma) kell bevonni.

A különböző közúthálózati elemek biztonsági összehasonlításához széles körben használatosak a fajlagos baleseti/sérülési/kockázati mutatók. Ilyenek a baleset/10⁷ járműkilométer (jmkkm), vagy

sérülés/10⁷ jmkkm, vagy ezeknek kimenetel szerinti részletezett változatai. Ilyen mutatókkal találkozhatunk például a közúti infrastruktúra egyes elemeinek biztonságával foglalkozó vizsgálatokban és útmutatókban (pl. útkategóriákra vagy csomóponttípusokra (Magyar Közút Nzrt., 2025), (Innovációs és Technológiai Minisztérium – TRÉNECON, 2018), (Ambros et al., 2016), (Berki és Simon, 2023), (Kopits et al., 2005), (Smeed (1949)). Ezek a mutatók a szakmai szabályok szerint az adott vizsgálat előtti legutóbbi 3-5 év adatain alapulnak.

Ritkák azonban az olyan elemzések, amelyek a forgalomra vetített baleseti kockázati mutatók értékeit nagyobb hálózatokon és hosszabb időszakokon vizsgálják. A magyar országos közúthálózat viszont alkalmas egy ilyen idősoros elemzésre, mivel mind a forgalmi, mind a baleseti adatok hosszabb idő óta egységes szerkezetben rendelkezésre állnak. Ez a cikk az országos közúthálózaton bekövetkezett balesetek számának a forgalmi teljesítményekhez (megtett járműkilométerekhez) viszonyított kockázati

mutatóit gyűjti össze és elemzi a 2002 és 2024 közötti 23 éves időszakra. Az elemzés a halálos, súlyos és könnyű sérüléssel járó balesetekre, ill. autópálya, autótút, főút, valamint alsóbbrendű út kategóriákra bontva történik. Az egyes csoportokra nézve és összesítve is bemutatásra kerül, hogy a baleseti kockázat hogyan változott az elmúlt időszakban és milyen trend várható.

A cikkben felhasználásra kerültek egy korábbi publikáció (Koren és Kosztolányi-Iván, 2025) módszerei, de míg abban a baleseti sérültek számát elemezték, jelen esetben a súlyosság szerint osztályozott balesetek vizsgálata történik az elérhető legfrissebb adatok felhasználásával.

2. ADATOK ÉS MÓDSZEREK

A felhasznált forgalmi adatok „Az országos közutak 2024. évre vonatkozó keresztmetszeti forgalma” c. és a hasonló korábbi kiadványokból származnak (Magyar Közút Nzrt., 2025). A kiadványban megtalálhatóak az országos közúthálózat átlagos napi forgalmának részletes adatai, de a kutatás szempontjából az országos összesítő táblázatok érdekesekek, útkategóriák szerinti bontásban. Az adatok közül az átlagos napi forgalom (jm/nap) és a forgalmi teljesítmény (jmkm/nap) mennyiségek kerültek kiválasztásra, kezelők szerinti megkülönböztetés mellőzésével.

A felhasznált baleseti adatok a WEB-BAL adatbázisból származnak, az egyszerűen lekérdezhető csoportosítások kiválasztásával. Az elemzés nem terjedt ki a felsoroltaknál részletesebb bontásra, így településen belüli, ill. kívüli szakaszok, csomópontok és folyópályák, sávszámok vagy sebességhatárok szerinti megkülönböztetésre. A vizsgálat a halálos, súlyos és könnyű személyi sérüléssel járó balesetekre, ill. autópálya, autótút, főút, alsóbbrendű út kategóriákra bontva történt.

Előállításra kerültek a halálos/súlyos/könnyű sérüléssel járó baleset/10⁷ járműkilométer adatokból éves idősorok, amelynek pontjaira az Excel programban

$$y = a \cdot e^{(b \cdot (t - 2000))} \quad (1)$$

egyenletű regressziós görbéket illeszkednek legjobban, ahol:

- y: a baleseti valószínűség (baleset/10⁷ jmkm)
- t: a vizsgált év sorszáma
- a és b regressziós paraméterek
- e: a természetes logaritmus alapja.

Az összefüggés kiválasztása korábbi, saját kutatások tapasztalatai alapján történt.

3. EREDMÉNYEK

Az eredmények között az úthálózat hossza, az átlagos napi forgalom, a forgalmi teljesítmény és a baleseti kockázati mutatók változásának bemutatása áll a kutatás fókuszában. Terjedelmi okokból a táblázatokban csak a vizsgált időszak első és utolsó évének adatai szerepelnek, a közbelső időszak adatait az ábrák mutatják be.

3. 1. A hálózat hosszának változása

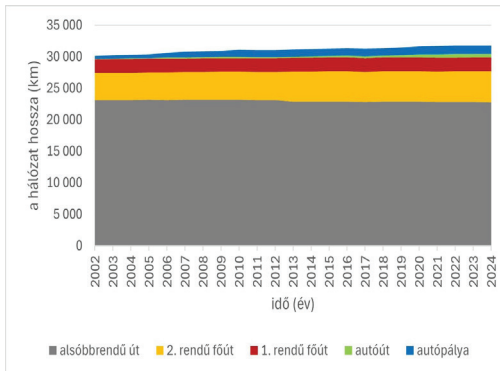
Az országos közúthálózat összhossza a vizsgált időszakban kevésbé változott. Jelentős változás volt viszont az új gyorsforgalmi utak építéséből adódó hálózatbővülés. Megemlítendő még egyes alsóbbrendű utak főúttá való átminősítése (1. táblázat és 1. ábra).

útkategória/év	2002	2024
autópálya	468	1338
autótút	43	561
1. rendű főút	2162	2170
2. rendű főút	4346	4922
alsóbbrendű út	23090	22769
összesen	30110	31760

1. táblázat: A hálózat hossza a vizsgált időszak elején és végén (km)

3. 2. Az átlagos napi forgalom változása

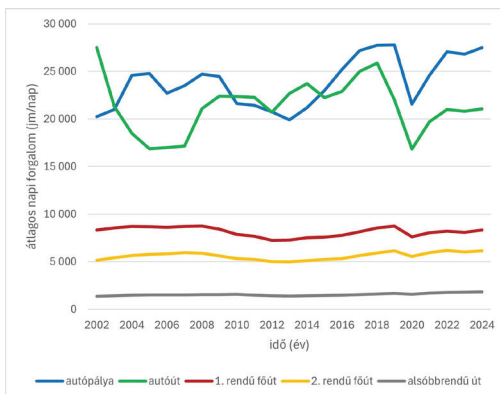
Az átlagos napi forgalom változásait a 2. táblázat és a 2. ábra mutatja be. A változások (esetenként csökkenések) az egyes útkategóriákban a hosszútávú trendek mellett az egyes gyorsforgalmi útszakaszok megnyitásából, a főúti forgalmaknak a gyorsforgalmi szakaszokra való áthelyeződéséből adódtak. Emellett minden útkategóriában megfigyelhető 2020-ban a COVID miatti forgalomcsökkenés.



1. ábra: A hálózat hossza a vizsgált időszak egyes éveiben (km) (Forrás: saját szerkesztés)

út kategória/év	2002	2024
autópálya	20250	27501
autótűt	27499	21058
1. rendű főút	8328	8318
2. rendű főút	5139	6157
alsóbbrendű út	1364	1842

2. táblázat: Az egyes út kategóriák átlagos napi forgalma a vizsgált időszak elején és végén (jm/nap)



2. ábra: Az egyes út kategóriák átlagos napi forgalma a vizsgált időszak egyes éveiben (jm/nap)

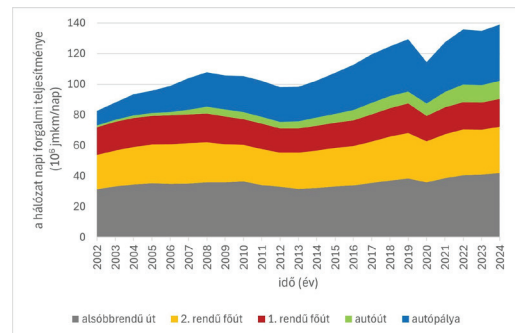
3. 3. A hálózat napi forgalmi teljesítményének változása

A 3. táblázat és a 3. ábra szerint a forgalmi teljesítmény leginkább a gyorsforgalmi hálózaton nőtt, az elsőrendű főúton viszont az átrendezés következtében szinte változatlan maradt.

Jelentős a többi útkategória teljesítményének növekedése is. Összességében mintegy 60%-kal nőtt a teljesítmény a vizsgált 23 év alatt.

út kategória	2002	2024
autópálya	9,5	36,8
autótűt	1,2	11,8
1. rendű főút	18,0	18,1
2. rendű főút	22,3	30,3
alsóbbrendű út	31,5	41,9
összesen	82,5	138,9

3. táblázat: A hálózat napi forgalmi teljesítménye a vizsgált időszak elején és végén (10⁶ jmkm/nap)



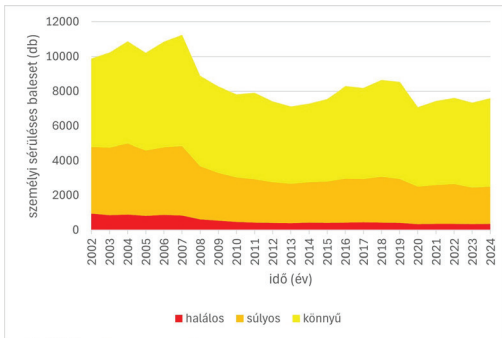
3. ábra: A hálózat napi forgalmi teljesítménye a vizsgált időszak egyes éveiben (10⁶ jmkm/nap)

3. 4. A balesetek számának változása

A vizsgált időszakban az országos közúthálózaton bekövetkezett, halálos kimenetelű balesetek száma jelentősen csökkent. Szintén számottevő a súlyos sérülések balesetek számának csökkenése. Kiseb mértékű volt a csökkenés a könnyű sérülések balesetek számában (4. táblázat és 4. ábra). A csökkenés főleg 2007 és 2010 között következett be, azóta az éves számok hullámzó tendenciát mutatnak, bár a halálos balesetek száma tovább csökkent.

kimenetel	2002	2024
halálos	951	353
súlyos	3855	2161
könnyű	5071	5083
összesen	9877	7597

4. táblázat: Az országos közúthálózaton bekövetkezett személyi sérülések balesetek száma a vizsgált időszak elején és végén (baleset/év)



4. ábra: Az országos közúthálózaton bekövetkezett személyi sérüléses balesetek száma súlyosság szerint a vizsgált időszakban (baleset/év)

kimenetel	év/út kategória	összesen	autópálya	autóút	főút	alsóbb. út
halálos	2002	0,32	0,13	0,12	0,38	0,29
	2024	0,07	0,03	0,02	0,08	0,10
súlyos	2002	1,28	0,34	0,58	1,27	1,60
	2024	0,43	0,11	0,08	0,49	0,73
könnyű	2002	1,68	0,53	0,88	1,75	1,97
	2024	1,00	0,25	0,25	1,20	1,65

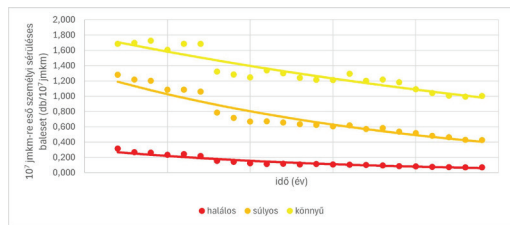
5. táblázat: A 10⁷ jkm-re eső személyi sérüléses balesetek száma a vizsgált időszak elején és végén (baleset/év)

3. 5. A baleseti kockázat változása

A 10⁷ járműkilométerre eső személyi sérüléses balesetek száma a hálózat egészén, valamint út-kategóriánként és évente az 5. táblázatban, valamint az 5–8. ábrákon szerepel.

Az ábrák alapján a következő megállapítások tehetők.

- A hálózat egészét tekintve mindhárom súlyossági kategóriában folyamatosan csökkentek a kockázati mutatók.
- Az autópályák és autótutak kockázati mutatói minden súlyossági fok esetén lényegesen kedvezőbbek, mint a fő- és alsóbbrendű utakéi.
- A baleseti kockázati mutatók minden útkategóriában és minden kimenetel esetén világos csökkenő tendenciát mutatnak.
- A csökkenő trend a halálos balesetek esetén a legmeredekebb, a könnyű sérüléses baleseteknél a legenyhébb.
- Az autópályák és az autótutak csoportja között alig van különbség és ez a különbség az időben csökken.
- A főutak és a mellékutak csoportja között is kicsi a különbség, és ez a különbség a halálos balesetek esetén csökken, a súlyos és könnyű sérüléses balesetek esetén növekszik.



5. ábra: A 10⁷ járműkilométerre eső személyi sérüléses balesetek számát a hálózat egészén

3. 6. Regressziós függvények illesztése

A 6. táblázat összefoglalóan mutatja az idősorokra illesztett és az 5–8. ábrákon látható regressziós egyenletek paramétereit. Az R² determinációs együtthatók minden esetben magasak, tehát a negatív exponenciális függvény jól írja le a baleseti valószínűségek alakulását. Az R² értékei általában nagyobbak, mint 0,8. Ez alól csak az autótutak csoportja kivétel. Itt a viszonylag kis alapsokaság (hálózati hossz) miatt jobban ingadoznak az egyes évek mutatói. Szintén valamivel alacsonyabbak, de minden esetben 0,5 feletti a könnyen sérültekre vonatkozó R² értékek.

Az „a” paraméter a függvény (a megfelelő baleseti mutató) 2000. éve visszavetített értékét jelenti. Ennek értékei autópályák és autótutak

esetén egymáshoz közel, esetenként nagyon közel állnak. Nagyfokú hasonlóság található a főutak és alsóbbrendű utak „a” értékei között is.

A függvények „b” együtthatója jó közelítéssel a baleseti kockázati mutató évenkénti átlagos változásának mértékét adja meg. Ezek az elemzés alapján mind negatív számok. A vizsgált időszakban a kimeneteli csoportok közül leggyorsabb volt a halálos kockázati mutatók csökkenése, ezt követik a súlyos és könnyű sérülések kockázati mutatói. Útkategóriák szerint az autópályák és autótutak baleseti kockázati mutatói csökkentek nagyobb ütemben, mint a főutak és az alsóbbrendű utak mutatói.

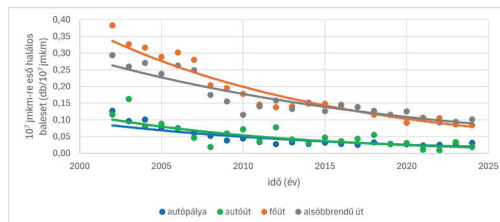
kimenetel	útkategória	a	b	R ²
halálos	összesen	0,306	-0,025	0,930
	autópálya	0,096	-0,066	0,832
	autótút	0,118	-0,079	0,652
	főút	0,384	-0,066	0,941
	alsóbbbr. út	0,291	-0,049	0,856
súlyos	összesen	1,313	-0,049	0,927
	autópálya	0,318	-0,052	0,861
	autótút	0,421	-0,077	0,707
	főút	1,404	-0,046	0,944
	alsóbbbr. út	1,568	-0,031	0,812
könnyű	összesen	1,794	-0,025	0,878
	autópálya	0,464	-0,033	0,821
	autótút	0,740	-0,051	0,612
	főút	1,899	-0,020	0,889
	alsóbbbr. út	2,147	-0,009	0,329

6. táblázat: A regressziós egyenletek együtthatói

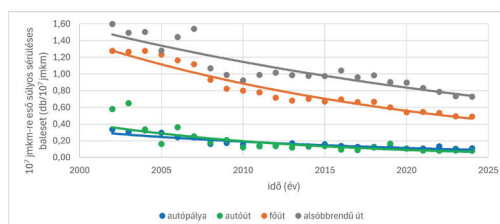
4. KONKLÚZIÓ

A személyi sérülések közúti balesetek száma a vizsgálat tárgyát képező elmúlt 23 évben jelentősen csökkent. Ugyanakkor ez a csökkenés az elmúlt évtizedben lelassult, ill. szinte megállt. Feltehető a kérdés: elvárható-e a balesetszám további csökkenése, miközben az utakon a forgalom növekszik.

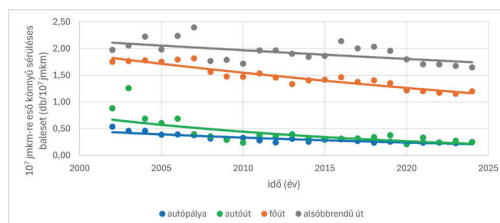
Az elemzés azt mutatja, hogy a forgalomhoz (megtett járműkilométerhez) viszonyított baleseti kockázati mutatók továbbra is folyamatos csökkenő tendenciát mutatnak.



6. ábra: A 10⁷ jkm-re eső halálos balesetek számának változása



7. ábra: A 10⁷ jkm-re eső súlyos sérülések balesetek számának változása



8. ábra: A 10⁷ jkm-re eső könnyű sérülések balesetek számának változása

A bemutatott vizsgálatok szerint a baleseti kockázati mutatók évenkénti csökkenésének mértéke a súlyosság szerint különböző: halálos kimenetelű balesetek esetén 5-8%, súlyos sérülések balesetekre 3-8%, míg könnyű sérülések balesetek esetén 2-4%. A csökkenés mértéke függ az útkategóriától is: gyorsforgalmi utak esetén a sávon belül magasabb, normál utak esetén alacsonyabb. Ha a forgalom növekedése nem nagyobb, mint a kockázati mutatók csökkenése, akkor megvalósul a balesetek számának csökkenése, ellenkező esetben a balesetszám növekszik.

Az egyes útkategóriákra vonatkozó eredményeket látva kissé váratlan, hogy az autópályák és autótutak között viszonylag kis különbség mutatkozik a baleseti kockázati mutatók tekintetében, holott gyakoriak a kritikák az autótutak műszaki hiányosságaival kapcsolatban. Ugyancsak viszonylag kicsik a különbségek a főutak és az alsóbbrendű utak kockázati mutatói között, pedig az alsóbbrendű utak kiépítettsége és állapota elmarad a főutakétól.

A Wilde-féle kockázat-kompenzáció jelenség ebben az esetben hangsúlyos (Wilde, 1982), miszerint a közlekedők az általuk elvárt kockázati szinthez igazítják viselkedésüket, így a szerényebb kiépítésű, ill. állapotú utakon azokhoz illeszkedve közlekednek.

A baleseti kockázati mutatók éves csökkenési százaléka visszaigazolják mindazokat az intézkedéseket, amelyeket a rendszer különböző résztvevői: a közlekedő személyek, a járműfejlesztők, a közútkezelők, a rendőrség, különböző állami és társadalmi szervezetek tesznek a közúti biztonság érdekében. Ezek a hatások egymástól nem választhatók el és többnyire hosszú távon elhúzódva érvényesülnek.

A trendekre vonatkozó megállapítások csak hálózati szinten, a bemutatott útkategóriákra vonatkoznak és nem értelmezhetőek kisebb egységekre (pl. egyes utakra, településen belüli vagy kívüli hálózatrészekre, illetve egyes útszakaszokra).

A bemutatott vizsgálat korlátja, hogy csak az országos közúthálózatra terjed ki, mivel a helyi közutakra nincsenek átfogó forgalmi adatok. Viszont miután az összes személyi sérüléses balesetnek közel a fele, a halálos kimenetelű baleseteknek pedig mintegy 80%-a országos közúton történik, a fentiekben felvázolt csökkenő trendek jellemzőnek mondhatók a teljes hálózatra.

A szorosan illeszkedő negatív exponenciális függvények ugyanakkor azt is mutatják, hogy az idő előrehaladtával évente egyre nehezebb további javulást elérni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Ambros, J., Borsos, A., Hóz, E., Novák, J., Kieć, M., Machiník, Š., Ondrejka, R. (2016) Central European comparative study of traffic safety on roundabouts. *Transportation Research Procedia*, 14, pp. 4200–4208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.391>
- [2] Berki, Zs., Simon, D. (2023) Analysis of relative accident rates in city traffic. In: Horváth B., Henézi D. (szerk.) I. Közlekedésbiztonsági Konferencia. Győr, pp. 54–60.
- [3] Berta, T. (2020) A hazai közlekedésbiztonság múltja, jelene és jövője. *Közlekedéstudományi Szemle*, 70 (1), pp. 49–52.
- [4] Borsos, A., Koren Cs. (2015) A közlekedésbiztonság hosszú távú trendjei. In: Koren Cs. (szerk.) Biztonságosabb közúti infrastruktúra. Universitas-Győr Nonprofit Kft., pp. 406–416.
- [5] Holló, P. (2008) Gondolatok a hazai közúti közlekedés biztonságáról. *Magyar Tudomány*, 2, pp. 175–185.
- [6] Holló, P. (2010) A közúti biztonság javulásának néhány háttértényezője. *Közlekedéstudományi Szemle*, 60 (9), pp. 31–34.
- [7] Innovációs és Technológiai Minisztérium – TRENCON (2018) Módszertani útmutató egyes közlekedési projektek költség-haszon elemzéséhez. 1–107. p.
- [8] Kopits, E., Cropper, M. (2005) Traffic fatalities and economic growth. *Accident Analysis & Prevention*, 37 (1), pp. 169–178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2004.04.006>
- [9] Koren, Cs., Kosztolányi-Iván, G. (2025) Baleseti és forgalmi trendek az országos közúthálózaton 2002–2023 In: Horváth B., Henézi D., (szerk.) III. Közlekedésbiztonsági Konferencia. Győr, pp. 83–88.
- [10] Magyar Közút Nzrt. (2025) A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezelése (KIKK) ütügyi műszaki előírás. e-UT 02.01.44:2025, pp. 1–69.
- [11] Magyar Közút Nzrt. (2025) Az országos közutak 2024. évre vonatkozó keresztmetzeti forgalma. URL: <https://internet.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagos-kozuti-adatbank/forgalomszamlalas/>

- [12] Pauer, G. (2023) A hazai közúti közlekedésbiztonság alakulásának áttekintése a külső mérőszámok tükrében. In: Horváth, B; Henézi, D. (szerk.) I. Közlekedésbiztonsági konferencia; Győr, pp. 23-31.
- [13] Pauer, G., Ötvös, V. (2025) A közúti közlekedésbiztonsági helyzet alakulása az Európai Unióban és Magyarországon. Közlekedéstudományi Szemle, 75 (5), pp. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2025.5.5>
- [14] Smeed, R.J. (1949) Some Statistical Aspects of Road Safety Research. Journal of the Royal Statistical Society. Series A, 112 (1), pp. 1–34. Oxford University Press.
- [15] Wilde, G.J.S. (1982) The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. Risk Analysis, 2(4), pp. 209–225. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1982.tb01384.x>



Changes of accident risk indicators on the national road network 2002-2024

Keywords: road accident; road network; risk; time series

The article analyses the risk indicators as the number of personal injury accidents in relation to vehicle kilometres travelled on the national road network for a 23-year period. The analysis is divided into fatal, serious and minor injury accidents, and into the road categories of motorways, expressways, main roads and minor roads. Changes of accident risk are presented, broken down into road classes and severity groups. Negative exponential functions fitted to the data series describe the changes well.

Gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági kérdései hagyományos és önvezető járművek esetén

Szigeti Szilárd^{1*} – Dr. Pauer Gábor² – Dr. Földes Dávid³

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

Senior kutató, Közlekedésbiztonsági és Forgalomtechnikai Főosztály, Közlekedéstudományi és Építésügyi Minőségellenőrző Intézet

²Közlekedésbiztonsági és forgalomtechnikai főosztályvezető, Közlekedésbiztonsági és Forgalomtechnikai Főosztály, Közlekedéstudományi és Építésügyi Minőségellenőrző Intézet

³tudományos munkatárs, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

*felelős szerző

e-mail: szigeti.szilard@kti.hu, pauer.gabor@kti.hu, foldes.david@kjk.bme.hu

Kézirat benyújtva: 2026.01.29.

Kézirat elfogadva: 2026.02.24.



© Szigeti Sz., Pauer G., Földes D.

Absztrakt

A jelzőtáblával szabályozott kijelölt gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági feltételeit vizsgáltuk hagyományos és önvezető járművek esetében. A kidolgozott módszerrel újdonságként a méretezésnél a gyalogosok haladási sebessége is figyelembe vehető, és meghatározható a szükséges oldalirányú látótávolság, valamint a járdaszegély mentén szabadon tartandó hossz. A módszer felhasználható a jelenlegi tervezési útmutatók felülvizsgálatára, továbbá az autonóm járművek bevezetéséhez történő felkészülés során is, figyelembe véve az eltérő észlelési és reakciójellemzőket.

Kulcsszavak: gyalogos-átkelőhely, beláthatóság, önvezető járművek

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.3.6>

1. BEVEZETÉS

A gyalogos közlekedés biztonsága továbbra is a hazai közúti közlekedésbiztonság egyik kiemelt területe. A súlyos kimenetelű, gyalogos balesetek jelentős része jelzőtáblával szabályozott gyalogos-átkelőhelyeken következik be, ahol a jogszabályi környezet a gyalogos elsőbbségét

rögzíti, ugyanakkor a tényleges biztonság nagymértékben függ a járművek és a gyalogosok közötti kölcsönös észlelés feltételeitől.

A kijelölt gyalogos-átkelőhelyek biztonságos használatában meghatározó szerepet játszik a beláthatóság. A járművezetőknek – önvezető járművek esetében az érzékelő és döntéshozó

rendszereknek – kellő időben és távolságból kell észlelniük az átkelési szándékot, miközben a gyalogosok számára megfelelő oldalirányú látótávolság szükséges az érkező járművek felismeréséhez és az átkelési döntés meghozatalához. A jelenleg alkalmazott útügyi és forgalomtechnikai előírások a beláthatósági követelményeket elsősorban a megállási látótávolsághoz kötik, és jellemzően a hagyományos, ember által vezetett járművek jellemzőiből indulnak ki. Ugyanakkor az oldalirányú látótávolság és a gyalogosok mozgásának dinamikája a tervezési gyakorlatban csak korlátozottan jelenik meg, ami a jelenlegi, ember vezetett járműveknél is hiányos tervezéshez vezet. Különösen önvezető járművek megjelenésénél válik fontossá, hisz a jármű csak a tényleges környezet érzékelése alapján fog döntéseket hozni, sejtések helyett.

Várhatóan egyre gyorsabb ütemben jelennek meg az önvezető járművek a közutakon. E járművek alapvetően eltérő működési jellemzőkkel rendelkeznek a hagyományos járművekhez képest. Érzékelésük szenzorokra épül, adatfeldolgozások automatizált algoritmusokkal történik, reakcióidejük lényegesen rövidebb. Ezek a hagyományos járművekhez képest rövidebb megállási látótávolságot eredményeznek, valamint csökkentik azt az oldalirányú látótávolságot, amely mellett a gyalogos elsőbbsége biztosítható.

A kutatásban bemutatott tervezési keret és beláthatósági modell lehetővé teszi a járdaszegély mentén szabadon tartandó, szükséges hossz meghatározását, valamint korlátozott oldalirányú beláthatóság esetén a biztonságos megközelítési sebességek kijelölését ember vezette és önvezető járművek esetében is. A követelmények számszerűsítése alapot ad a tervezési és sebességszabályozási megoldások alkalmazásához, amelyek akár az átmeneti, vegyes forgalmi környezetben is biztosítják a gyalogos elsőbbségét.

2. BELÁTHATÓSÁGI KÖVETELMÉNYEK – SZAKIRODALMI HÁTTÉR

A közúti tervezési útmutatók a beláthatósági követelményeket jellemzően a megállási látótávolság alapján határozzák meg, amelyet a járművezetők észlelési reakcióideje és a feltételezett

lassulási értékek figyelembevételével számítanak (AASHTO, 2018; Petegem et al., 2015). Ezek az előírások alapvetően a hagyományos, ember által vezetett járművek jellemzőiből indulnak ki, és a városi környezetben alkalmazott nemzeti irányelvek is hasonló logikát követnek (FGSV, 2012; Norma 3.1-IC, 2020).

A szakirodalom egybehangzóan rámutat arra, hogy az önvezető járművek rövidebb rendszerszintű reakcióideje és szabályozottabb fékezési folyamatai a megállási látótávolság csökkenését eredményezik a hagyományos járművekhez képest (Khoury et al., 2019; Guerrieri, 2021; Othman, 2021). A vizsgálatok szerint városi sebességtartományban az önvezető járművek megállási látótávolság-igénye jellemzően 15–35 m közé esik, míg a hagyományos, ember által vezetett járművek esetében 25–55 m közötti értékek tekinthetők tipikusnak. Ez a különbség a sebességtől és az alkalmazott lassulási feltételezésektől függően megközelítőleg 30–40%-os csökkenést jelent, ami a geometriai tervezési paraméterek újraértelmezésének lehetőségét veti fel (Othman, 2021).

A megállási és az oldalirányú látótávolság alakulását a szakirodalom alapján elsősorban három paraméter határozza meg: az észlelési és reakcióidő, a lassulási képesség és a gyalogosok haladási sebessége (Savolainen et al., 2024; Samson et al., 2022). Empirikus vizsgálatok szerint a gyalogosok átlagos haladási sebessége jellemzően 1,2–1,5 m/s tartományba esik, miközben a különböző gyalogos csoportok között jelentős eltérések mutatkoznak (Goh et al., 2012; Forde and Daniel, 2020). Ez alátámasztja, hogy a gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági követelményeinek meghatározása során a gyalogosok mozgásdinamikáját explicit módon szükséges figyelembe venni.

A hazai tervezési gyakorlatban a gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági követelményeit az útügyi műszaki előírások szintén elsősorban a megállási látótávolsághoz kötik. Az ÚT 03.07.25 előírás szerint kijelölt gyalogos-átkelőhely csak olyan helyen létesíthető, ahol az átkelőhely szélétől 1 m távolságban álló gyalogos a megengedett sebességhez tartozó megállási látótávolságból, de legalább 50 m távolságból észlelhető.

Az ÚT 03.01.11 „Közutak tervezése (KTSZ)” a gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági követelményeit szintén a megállási látótávolsághoz köti, amelyet a tervezési sebesség és a pálya hosszúsága függvényében határoz meg.

Összességében megállapítható, hogy sem a nemzetközi, sem a hazai tervezési útmutatók nem kezelik önálló tervezési kérdésként az önvezető járművek megjelenését a gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági vizsgálatában, és a követelmények meghatározása továbbra is kizárólag a hagyományos járművezetői feltételezésekre épül.

3. BELÁTHATÓSÁGI SZÁMÍTÁSI MÓDSZERTAN

A kijelölt gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági követelményeinek számszerűsítésére módszertani keretrendszert dolgoztunk ki, amely megkülönbözteti a hagyományos, ember által vezetett és az önvezető járművek jellemzőit.

A járművek megállási képességeinek, valamint a gyalogosok mozgási sebességének figyelembevételével meghatároztuk a szükséges megállási látótávolságot, oldalirányú látótávolságot, valamint korlátozott beláthatóság esetén a megengedhető megközelítési sebességet.

A módszertan alapfeltevése, hogy a gyalogos az átkelést megállás vagy lassítás nélkül kezdhesse meg, amennyiben a beláthatósági feltételek ezt lehetővé teszik. Ennek érdekében a vizsgálat a járművek megközelítési sebességét, megállási képességét, valamint a gyalogosok átkelési sebességét egymással összefüggésben értelmezi.

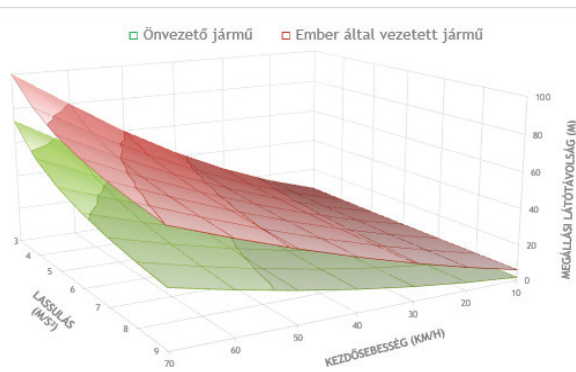
A járművek megállási képességét alapvetően az észlelési reakcióidő és a lassulási képesség határozza meg, amelyeket a szakirodalomban és a tervezési gyakorlatban elfogadott értékek alkalmazásával modelleztünk. A hagyományos, ember által vezetett járművek esetében a tervezési útmutatókban elfogadott reakcióidőt (2 másodperc), míg az önvezető járművek

esetében egy lényegesen rövidebb, rendszerintú reakcióidőt feltételeztünk (0,5 másodperc). Az eltérő reakcióidők a megállási látótávolság és oldalirányú látótávolság bemeneti feltételeiként jelentek meg.

A megállási látótávolság alakulását az 1. ábra szemlélteti különböző kezdeti sebességek és lassulási értékek mellett, hagyományos és önvezető járművek esetében. Az önvezető járműveknél feltételezett rövidebb reakcióidő azonos sebesség mellett lényegesen kisebb megállási távolságot eredményez. Ez a különbség városi sebességtartományban is számottevő, és közvetlen hatással van a gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági követelményeire.

A gyalogos-átkelőhelyek sajátossága, hogy a beláthatóság nem kizárólag a járművek hosszirányú megközelítésén múlik, hanem döntő szerepet játszik az oldalirányú látótávolság is. A módszertanban ezért nemcsak azt vizsgáltuk, hogy a jármű képes-e megállni az átkelőhely előtt, hanem azt is, hogy az adott geometriai kialakítás mellett az oldalirányú látótávolság elegendő-e a biztonságos megálláshoz.

A vizsgálat logikája azon alapul, hogy a jármű megállásához szükséges idő alatt a gyalogos mekkora távolságot tesz meg oldalirányban, és ez a távolság az átkelőhely elérése előtt teljesül-e. Amennyiben a rendelkezésre álló oldalirányú látótávolság ezt biztosítja, a gyalogos előbbsége egyértelműen garantálható. Ellenkező



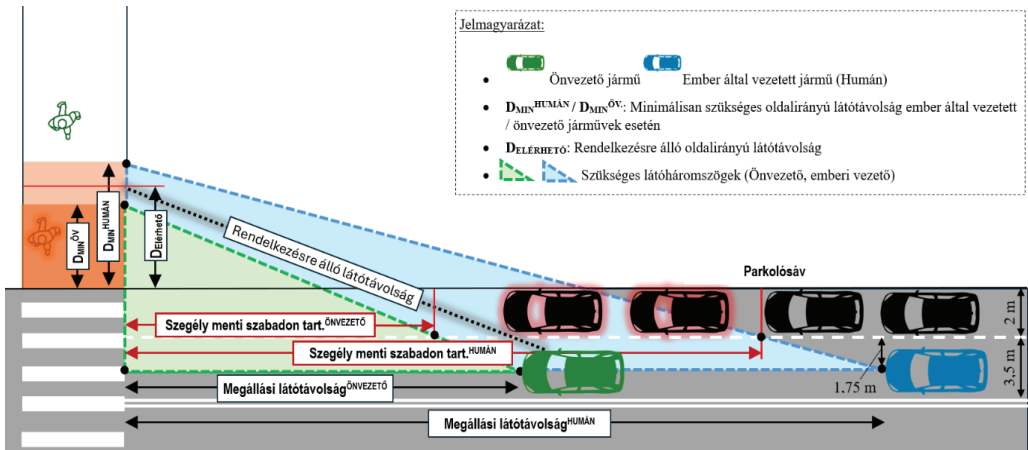
1. ábra: A megállási látótávolság alakulása ember által vezetett és önvezető járművek esetében különböző kezdősebesség és lassulási értékek mellett (Forrás: saját szerkesztés)

esetben a gyalogos biztonságos átkelése csak korlátozások – elsősorban csökkentett járműsebesség – mellett biztosítható.

Ezt az összefüggésrendszert szemlélteti a 2. ábra, amely egy jelzőtáblával szabályozott, kijelölt gyalogos-átkelőhely esetében mutatja be a megállási látótávolság és a kritikus oldalirányú látótávolság kapcsolatát. Az ábra külön ábrázolja a hagyományos és az önvezető járművekhez tartozó megállási távolságokat, valamint azt az oldalirányú beláthatósági igényt, amely mellett a gyalogos elsőbbsége biztosítható. A szemléltetés rávilágít arra is, hogy a járdaszegély mentén történő parkolás és egyéb takaró elemek miként korlátozhatják a rendelkezésre álló oldalirányú látótávolságot.

a jármű megközelítési sebességének csökkentésével érhető el. Ebben az esetben a kérdés az, hogy mekkora az a maximális sebesség, amely mellett a jármű még képes a gyalogos mozgásához igazodva, biztonságosan megállni az átkelőhely előtt.

A jármű–gyalogos interakciók értelmezése a gyalogos átkelőhelyhez érkezésének és a jármű megállásának időbeli viszonyán alapul. A módszertani megközelítésünk abból indult ki, hogy a gyalogos elsőbbsége akkor biztosítható egyértelműen, ha a jármű a gyalogos átkelési mozgásához igazodva képes időben megállni az átkelőhely előtt.



2. ábra: A megállási látótávolság szemléltetése ember által vezetett és önvezető járművek esetében
(Forrás: saját szerkesztés)

A módszertani keret az oldalirányú beláthatóság infrastrukturális korlátainak értelmezésére is alkalmas. A kijelölt gyalogos-átkelőhelyek környezetében gyakran előforduló takaró elemek – például parkoló járművek, növényzet vagy épített környezet – csökkenthetik a rendelkezésre álló látótávolságot. Ennek kezelésére a megközelítés lehetővé teszi annak meghatározását, hogy mekkora hosszúságú parkolásmentes szakasz szükséges az átkelőhely közelében a megfelelő oldalirányú beláthatóság biztosításához.

Amennyiben a helyszíni adottságok miatt az oldalirányú beláthatóság nem elegendő ($D_{ELERHETO} < D_{MIN}$), a gyalogos elsőbbségének biztosítása

Amennyiben a rendelkezésre álló távolság elegendő, az oldalirányú látótávolság eléri vagy meghaladja a kritikus értéket és a gyalogos érkezik előbb az átkelőhelyhez, a járműnek lassítania kell, majd meg kell állnia, biztosítva a gyalogos biztonságos átkelését. Ezzel szemben amennyiben a jármű a gyalogos előtt érkezik, a jármű sebességmódosítás nélkül továbbhaladhat.

Amennyiben a rendelkezésre álló megállási látótávolság elegendő, azonban az oldalirányú látótávolság nem éri el a szükséges minimális értéket, a gyalogos átkelőhelyhez érkezésének időbeli viszonya nem ítéltető meg egyértelműen. Ilyen esetben – függetlenül attól, hogy

a jármű vagy a gyalogos érkezne előbb az átkelőhelyhez – a jármű megközelítése csak csökkentett sebességgel tekinthető biztonságosnak. A sebességcsökkentés célja annak biztosítása, hogy a gyalogos megjelenése esetén a jármű megállása még időben végrehajtható legyen és az elsőbbségadás szükség esetén biztosítható maradjon.

Amennyiben a rendelkezésre álló megállási látótávolság nem elegendő, vagy az oldalirányú beláthatóság nem éri el a minimálisan szükséges szintet, a gyalogos megjelenése esetén az ütközés elkerülése csak vészfékezéssel lenne lehetséges, ami a tervezés és az üzemeltetés szempontjából nem elfogadható.

A fenti eshetőségek és döntési helyzetek számszerű értelmezéséhez a vizsgálat során konkrét paraméterértékeket rögzítettünk. A számításokban alkalmazott járműdinamikai jellemzőket, a feltételezett észlelési-reakcióidőket, a gyalogos haladási sebességét, valamint a vizsgálatban figyelembe vett geometriai paramétereket az 1. táblázat foglalja össze.

Paraméter	Érték	Indoklás	Forrás
Lassulási érték	-4 m/s ²	Konzervatív városi érték, az uttyági műszaki ajánlásokkal összhangban	(Kusano & Gabler, 2011) (Petzoldt et al., 2018)
Járművezető észlelési reakcióideje	2 s	Széles körben alkalmazott tervezési referencia érték	(AASHTO, 2018) (Petegem et al., 2015) (Savolainen et al., 2024)
Önvezető jármű észlelés-beavatkozási ideje	0,5 s	Önvezető járművekre vonatkozó friss kutatásokban közölt tartományon belül	(Rydzewski, A., & Czarnul, 2021) (Alsuwian et al., 2022) (Zhou et al., 2022)
Gyalogos haladási sebessége	1,5 m/s	A felnőtt gyalogosok kb. 80-90%-át lefedő érték	(Pinna & Murraru, 2018) (Mohammed, H.A., 2021)
Forgalmi sáv szélesség	3 m	Tervezési előírásokban alkalmazott érték	
Parkoló sáv szélesség	2 m	Tervezési előírásokban alkalmazott érték	
Jármű kezdeti sebessége	30/40/50 km/h	Jellemző városi sebességhatárok	

1. táblázat: Az elemzés során alkalmazott paraméterek (Forrás: saját szerkesztés)

4. EREDMÉNYEK

A módszertani keretet egy 2x1 forgalmi sáv, valamint parkolósávval ellátott útszakaszon kijelölt gyalogos-átkelőhely környezetében alkalmaztuk, vizsgálva a megállási és az oldalirányú beláthatósági követelményeket hagyományos és önvezető járművek esetében. Az eredmények számszerű formában, különböző megközelítési sebességek mellett kerültek meghatározásra.

A járművek megállási látótávolságára és az átkelőhelynél szükséges minimális oldalirányú látótávolságra vonatkozó eredményeket a 2. táblázat foglalja össze.

Az adatok alapján az önvezető járművekhez tartozó megállási látótávolság minden vizsgált sebességnél jelentősen kisebb, a különbség jellemzően 40–50% közé esik. Az oldalirányú látótávolságok esetében a csökkenés mérsékelt, jellemzően 27–37%, azonban tervezési szempontból így is releváns.

A járdaszegély mentén szabadon tartandó hossza vonatkozó eredményeket a 3. táblázat mutatja be.

A különbség a jellemző városi sebességtartományokban itt is számottevő, több parkolóhelynek megfelelő hosszt is elérhet. Például 50 km/h sebességnél az önvezető járművek esetében a szükséges szegélyhossz közel 19 m-rel kisebb lehet, ami négy parkolóhely megtartását teszi lehetővé az átkelőhely környezetében.

Korlátozott oldalirányú beláthatóság esetén ($D_{\text{Elérhető}} < D_{\text{MIN}}$) meghatároztuk a gyalogos elsőbbségadás biztosításához szükséges csökkentett, még elfogadható maximális megközelítési sebességeket. Az erre vonatkozó számszerű eredményeket a 4. táblázat foglalja össze.

Az adatok alapján az önvezető járművek esetében a gyalogos biztonságos átkelése magasabb megközelítési sebességek mellett is biztosítható, mint a hagyományos járműveknél, miközben a megállás feltételei továbbra is teljesülnek. Fontos megjegyezni, hogy a számítás a gyalogos haladási sebességének figyelembevételével, a megállás vagy lassítás nélküli átkelés biztosítását célzó megközelítésben történt.

Sebesség (km/h)	Megállási látótávolságok				Minimálisan szükséges oldalirányú látótávolságok			
	Ember vezette jármű (m)	Önvezető jármű (m)	Különbség (m)	Különbség (%)	Ember vezette jármű (m)	Önvezető jármű (m)	Különbség (m)	Különbség (%)
30	25,35	12,85	12,50	49,3	6,13	3,88	2,25	36,7
40	37,65	20,99	16,66	44,3	7,17	4,92	2,25	31,4
50	51,89	31,06	20,83	40,1	8,21	5,96	2,25	27,4

2. táblázat: Megállási látótávolság és minimálisan szükséges oldalirányú látótávolság értékek ember által vezetett és önvezető járművek esetén (Forrás: saját szerkesztés)

Sebesség (km/h)	Szegély menti szabadon tartandó hossz			Egyenértékű parkolóhelyek száma* (db) – Ember által vezetett jármű	Egyenértékű parkolóhelyek száma* (db) – Önvezető jármű	Parkolóhelyek száma közötti különbség (db)
	Ember vezette jármű (m)	Önvezető jármű (m)	Különbség (m)			
30	20,86	9,9	10,96	4	2	2
40	31,62	16,75	14,87	6	3	3
50	44,3	25,46	18,84	9	5	4

3. táblázat: Szegély menti szabadon tartandó hosszak ember által vezetett és önvezető járművek esetén (Forrás: saját szerkesztés)

Rendelkezésre álló oldalirányú látótávolság (m)	Maximális biztonságos megközelítési sebesség, ember vezette jármű (m)	Ajánlott sebességhatár, ember vezette jármű (km/h)	Maximális biztonságos megközelítési sebesség, önvezető jármű (km/h)	Ajánlott sebességhatár, önvezető jármű (km/h)
0	Nem lehetséges biztonságosan megállni	–	Nem lehetséges biztonságosan megállni	–
1	Nem lehetséges biztonságosan megállni	–	2,4	–
2	Nem lehetséges biztonságosan megállni	–	12,0	≤ 10
3	Nem lehetséges biztonságosan megállni	–	21,6	≤ 20
4	9,6	≤ 10	31,2	≤ 30
5	19,2	≤ 20	40,8	≤ 40
6	28,8	≤ 30	50,4	≤ 50
7	38,4	≤ 30	60,0	≤ 60
8	48,0	≤ 40	69,6	≤ 60

4. táblázat: Maximálisan megengedett megközelítési sebességek a rendelkezésre álló oldalirányú látótávolság függvényében (Forrás: saját szerkesztés)

Az eredmények értelmezésekor megjegyzendő, hogy a jelenlegi hazai gyakorlat implicit módon feltételezi a gyalogos körültekintő viselkedését az átkelés megkezdése előtt, amely a hatályos KRESZ (1/1975. (II. 5.) KPM–BM együttes rendelet a közúti közlekedés szabályairól) szabályozásával is összhangban áll. Ennek megfelelően a számított beláthatósági értékek nem a jelenlegi kialakítások közvetlen követelményeit, hanem egy olyan, egyértelműen érvényesülő

elsőbbségi helyzet geometriai feltételeit írják le, amelyben a gyalogos átkelése megszakítás nélkül biztosítható.

5. KONKLÚZIÓ

Kutatásunk alapján megállapítható, hogy a gyalogos-átkelőhelyek beláthatósági követelményei nem kizárólag a megállási látótávolságon keresztül értelmezhetők, hanem az oldalirányú

beláthatóság és a gyalogos mozgásdinamikája együttes figyelembevételét igénylik. A vizsgálat eredményei rámutatnak arra, hogy az önvezető járművek eltérő reakciójellemzői a beláthatósági igények számszerű alakulását is érdemben befolyásolják.

A számítások alapján megállapítható, hogy az önvezető járművek rövidebb reakcióidejéből adódó kedvezőbb megállási jellemzők a gyalogos-átkelőhelyekhez kapcsolódó hosszirányú és oldalirányú beláthatósági követelmények mérséklődését eredményezik. A vizsgált városi sebességtartományokban a megállási látótávolság csökkenése jellemzően 40–50%, míg a szükséges oldalirányú látótávolság mérséklődése 25–35% közötti volt.

A vizsgálat egyik lényeges sajátossága, hogy a beláthatósági követelmények meghatározása során a gyalogos haladási sebessége és a megállás vagy lassítás nélküli átkelés biztosítása explicit módon megjelent. Ez a megközelítés hozzájárulhat ahhoz, hogy a gyalogos elsőbbsége ne csupán jogi értelemben, hanem a forgalmi működés szintjén is egyértelműen érvényesüljön.

Az eredmények alapján a bemutatott módszertani keret alkalmas a gyalogos-átkelőhelyekhez kapcsolódó beláthatósági és sebességi követelmények értelmezésének kiegészítésére. Vegyes forgalmi környezetben a tervezés továbbra is az emberi járművezetőkre alapozandó, ugyanakkor az önvezető járművekre kapott számszerű eredmények információt adnak a biztonsági tartalékokról és a jövőbeni, illetve átmeneti szabályozási irányokról.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A KDP-IKT-2023-900-I1-00000957/0000003 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2023 pályázati program finanszírozásában valósult meg.



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2018) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 7th ed. Washington, DC. URL: <https://store.transportation.org/Item/CollectionDetail?ID=180>
- [2] Alsuwian, T., Saeed, R. B., Amin, A. A., (2022) Autonomous vehicle with emergency braking algorithm based on multi-sensor fusion and super twisting speed controller. Appl. Sci. 12 (17), 8458. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12178458>
- [3] Road and Transportation Research Association (FGSV) (2012) RAST 06: Guidelines for the Design of Urban Roads. Cologne: FGSV Verlag. URL: https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/200_E_PDF.v.pdf
- [4] Forde, A., Daniel, J., (2020) Pedestrian walking speed at un-signalized midblock crosswalk and its impact on urban street segment performance. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 8 (1), pp. 57–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.03.007>
- [5] Goh, B. H., Subramaniam, K., Wai, Y. T., Mohamed, A. A., Ali, A. (2012) Pedestrian crossing speed: the case of Malaysia. International Journal of Traffic and Transport Engineering, 2(4), pp. 323–332. DOI: [http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2012.2\(4\).03](http://dx.doi.org/10.7708/ijtte.2012.2(4).03)
- [6] Kusano, K. D., Gabler, H. (2011) Method for estimating time to collision at braking in real-world, lead vehicle stopped rear-end crashes for use in pre-crash system designSAE International Journal of Passenger Cars – Mechanical Systems, 4, pp. 435–443. DOI: <https://doi.org/10.4271/2011-01-0576>
- [7] Mohammed, H.A. (2021) Assessment of distracted pedestrian crossing behavior at midblock crosswalks. IATSS Research, 45 (4), pp. 584–593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2021.07.003>

- [8] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020. Norma 3.1-IC, trazado, de la Instrucción de Carreteras. Dirección General de Carreteras. Centro de Publicaciones, Madrid. URL: https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/pdfhandler.pdf
- [9] Othman, K. (2021) Impact of autonomous vehicles on the physical infrastructure: Changes and challenges. *Designs* 5 (3), 40. DOI: <https://doi.org/10.3390/designs5030040>
- [10] Petegem, J. H., Schermers, G., Hogema, J., Stuiver, A., Broeren, P., Sterling, T., Ruijs, P., Weber, R. (2015) European sight distances in perspective – EUSight literature review report. CEDR, Brussels. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34654.87360>
- [11] Petzoldt, T., Schleinitz, K., Banse, R. (2018) Potential safety effects of a frontal brake light for motor vehicles. *IET Intelligent Transport Systems*, 12 (6), pp. 449–453. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0321>
- [12] Pinna, F., Murrau, R. (2018) Age factor and pedestrian speed on sidewalks. *Sustainability* 10 (11), 4084. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10114084>
- [13] Rydzewski, A., Czarnul, P. (2021) Human awareness versus autonomous vehicles view: comparison of reaction times during emergencies. 2021 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp. 732–739. IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/IV48863.2021.9575602>
- [14] Samson, C.J., Hussain, Q., Alhajyaseen, W.K., (2022) Analysis of stopping sight distance (SSD) parameters: A review study. *Procedia Computer Science*, 201, pp. 126–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.03.019>
- [15] Savolainen, P. T., Gates, T., Johari, M. U. M., Bamney, A., Jashami, H., Gupta, N., Hallmark, S. (2024) Acceleration, deceleration, and stopping sight distance criteria for geometric design of highways and streets. *Transportation Research Board*. DOI: <https://doi.org/10.17226/27490>
- [16] Zhou, W., Wang, X., Glaser, Y., Wu, X., Xu, X. (2022) Developing an improved automatic preventive braking system based on safety-critical car-following events from naturalistic driving study data. *Accident Analysis & Prevention*, 178, 106834. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106834>



Visibility Requirements at Pedestrian Crossings for Conventional and Autonomous Vehicles

Keywords: pedestrian crossing, visibility, autonomous vehicles

The visibility conditions of designated pedestrian crossings regulated by traffic signs for conventional and self-driving vehicles was examined. The developed method, as a novelty, allows the speed of pedestrians to be taken into account during the design, and the required lateral sight distance and the length to be kept free along the curb can be determined. The method can be used to revise current design guidelines, as well as in preparation for the introduction of autonomous vehicles, taking into account the different perception and reaction characteristics.

E számunk lektorai

Ács Balázs
Horváth Gábor
Ötvös Viktória
Sipos Tibor
Soltész Tamás
Török Ádám

Támogatóink



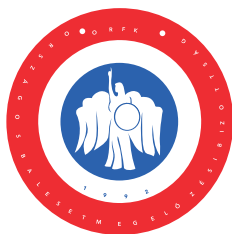
ÉPÍTÉSI ÉS KÖZLEKEDÉSI
MINISZTERIUM



STADLER

Stadler Trains Magyarország Kft.

FÜMTERV



 **HungaroControl**
Magyar Légiforgalmi Szolgálat

Komplex megoldások a közlekedési ipar számára

Pécsi kutató-fejlesztő központunkban, több mint 2000 m²-en fejlesztünk és gyártunk közlekedés informatikai rendszereket. Forgalomirányítási és utastájékoztató megoldásaink már három országban, több mint 9500 járművön segítik a közlekedők mindennapjait. Tevékenységünk a teljes folyamatot lefedi, biztosítva a rendszerek magas fokú megbízhatóságát.

**Utastájékoztatás,
forgalomirányítás,
jegyértékesítés,
érvényesítés:**

- tervezése,
- fejlesztése,
- gyártása és
- üzemeltetése.

3

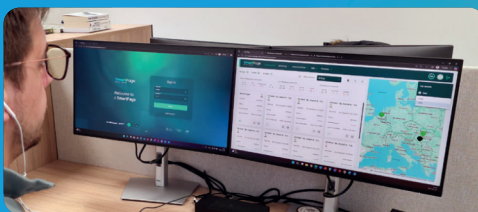
Ország

15+

Város

9500+

Jármű



Találkozunk az InnoTrans kiállításon!

**SZEPTEMBER 22-25.
BERLIN**