

LXXIV. ÉVFOLYAM 6. SZÁM
2024. DECEMBER

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVÁ 1951-BEN



Valamennyi Előfizetőnek,
Olvasónak, Támogatónak
Békés,
Boldog Karácsonyi Ünnepeket,
Vidám Új Évet Kíván

a Közlekedéstudományi Egyesület és
a Közlekedéstudományi Szemle
Szerkesztőbizottsága

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:
Kövesné Dr. Gilicze Éva elnök
Dr. Katona András főszerkesztő
Dr. Békési István
Berta Tamás
Horváth Lajos
Huska Dávid
Dr. Prileszky István
Somogyi Marcell
Dr. Tanczos Lászlóné
Dr. Tóth János
Dr. Tóth László

SZERKESZTŐSÉGI TITKÁR:

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

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

FELELŐS KIADÓ:
Dr. Horváth Balázs,
a Közlekedéstudományi Egyesület főtítkára

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

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

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

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

ISSN 0023 4362

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



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

TARTALOM

Zábori Zoltán

A vasúti pálya állapotának hatása
a megengedhető haladási sebességre

4

Cserni Márton – Vincze Zsolt

Rövid András – Csonthó Mihály

Boronyák Ádám – Kovács Lóránt

Benyúló karos tartószerkezet alkalmazási
lehetőségének vizsgálata a ZalaZONE
tesztpályán kialakítandó percepció
szenzorrendszer vonatkozásában

15

Nagyvári Dávid

A budapesti repülőtér vonzáskörzete és
hatása az ország egyes területeire

25

Emlékeztető az MTA Közlekedés- és
Járműtudományi Bizottságának üléséről

47

Melléklet

Közlekedésbiztonság -

Közlekedési környezetvédelem

Nemekh Bayasgalan

Kosztolányi-Iván Gabriella

Koren Csaba

Gyalogosok viselkedése jobb- és
baljáratú HÉV vonalak átjáróiban

53

A KTSZ egyes számai ingyenesen, online elérhetők:
<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 vasúti pálya állapotának hatása a megengedhető haladási sebességre

A tanulmány a vasúti pálya állapotának és a rajta futó vasúti jármű engedélyezett sebességének kapcsolatát vizsgálja. A vasútüzem egyik fontos, döntően biztonsági kérdése, hogy a vasúti pálya állapota és az adott pályaszakaszon engedélyezett maximális járműsebesség között milyen összefüggés van. Ez a gondolat felveti azt a kérdést, hogy milyen módszerrel lehetséges a vasúti pálya állapotának minősítése.

Kulcsszavak: vasúti pálya; pályahiba; vasúti pálya minősítése; pálya alátámasztási merevség; Winkler alapzat; Galerkin módszer; dinamikai szimuláció

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.6.1>

Zábori Zoltán

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
e-mail: zabori.zoltan@kjk.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A vasútüzem egyik igen fontos, döntően biztonsági kérdése, hogy a vasúti pálya állapota és az adott pályaszakaszon engedélyezett maximális járműsebesség között milyen összefüggés van.

A kérdés megválaszolásának előfeltétele a vasúti pálya állapotának definiálása, vagyis a pálya állapotának kvantitatív jellemzése, amely jellemzők a vizsgált pályaszakaszon megengedhető futási sebességre vonatkozó *pályaállapot* – *futássebesség* függvénykapcsolat alapjául is szolgálnak. A vasúti pálya geometriájának minősítésére az EN13848 európai szabvány [1] ad ajánlást, amely szabvány – túl azon, hogy a pálya geometriai jellemzőit definiálja – egyidejűleg a pálya minősítésétől függő, a pályaszakaszon megengedhető járműsebességet is megadja. A pálya hosszkoordinátája mentén mérhető, a névleges értéktől eltérő geometriai irregularitást normális eloszlású sztochasztikus folyamatként tekinti,

amelynek szórásával határozza meg a megengedhető járműsebességet adott hullámhossztartományokban. A szabvány megadja a pálya irány-, siktorzulás-, nyomtáv- és hosszfekszint hibáinak jellemzőiből számítható szórás értékét, amelyhez közvetlenül a megengedhető járműsebességet rendeli.

Itt arra a kérdésre keresem a választ, hogy a pálya hosszfekszint (süppedés) hibája, mint geometriai jellemző milyen kapcsolatban áll a pálya rugalmas alátámasztásával. A tanulmány kidolgozása során abból a feltételezésből indultam ki, hogy a vasúti pálya geometriai hibájaként érzékelt kitérés a pálya rugalmas alátámasztásának irregularitásából származik. Vizsgálatom számítógépes szimuláción alapul, amely során a pálya alátámasztásának pálya hossza menti változásából kívánok következtetést levonni részben a pálya állapotára, az adott pályaszakaszon megengedhető járműsebességre, valamint javaslatot megfogalmazni a pálya karbantartására vonatkozóan is.

A számítógépes szimuláció során alkalmazom a szakirodalomból ismert számítási eljárásokat. A pályaminősítés kérdését a vasúti pályán végighaladó jármű által érzékelt fekszinthiba szempontjából vizsgálom. Az [1] B.3. és B.4. táblázatai a fekszinthiba alapján fogalmazzák meg a pályahiba értékei mellett megengedhető jármű haladási sebességet. A pálya minősítését adott hullámhossz-tartományon normál eloszlású sztochasztikus folyamatként tekintetbe vett másodrendű momentumai, valamint a kitérés maximális és minimális értékei függvényében határozzák meg [2].

Az alapkérdés megválaszolására a vasúti pályát számos szerző adott merevségű, illetve csillapítási tényezőjű Winkler-alapzaton alátámasztott Euler-Bernoulli típusú kontinuum gerendaként modellezi, amely pályamoddellen vagy egy koncentrált erővel, vagy gyorsuláscsatolt tömeggel, illetve rugalmas kapcsolaton keresztül kapcsolódó, a kerékpárt reprezentáló tömeggel írják le [3], [4].

Egyes szerzők a pályamodell továbbí tulajdonságait figyelembe vevő Timoshenko gerendával jellemzik a pályát, illetve a kontinuum gerendamodell diszkrétizálását megvalósító Galerkin-féle módszerrel szimulálják a pálya-jármű rendszert [4], [5].

A megoldandó feladat értelmében keresem a pálya hossza mentén a pálya függőleges alátámasztási merevségének és a rajta haladó jármű megengedhető haladási sebességének kapcsolatát. A probléma megoldásának alap gondolata az, hogy a mérőjármű által érzékelt geometriai egyenletlenség-függvény (hosszfekszint-hiba) az [1] alapján jól detektálható jelenség, nem ad azonban választ a jelenség kiváltó okára. Meglátásom szerint az érzékelt jelenséget éppen a pálya alátámasztásának rugalmas (és disszipatív) paramétereiben kell keresni.

A probléma megoldására a számítógépes dinamikai szimuláció módszerét alkalmazom, amely eljárás során tekintetbe vettem a pálya fekszinthibáját leíró, pályahossz menti, normális eloszlású, adott járműsebességhez tartozó szórású sztochasztikus függvény [1] egy realizációját, amely ismeretében

paraméteridentifikációs eljárás során meghatároztam azt a pályamerevség függvényt, amely mellett az előre adott fekszinthiba adódik.

2. A SZIMULÁCIÓS ELJÁRÁS BEMUTATÁSA

A szimulációs eljárás során azt a célt tűztem ki, hogy olyan számítógépen alapuló szimulációs számítási eljárást dolgozzak ki, amely a vasúti pálya függőleges irányú fekszinthibái pályahossz menti függvényének ismeretében leírja a pálya alátámasztásának pályahossz menti rugalmas paramétereit.

Az [1] szabvány értelmében a pálya minősítését az (1) összefüggésből határozhatjuk meg:

$$CoSD = \sqrt{w_{AL}SD_{AL}^2 + w_GSD_G^2 + w_{CL}SD_{CL}^2 + w_{LL}SD_{LL}^2} \quad (1)$$

ahol

SD a vizsgált geometriai paraméter szórása

w a vizsgált geometriai paraméter súlyozó tényezője

AL fekszinthiba átlagos értéke

G a nyomtávhiba

CL keresztfekszint (túlemelés, siktörzulás)-hiba

LL hosszfekszint (süppedés)-hiba

amely jellemzők 200...1000 m hosszúságú pályaszakaszon értelmezettek.

A vasúti pálya hosszfekszint-hibájának és a pálya függőleges alátámasztási merevségének kapcsolatát elemzem.

Ismeretes, hogy a mérőjármű által érzékelt pálya hosszfekszint-hibája részben a terheletlen pálya maradó deformációjából származó alakból, részben pedig a rugalmasan alátámasztott pálya rugalmas deformációjának eredőjeként áll elő [5].

Az eljárás első lépéseként abból a feltevésből indultam ki, hogy [1] szerint adott a pálya normális eloszlású sztochasztikus folyamatként leírható függőleges kitérése függvényének spektrális sűrűségfüggvénye.

Az (1) képletben szereplő egyik komponensét, a $w_{LL}SD_{LL}^2$ értékének a pálya állapotában rejlő hatásait kívánom részletesebben elemezni,

amely érték a pálya általam vizsgálni kívánt függőleges geometriai alakját leíró sztochasztikus függvény szórásnégyzete. Az 1. táblázat a kérdéses fekszinhiba D1, illetve D2 szórás értékeit rendeli a megengedhető jármű haladási sebességtartományokhoz a λ hullámhossz-tartománytól függő értékmegzőként.

A szimulációs eljárás során a fenti táblázat paramétereinek felhasználásával előállítom a pálya fekszint-hibájának a pályahossz mentén értelmezett egy-egy realizációs függvényét, majd keresem az olyan rugalmas paraméterű pályát, amely mellett éppen az előre adott realizációs függvény adódik válaszfolyamatként. Ilyen módon a feladat egy paraméteridentifikációs feladatként nyilvánul meg.

1. táblázat: Fekszinhiba szórásértékei a jármű haladási sebessége és a pályahiba hullámhossza függvényében

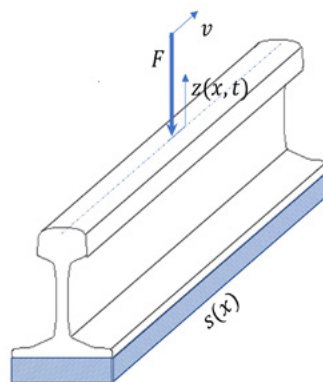
	Zérustól a csúcserőig terjedő értékek [mm]	
Sebesség (km/h)	Hullámhossz-tartomány	
	D1 (3 m < λ ≤ 25 m)	D2 (25 m < λ ≤ 70 m)
$V \leq 80$	28	N/A
$80 < V \leq 120$	26	N/A
$120 < V \leq 160$	23	N/A
$160 < V \leq 230$	20	24
$230 < V \leq 300$	16	18
$300 < V \leq 360$	14	16

3. A SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLAT ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ DINAMIKAI MODELL

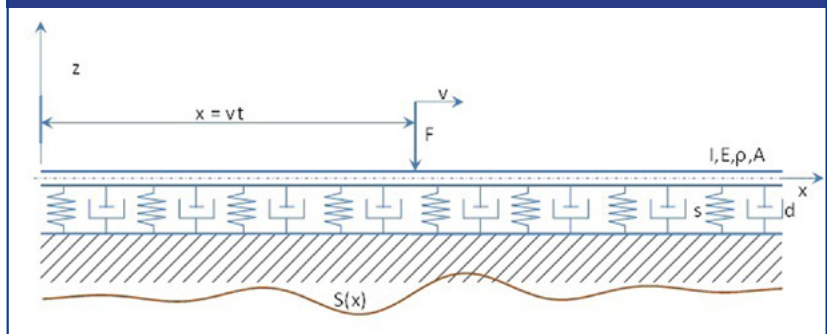
3.1. Állandó értékű pályamerevség

A jármű adott függőleges alátámasztási merevségű pálya mellett történő szimulációs vizsgálatát az alábbi, 1. és 2. ábrán bemutatott dinamikai modell segítségével végzem el [5]. A sínzálmodell rugalmas Bernoulli-Euler gerenda rugalmas és disszipatív alátámasztású Winkler-alapzaton, amelyen első közelítésben v sebességgel egyetlen függőleges irányú erő fut végig a pálya hosszanti irányában [6]. A vasúti pályát síkmodellként vettem figyelembe, ugyanakkor fontos elem, hogy a pályát alátámasztó Winkler-alapzat merevsége a pálya hossza mentén változó értékű ($s(x)$).

1. ábra: A sínzálra ható erő és a rugalmas alátámasztás axonometrikus képe



2. ábra: Winkler-alapzaton alátámasztott rugalmas gerenda modellje



A probléma megoldásához a (2) és (3)

$$IE \frac{\partial^4 z(x,t)}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 z(x,t)}{\partial t^2} + d \frac{\partial z(x,t)}{\partial t} + s(x)z(x,t) = F(t)\delta(x-vt) \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow \pm \infty} z(x,t) = 0 \quad (3)$$

peremfeltételekkel nyert negyedrendű parciális differenciálegyenlet megoldásával jutunk, amely esetében a $z(x,t)=f(v,s(x))$ függvényt határozzuk meg a (4) összefüggés szerint [3], [4], [5]:

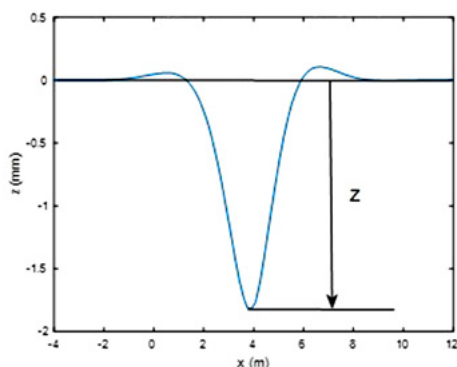
$$z(x,t) = \frac{1}{4IEp_j^3 + 2\rho A v^2 p_j - d v} \cdot e^{p_j(x-vt)} + F(t) \sum_{j=1}^4 u(x-vt) \cdot u(Re(-p_j)) \frac{1}{4IEp_j^3 + 2\rho A v^2 p_j - d v} \cdot e^{p_j(x-vt)} + F(t) \sum_{j=1}^4 u(-x+vt) \cdot u(Re(p_j)) \frac{1}{4IEp_j^3 + 2\rho A v^2 p_j - d v} \cdot e^{p_j(x-vt)} \quad (4)$$

A p_j értékeit az (5) szerinti karakterisztikus polinom megoldásával nyerjük:

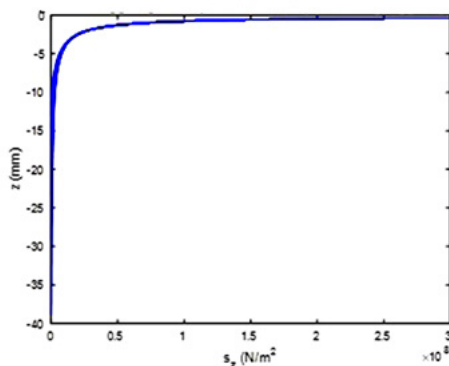
$$IEp^4 + \rho A(pv)^2 + (-pv)d + s_{z0} = 0 \quad (5)$$

Ez a megoldás akkor állítható elő, ha $s(x)=s_{z0}$ állandó értékű. A z függőleges kitérés értékét az $x = vt$ helyen értelmezzük, azaz a függőleges kitérés maximális értékét tekintjük mértékadónak.

3. ábra: Winkler- alapzaton alátámasztott rugalmas gerenda alakfüggvénye v sebességgel mozgó erőhatás mellett



4. ábra: A gerenda maximális lehajlása különböző alátámasztási merevségek esetében



Ebben az esetben definiálható a $z(v,s_{z0})=f(v,s_{z0})$ függvény. A 3., illetve 4. ábra jól szemlélteti, hogy a gerenda maximális kitérése milyen függvény szerint változik a Winkler-alapzat merevsége változásának függvényében. Jól látható, hogy ha csökken az alátámasztás merevsége, a gerenda kitérése progresszív módon növekszik. Ez a modell a mozgó erő haladási sebességére nagyon kis érzékenységet mutat. Mindezek a megállapítások azt jelzik, hogy a bemutatott rugalmas gerenda modell nem alkalmas a változó merevségű alátámasztás esetében fellépő gerenda deformációjának szimulációs úton történő meghatározására. Ezért szükséges a pálya hossza mentén változó paraméterű pályamodellek irányába továbblépni.

3.2. Változó merevségű pályamodel - Galerkin módszere

Tekintsük a (2) negyedrendű parciális differenciálegyenletet. Tegyük fel, hogy a pálya alátámasztási merevsége az $s(x)$ függvény szerint a pálya hosszkoordinátája mentén változó. Vezessük be a

$$\xi = x - vt \quad (6)$$

összefüggést. Így – figyelemmel a változó paraméterekre – a mozgásegyenlet az alábbi, (7) szerinti formát ölti ([3], [4]):

$$IE \frac{\partial^4 z(\xi, t)}{\partial \xi^4} + \varrho A \left[\frac{\partial^2 z(\xi, t)}{\partial \xi^2} v^2 - 2 \frac{\partial^2 z(\xi, t)}{\partial \xi \partial t} v + \frac{\partial^2 z(\xi, t)}{\partial t^2} \right] + d \left[\frac{\partial z(\xi, t)}{\partial t} - \frac{\partial z(\xi, t)}{\partial \xi} v \right] + s(\xi + vt)z(\xi, t) = F\delta(\xi) \quad (7)$$

Keressük a megoldást egy csak $\xi = x - vt$ hely-, illetve egy tisztán csak t időfüggő tényező szorzataként a (8) összefüggés szerint [4], [5]:

$$z(\xi, t) = \sum_{j=0}^n \varphi_j(\xi) T_j(t) = \underline{\varphi}^T(\xi) \cdot \underline{T}(t) \quad (8)$$

alakban, ahol $\varphi_j(x) = \frac{H_j(x) \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2^j \cdot j! \cdot \sqrt{\pi}}}$, ha $j=0, 1, \dots, n$

ortonormált rendszer, és $H_j(x) = (-1)^j e^{\frac{x^2}{2}} \frac{d^j}{dx^j} e^{-\frac{x^2}{2}}$ Hermite-féle polinomokként vannak definiálva. Az ismeretlen $\underline{T}(t)$ függvényt meghatározhatjuk az alábbi, (9) szerinti másodrendű, közönséges, inhomogén, lineáris differenciálegyenlet megoldásával:

$$A(t)\ddot{\underline{T}} + B(t)\dot{\underline{T}} + C(t)\underline{T} = \underline{F} \quad (9)$$

$T_j(t)$ a fenti másodrendű inhomogén közönséges differenciálegyenlet megoldásának a j -edik eleme, $j=0, 1, 2, \dots, n$. A (9) egyenletben szereplő együtthatómátrixok elemeit a következő jelöléssel írhatjuk fel:

$$A(t) = a_{i,j}, B(t) = b_{i,j}^{(1)} + b_{i,j}^{(2)} \text{ és } C(t) = c_{i,j}^{(1)} + c_{i,j}^{(2)} + c_{i,j}^{(3)} + c_{i,j}^{(4)}(t).$$

Az együtthatómátrix elemeit a (10)-ben felírt integrálok segítségével számíthatjuk ki [5]:

$$\begin{aligned} a_{i,j} &= \varrho A \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i(\xi) \varphi_j(\xi) d\xi \\ b_{i,j}^{(1)} &= -2v \cdot \varrho A \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i'(\xi) \varphi_j(\xi) d\xi \\ b_{i,j}^{(2)} &= -v d \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i(\xi) \varphi_j(\xi) d\xi \\ c_{i,j}^{(1)} &= IE \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i^{IV}(\xi) \varphi_j(\xi) d\xi \\ c_{i,j}^{(2)} &= v^2 \cdot \varrho A \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i''(\xi) \varphi_j(\xi) d\xi \\ c_{i,j}^{(3)} &= -v \cdot d \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_i'(\xi) \varphi_j(\xi) d\xi \\ c_{i,j}^{(4)}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} s(\xi + vt) \varphi_i(\xi) \varphi_j(\xi) d\xi \\ F_i &= F \varphi_i(0) \end{aligned} \quad (10)$$

Látható, hogy a (10)-ben felírt együtthatómátrix elemek az egyes integrálások elvégzését

követően a $c_{i,j}^{(4)}(t)$ elem kivételével konstans értékiek, amely $c_{i,j}^{(4)}(t)$ elem pedig időfüggő addicionális tagként jelenik meg.

4. A SZIMULÁCIÓS MÓDSZER BEMUTATÁSA

4.1. A pályamerevség függvény közelítő előállítása sztochasztikus fekszinhibafüggvény ismeretében

Az eljárás következő lépéseként tegyük fel, hogy rendelkezésünkre áll a $z(\xi, t)$ sztochasztikus függőleges kitérésfüggvény egy realizációja a változó $s(\xi + vt) = s(x)$ paraméter függvényében, így írható, hogy $z(\xi, t) = z_s(\xi, t, s(x))$. Legyen a továbbiakban $z(\xi, t)$ függvény egy realizációja $\zeta(\xi, t)$. A $\zeta(\xi, t)$ valamely realizációt minden esetben éppen az $\xi=0$ ($x=vt$) helyen kapjuk meg. Ennek ismeretében előállíthatjuk a (9) egyenletet, ha ismerjük a $\underline{T}(t)$ függvényt. A (8) egyenlet segítségével és a $\zeta(\xi, t)$ realizációs függvény alkalmazásával azt kapjuk, hogy

$$\zeta(\xi = 0, t) = \sum_{j=0}^n \varphi_j(\xi = 0) T_j(t) = \underline{\varphi}^T(0) \cdot \underline{T}(t). \quad (11)$$

Másrésről elmondható, hogy előállítható a $\underline{T}(t) = \zeta(0, t) \cdot \frac{\varphi(0)}{|\varphi(0)|^2}$ összefüggés szerint. Elvégezve a szükséges differenciálásokat, $\dot{\underline{T}}(t) = \frac{\partial \zeta(0, t)}{\partial t} \cdot \frac{\varphi(0)}{|\varphi(0)|^2} + \underline{T}(t) \cdot \frac{\partial \varphi(0)}{\partial \xi} \cdot v \cdot \frac{\varphi(0)}{|\varphi(0)|^2}$ és $\ddot{\underline{T}}(t) = \frac{\partial^2 \zeta(0, t)}{\partial t^2} \cdot \frac{\varphi(0)}{|\varphi(0)|^2} + 2 \cdot \frac{\partial \varphi(0)}{\partial \xi} \cdot \dot{\underline{T}}(t) \cdot \frac{\varphi(0)}{|\varphi(0)|^2} - \frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial \xi^2} \cdot \underline{T}(t) \cdot \frac{\partial^2 \varphi(0)}{\partial \xi^2} \cdot v^2$ adódik.

A $C(t)$ mátrixot a fentiek alapján a (12) formába írhatjuk [5]:

$$C(t) = C^{(1)} + C^{(2)} + C^{(3)} + C^{(4)}(t) \quad (12)$$

Az így nyert összefüggéseket visszahelyettesítve (9)-be és a $C(t)$ mátrixot állandó és időtől függő tagokra szétbontva a (13) egyenletrendszert nyerjük:

$$A\ddot{\underline{T}} + B\dot{\underline{T}} + (C^{(1)} + C^{(2)} + C^{(3)} + C^{(4)}(t))\underline{T} = \underline{F}. \quad (13)$$

A fenti (13) egyenletben a $C^{(4)}(t)$ időfüggő tagot kifejezve

$$\mathbf{C}^{(4)}(t)\underline{T} = \underline{F} - \mathbf{A}\underline{T} - \mathbf{B}\underline{T} - (\mathbf{C}^{(1)} + \mathbf{C}^{(2)} + \mathbf{C}^{(3)})\underline{T} \quad (14)$$

lineáris egyenletrendszert kapjuk. (9) figyelembevételével vétele mellett írható, hogy

$$\mathbf{C}^{(4)}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\xi + vt) \underline{\varphi}(\xi) \underline{\varphi}^T(\xi) d\xi$$

Behelyettesítve a $\mathbf{C}^{(4)}(t)$ -re kapott kifejezést (14)-be a (15) integrálegyenletre jutunk, ahol az ismeretlen függvény az $s(x)=s(\xi+vt)$ függvény [9].

$$\left\{ \int_{-\infty}^{\infty} s(\xi + vt) \underline{\varphi}(\xi) \underline{\varphi}^T(\xi) d\xi \right\} \cdot \underline{T} = \underline{F} - \mathbf{A}\underline{T} - \mathbf{B}\underline{T} - (\mathbf{C}^{(1)} + \mathbf{C}^{(2)} + \mathbf{C}^{(3)})\underline{T} \quad (15)$$

A továbbiakban a megoldandó feladat $s(x)=s(\xi+vt)$ függvény meghatározása, amely kielégíti a (15) integrálegyenletet. Továbbalakítva a fenti integrálegyenletet az alábbi alakba írhatjuk, amely ezzel az átalakítással tisztán skalár mennyiségeket tartalmaz.

$$\int_{-\infty}^{\infty} s(\xi + vt) \left(\underline{T}^T \cdot \underline{\varphi}(\xi) \right) \cdot \left(\underline{\varphi}^T(\xi) \cdot \underline{T} \right) d\xi = \underline{T}^T \underline{F} - \underline{T}^T \mathbf{A} \underline{T} - \underline{T}^T \mathbf{B} \underline{T} - \underline{T}^T (\mathbf{C}^{(1)} + \mathbf{C}^{(2)} + \mathbf{C}^{(3)}) \underline{T}$$

A továbbiakban jelöljük a fenti egyenlet jobb oldalát $q(t)$ -vel:

$$q(t) = \underline{T}^T \underline{F} - \underline{T}^T \mathbf{A} \underline{T} - \underline{T}^T \mathbf{B} \underline{T} - \underline{T}^T (\mathbf{C}^{(1)} + \mathbf{C}^{(2)} + \mathbf{C}^{(3)}) \underline{T} \quad (16)$$

továbbá, mivel $\zeta(\xi, t) = \underline{T}^T(t) \cdot \underline{\varphi}(\xi)$, így

$$\int_{-\infty}^{\infty} s(\xi + vt) \zeta^2(\xi, t) d\xi = q(t) \quad (17)$$

alakba írható Fredholm típusú integrálegyenletet nyerjük.

Tekintsük az [1] szabvány által ajánlott sztochasztikus folyamattal leírható $\zeta(\xi)$ függvények azon realizációját, amely valamely normál eloszlású és adott szórással rendelkező függvénnyel jellemezhető. A kérdéses függvény az alábbi formában írhatjuk fel [8]:

$$\zeta(\xi = 0, t) = \sum_{k=0}^N c_k \cdot \cos(\omega_k t + \Phi_k) \quad (18)$$

ahol c_k normális eloszlású valószínűségi változó, $c_k \in [0,1]$, $\omega_k = 2\pi k/\lambda$, $i=0,1,\dots,N$, λ a vizsgált pályaszakasz lengésének hullámhossza, $3m < \lambda \leq 25m$, illetve $25m < \lambda \leq 70m$, $\Phi \in [0,2\pi]$ intervallumban egyenletes eloszlású fázisszög [8].

A továbbiakban tehát feltehetjük, hogy a sztochasztikus pályageometria egy realizációs függvénye előállítható a fentiek alapján

$$\begin{aligned} \zeta(\mathbf{x} = \mathbf{vt}, t) &= \sum_{k=0}^N c_k \cdot \cos(\omega_k t + \Phi_k) = \\ \sum_{j=0}^n \varphi_j(\xi = 0) \cdot \underline{T}_j(t) &= \underline{\varphi}^T(\xi = 0) \cdot \underline{T}(t) \end{aligned} \quad (19)$$

alakban. Ebből

$$\underline{T}(t) = \zeta(\mathbf{x} = \mathbf{vt}, t) \cdot \frac{\underline{\varphi}(\xi = 0)}{|\underline{\varphi}(\xi = 0)|^2} = \sum_{k=0}^N c_k \cdot \cos(\omega_k t + \Phi_k) \cdot \frac{\underline{\varphi}(\xi = 0)}{|\underline{\varphi}(\xi = 0)|^2}$$

és

$$\zeta(\xi, t) = \underline{\varphi}^T(\xi) \cdot \underline{\varphi}(\xi = 0) \cdot \sum_{k=0}^N c_k \cdot \cos(\omega_k t + \Phi_k) \cdot \frac{1}{|\underline{\varphi}(\xi = 0)|^2} \quad (20)$$

(20)-at visszahelyettesítve (17)-be előállíthatjuk a (17) Fredholm típusú integrálegyenlet közelítő megoldását. A megoldás során felírt integrált véges sorozat összegként állítjuk elő [5], [9]:

$$\sum_{i=1}^n s_j(\xi_i + vt_j) \zeta^2(\xi_i, t_j) \Delta\xi = q(t_j), i, j = 1, \dots, n. \quad (21)$$

Legyen az ismeretlen $s(\xi+vt)$ pályamerevség függvény $\underline{s}(x_i) \approx [s_1, s_2, \dots, s_n]^T$ véges sorozattal előállítva, továbbá a $\zeta(\xi, t) \approx \zeta_{ij}(\xi_i, t_j)$, $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, n$ sorozattal előállítva. Defináljuk a $\mathbf{D} = \{\zeta_{ij}^2(\xi_i, t_j) \Delta\xi\}$ mátrixot, továbbá a $\underline{p} = [q(t_1), \dots, q(t_n)]^T$. Ekkor írható, hogy

$$\underline{s}(x_i) \approx \mathbf{D}^{-1} \cdot \underline{p} \quad (22)$$

feltéve, hogy a $\mathbf{D}^{-1}$ létezik. Az így nyert n -elemű $\underline{s}$ vektor a (17) integrálegyenlet közelítő megoldása. Mivel $\zeta(\xi, t)$ a sztochasztikus függőleges pályaeigenetlenség függvény egy realizációja, így a kapott $\underline{s}(x_i)$ vektor is sztochasztikus pályamerevség függvény egy realizációját közelítő vektor. Fentiek alapján nyilvánvaló, hogy az n elemszám növelésével a közelítő megoldás pontossága növelhető.

2. táblázat: A szimuláció során alkalmazott mennyiségek

Megnevezés	Jelölés	A szimuláció során alkalmazott mennyiségek
Gerenda keresztirányú tengelyre számított másodrendű nyomatéka	I	$3055 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$
Gerenda anyagának Young modulusza	E	$2.1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$
Gerenda folyómértértömege	qA	60 kg/m
Winkler-alapzat csillapítási tényezője	d	10^3 Ns/m^2
A gerendán végigfutó erő nagysága	F_0	115600 N

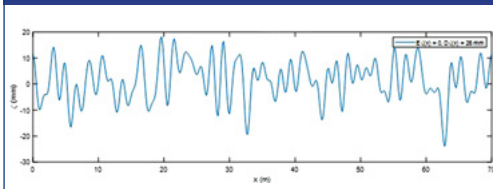
5. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK

Az előző fejezetben bemutatott, számítógépes szimulációs eljárást egy Winkler-alapzaton alátámasztott rugalmas gerendán előre adott sebességgel futó állandó nagyságú erő, illetve ugyancsak előre megadott szórással rendelkező, normális eloszlású sztochasztikus folyamatként leírható függőleges kitérésfüggvény egy-egy (18) szerint véletlenszerűen kiválasztott realizáció segítségével alkalmazom a fenti eljárást, így a (22) lineáris egyenletrendszer megoldásaként nyert $\underline{s}(x_i)$ vektort határozzuk meg az egyes szimulációs esetekre. A szimu-

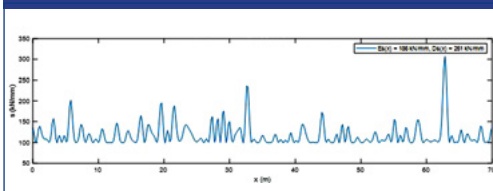
lációs eljárás során alkalmazott adatokat a 2. táblázat mutatja:

A számítógépes szimulációt a MATLAB szoftver segítségével végeztem el. A szimuláció során a 2. táblázat adataival az 5. ábrán példaként bemutatott lehetséges kitérésfüggvénnyel számoltam. A 6. ábra a gerendát alátámasztó Winkler-alapzat merevségfüggvényét mutatja, amely indokolja az 5. ábra szerinti kitérésfüggvény alakját. Az ábrákon feltüntettem a függvények várható értékét, illetve szórását. A példaként bemutatott realizáció a 3. táblázat szerinti 160 km/h sebesség és 24 mm szórás mellett jelentkezett.

5. ábra: A sztochasztikus kitérésfüggvény egy realizációja



6. ábra: A gerenda alátámasztási merevségének közelítő függvénye



A fentiekben bemutatott szimulációs eljárás kiinduló lépéseként meghatározza az 1. táblázatban megadott sebességhez tartozó szórást sztochasztikus kitérésfüggvény (18) összefüggés szerinti pálya hosszfekszint-hiba geometriai irregularitásának egy realizációját (5. ábra). A 6. ábra a (22) összefüggés alapján kiszámított pályamerevség függvényt mutatja az 5. ábrán látható realizáció alapul vételével. A 6. ábrán látható pálya x hosszkoordinátája függvényeként számított pályamerevség-függvény $E_s(x) = 186 \text{ kN/mm}^2$ várható értékét és $D_s(x) = 261 \text{ kN/mm}^2$ szórását a $\lambda = 70 \text{ m}$ pályahibahullámhossz esetén a 3. táblázat 160 km/h sebességhez tartozó sorában tüntettem fel.

Az eljárást az 1. táblázat minden, összesen 9 értékes elemére alkalmazva a 3. táblázat elemeit kapjuk, azaz meghatározható a pályamerevség függvény várható értéke, szórása, valamint relatív szórása.

3. táblázat: Az 1. táblázat szerinti sebesség- és kitérésfüggvény szórásértékei alapján számított pályamerevség függvény várható értékei és szórásai

v (km/h)	Hullámhossz-tartomány					
	$\lambda = 25 \text{ m}$			$\lambda = 70 \text{ m}$		
	D1 (mm)	Er1 (kN/mm ²)	Dr1 (kN/mm ²)	D2 (mm)	Er2 (kN/mm ²)	Dr2 (kN/mm ²)
40	28	35	54 (154%)	N/A		
80	26	60	95 (158%)	N/A		
120	23	40	57 (143%)	N/A		
160	20	68	106 (156%)	24	186	261 (140%)
230	16	28	48 (171%)	18	129	193 (150%)
300	14	95	217 (228%)	16	255	457 (179%)

A 3. táblázat jól mutatja, hogy a pályamodellként bemutatott rugalmas alátámasztási gerendamodell merevségének várható értéke, illetve igen jelentős (mintegy 140-170%-os) relatív szórása jellemzi azt a pályát, amely alátámasztja és indokolja a megadott pálya hosszfekszint-hiba, mint geometriai kitérés-függvény kialakulását.

A fenti gondolatmenet alapján a mozgó erőhatás eredményeként a vasúti pályán létrejövő, az érzékelő számára függőleges irányú geometriai pályahibaként (hosszfekszint-hibaként) megnyilvánuló kitérés okaként a pálya alátámasztásának (zúzottkő ágyazatnak) az állapotára vonatkozó következtetést vonhatunk le [10], [11], [12]. A bemutatott szimulációs eljárás alapján az [1] szerinti szabványban ismertetett értékelési módszerre támaszkodva további, a pálya állapotára vonatkozó következtetésekre juthatunk el. További részletes vizsgálatok iránymutatást adhatnak arra vonatkozóan, mely pályaszakaszokon válik szükségessé a pálya alátámasztásának javítása. A bemutatott számítógépes szimulációs vizsgálatot feltétlenül meg kell alapozni megfelelően kivitelezett mérési eljárással.

6. KONKLÚZIÓ

A bemutatott számítógépes eljárás kidolgozását az a felismerés alapozta meg, hogy a vasúti pálya EN 13848 [1] szabványcsaládban ismertetett geometriai hosszfekszint-hibája a pálya alátámasztási merevségének irregularitásából származik.

Erre a felismerésre támaszkodva kidolgoztam egy számítógépes dinamikai szimulációs eljárást, amely során előre adott vasúti pálya fekszinthiba pályahossz menti sztochasztikus függvényének valamely realizációja ismeretében Galerkin módszerének alkalmazása révén paraméteridentifikációs eljárás útján meghatároztam a pálya alátámasztási merevség függvényének várható értékét és szórását, amely mellett az adott pálya hosszfekszint-hibája adódik.

Az eljárás kidolgozása során egy paraméteridentifikációs probléma megoldását végeztem el, amely a vasúti pálya geometriai hibájának, mint jelenségnek a pálya alátámasztási merevsége hosszkoordináta menti függvényének meghatározását integrálegyenlet közelítő numerikus megoldására vezeti vissza.

A szimulációs eljárás során a 3. táblázatban összefoglaltam az [1] szabványban megadott pálya hosszfeszint-hiba geometriai irregularitásához rendelt megengedett járműsebesség értékekhez tartozó pályamerevség irregularitás értékeit a 3. táblázat szerint, megfelelően azt az 1. táblázat elemeinek, ily módon kiegészítve az [1] szabványban meghatározott értékeket.

A számítógépes szimulációs eljárás alapul szolgálhat a vasúti pálya minősítésének pontosabb meghatározásához, továbbá támpontot nyújthat a pálya karbantartásának szükséges elvégzéséhez, megalapozza továbbá az adott pályaszakaszon megengedhető jármű haladási sebesség előírását.

További kutatás szükséges a pálya további jellemzőjének, azaz a fekszint-, siktorzulás-, nyomtávhibáinak meghatározásához a bemutatott szimulációs eljárás kiterjesztésével.

Az újabb számítógépes szimulációs vizsgálat elvégzése iránymutatást nyújthat a hosszfeszint-hiba egyes pályaszelvényben történő növekedését magyarázó pálya alépítmény korrekciójának elvégzésére.

Az elméleti vizsgálat mérés útján történő ellenőrzése és a számítás során alkalmazott paraméterek pontosítása a további kutatások egyik legfontosabb sarokköve. A mérés egy, a problémát feltárni képes mérőeszközzel, illetve ahhoz kapcsolódó mérési és kiértékelő eljárással valósítható meg annak érdekében, hogy helyes következtetésre jussunk a pálya állapotának jellemzését illetően.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] European Standard EN 13848. Railway applications. Track. Track geometry quality.
- [2] Ágh, Cs.: (2019). Vasúti pályák vizsgálatának korszerű módszerei. Műszaki Katonai Közlöny. 2019 (29). 219-230. DOI: [10.32562/mkk.2019.1.18](https://doi.org/10.32562/mkk.2019.1.18).
- [3] Filippov, A. P.: Vibrations of Deformable Systems. (in Russian), Mashinostroenie, Moscow, 1970
- [4] Kisilowski, J. - Sowinski, B.: Problems

of Simulating Vehicle Motion by Mathematical Models. In: Advanced Railway Vehicle System Dynamics, (Ed. by Prof. J. Kisilowski and Prof. K. Knothe), Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warsaw, 1991, p.93-139.

- [5] Zábori, Z. - Zobory, I.: Hosszirányban mozgó, állandó nagyságú függőleges erővel terhelt változó merevségű és csillapítású Winkler alapzathoz rögzített gerendatartó dinamikája. Gép 72. évf. 3-4. sz. (2021.) 69-75. oldal
- [6] Norén-Cosgriff, K., Gustav Berggren, E., Massoud Kaynia, A., Norman Dam, N., Mortensen, N. (2018): A new method for estimation of critical speed for railway tracks on soft ground. International Journal of Rail Transportation, 6:4, 203-217, DOI: [10.1080/23248378.2018.1474811](https://doi.org/10.1080/23248378.2018.1474811)
- [7] Zobory, I. – Békefi, E. - Zábori, Z.: Simulation Backed Identification of Vertical Track Stiffness Functions by Using Wavelets, Proceedings of the 6th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, VSDIA 1998, (Ed. by Prof. I. Zobory). BME Department of Railway Vehicles, Budapest, 1998, p.151-159. (ISBN:963 420 635 2)
- [8] Vágó, Zs.: Idősorok sztochasztikus modelljei. Oktatási segédlet, Budapest, Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetem, Statisztika Tanszék, (28. oldal)
- [9] Integral equations, numerical methods. Encyclopedia of Mathematics. URL: http://encyclopediaofmath.org/index.php?title=Integral_equations,_numerical_methods&oldid=51876, letöltve: 2024.04.18.
- [10] Karin Norén-Cosgriff, Eric Gustav Berggren, Amir Massoud Kaynia, Niels Norman Dam & Niels Mortensen (2018) A new method for estimation of critical speed for railway tracks on soft ground, International Journal of Rail Transportation, 6:4, 203-217, DOI:10.1080/23248378.2018.1474811
- [11] Duley, A., Le Pen, L., Thompson, D., Powrie, W., Watson, G., Maicy, P., Andrew, C. (2015). Critical train speeds and associated track movements – a case study. XVI ECSMGE 2015
- [12] Thawatchai Phanyakit, Thaned Satiennam:

Track-quality index and degradation of railway track structure. The construction track doubling project of northeast line from thanon chira junction to khon

kaen station, Thailand, MATEC Web Conf. 192 02022 (2018), DOI: [10.1051/mateconf/201819202022](https://doi.org/10.1051/mateconf/201819202022)

NOMENKLATÚRA		
Megnevezés	Jelölés	Mértékegység
Időkoordináta	t	s
Hosszkoordináta	x	m
A mozgó erőhöz kötött relatív hosszkoordináta	ξ	m
A gerenda függőleges irányú, időtől és helytől függő kitérése	$z(x,t)$	m
Winkler-alapzat csillapítási tényezője	d	Ns/m^2
Winkler-alapzat hosszirányban változó rugómerevsége	$s(x)$	N/m^2
Winkler-alapzat állandó nagyságú rugómerevsége	s_{z0}	N/m^2
A gerendán végigfutó erő nagysága	F_0	N
A mozgó erő haladási sebessége	v	km/h
Gerenda keresztirányú tengelyre számított másodrendű nyomatéka	I	m^4
Gerenda anyagának Young modulusza	E	N/m^2
Gerenda folyómértéktömege	qA	kg/m
A pálya fekszinthiba hullámhossza	λ	m
A megoldás alaktényezője	$\varphi_j(\xi)$	
A megoldás időtényezője	$T_j(t)$	
A megoldás során alkalmazott együtthatómátrixok	$A(t), B(t), C(t)$	
A sztochasztikus fekszinthiba-függvény egy realizációja	$\zeta(\xi,t)$	m
A sztochasztikus fekszinthiba-függvény egy realizációját leíró Fourier-sor együtthatója	c_k	m
A sztochasztikus fekszinthiba-függvény egy realizációját leíró Fourier-sor körfrekvenciája	ω_k	$1/s$
A sztochasztikus fekszinthiba-függvény egy realizációját leíró Fourier-sor fázisszöge	Φ_k	$radián$



Impact of the condition of the railway track on the permissible travel speed

Keywords: rail track; track failure; rail track classification; track support rigidity; Winkler base; Galerkin method; dynamic simulation

This study examines the relationship between the condition of the railway track and the permitted speed of the railway vehicle running on it. The relationship between the condition of the railway track and the maximum permissible vehicle speed on a given section of the track is a very important and crucial safety issue in railway operation. This idea raises the question of what method can be used to classify the condition of the railway track.



Einfluss des Zustands der Eisenbahnstrecke auf die zulässige Geschwindigkeit

Schlüsselwörter: Eisenbahnstrecke; Gleisausfall; Bewertung der Eisenbahnstrecke; Steifigkeit der Gleisstütze; Winkler-Fundament; Galerkin-Methode; Dynamische Simulation

Die Studie untersucht den Zusammenhang zwischen dem Zustand des Eisenbahngleises und der zulässigen Geschwindigkeit des darauf fahrenden Schienenfahrzeugs. Der Zusammenhang zwischen dem Zustand der Eisenbahnstrecke und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf einem bestimmten Streckenabschnitt ist eine sehr wichtige und entscheidende Sicherheitsfrage im Eisenbahnbetrieb. Dieser Gedanke wirft die Frage auf, welche Methode zur qualitativen Bewertung des Zustands der Bahnstrecke verwendet werden kann.



Benyúló karos tartószerkezet alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a ZalaZONE tesztpályán kialakítandó percepciós szenzorrendszer vonatkozásában

Az infrastruktúrára telepített szenzorok növelhetik az önvezetés biztonságát, de szél miatti rezgésük kalibrációs problémákat okozhat. A szerkezetek merevítése helyett szoftveres stabilizáció szükséges. A kutatás a hosszú távú rezgések hatását és kalibrációs modellezését vizsgálja, megoldási javaslatokat kínálva.

Kulcsszavak: önvezető járművek, szenzorkalibráció, infrastruktúra szenzorok, rezgés kompenzáció, szoftveres stabilizáció

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.6.2>

**Cserni Márton¹ – Vincze Zsolt² – Rövid András³
Csonthó Mihály⁴ – Boronyák Ádám⁵ – Kovács Lóránt⁶**

^{1, 2, 4} BME KJK Gépjárműtechnológia Tanszék, tudományos segédmunkatárs

³ BME KJK Gépjárműtechnológia Tanszék, tudományos főmunkatárs

⁵ BME KJK Gépjárműtechnológia Tanszék, tanszéki mérnök

⁶ Széchenyi Egyetemi Csoport, ZalaZONE InnoTech Nonprofit Kft.

e-mail: mcserni@edu.bme.hu, vincze.zsolt@kjk.bme.hu, rovid.andras@kjk.bme.hu, csontho.

mihaly@kjk.bme.hu, boronyak.adam@kjk.bme.hu, lorant.kovacs@zalazone.hu

1. BEVEZETÉS

Az útmenti infrastruktúrára kihelyezett szenzorállomásokkal a kooperatív percepciós rendszerek látótere és pontossága kiterjeszthető. Minél magasabb oszlopra helyezzük ki a szenzorokat, annál kisebb az esélye, hogy takarás miatt objektumokat nem érzékel a rendszer.

A közlekedés résztvevőit érzékelő szenzorrendszer detektálási pontosságát alapjaiban befolyásolhatja az érzékelő szenzorok mozgása. Amennyiben a szenzorok nem együttesen mozognak, az alacsony szintű szenzorfüzóra épülő eljárások teljesítménye jelentősen romolhat. Ez például olyan esetben fordulhat elő, ha a kamera szenzor egy belógó karos jelzőlámpaoszlop függőleges ré-

szére, míg a lidar szenzor a belógó karra van rögzítve (ilyen módon kerültek kihelyezésre a Graz-i kereszteződést figyelő szenzorok). A szenzorok együttes elmozdulása is okozhatja a detektálási performancia drasztikus csökkenését az elmozdulás mértékétől függően [1], [2]. A szenzorrendszer szenzorállomása-hoz tartozó tartószerkezetnek biztosítania kell, hogy a szenzorok elmozdulása ne lépje túl a kompenzálható mértéket. Amennyiben a lengés kellőképpen kompenzálható, úgy az objektumok detektálásának követelményekben előírt pontossága garantálható.

A percepciós szenzorrendszer beszerzési költségeinek racionalizálása érdekében kivizsgálásra került, hogy egy belógó karos tartóoszlop megfelelő stabilitást biztosít-e a

1. ábra: A Providentia++ projektben [2] alkalmazott tartószerkezet és a rá telepített infrastruktúra szenzorok



szenzorrendszerhez történő alkalmazás érdekében. Amennyiben az oszlopra helyezett szenzorállomás kilengése nem kompenzálható ki, úgy az állomást nagyobb stabilitást biztosító, de lényegesen drágább portálszerkezetre kell telepíteni.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Jelenleg a közúti környezetbe kihelyezett infrastruktúra szenzorok adataira támaszkodó tudományos kutatások világszerte aktívan folynak. E téren kiemelkedő a Providentia++ projekt, amely a németországi A9-es autópálya kijelölt szakaszáról készíti el a valós idejű digitális ikermodeellt. A közlekedés résztvevőit az autópályára telepített portálszerkezetekre kihelyezett szenzorok segítségével érzékeli [2]. Az 1. ábrán az említett portálszerkezeten elhelyezett szenzorok láthatók. A portálszerkezet nagy robusztussága garantálja a szenzorok kis kilengését még nagy erősségű széllelökések esetében is.

A Graz-i székhelyű ALP.Lab GmbH cég portfólióját képezi a jármű ADAS funkcióinak tesztelése és az autonóm vezetési funkciók fejlesztéséhez szükséges digitális forgalmi környezet modell szolgáltatása is. Graz városában alakítottak ki egy intelligens kereszteződést, amely a forgalom nyomon követésére képes. A forgalom résztvevőit érzékelő (lidar, radar és kamera)

szenzorokat belógó karos jelzőlámpa oszlopokra helyezték ki. A kamera és radar szenzorokat az oszlop függőleges törzséhez, míg a lidar szenzorokat a belógó karhoz rögzítették.

Az intelligens infrastruktúra által nyújtott funkciók kutatása és fejlesztése Észak-Európában is zajlik. Svédország, Finnország és Norvégia területén több különálló pilot projekt együttese alkotja a Nordic Way kezdeményezést [3]. Minden különálló teszterület egy-egy funkció kutatására jött létre. A projekt célja az észak-európai forgalmi környezetben felmerülő problémák megoldása együttműködő intelligens közlekedési rendszerek (C-ITS) használatával. A norvégiai pilot projekt során a közutak melletti intelligens infrastruktúra szenzorok a portál, félportál és oszlop szerkezetre kerültek kihelyezésre (2. ábra).

Ezekből a kutatásokból nem jelent meg mérés a szenzorrendszerek rezgésével kapcsolatban.

3. MÉRÉSI MÓDSZER

A ZalaZONE Járműipari Tesztpálya Smart City modulján egy 10 méter magasságú kúpos acéloszlop került kihelyezésre, 10 méter hosszú portálkarral, amelynek rögzítési magassága 8 méter. Ez a tartószerkezet egy lehetséges alternatíva a Highway modulra tervezett

2. ábra: A NordicWay projektben alkalmazott szenzortartó szerkezetek [3]



percepció szenzorrendszer szenzorállomásai számára.

Az oszlopra a szenzorállomások egy közelítő modellje került kihelyezésre. A modell tömegben és kiterjedésben is jól közelíti a követelményrendszert kielégítő szenzorállomást. A modell tartalmazott két működő szenzort, egy kamerát és egy lidar szenzort. Ezen kívül további üres kameraházakból, valamint a szenzoroknak a belógó karhoz történő rögzítésére alkalmazható tartókonzolból és a modell tömegét és kiterjedését növelő lapsúlyokból állt. A szenzorállomás össztömege a követelményeknek megfelelő típusú eszközök adatlapjai alapján és a szükséges tartókonzol becsült tömegét figyelembe véve került meghatározásra. A szenzorállomás kalkulált összetömege 55 kg. A modellhez használt eszközök és kellékek súlya 22 kg volt. A kellő tömeg elérésének érdekében a

modell három pár lapsúlyt tartalmaz, amelyek páronként 11 kg tömegűek. A kísérleti méréshez használt modell a 3. ábrán látható. Az így kapott modell jól reprezentálja a szenzorállomás jelentette belógó karon lengő terhet.

A modell a már említett tartóoszlopra került felhelyezésre. Emellett az oszlopon kialakításra került egy szekrény is, amelyben a szenzorok kábellei végződnek. A mérések alkalmával a kihelyezett szenzorok egy mobil mérőrendszerbe kerültek bekötésre. A kísérleti mérésekre előkészített oszlopot a 4. ábra mutatja.

A modell lengésének mérése mintavételezéssel történt. 2024 áprilisában három héten keresztül napi két alkalommal készült egy-egy 15 perc hosszúságú felvétel. A mért adatok a lidar szenzorból származó pontfelhő és a kamera által rögzített képek voltak. A mérés RTMaps keretrendszer hasz-

3. ábra: A kísérleti szenzorok és a nehezékek, amelyek a végső szenzorfürt tömegét modellezzik



nalatával történt, amelynek fő tulajdonsága, hogy megőrzi a mért adatok közötti időszinkronitást, így azok visszajátszásakor is ugyanúgy jelennek meg, mint a felvétel során. A nyers szenzoradatok mellett rögzítették a legközelebbi nyilvános meteorológiai állomás szélerősség adatait is. A ZalaZONE tesztpályához legközelebb lévő elérhető állomás a nagykutasi, amely a Smart City modultól 4 km-es távolságra van.

4. A REZGÉS MATEMATIKAI MODELLEZÉSE

Ebben a fejezetben matematikailag modellezzük a szenzorok rezgését. Feltesszük, hogy a szenzorok egymáshoz képest nem mozognak.

4.1. Lidar

A lidar szenzor egy háromdimenziós pontfelhőt ad ki maga körül. Ez a pontfelhő a lidar saját koordináta rendszerével együtt mozog. Ahhoz, hogy a pontfelhő pontjait egy referencia koordináta rendszerbe, például egy UTM (Universal Transverse Mercator) koordináta-rendszerbe transzformáljuk, szükséges ismerni a lidar szenzor és az UTM rendszer közötti transzformációs mátrixot. Ez a transzformáció figyelembe veszi a szenzor pozícióját és orientációját a referencia rendszerben.

A pontfelhő és a referencia rendszer között egy pont az alábbiak szerint transzformálható:

$$P_{utm} = T_{lidar} P_{lidar} \quad (1)$$

ahol P_{lidar} a pont koordinátája a lidar koordináta rendszerében, P_{utm} pedig ugyanazon pont koordinátája az UTM koordináta rendszerében. A transzformációs mátrix T_{lidar} a következőképpen épül fel:

$$T_{lidar} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ahol r_{ij} ($i=1,2,3$ és $j=1,2,3$) a rotációs mátrix elemei, amelyek a lidar szenzor orientációját írják le az UTM rendszerben, míg t_1, t_2, t_3 a lidar szenzor pozíciójának koordinátái az UTM rendszerben. Ha T_{lidar} ismert, a lidar szenzor kalibráltnak nevezhető. Ezt a mátrixot a szenzor kihelyezése során meghatározzuk egyszer, egy lidar kalibrációs eljárással.

A szenzor elmozdulása során (1) nem lesz érvényes az előre meghatározott T_{lidar} paramétereivel. Az elmozdulást egy T_{delta} transzformációval írjuk le, így elmozdult szenzor esetén:

$$P_{utm} = T_{delta} T_{lidar} P_{lidar} \quad (3)$$

4. ábra: A kihelyezett szenzor sziget a ZalaZONE Smart City tesztpályán



A stabilizáció során ezt a T_{delta} elmozdulást szeretnénk meghatározni.

4.2. Kamera

A kamera szenzor egy kétdimenziós képet készít a környezetéről. Ahhoz, hogy egy háromdimenziós pontot a képtérbe vetítsünk, ismerni kell a kamera belső és külső paramétereit [4]. A klasszikus képfeldolgozásban használt koordináta konvenciókat alkalmazzuk [4].

A 3D pontok és a képtér közötti transzformáció a következőképpen történik:

$$p = K [R|t] P, \quad (4)$$

ahol P egy homogén koordinátákkal megadott 3D pont, p a 2D pont homogén koordinátái a képen, K a kamera belső paramétermátrixa, R a kamera rotációs mátrixa, és t a translációs vektor. A kamera belső paramétermátrixa K az alábbi formában van megadva:

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

ahol f_x és f_y a fókusz távolságok a x és y irányokban, c_x és c_y pedig a képsík főtávjának koordinátái.

A kamera külső paraméterei, amelyeket a R rotációs mátrix és a t translációs vektor alkotnak, írják le a kamera helyzetét és orientációját a világ koordináta rendszerében.

A rezgés során a kamera belső paraméterei, azaz K nem változik, azonban a külső paraméterek igen. Az elmozdulást a kamera koordináta rendszerében definiáljuk, tehát a projekció:

$$p = K [R_{\text{delta}} | t_{\text{delta}}] [R|t] P, \quad (6)$$

Feltételezzük, hogy az elfordulása a kamerának kicsi, maximum néhány fok, így a rotáció közelíthető lineáris translációkkal. Ez azt jelenti, hogy a rotáció kis szögek esetén hasonló hatást gyakorolhat a képre, mint a megfelelő irányú transláció. Ezenkívül a transláció z irányú komponense kis értékek esetén elhanyagolható, mivel a kép síkban főként az x és y irányú elmozdulások dominálnak. A kamera koordináta-rendszerbeli konvenciókat az 5.

ábrán lehet megtekinteni.

A rotációs mátrix kis szögek (θ_x , θ_y , θ_z) esetén közelíthető:

$$R_{\text{delta}} \approx \begin{bmatrix} 1 & -\theta_z & \theta_y \\ \theta_z & 1 & -\theta_x \\ -\theta_y & \theta_x & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Ha ezeket a kis szögeket használjuk, a pontok kamerakoordinátákba való transzformációja a következőképpen néz ki:

$$P_c \approx \begin{bmatrix} 1 & -\theta_z & \theta_y \\ \theta_z & 1 & -\theta_x \\ -\theta_y & \theta_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t'_x + X \\ t'_y + Y \\ t'_z + Z \end{bmatrix} \quad (8)$$

A teljes képre vetítés:

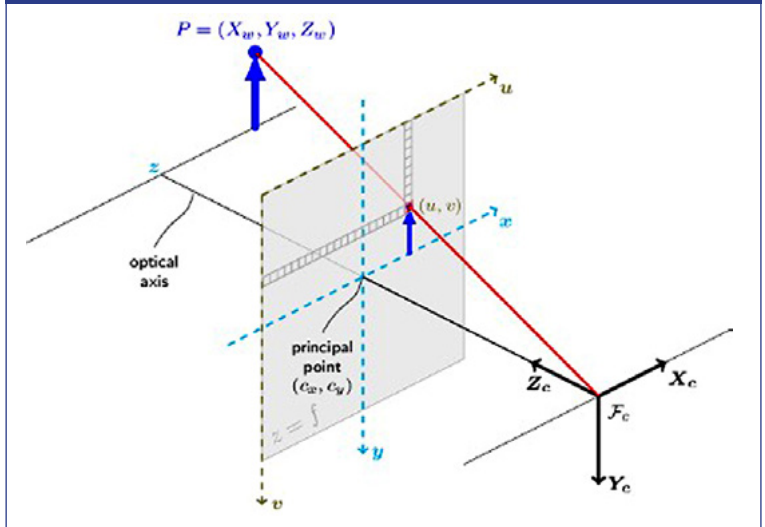
$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t'_x + X \\ t'_y + Y \\ t'_z + Z \end{bmatrix} \quad (9)$$

Ebből a pixel koordináták (u , v):

$$u = f_x \frac{(t'_x + X)}{t'_z + Z} + c_x, \quad (10)$$

$$v = f_y \frac{(t'_y + Y)}{t'_z + Z} + c_y. \quad (11)$$

5. ábra: Tülyuk (pinhole) kameramodell és a koordináta konvenciók [5]



A transláció z irányú komponense pedig kis értékek esetén elhanyagolható, mivel nem okoz jelentős elmozdulást a képtérben távoli pontok esetén (Z nagy, t_z' kicsi). Ez egy magasra felhelyezett kamerára mindig igaz lesz, mert az objektumoknak a kamerától vett Z irányú távolsága mindig jelentősen nagyobb lesz, mint a kamera Z irányú elmozdulása a lengő oszlopon. Ugyanez az X és Y irányokról nem mondható el. Ez belátható intuitíven is, hiszen, ha elképzeljük egy távoli objektum mozgását a kamera képén, ha a mozgás az optikai tengellyel (Z irány) párhuzamos, a kép változása kicsi lesz, míg ez nem igaz a keresztirányú mozgásokra.

Ez a közelítés lehetővé teszi, hogy a képet (u , v) irányokban, ha translációval stabilizáljuk, megmarad a kalibráció. A képen tehát (u , v) irányú elmozdulásokat kell detektálni, ez jól megmutatja a kamera elmozdulását, ez alapján lehet stabilizálni a képet.

5. STABILIZÁCIÓ

Ebben a fejezetben részletezzük az alkalmazott stabilizációs eljárásokat.

5.1. Lidar

A pontfelhők kiértékelése a mérés során rögzített pontfelhők a mérési felvétel első rögzített pontfelhőjéhez képest történő elmozdulásának meghatározásán alapul. Az elmozdulás meghatározására az Iterative Closest Point (ICP) algoritmus [6] került felhasználásra. Az algoritmus meghatározza azt az elmozdulást (eltolást és elforgatás), amellyel két különböző helyzetben lévő pontfelhő egymáshoz illeszthető. A kezdeti, kalibrált pontfelhőhöz képesti elmozdulás tehát meghatározható, ez a T_{delta} . Az így kapott elmozdulásértékek jellemzik a lidar szenzor oszlopon történő lengését. Az ICP algoritmus-sal történő pontfelhő illesztésre vonatkozó példát a 6. ábra mutatja.

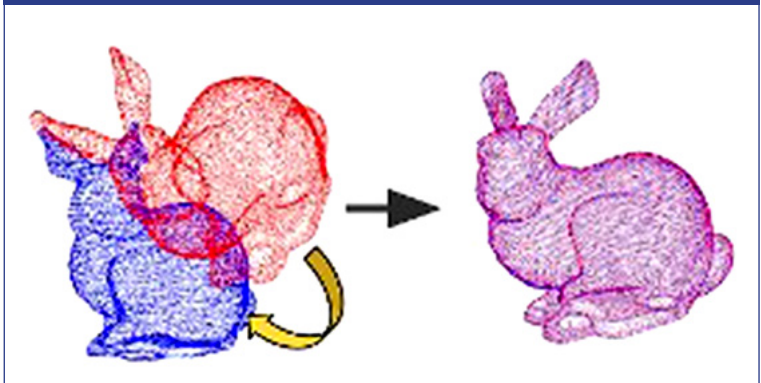
5.2. Kamera

A módszer összefoglalva translációval modellezi a kép elmozdulását, és a képsíkban stabilizál. Készít egy háttérmodellt, amely kiszűri a dinamikusan mozgó objektumokat a képről. Amennyiben feltételezzük, hogy a kép elmozdulásának statikus komponense nincs, akkor a háttér a kalibrált állapotot tartja fent. A háttér és az aktuális kép közötti elmozdulást meghatározva, és a képet ezzel az elmozdulással korrigálva visszaállítható a kalibráció.

A kép stabilizálásához szükségünk van referencia pontokra. A módszer idősorokon működik, ahol az adott időpillanatban készült kép jele I_t . A statisztikai háttérmodellt az OpenCV-ben implementált KNN [7] módszeren alapul. Az algoritmus az elmúlt n kép alapján készít egy háttérmodellt, amelyen a statikus objektumok szerepelnek. A háttérmodell (ideális esetben) megegyezik azzal a képpel, amelyet a nem rezgő kamera adna, ha I_t és I_{t-n} képek készítése között eltelt idő legalább a rezgés lengésidejével megegyezik. A háttérmodellen megfigyelhető zaj, és a mozgás átlagolásából eredő elmosódás.

Amennyiben a statisztikai háttérmodell megfelel az el nem mozdult képnek, és a t -edik időpillanatban készült kép és a háttérkép között képi leírókat pontosan meg tudunk feleltetni egymásnak, az elmozdulás kiszámolható. Olyan leírókat kell találni, amelyek

6. ábra: Az ICP algoritmus működése [forrás: Biorobotics Lab at Carnegie Mellon University]



nem érzékenyek elmosódásra és zajra. Ilyen a Scale Invariant Feature Transform [8]. Ennek a módszernek a segítségével találhatunk és megfeleltethetünk egymásnak képi leírókat az aktuálisan készült és a statisztikai háttérmodell képek között.

Ha elegendő számú leíró találtunk akkor x , és y irányba meghatározható a kép elmozdulása. Ehhez a Ransac [9] módszert használjuk. A kapott 2D translációs vektorral ellentétesen eltoljuk a t -edik képet, ezáltal megvalósul a stabilizáció.

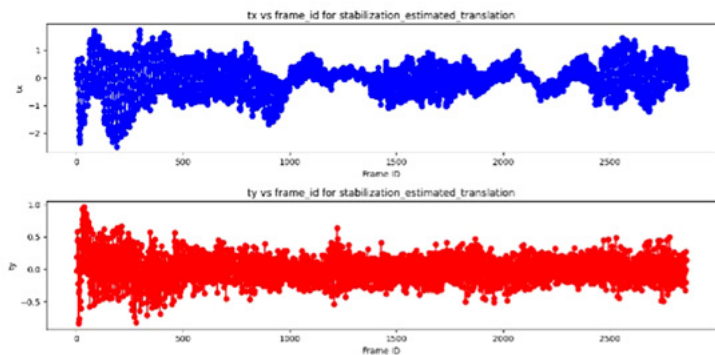
6. KÍSÉRLETI KIÉRTÉKELÉS

Ebben a fejezetben megvizsgáljuk egy kihelyezett szenzor rezgését egy hosszabb távon.

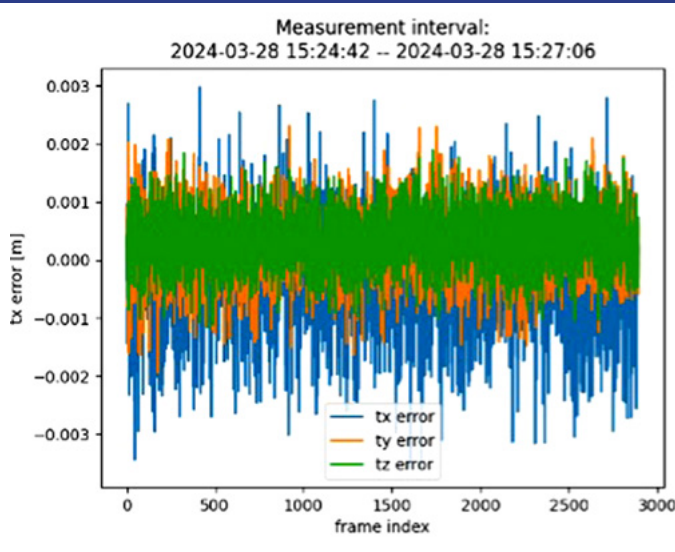
A szenzorállomás modelljének kihelyezésekor, valamint a mintavételezési időszak alatt összesen 40 db felvétel került rögzítésre. A felszerelés 2024.03.28-án történt, ekkor négy felvétel készült. Ezen kívül a 2024.04.02-től 2024.04.26-ig terjedő mintavételi időszakban további 36 felvételt rögzítettek. Az egyes mérésekhez köthető szélérősség adatok a 1. táblázatban találhatók.

A gyűjtött adatsorok összterfoga 522 GB, ami mérésenként átlagosan 14,3 GB adatot jelent. A rögzített képek Bayer RGB formátumban készültek 800x600 pixel felbontással és 8 bites színmélységgel. Egy-egy kb. 15 perces felvételi ciklus során mintegy 18 000 kép ké-

7. ábra: A kamerastabilizációs eljárás által becsült elmozdulások x , és y irányban a pixeltérben [px] egységekben



8. ábra: Az ICP algoritmus alapján számolt pontfelhő elmozdulások egy felvétel esetén



szült minden egyes mérési alkalommal a mintavételi időszak folyamán. A lidar szenzorból érkező UDP üzeneteket helytakarékosági okokból bináris formában rögzítettük. Ezenkívül, mintavételezésenként a gyűjtött adatok átlagos mérete 13,3 GB volt.

A képek stabilizálhatók voltak, ami elengedhetetlen a detektálás pontosságának megőrzése szempontjából. A stabilizációt kísérleti szempontból vizuális elemzés útján értékel-

1. táblázat: A mérés időjárásbeli körülményei

Dátum	Idő	Szélérősség [km/h]	Szélirány
2024.03.28	16:24	28.0	dél-délnyugat
2024.03.28	16:27	28.0	dél-délnyugat
2024.03.28	16:29	28.0	dél-délnyugat
2024.03.28	16:31	28.0	dél-délnyugat
2024.04.02	08:59	19.0	délnyugat
2024.04.02	16:58	6.0	nyugat
2024.04.03	07:45	5.0	délnyugat
2024.04.03	16:58	33.0	délnyugat
2024.04.04	09:02	5.0	délnyugat
2024.04.04	16:57	12.0	dél
2024.04.05	07:51	5.0	dél
2024.04.05	16:21	17.0	dél
2024.04.08	07:50	11.16	délkelet
2024.04.08	16:49	17.2	dél
2024.04.09	08:01	14.4	dél
2024.04.09	16:50	27.6	dél-délnyugat
2024.04.10	07:46	35.3	észak-észak-kelet
2024.04.10	17:11	37.7	észak
2024.04.11	08:37	23.7	észak
2024.04.11	17:00	17.4	észak-észak-kelet
2024.04.12	07:49	12.1	észak
2024.04.12	16:53	12.5	észak-észak-kelet
2024.04.15	07:48	12.6	délnyugat
2024.04.15	15:31	24.3	délnyugat
2024.04.16	07:54	33.9	észak-észak-kelet
2024.04.16	17:01	6.4	észak-észak-kelet
2024.04.17	07:50	9.1	nyugat
2024.04.17	16:46	22.9	észak-észak-kelet
2024.04.19	07:48	6.0	nyugat-észak-nyugat
2024.04.19	16:18	5.3	nyugat

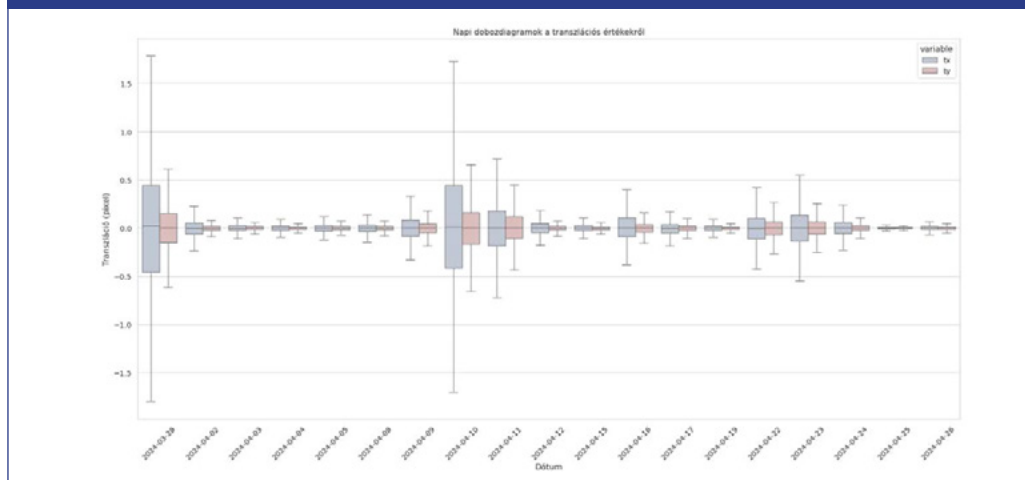
Dátum	Idő	Szélérősség [km/h]	Szélirány
2024.04.22	07:45	22.8	észak
2024.04.22	16:51	16.3	kelet-észak-kelet
2024.04.23	07:52	18.4	északkelet
2024.04.23	16:47	15.3	észak-észak-kelet
2024.04.24	07:49	25.5	észak-észak-nyugat
2024.04.24	16:44	6.0	nyugat-dél-nyugat
2024.04.25	07:45	6.5	nyugat
2024.04.25	16:19	9.5	északkelet
2024.04.26	07:46	7.3	dél-délnyugat
2024.04.26	16:38	15.6	dél

tük, amely során stabilizált és nem stabilizált képeket helyeztünk egymás mellé. A vizuális összehasonlítása alapján megállapítható, hogy bizonyos útfelfestések elmozdulása egy pixelen belül maradt a stabilizáció hatására. Ennek alapján megállapítható, hogy a stabilizált képeken az objektumok pozíciója nem változott, ami lehetővé tette a kalibráció megőrzését. Így a szenzorrendszer ezen oszlop konfigurációval alkalmasnak bizonyult a feladat ellátására.

A pontfelhők feldolgozása szintén megtörtént, az Iterative Closest Point (ICP) algoritmus segítségével.

A kísérleti kiértékelés során a kameraképek és a LiDAR pontfelhők rezgésének kompenzációját a bemutatott stabilizációs módszerekkel vizsgáltuk. Mivel független referenciaadat hiányában a stabilizáció hatékonyságának objektív számszerűsítése nem volt lehetséges, a vizsgálat alapvetően a stabilizált képek vizuális értékelésére támaszkodott. A felvételek vizsgálatakor nyilvánvaló volt, hogy míg a stabilizálás nélküli képeken a mozgás érzékelhető, addig a stabilizált képeken a megjelenített objektumok mozdulatlanok maradtak. A felvételek az érdeklődők számára előzetes egyeztetést követően kérésre rendelkezésre állnak.

9. ábra: A képfeldolgozó algoritmus által becsült képtranszlációk a dátum függvényében ábrázolva. A korreláció a szeles napok és a mért elmozdulások átlagértéke és szórásértéke között szembevető



Numerikusan, a rezgéssel kapcsolatosan megfigyeltük, hogy a 650 000 mérési pontból csupán kettő esetben regisztráltunk két pixelt meghaladó kilengést, amelyek valószínűleg mérési hibákra vezethetők vissza. A kilengés értékei a dátum függvényében a 9. ábrán tekinthetők meg. Kérésre a stabilizált felvételek rendelkezésre bocsáthatók.

7. KONKLÚZIÓ

A cikk az infrastruktúrába beépített szenzorrendszerek stabilizációjának szükségességét és lehetőségeit vizsgálta. A kutatás célja, hogy meghatározza, mennyire stabilak az oszlopokra szerelt szenzorok erős szélben, valamint hogy szoftveres kompenzációval lehet-e fenntartani a rendszer kalibrációját, ha a fizikai stabilitás nem elégséges. Bemutattunk egy-egy szoftveres stabilizációs módszert a LiDAR és a kamera alapú szenzorok számára, amelyekkel az oszlopokon lévő érzékelők kilengése hatékonyan kompenzálható.

A kísérleti mérések alapján az a következtetés vonható le a szenzorok fizikai rezgéseinek mértékéről és az alkalmazott algoritmusok stabilizáló képességéről, hogy a bemutatott konfigurációval a rezgés elegendően kicsi ahhoz, hogy kikompenzálható legyen. Az eredmények azt mutatják, hogy az ICP algoritmus és a képi stabilizációra alkalmazott KNN-

alapú háttérmodellezés alkalmasak a rezgések kiegyenlítésére, ami biztosítja a detektálási pontosság megőrzését.

A kutatás gyakorlati jelentősége abban rejlik, hogy a vizsgált szoftveres stabilizációs megoldások lehetővé teszik költséghatékony szenzorplatformok alkalmazását olyan helyszíneken, ahol a fizikai stabilitás biztosítása aránytalanul nagy beruházást igényelne. Mivel az autonóm járművek elterjedésével egyre több kooperatív intelligens közlekedési rendszer (C-ITS) épül ki, kritikus fontosságú, hogy az infrastruktúrába helyezett érzékelők a változó környezeti feltételek mellett is folyamatosan megbízható adatokat szolgáltatassanak. A bemutatott megközelítések lehetőséget adnak arra, hogy az önvezető járművek pontosan tájékozódjanak a környezetükről, így növelve a közlekedés biztonságát és hatékonyságát. Ez a stabilizáció különösen jelentőségteljes a jövőbeli városi és autópálya-alapú intelligens rendszerek számára, ahol a szenzorok nagy magasságban, szélnek kitett környezetben üzemelnek, és ahol a szoftveres kompenzációval biztosítható a rendszer folyamatos, kalibrált működése.

Összességként a cikk rámutat, hogy a jövőbeli kooperatív intelligens közlekedési rendszerekben az infrastruktúra alapú érzékelés hatékonysága és pontossága jelentősen javítható szoftveres sta-

bilizációs megoldásokkal, különösen az autonóm közlekedés területén, ahol a pontos és stabil érzékelés kulcsfontosságú a biztonságos működéshez.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk készítői köszönetet mondanak a Széchenyi Egyetemi Csoport - Autóipari Próbapálya Zala Kft. támogatásának.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 22(11), 1330-1334. DOI: 10.1109/34.888718
- [2] Krammer, „Providentia--A Large-Scale Sensor System for the Assistance of Autonomous Vehicles and Its Evaluation,” arXiv preprint arXiv:1906.06789, 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1906.06789>
- [3] Kumala, „NordicWay and Coop cellular C-ITS pilot projects first results,” 11th ITS European Congress: Delivering Future Cities Now, 2016. URL: <https://cris.vtt.fi/en/publications/nordicway-and-coop-cellular-c-its-pilot-projects-first-results>
- [4] R. Hartley, Multiple view geometry in computer vision, Cambridge: Cambridge university press, 2003. URL: https://www.r-5.org/files/books/computers/algo-list/image-processing/vision/Richard_Hartley_Andrew_Zisserman-Multiple_View_Geometry_in_Computer_Vision-EN.pdf
- [5] „OpenCV Documentation,” [Online]. URL: https://docs.opencv.org/3.4/d9/d0c/group_calib3d.html [Hozzáférés dátuma: 08 2024].
- [6] Chetverikov, „The trimmed iterative closest point algorithm,” in International Conference on Pattern Recognition, 2002. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1047997>. DOI: 10.1109/ICPR.2002.1047997
- [7] Zitkovic, „Efficient adaptive density estimation per image pixel for the task of background subtraction,” Pattern recognition letters, 2006. DOI: 10.1016/j.patrec.2005.11.005
- [8] Lowe, „Sift-the scale invariant feature transform,” Int. J., 2004. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/19d1/c9a4546d840269ef534f6c1c8e3798ce81ac.pdf>
- [9] Fischler, „Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography,” 1981. Communications of the ACM, 24(6):381 – 395 DOI: <https://doi.org/10.1145/358669.358692>



Investigation of the possibility of using an overhanging arm support structure for the perception sensor system to be developed on the ZalaZONE test track

keywords: self-driving vehicles, sensor calibration, infrastructure sensors, vibration compensation, software stabilisation

Sensor systems on infrastructure can improve autonomous driving safety by providing more accurate traffic measurements than onboard sensors, but their calibration can be disrupted by vibrations in strong winds. Since rigidly fixing the support structures is costly and sometimes impractical, software-based stabilization is needed, and this article explores the issue's severity and potential solutions for compensating these vibrations.



Untersuchung der Anwendbarkeit des Einsatzes einer überhängenden Armtragstruktur für das Wahrnehmungssensorsystem auf der ZalaZONE-Teststrecke

Schlüsselwörter: autonome Fahrzeuge, Sensorkalibrierung, Infrastruktursensoren, Schwingungskompensation, Software-Stabilisierung

Sensorsysteme in der Infrastruktur können die Sicherheit des autonomen Fahrens verbessern, indem sie genauere Verkehrsmessungen liefern als bordeigene Sensoren. Ihre Kalibrierung kann jedoch durch Vibrationen bei starkem Wind gestört werden. Da eine starre Befestigung der Stützstrukturen kostspielig und manchmal unpraktisch ist, ist eine softwarebasierte Stabilisierung erforderlich. In diesem Artikel werden die Schwere des Problems und mögliche Lösungen zur Kompensation dieser Vibrationen untersucht.

A budapesti repülőtér vonzáskörzete és hatása az ország egyes területeire

Egy repülőtér vonzáskörzete számos tényezővel áll kapcsolatban. Földrajzi kiterjedését a társadalom jövedelme, az utazási idők a rep-térig, az országhatárok, a versenytársak közelsége és a jegyárak be-folyásolják. A feltárt összefüggések segítik a decentralizációt, az infrastuktúra-fejlesztést, a hatékony turizmusmarketinget, a külföldi vállalatok telephelyválasztását és a gazdasági vérkeringést.

Kulcsszavak: repülőtér, vonzáskörzet, térbeli analízis, infrastruktúra-fejlesztés, decentralizáció, turizmusmarketing, telephelyválasztás, Huff-modell, légi utazás, járások fejlettsége

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.6.3>

Nagyvári Dávid

Budapesti Corvinus Egyetem Nemzetközi gazdálkodás szak
e-mail: nagyvari.david@gmail.com

1. BEVEZETÉS

Budapest 150 éves történelmének egyik meghatározó fontosságú momentuma volt a budapesti nemzetközi repülőtér megnyitása 1943-ban. Méltán fontos pillanat ez egy főváros számára, hozzájárult ahhoz, hogy Budapest európai szinten bekapcsolódjon a gazdasági és társadalmi vérkeringésbe. Modern világunkban a globalizáció felgyorsulásával elengedhetetlen, hogy összeköttetésben álljunk távolabbi országokkal is, így ezen kapcsolatokat elmélyítő repülés és azzal együtt a hazai repülőtér több szempontból is a fejlődés záloga. Fővárosunk repülőtere folyamatos változásban van, napjainkban szállítmánykezelő és utasbefogadó kapacitásának bővítésével gyakorol nagy hatást országunk egészére. Bátran kijelenthetjük, hogy az elmúlt éveket, a jelenkori napjainkat, és ugyanígy az elkövetkezendő 150 évet is meg fogja határozni

hazánk légi közlekedése. Kutatásomban a repülőtérünk (és ezen keresztül Budapest) területi hatásait vizsgálom, vonzáskörzetétől kiindulva az ország egészére gyakorolt hatásaig eljutva.

1.1. Ferihegy 150 éves történelme

Munkám céljai közé tartozik, hogy újszerű, a nemzetközi és hazai irodalomban is javarészt érintetlen témákkal foglalkozzak. A budapesti nemzetközi repülőtér felépítésétől kezdődő időszakát számos cikk és összegzés foglalja össze, ezért én egy jóval kevésbé ismert történetet szeretnék bemutatni. Ez nem más, mint a repülőtérnek tökéletes földrajzi lokációt biztosító Ferihegy története 1873-tól kezdve, egészen a repülőtér első használatba helyezéséig. Célom megvalósításához interjút készítettem Heilauf Zsuzsannával, a XVIII. kerületi Tomory Lajos Múzeum igaz-

gatójával és Pápai Tamás történésszel [1.]. Állításuk szerint a mai Ferihegy területe a Grassalkovich birtokrendszer része volt, és annak egyik bérlejtéről, a mintagazdaságot létesítő Mayerffy Xavér Ferencről nevezték el. A területen a homokos talajnak megfelelően szőlőbirtokok domináltak, amelyek eleinte bérlők kezében voltak, majd a közeli területeket 1872-1873 során parcellázták, így többen is birtokot vásároltak. A parcellázás következtében Ferihegy szomszédságában kialakult Pestszentlőrinc települése, az itt élők Ferihegyen gazdálkodtak, legeltettek és szőlőt termesztettek. Heilauf Zsuzsanna elmondása szerint „sokan gazdálkodási célból vásároltak területet és mezőgazdasági művelést folytattak rajta.” Véleménye szerint „a terület megfelelő volt a repülőtér számára, mert csak pár lakóház, gazdálkodási épület, meg egy kis kastély (Jurenák család, később lerombolták) helyezkedett el itt, mindez szinte érintetlenül, egy-két dűlőt haladt csak keresztül a terepen.” A választás többek között azért esett Ferihegyre, mert a terjeszkedésnek nincsenek földrajzi korlátai, ezt bizonyítják napjaink fejlesztései is. Zsuzsanna elmondta, hogy „már 39-ben megkezdődtek a munkálatok, illetve egy fontos összekötést biztosító gyorsforgalmi út építése.” Tamás hozzátette, hogy „egy nagyon rapid folyamatról beszélünk, 39 előtt folyamatos volt a mezőgazdaság, azonban a kisajátítás után szinte teljesen megszűnt.” A bekövetkező fejlődés Zsuzsanna szerint „nagyon komplex folyamatként jelent meg, nem csak klasszikusan a repülőtér fejlődés funkcióiban következett be, hanem rögtön az ehhez kapcsolódó ipar is megjelent, és a mellette növekvő településnek (Pestszentlőrincnek) is gátat szabtak, hogy Ferihegyen már ne telepedjen meg.” Ebből az időszakból érdemes még kiemelni a védőerdők telepítését a pormegkötés céljából, mert ezen erdők a mai táj arculatát is meghatározzák. Emellett a meteorológiai állomást is a fejlesztések megkezdése után telepítették, hogy a repülőtér számára a lehető legpontosabb jelentéseket tudja biztosítani. Az először 1943-ban megnyílt repülőtér katonai, sport és polgári repülőtérnek tervezték, a polgári funkció főleg az 1950-es évektől került előtérbe. Ettől az

időszaktól kezdve a repülőtér kulcsszerepet játszott országunk és Budapest fejlődésében, globalizálódásában [1].

2. A REPÜLŐTÉR VONZÁSKÖRZETE

2.1. Vonzáskörzet definiálása

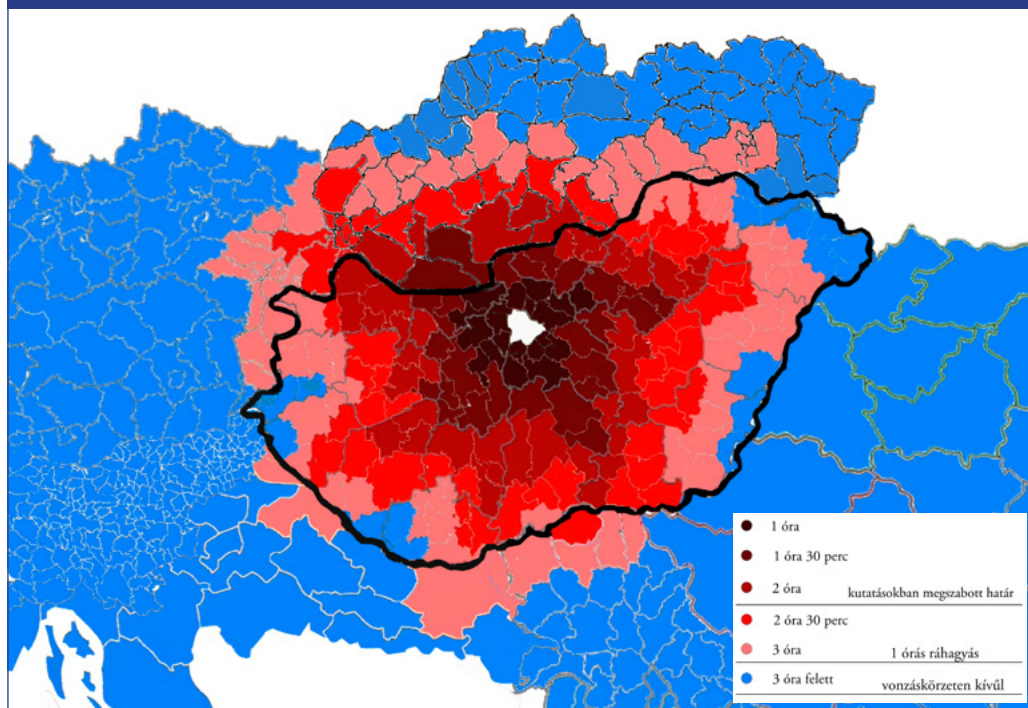
A repülőtér vonzási körzete alatt azt a földrajzi területet értjük, amelyről a repülőtér bevonzza utasait. Kutatások alapján [2], [3] megkülönböztethetünk „inbound” (bejövő) és „outbound” (kimenő) vonzási körzetet. A kimenő vonzási körzet azokat a területeket foglalja magába, ahonnan utasok érkeznek az adott repülőtérre, országuk elhagyása céljából. A bejövő vonzási körzet pedig azt a területet jelenti, amelyet a külföldről légi úton érkező utasok további útjai (turisztikai kirándulásai, üzleti feladatai) határoznak meg, legtöbbször az országon belül. A következőkben kifejezetten az „outbound” vonzási körzetet vizsgálom meg részletesen. Ez megfogalmazható úgy is, mint egy olyan földrajzi egység, amelyen belül a légi utazásra indulók az adott repülőtérre választják a legnagyobb valószínűség szerint. A vonzáskörzet fontossága számtalan területen megnyilvánul. A szakirodalomban számos tényező megjelenik, amelyek alkalmasak a vonzáskörzet mérésére. Egyhangú rangsor azonban nem alakult ki ezen mérőszámok tekintetében. A továbbiakban saját kutatások alapján erre is választ fogok adni. Fontos megjegyezni, hogy a vonzáskörzetet számos, egymásra rétegződő, komplex változó befolyásolja, amelyek objektív mérhetősége véges, így a számítások során becslésekre is kell hagyatkozni.

2.2. Tervezési szempontok

A repülőtér vonzáskörzete a repülőtér piaci részesedését is szimbolizálhatja. Ezen piacon az utasok földrajzi eredetének tanulmányozása az egyes régiókra kivetítve tervezési szempontból nagy fontossággal bír. A repülőtér vonzáskörzetének ismeretében létrehozhatók olyan repülési ajánlatok és kapacitások (járatok száma, árak, különböző desztinációk), amelyek mind az utasok, mind a légitársasá-

1. ábra: Vezetési távolságok a budapesti repülőtértől

(forrás: saját szerkesztés, saját eredmények alapján (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15) térképek alapul vételével)



gok, mind a repülőterek érdekeit szolgálják. Ez fordítottan is összefüggést mutat, mivel a repülőtér által ajánlott szolgáltatások színvonala alaposan befolyásolja, hogy mely régiókból érkeznek utasok az adott repülőtérre. A vonzásokörzetről kialakult pontos kép fontos tervezési szempont egyes légitársaságok számára. Egy kiterjedt vonzásokörzet nagy megnyerő erővel bírhat a megtelepedés szempontjából. A továbbiakban ezen vonzásokörzet kialakításában szerepet játszó tényezőket fogom vizsgálni [2], [4], [5], [6].

2.2.1. Közlekedés, távolság

A vonzási körzetet meghatározó legfontosabb és legobjektívebben mérhető tényező a repülőtér távolsága az utazni indulótól. A „távolságcsökkenés elmélete” [7] szerint minél távolabb van egymástól két hely, annál kevesebb kölcsönhatás zajlik közöttük. Ezen egyszerű feltételezés alapján a köztünk és a repülőtér közötti

távolság csökkenésével nő annak az esélye, hogy az adott repülőtérrel választjuk. Ugyanígy, a távolság növekedésével nő más, közelebbi repülőterek választásának a valószínűsége. Az elmondottak alapján a vonzási körzetet leegyszerűsítve is ábrázolhatjuk, vezetési távolságok megjelenítésével, azt a sejtést figyelembe véve, hogy nagyjából 2 órát [5] vagyunk hajlandóak utazni az egyes repülőterek elérésének érdekében. Ezt a feltételezést követve készítettem egy térképet Magyarországról és a környező országokról, amelyen egyes országok legkisebb területegységeit vettem alapul, és ezek távolságát ábrázoltam a repülőtértől (járások, megyék). A magyar járások távolságát Budapesttől a TEIR (2) adatbázisból gyűjtöttem ki, míg a külföldi területegységekre adat híján saját méréseket kellett alkalmaznom „google maps” segítségével. A szakirodalomban megszabott 2 órás limithez képest én még további 1 óra ráhagyást is alkalmaztam, ábrázoltam (1. ábra: Vezetési távolságok a budapesti repülőtértől). A kékkel

jelölt területek jelzik azokat a régiókat, ahonnan a hosszú vezetési távolság következtében már nem érkeznek utasok. Fontos megjegyezni, hogy a 2 órás limit túllépésével rohamosan csökken az adott repülőtér választásának esélye, így még realisabb, ha csak a belső, 2 órás kört vizsgáljuk. Az elkészült ábráról (1. ábra) világosan levonható a következtetés, hogy vezetési idők tekintetében a budapesti repülőtér vonzáskörzete leginkább Magyarország területére terjed ki, néhány határ menti területtel együtt. Azonban ez a módszer önmagában véve nem ad kielégítő képet a vonzáskörzetről, ugyanis a közelben fekvő, de ugyanakkor alacsony utazási hajlandósággal rendelkező régiókból sokkal kevesebben fognak érkezni, mint amennyi a vezetési távolság alapján elvárható lenne. Csupán a vezetési távolság mérése más egyéb tényezők vizsgálata nélkül nem ad teljes képet a vonzási körzetről [8]. Egy friss kutatás [9] szerint az országhatárok nagyban befolyásolják az egyes repülőterek vonzáskörzeteit, vagyis a repülőterek sokkal kisebb vonzást fejtenek ki a határon túli területekre. A határok átlépésekor adódó komplikációk, a nyelvtudás hiánya, a hazai környezet biztonságérzete, – összességében a familiáris környék – következtében hajlamosabbak vagyunk hazai repülőtér választani a légi utazásra. Mindezek nyomán megállapítottam, hogy a budapesti repülőtér vonzása az országunk területén a legerősebb, a határokon kívüli területekről jelentősen csökken a ferihegyi repülőtér választásának esélye, mind a vezetési idők, mind az országhatárok befolyása miatt [2], [3], [4], [6].

2.2.2. Jegyárak

Senki sem tagadhatja, hogy az utazáshoz kapcsolódó költségek befolyásolják döntéseinket. Alapvetően az emberek hajlamosabbak hosszabb időtávokat utazni közúton egy olcsóbb repülőjegy céljából, így az egyes repülőterek, amelyek olcsóbb jegyárakkal kecsegtetnek, nagyobb vonzáskörzetet tudhatnak magukénak. Két régebbi tanulmány [11], [12] ezt a megállapítást támasztja alá azzal, hogy a diszkont légitársaságok bevonásával a repülőterek szélesíthetik vonzáskörzetüket, hiszen így olcsóbb utakat tudnak ajánlani a felhasználóiknak. Az újabb kutatások azonban megcáfolják ezen

megállapításokat. Egy frissebb nemzetközi tanulmányban [9] azt állítják, hogy a jegyárak már egyre kevésbé befolyásolják a turisták döntéseit. Ahogyan a fapados járatok már minden egyes repülőtérre elérhetők, nagyobb hangsúly tevődik ismét a távolság komponensére, illetve előnyben részesülnek a hazai repülőterek.

A diszkont légitársaságok rohamos elterjedése Magyarországon is megfigyelhető a MALÉV csődje utáni időszakban [13]. Így a régebbi és újabb tanulmányok összehasonlításával arra a következtetésre jutottam, hogy a fapados légi járatok széles körű elterjedése előtti időkben még a jegyárak voltak meghatározók, azonban ma már a vezetési távolság és az országhatárok elhelyezkedése a nagyobb hatású.

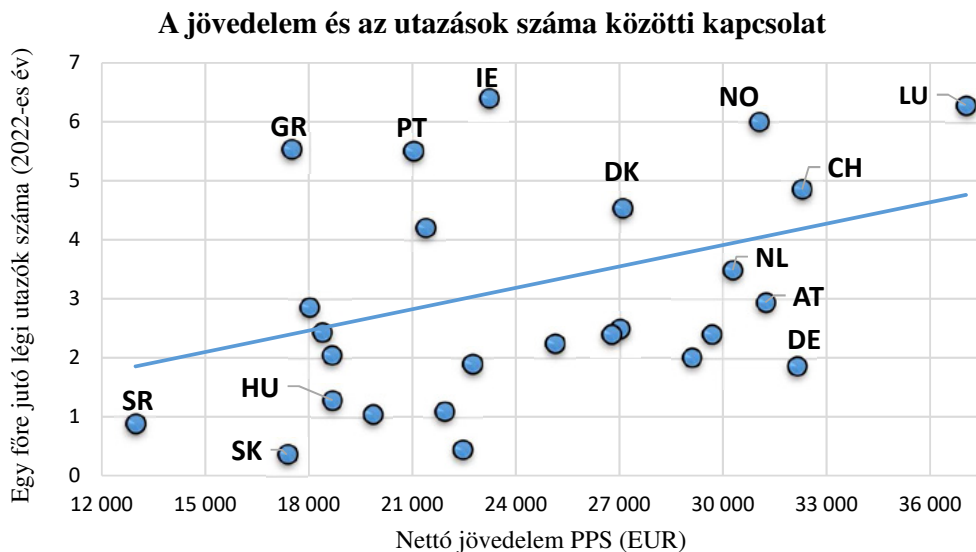
2.2.3. Statikusság

Ahogyan az előző bekezdésben összehasonlítottam két régebbi és két újabb tanulmány eredményét, beigazolhatom, [3], [4] hogy a vonzási körzet nem statikus, hanem időben és térben is változásokon megy keresztül. Ezen változások kiváltó okai lehetnek a repülőtér ajánlatainak, jegyárainak, szolgáltatásainak változása az idők során, illetve a közúti hálózat fejlesztésével és az utak tehermentesítésével is kiterjeszthető a vonzási körzet térben. Egy újabb tanulmány [14] pedig egészen odáig megy, hogy akár hetente, naponta vagy óránként is változáson mennek keresztül a repülőterek vonzáskörzetei, például az elérést akadályozó forgalmi dugók, vagy pedig szezonális akciók, illetve ritkábban elérhető légi úti célok megjelenése következtében.

2.2.4. Jövedelmi összefüggések

A jövedelem alapvető fontosságú az utazási kereslet meghatározása szempontjából, ezért a vonzási körzet kialakulásában is hatalmas szerepet játszik. Az utazási igény szorosan összefügg a jövedelemszinttel, a nagyobb jövedelemmel rendelkezők sokkal többször veszik igénybe a légi utazást [15]. Ez ugyan minden közlekedési ágazatra vizsgálva igaz, de különösen érvényes a légi közlekedésre. Mindezt egy közepes jövedelmű országokkal, köztük Magyarországgal foglalkozó tanulmány [16] is

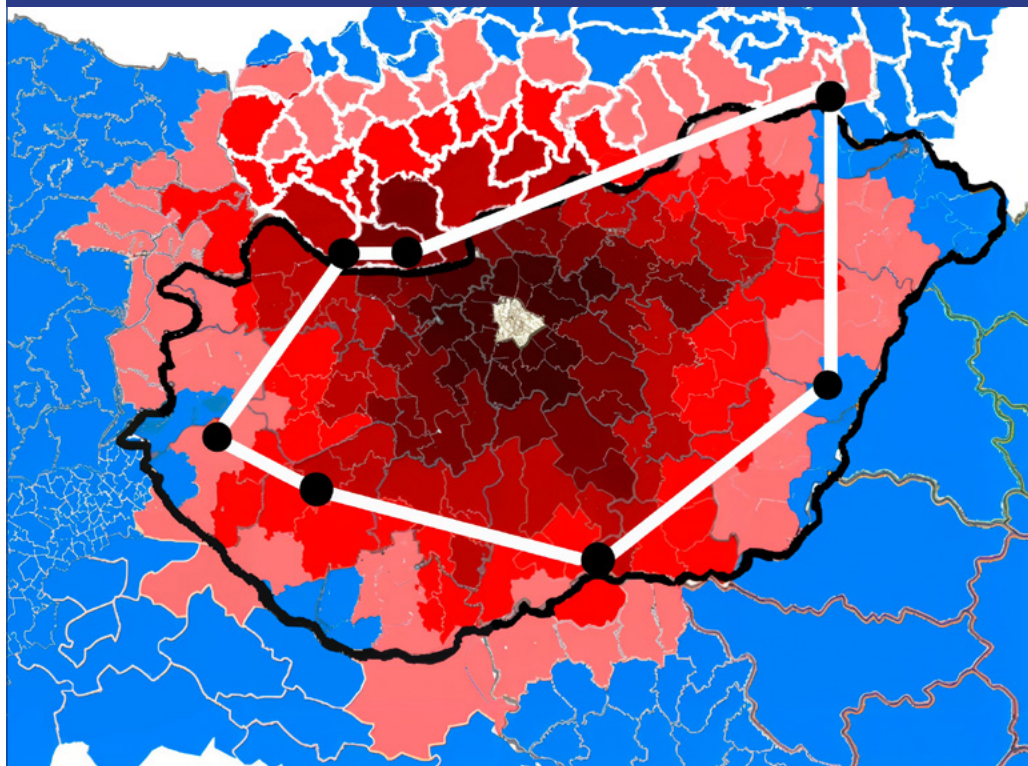
2. ábra: Az egy főre jutó nettó jövedelem (PPS) és az egy főre jutó légi utazások számának kapcsolata az EU országaiban (a relevánsabb országok külön jelölésével)
(forrás: saját szerkesztés (4), (5), (6) alapján)



alátámasztja, amelyben a jövedelemnövekedés hatását vizsgálták a légi utazás iránti keresletre. Megállapításra kerül, hogy a légi utazási kereslet jövedelemrugalmassági tényezője 1 feletti, ami azt jelenti, hogy egy luxuscikkről beszélünk, azaz a jövedelem 1%-os növekedésének hatására a fogyasztó által vásárolt mennyiség jobban növekszik, mint 1%. A légi utazás jövedelemrugalmasságát az adott országokon belül az egyes jövedelmi csoportok között, magas, közepes, és alacsony jövedelműek között is vizsgálhatjuk. A magas jövedelműek drágább árak esetén is hajlandók utazni, míg az alacsony jövedelműeket a pénzhíány az árak alakulásától függetlenül kizárja az utazásból. A legnagyobb jövedelemrugalmassági tényezővel így a középosztálybeliek rendelkeznek, akiket az árak változása bevonhat a légi utazás területére (3). Egy magyar felmérésben a „nem utazók” relatív többsége a pénzhíányra hivatkozott [17]. Ugyanez a tanulmány az utazás három alapvető feltétele közül a diszkrecionális jövedelmet állapítja meg egynek, amely akár egy évben több utazást is lehetővé tehet a

tehetősebb rétegek számára. A növekvő konjunkturális helyzet és a stabil gazdasági alap szintén hozzájárul a légi utazási igény iránti növekedéshez [18]. Ezek alapján elmondható, hogy egy adott régió átlagos 1 főre jutó jövedelme jelentősen befolyásolja a repülőtér régiókra kifejtett vonzó hatását. Mindezek alátámasztására 28 európai ország adatait vizsgáltam. Kigyűjtöttem az országoként 1 évben repülön szállított utasok számát (4), amelyet elosztottam az ország népességszámával (5), így megkapva az egy főre jutó légi utazások számát. A kapott számok kapcsolatát vizsgáltam országoként a vásárlóerő paritáson mért 1 főre jutó nettó jövedelemmel (6). Az adatok koordináta rendszerben történő vizualizációja (2. ábra) egyértelműen igazolja az eddig tett megállapításokat. A trendvonal megfigyeléséből könnyen levonható a következtetés, hogy minél nagyobb az egy főre jutó jövedelem egy adott ország területén, annál nagyobb az egy főre jutó utazások száma is. Minden jel arra utal, hogy mindez kisebb területegységek esetén is hasonlóan működik, hiszen csak a

4. ábra: A két térkép egymásra helyezve
(forrás: 2. és 3. ábra (saját) alapul vételével saját szerkesztés)



kaptam meg azt a 56.421 km²-es területet, amely a versenytársak távolsága alapján a budapesti repülőtér vonzáskörzete (3. ábra). Ez a terület egész Magyarország területének 60 százaléka, azonban nyomokban kiterjed határon túli területekre is. Az eredmény azt hivatott szimbolizálni, hogy ha kizárólag a repülőtértől vett távolságokra hagyatkozunk, és azt feltételezzük, hogy az utazók számára a legvonzóbb alternatíva az, amelyet a leggyorsabban el tudnak érni. Honnan éri meg leginkább repülni az adott területen található lakosnak? Ez a kimutatás természetesen nem azt jelenti, hogy Magyarország területének 6/10 részéről érkeznek csak turisták a repülőtérre, hanem annál inkább azt bizonyítja, hogy teljes Magyarország területéről a magyar repülőtér választása a nyilvánvaló, az országhatárok előbb említett korlátozó hatása miatt. Kapott eredményeimet ráhelyeztem

a vezetési távolságok alapján készített térképre, amellyel egy átfogóbb képet kaptam a vonzáskörzet kiterjedéséről. Az egyszerre két tényezőt is ábrázoló, szemléletesebb térkép (4. ábra) alapján arra következtettem, hogy a hátszágok tekintetében valószínűtlen a magyar repülőtér választása, mivel se a vezetési távolság, se a versenytársak helyzete nem eredményezett a határon túlra kivetített erős vonzást, amely az országhatárok limitáló szerepének ellensúlyozására lenne képes. A fehérrel kijelölt körzeten kívül, még ha Szlovákia egyes járásai a másfél órás vezetési körbe is esnek, számukra kézenfekvőbb a hazai alternatíva választása, rövidebb vezetési idővel és hazai környezettel.

Összevettem magyarországi eredményeimet az egyes külföldi tanulmányokkal, amelyek többsége a nagy területű, több re-

pülőtérrel rendelkező USA-ban az egyes repülőtér vonzaskörzetét vizsgálja [3], [4], [7], [14]. Ennek alapján az USA-ban például kevesebb, mint 45 km távolságra egymástól 3 meghatározó fontosságú repülőtér fekszik New York és New Jersey területén, amelyek könnyen egymást átfedő vonzaskörzeteket eredményezhetnek [10]. Arra a következtetésre jutottam, hogy ezekben az országokban nagy fontossággal bír mind gazdasági, mind a repülőtér tervezési szempontjait figyelembe véve, hogy egy adott turista mely repülőtérrel választja, mivel az ország határain belül több légi utazást kínáló központ verseng az utazók megnyeréséért. Ilyen területeken, ahol az országhatárok nem befolyásolják az utazók döntéseit, és minden repülőtér kis vezetési távolságon belül található, számos más tényező hatása érvényesül. Az utazó anyországa elhagyása nélkül számos szempont alapján hozhat döntést, hogy mely repülőtér szolgáltatásait vegye igénybe. Azonban kelet-közép-európai viszonylatban - és különösen Magyarország szemszögéből - az országhatárok előbb említett jelentőségét, illetve azt tekintve, hogy egy ország többnyire egy kiemelkedően magas utasforgalmat lebonyolító repülőtérrel rendelkezik, a külföldre kivetített vonzaskörzet vizsgálatok jelentősége rohamosan csökken. Fontos még megjegyezni azt is, hogy a kutatások túlnyomó része egy ország területén található vonzaskörzetre koncentrál, feltételezésem szerint az előbbiekben felsorolt okok nyomán. Az eddigi eredményeim és levont összefüggések útján haladva a kutatásomat a budapesti repülőtér Magyarország egyes területeire kivetített vonzásának vizsgálatával folytatnám, amely reményeim szerint számos hasznos területi-fejlettségi összefüggésre rávilágít majd az ország és a budapesti repülőtér között.

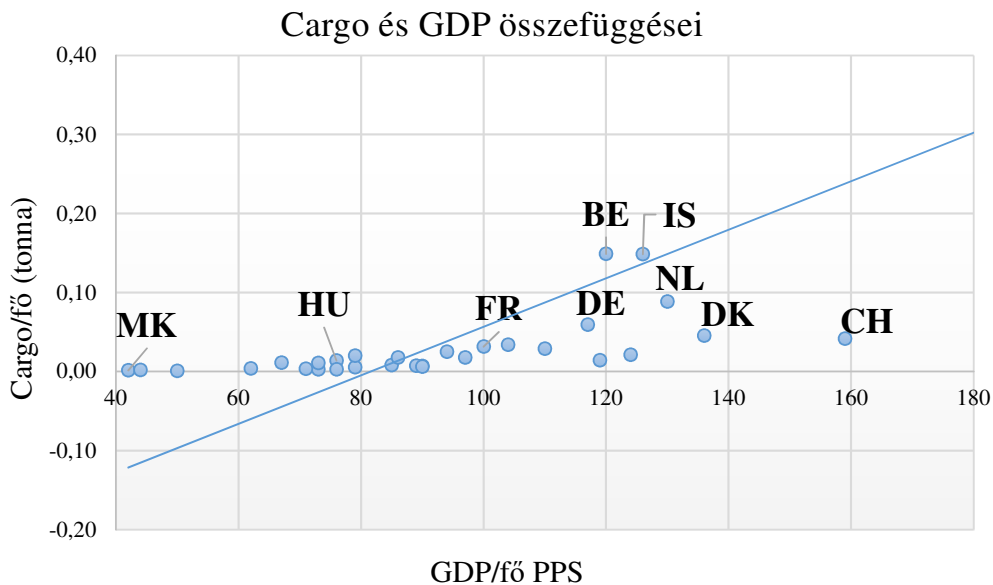
2.2.6. Szállítványozók kapcsolata

A repülőtér magyar régiókra kifejtett vonzásához nem elég csupán az egyes területekről érkezők számával foglalkozni, hanem szükséges az egyéb gazdasági kapcsolatokat is figyelembe venni. Az utasszállítás mellett a repülőtér áruszállítási potenciálja a következő kapcsolódási pont a magyar régiók és a repülőtér között. A

legfontosabb szempont a beszállítók számára még mindig a repülőtértől vett távolság alakulása [19]. Azonban ez az összefüggés igen szoros kapcsolatban áll a gazdasági fejlettségi tényezőkkel, így leegyszerűsítve azt is mondhatjuk, hogy a fejlettség egyenes arányosságban van a repülőtérhez és ezen keresztül Budapesthez való kapcsolódásban, míg a távolság pedig fordított arányosságot mutat. A nagyobb gazdasági fejlettség és a repülőtérre szállított nagyobb tömegű szállítmány korrelációjának bizonyításához 34 ország által egy évben légi úton szállított áru mennyiségét vettem tonnában (16) és ezt elosztottam a lakosságszámmal (5), így megkaptam az egy főre jutó szállítmánymennyiséget. Ennek összefüggését vizsgáltam a vásárlóerő paritáson mért 1 főre jutó GDP tekintetében (17). Mindezt koordinátarendszerben ábrázoltam (5. ábra). A trendvonal és az egyes országok elhelyezkedése alapján egyértelműen megfigyelhető, hogy a gazdasági előrehaladottsággal párhuzamosan egyre nő az elszállított áru mennyisége (tonna)

A repülőtér és a beszállító cégek kapcsolatát leginkább az a kölcsönös viszony jellemzi, hogy a repülőtér a csomagok szállítmányozásából profitra tesz szert, míg a cégek pedig a repülőtérre keresztül nagyobb piacon képesek terjeszteni az áruikat [20]. Bizonytalan gazdasági, illetve társadalmi körülmények között a kapacitások növelése, a nyújtott szolgáltatások innoválása, feladatok átvétele a szállítóktól növelheti a szállítók hajlandóságát, hogy a repülőtérre igénybe vegyék [21]. Ezt a szemléletet veszi át teljes mértékben a budapesti repülőtér a „cargo city” projekt fejlesztésekor. A „cargo city” létesítmény egy innovatív szállítmánykezelő és elosztó logisztikai központ (6. ábra), amely közel 20%-os bővülést jelent a légi szállításhoz kapcsolódó szállítmánykezelési kapacitásban. A projekt hazánkat kelet-közép-európai szinten az egyik legfontosabb légi áruszállítási központtá teheti. Így számos külföldi tőkebefektetést von maga után a légi szállítmánykezelést igénylő iparágakban (autóipar, elektronika, informatika, gyógyszeripar, e-kereskedelem). Említésre méltó még, hogy a Magyarországon kezelt légi áru 99%-a a budapesti repülőtérre fut be, ennek követ-

5. ábra: Egy főre jutó vásárlóerő paritáson mért GDP és az egy főre jutó légi úton elszállított szállítmánymennyiség összefüggései (a relevánsabb országok külön jelölésével) (forrás: saját szerkesztés (5), (16), (17) alapján)



6. ábra: Cargo city (forrás: saját fényképek)



keztében az egyes magyarországi régiók és a repülőtér kapcsolatának vizsgálata elengedhetetlen [22].

Lokálpatriótaként példaként szeretném megemlíteni a BYD szegedi telephelyválasztását is, amely autóipari cékként szoros kapcsolatot fog ápolni a repülőtérrel. Ebből következik, hogy a telephelyválasztására mind a repülőtér távolsága, mind a Szegedi járás gazdasági fejlettsége kihatással van. A friss befektetés hatalmas szerepet játszik majd az ország gazdaságának fejlődésében, azonban tipikusan olyan cégről beszélhetünk, amely a repülőtér hiányában a betelepülésről nagy valószínűséggel lemondott volna [20].

3. A REPÜLŐTÉR ÁLLAMI FELVÁSÁRLÁSA

A Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér állami kézbe kerülésével, a repülőtér egyes fejlesztési céljai sokkal erősebben összhangba kerülhetnek az ország különböző területeinek fejlesztésével és bekapcsolódásával a gazdasági vérkeringésbe. Így fontos egy összetett kapcsolatot látnunk az egyes területekre kivetítve. A repülőtér felvásárlását illető tárgyalások lezárulásával a magyar állam 80 százalékos tulajdonrészt szerzett a repülőtérben, a maradék 20 százalékot pedig a világ legnagyobb repülőtér üzemeltetője, egy francia cég birtokolja. Az állam számos részvényét is értékesítette a nagyobb horderejű cél megvalósítása érdekében (18), (19), (20). Ez egy stratégiai jellegű beruházás az állam számára, amely több állami céllal is összefüggést mutat. Számtalan fejlesztés, mint például a 3. terminál megépítése áll kivitelezés előtt, amelynek következtében a jövőben jelentős utasforgalom növekedés prognosztizálható [22], ez pedig számos további külföldi tőkebefektetést von maga után. Ezen befektetések számára telephelyválasztási szempontból a repülőtérrel való kapcsolat kulcsfontosságú és elsőrendű tényező [20]. Így az egyes régiók repülőtérrel való kapcsolatának vizsgálatát indokoltá teheti a jövőben várt nagy mértékű külföldi tőke beáramlása. Továbbá országunkban számtalan olyan iparág található, amelynek piaca a repülőtér áruszállító hatásán keresztül tágal ki, mint például az autóipar, gyógyszer-

ipar, e-kereskedelmi ipar, és az elektronika [22]. A repülőtér és az ezen beszállító cégek közötti kapcsolat jelentősen befolyásolhatja az ország külkereskedelmi mérlegének alakulását. Stratégiai jellegű továbbá a repülőtér és azzal szoros gazdasági kapcsolatban álló régiók között az infrastrukturális fejlesztések véghezvitele. A kormányzat céljai ösztönzik a légi és a vonalas infrastruktúra által lehetővé tehető szállítási módok közötti kapcsolatok összefűzését, ezzel számos ágazatnak elősegítve a határon túlra kiterjesztett növekedését. A repülőtér olyan fontos infrastrukturális elemet képez, amelynek hiányában egyes nemzetközi vállalatok a letelepedésről lemondának [20]. Magyarországon már pedig a GNI/GDP összehasonlítása alapján is kiemelkedik a nemzetközi vállalatok szerepe, így nélkülözhetetlen, hogy infrastrukturális és egyéb ösztönző tényezőkkel integráljuk őket a repülőtérhez. Az előzőekben megállapított fontossága után a budapesti repülőtér és az egyes régiók összefűződését fogom vizsgálni, amely számos gazdasági és területi összefüggésre is rávilágíthat.

4. MÓDSZERTAN

A vizsgálatomat a „Huff modell” segítségével fogom végrehajtani. Ez a modell a newtoni gravitációs törvényen alapszik, miszerint két test közötti vonzás a két test tömegével egyenesen arányos, és fordítottan arányos a közöttük lévő távolság négyzetével (21). Ennek első felhasználása a vonzáskörzet számoláshoz Reilly nevéhez köthető az 1920-as években, aki nagyvárosok vonzásterületének meghatározására használta a newtoni törvényt [23]. Ezt követően hozta létre Huff a 60-as években modelljét, amelyet kereskedelmi üzletek vonzáskörzetének kiszámítására tervezett. A modell azonban számos területen felhasználható. A repülőterek vonzáskörzetének számítására is tökéletesen alkalmas. A képlet alapvetően két tényezőt használ annak kiszámítására, hogy egy adott lokációban található érdekelt mekkora valószínűséggel fogja az adott kereskedelmi üzletet választani. Az egyik az attraktivitási tényező (S_i), amely hagyományosan a kereskedelmi üzlet alapterületéből származik, míg a távolság (T_{ij}) pedig a potenciális vásárló távolsága az üzlettől [4], [7]. A modell

azon a feltételezésen alapul, hogy nagyobb távolságot is hajlandók vagyunk megtenni, egy számunkra vonzóbb kínálat érdekében. A valószínűség (P_{ij}), amely azt mutatja meg az úgynevezett „multi-airport” régiók esetében, hogy mekkora eséllyel választja az utazó az adott repülőtérrel, jelen vizsgálatomban a repülőtér és az adott terület közötti vonzást, kapcsolatot hivatott képviselni. Ugyanis, ahogyan azt már az előzőekben kapott eredményeimből és az egyes tanulmányok összevetéséből megállapítottam, Magyarország nem tartozik a több repülőtérrel rendelkező régiók közé az országhatárok limitáló hatása következtében. Emellett az országon belüli repülőtereket vizsgálva a budapesti a forgalom 98 százalékát bonyolítja le, így a többi regionális repülőtér hatása elhanyagolható.

4.1. A modell egyes összetevői

A következőkben bemutatom, hogy a repülőtér érintő „Huff modell” vizsgálatok [4], [7], [10], [14] leegyszerűsítve milyen tényezőkkel számolnak (7. ábra), majd ezt követően a saját képlettem kerül bemutatásra.

7. ábra: A „Huff modell” képlete
(forrás: saját szerkesztés Sitong C., 2022, 3. o. ábra alapján)

$$P_{ij} = \frac{\frac{S_j}{T_{ij}^a}}{\sum_{j=1}^n \frac{S_j}{T_{ij}^a}}$$

- P_{ij} : Annak a valószínűsége, hogy az i pontban lévő érdekelt (vásárló, utas, cég) a j repülőtérrel választja
- S_j : A j repülőtér attraktivitási tényezője, leggyakrabban az adott repülőtéren légi járatra felszállt utasok számából kalkuláljuk, egyes régiókra lebontva.
- a : A távolságra kivetett exponens, amelynek értéke általánosságban 1-3

közötti, de az 1,5-2 értékeket tartják a legoptimálisabbnak. A távolabb fekvő területek valószínűségének csökkentésére használatos. A különösen nagy távolságok számításba vételekor meghatározó a szerepe.

- T_{ij} : Az i és j pontok közötti távolság, a tanulmányokban leginkább időben meghatározott vezetési távolság saját járművel.

Elmondható tehát, hogy egy adott hely (üzlet, repülőtér) választásának valószínűségét (P_{ij}) az attraktivitási tényező (S_j) és a távolság (T) hányadosa adja meg, elosztva az összes többi hely hányadosának összegével.

4.2. Saját képlet

A saját képlet kialakítása az attraktivitási tényező (S_j) szempontjából releváns, a többi tényező azonos a fent bemutatottakkal. A „Huff módszer”-es kutatásokat, amelyeket alapul vettem, mind az USA területén valószínűsítették meg, ugyanis itt nyilvános adat az egyes területi egységekből érkező utasok száma és a szállítmány mennyisége [4], [7], [10], [14]. Magyarországon azonban a repülőterekre egyes tervezési egységekből érkezők száma nem nyilvánosan elérhető adat. A repülőtértől történő adatkérés nagyjából 3-6 hónapot vett volna igénybe, tekintve az adatok összetettségét és a strukturálás szükségességét, illetve számolva azzal, hogy számos adatigénylési kérelem fekszik már előttem a listán. Mindez pozitív feltételezés, mivel az is valószínűtlen, hogy egyáltalán biztosítják számomra a kért adatokat, bizalmassági problémák miatt. Azonban ez nem is okoz problémát, mivel a saját képlettem szerinti kutatás sokkal inkább rávilágít az egyes magyar területek és a repülőtér közötti kapcsolat elmélyültségére. Az S_j tényező kalkulálásakor az eddigi kutatási eredményeimet vettem figyelembe, miszerint kiválogattam a legrelevánsabb tényezőket, amelyek a legracionálisabb kapcsolatot állíthatják fel a budapesti repülőtér és az egyes régiók összefüggéséből. Ezek a következők: jövedelem, gazdasági és társadalmi fejlettség, iparosodottság és a repülőtér cargo beszállítóinak száma az egyes

területegységeken. Ezen tényezők mérőszámait fogom tömöríteni az S_j attraktivitási tényezőbe. Természetesen a másik legfontosabb és legobjektívebb összetevő az eredményeim szerint a távolság, azonban ez már szerepel az előzőekben is.

4.3. A vizsgált területegységek

Az eredmények torzulása és a nagy területre történő általánosítás elkerülése céljából minél kisebb területegység kiválasztására törekedtem. Ezen okokból a járási területek vizsgálatát találtam ideálisnak, ugyanis ezen a szinten figyelhetők meg leginkább az egyes területi összefüggések, és ugyan ritkásan, de még állnak rendelkezésre adatok járási lebontásban. Magyarország 174 járására külön adatot fogok számolni, amelyek meghatározzák az egyes járások és a repülőtér kapcsolatának szorosságát. Ezzel a területegységgel fogok dolgozni a kutatásom végéig, eredményeimet nem aggregálok nagyobb területegységekre más jellegű konklúzió levonása végett. Ezen területegység változtatások ugyanis, mint például a járási adatok megyei szintre történő kivetítése, könnyen a módosítható területi egység problémájához vezethetnek, amely az adatok eltolódását eredményezheti [2], (22). Az egyes járásokból Budapest leggyorsabb elérési idejét közlón a TEIR (2) adatbázisból gyűjtöttem ki. Az eddigi vonzáskörzet kutatásokhoz igazodóan az adat percben van megadva, tehát megfelel a szakirodalomban fellelhető standardnak. A „Huff modell” determinisztikus megközelítése az egyik leghatékonyabb megközelítése lehet a repülőtér vonzásának, amíg reális térbeli léptékkel dolgozunk [7], [10] mivel túl nagy területek vizsgálatakor az eredmények torzulhatnak. Magyarországon belüli vizsgálatunk még éppen megfelel következtetésem szerint a pontosan vizsgálható terület nagyságának. A legnagyobb torzulást így kiküszöbölheti kutatásom, amely a távolság egyes körökben történő elvágásából, és az „a” exponens megválasztásából adódik. Egy friss tanulmány [10] ábráit megfigyelve is láthatjuk, hogy ezen értékek megváltoztatása jelentős változásokat eredményez a számítás végeredményében. Megállapítása szerint 500 kilométeres zónán kívüli távolságvágás a legrealisabb érték, 2-es exponenssel párosítva, de

mivel Magyarországon nem beszélhetünk ekkora távolsági léptékről, így számításunkból az „a” exponenst teljes mértékben kihagyjuk, ezzel pontosabb eredményeket kapva. Előző megállapításomat azzal támasztanám alá, hogy számításomat az exponens figyelembevételével kezdtem meg, azonban így kapott eredményeim jelentősen eltolódtak az exponens használatánálkülökhöz képest.

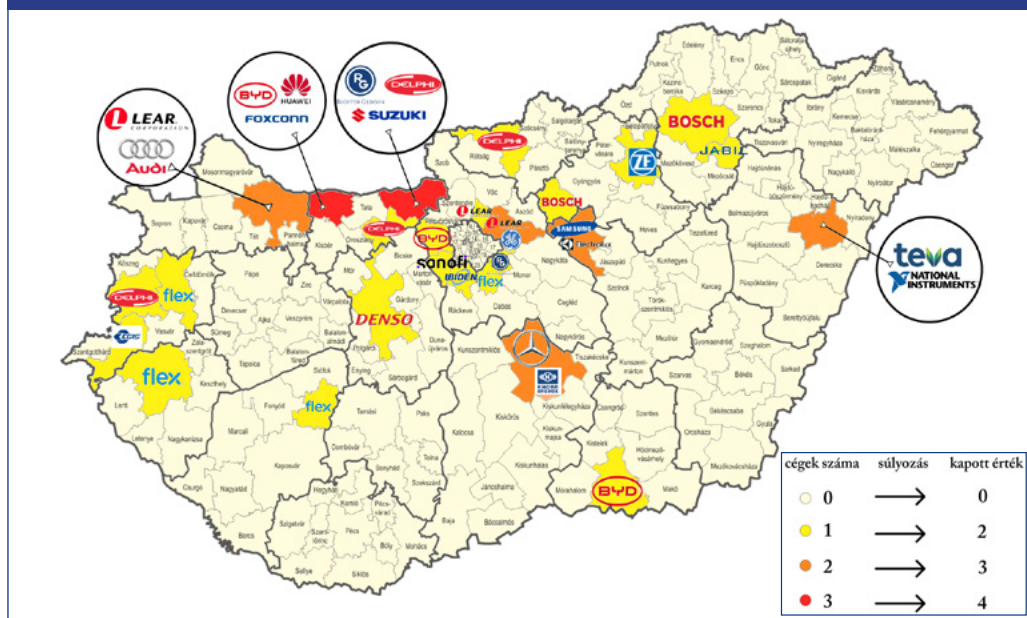
4.4. Adatok

Miután az előbbiekben megállapítottam az attraktivitási komponens (S_j) kiszámításához szükséges legfontosabb tényezőket, számos statisztikai oldalt átböngésztem, hogy ezen megállapításomhoz illeszkedő adatokat tudjak gyűjteni. Az egyes rendelkezésre álló mutatók és mérőszámok értékelése és az általam meghatározott tényezőkkel történő kapcsolat vizsgálata után a következő 4 mérőszámra esett választásom:

- **Egy lakosra jutó SZJA adóalapot képező belföldi jövedelem** (röviden: J) (23): A jövedelem és utazási hajlandóság összefüggéseit már feltártuk. A nagyobb jövedelmű régiókkal, a nagyobb utazási igény következtében szorosabb kapcsolat várható. Nem beszélve a tágabb összefüggésekről, mint a fejlettebb gazdaság, ezen keresztül több logisztikai, repülőtérrel kapcsolatban álló vállalat.
- **Helyi önkormányzat egy lakosra jutó iparüzési adó bevétele, 1000 Ft-ban** (röviden: IAB) (24): Az egy járáson belüli előállított értékkel áll összefüggésben. Magas értéke sok esetben az iparosodottsággal és a repülőtéri beszállító cégek jelenlétével függ össze. Magyarországon ugyanis a transznacionális vállalatok a leggyakoribb beszállítói a repülőtérnek, akiket magas előállított érték képvisel. Ezen cégeknek áll szándékában a munkafolyamatok összeköttetése és áruik nagyobb területen történő értékesítése, mint országunk piacai [20]. A magas iparüzési adó továbbá összefüggést mutat a nagy cégsűrűséggel is. A repülőtér vonzásában nagy a cégsűrűség, és ezen cégek tekintetében rendkívül nagy

8. ábra: A legnagyobb reptérre beszállítók elhelyezkedése

(forrás: saját szerkesztés (9), (26) alapján)



azoknak az aránya, akik igénybe is veszik a repülőtérrel [8].

- **Járási fejlettségi mutató** (röviden: JFM) (25): Ez az indikátor 22 különböző társadalmi, gazdasági, infrastrukturális mutató összesítéséből ered, így átfogó képet ad a járás fejlettségéről. Az indikátor figyelembevétele a számoláskor azt a célt szolgálja, hogy az előrehaladottság egy komplex mutatója is helyet kapjon a csupán egy dolgot kiemelő tényezők között. Az ország vérkeringésébe történő infrastrukturális bekapcsolódás, az álláskeresőkre, a vállalkozások sűrűségére vonatkozó mérőszámok a 22 mutató több mint felét kiteszik, így reális képet kapunk a járás összetett fejlettségéről, ami az említettek szerint elengedhetetlen a kapcsolat vizsgálatokhoz. Az indikátor részletes összetevőit a függelékben tüntetem fel.
- **Repülőtérnek beszállító vállalatok** (röviden: V) (26): Egy „Huff modell”-es vizsgálat az attraktivitási tényező tekintetében

nem csupán az utas számmal dolgozik, hanem egy tisztább kép érdekében a vizsgált terület egységekről beérkező szállítmány nagyságát is vizsgálja [7]. Ez a módszer világít rá talán legjobban az egyes térségek és a repülőtér kapcsolatára, ugyanis a logisztikai, illetve repülőtéri beszállító vállalatok telephelyválasztását nagyban befolyásolja a repülőtér infrastrukturális elérhetősége [20]. Ezért a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér honlapján megtalálható legnagyobb repülőtéri beszállítókat ábrázoló térkép (26) (ezen kívül természetesen más, kisebb beszállító cégek is léteznek országszerte) alapul vételével megkerestem a Magyarország területén található beszállítóik gyáregységeinek, illetve logisztikai központjainak pontos elhelyezkedését. A vállalati irodákat figyelmen kívül hagytam, ugyanis innen nem érkezik áru, ezek a telephelyek maximum a logisztikai döntések meghozására használatosak, ami még mindig eléggé tág kapcsolat figyelembevételéhez. A megkapott telephelyeket tüpontosággal az egyes járásokhoz rendel-

tem (8. ábra). (Ez csupán azért volt problémás, mert egyes beszállítóknál előfordult, hogy szinte a járások menti határvonalon volt fellelhető telephelyük, így az egyes járások aprólékos elválasztása elengedhetetlen volt.)

Az alábbi adatok összeegyeztethetősége érdekében mindegyik adat a 2019-es naptári évből származik, mivel ez az a legfrissebb év, amelyből rendelkezésre állt minden adat. Ezen felsorolt tényezőkből áll össze saját képletem (9. ábra).

9. ábra: Saját képlet
(forrás: saját szerkesztés)

$$P_{ij} = \frac{\frac{J_i + IAB_i + V_i + JFM_i}{T_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \frac{J_i + IAB_i + V_i + JFM_i}{T_{ij}}}$$

4.5. Súlyozás

Az egyes mutatók átlagos értékeivel szeretném demonstrálni a gyűjtött adatok alapvető összeférhetetlenségét és összeegyeztethetlenségét:

- átlagos jövedelem: 1 362 348 Ft/fő
- átlagos iparüzési adó: 47 958 Ft/fő
- átlag járási fejlettségi mutató (JFM) (az index 1-5-ig terjed): 2,99
- repülőtér beszállító: 0,2/járás

A matematika terén kevésbé járatosak számára is látható, hogy az egyes mutatók így módon nem írhatók be a képletbe a mértékegységek különbsége és az összehasonlíthatatlanság miatt, így súlyozás szükséges. A súlyozási módszer tekintetében, minden tényezőhöz hozzárendeltem egy 1-től 5-ig terjedő osztályzatot. A JFM mutató újrasúlyozása szükségeltelenné vált, hiszen ezen mutató értéke is 1 és 5 között mozog. Így már csak a 3 másik mutató súlyozására volt szükségem. Mind-

három mutatóhoz egyenként 174 járási érték kapcsolódik. A 174 értéket jövedelem és iparüzési adó tekintetében növekvő sorrendbe állítottam, így az adott mutató viszonylatában a leggyengébb értéket produkáló járás állt mindig a sor legelején és a legerősebb járás pedig a sor legvégén. A 174 járást mindkét esetben ugyanannyi számból álló öt csoportra osztottam, azonban 174 nem osztható 5-tel maradék nélkül, így 4 darab 35 értéket tartalmazó csoport jött létre és 1 darab 34 értékből álló csoport. A 34 értékből álló csoportot szándékosan mindkét esetben a legnagyobb értékkel rendelkező járások kapták. Az első legkisebb mutatószámokkal rendelkező 35 járáshoz az 1-es értéket rendeltem hozzá, a következő csoport, amely egy fokkal már nagyobb mutatószámokkal rendelkezett a 2-es értéket kapta, ezen elven haladtam tovább a 3-as, és 4-es érték hozzárendelésénél is, majd az utolsó legnagyobb mutatókkal rendelkező, már csak 34 elemből álló csoport kapta az 5-ös értéket. Külön módszer alkalmazására szorultam rá azonban a jelentős méretű repülőtéri beszállító vállalatokat illetően. Egy járás területén található nagy méretű beszállítók száma 0-tól 3-ig terjed. Az olyan járásokhoz, amelyek nem rendelkeztek ilyen beszállítóval, a 0 értéket rendeltem. Az egy beszállítóval rendelkező járások 2-es értéket kaptak, a 2 beszállítóval rendelkezők 3-as pontszámot, míg a 3 beszállítóval büszkélkedők 4-es értékkel lettek számításba véve. A beszállítók egyéni súlyozási rendszerét a másik 3 mutatóhoz viszonyított értéke alapján kalibráltam. A legnagyobb értéknövekedést nyilván 0 és 1 beszállító közé állítottam be, mert itt a járás már magáénak tudhat olyan vonzó tényezőket, amely miatt egy beszállító már megtelepedett területén, így a jövőben akár esélyes lehet még több vállalat érkezése is. 2 és 3 beszállító esetén azért jóval kisebb a hozzárendelt érték növekedése, mert itt már nagy valószínűség szerint ugyanazokra a kedvező tényezőkre települtek rá a cégek (jó összeköttetés, kapcsolatok, együttműködések, gazdasági fejlettség). Az utolsó tényező súlyozása a befektetési szempontokat alapul véve történt, ugyanis az ábránk különböző jövőbeli külföldi tőkebefektetések szempontjából is értékes rálátásokat biztosíthat majd.

10. ábra: Vecsési és Cigándi járás számításai (forrás: saját szerkesztés, saját eredmények alapján)

Vecsési járás				Cigándi járás			
mutató neve	eredeti érték	súlyozás típusa	súlyozott érték	mutató neve	eredeti érték	súlyozás típusa	súlyozott érték
IAB	109 440 Ft	súlyozási módszer 1	5	IAB	7 410 Ft	súlyozási módszer 1	1
J	1 784 368 Ft	súlyozási módszer 1	5	J	907 860 Ft	súlyozási módszer 1	1
JFM	4,36	súlyozás szükséges	4,36	JFM	1,73	súlyozás szükséges	1,73
V	2 (knorr bremse, richter)	súlyozási módszer 2	3	V	0	súlyozási módszer 2	0

$$P_{ij} = \frac{\frac{J_i + IAB_i + V_i + JFM_i}{T_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \frac{J_i + IAB_i + V_i + JFM_i}{T_{ij}}} = \frac{\frac{5 + 5 + 3 + 4,36}{37,22}}{\sum_{j=1}^{174} \frac{17,42}{17,42}} = 0,0268$$

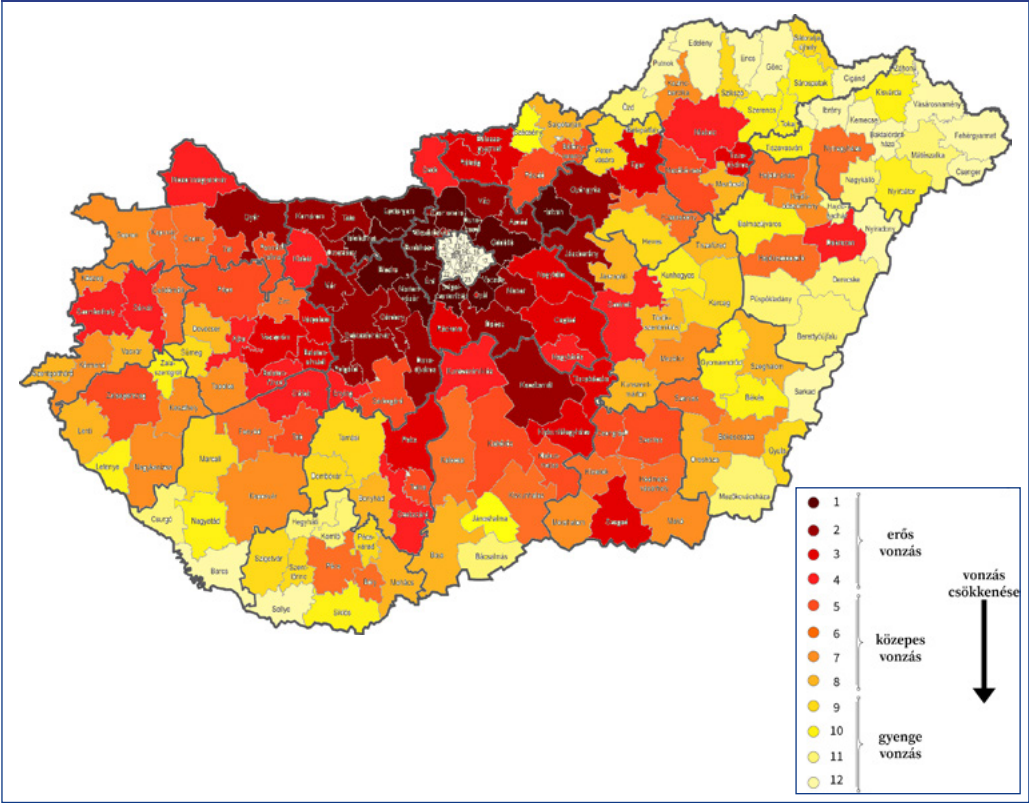
$$P_{ij} = \frac{\frac{J_i + IAB_i + V_i + JFM_i}{T_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \frac{J_i + IAB_i + V_i + JFM_i}{T_{ij}}} = \frac{\frac{1 + 1 + 1,73 + 0}{206,38}}{\sum_{j=1}^{174} \frac{17,42}{17,42}} = 0,00103$$

4.6. Számítás

A legerősebb és leggyengébb értékkel rendel-

kező járásra kivetítve szeretném bemutatni a számolás folyamatát, hogy érthető legyen, pontosan hogyan áll össze a képletünk. Ered-

11. ábra: A „Huff modell”-es számolás eredményei (forrás: saját szerkesztés, saját eredmények alapján, [8.]

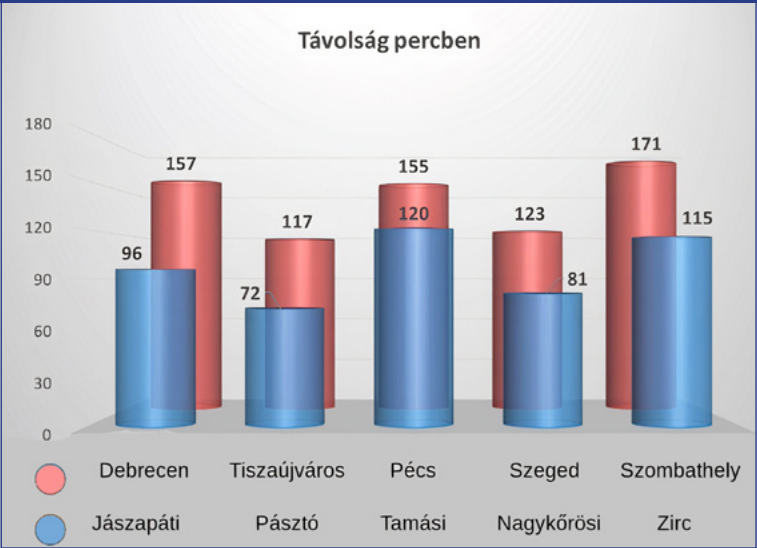


ményeim alapján a legnagyobb vonzást a repülőtér a Vecsési járáshoz fejejt ki, amelynek távolsága 37,22 perc. A leggyengébb kapcsolat pedig a Cigándi járás és a repülőtér között áll fent, távolságuk 206,38 perc (10. ábra). A 174 járás értékét ugyanezen módszerrel kalkuláltam ki, a kapott eredményeimet térképen ábrázoltam, hogy szemléltessem az egyes gazdasági-területi kapcsolatokat. A térkép színbeosztásához 12 azonos elemszámú csoportra osztottam a járásokat nagyság szerint, így az első szín-csoportba a legnagyobb értékkel rendelkező járások jutottak, míg a tizenkettedikbe pedig a legkisebb értékkel büszkélkedők. Az eredményeim a 11. ábrán láthatóak.

4.7. Szigetszerű központok

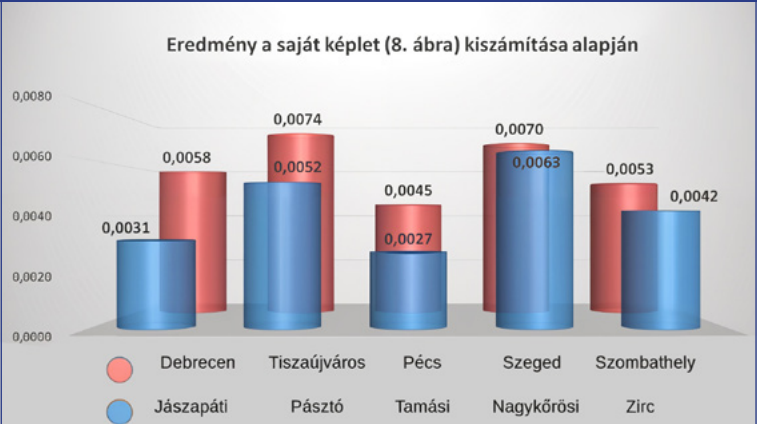
Az elkészült térképem alapján kiválasztottam néhány járást, amelyek kapcsolatának erőssége a repülőtérrel pozitív irányban eltér a környezetükben található járásoktól. Ezeket szigetszerű központoknak neveztem el. A fejlettebb járásokat az ábrákon látható módon párba állítottam egy megegyező irányban található, azonban gyengébb kapcsolatot ápoló „világosabb” járással. Ezzel azt szeretném szemléltetni, hogy a fejlettség (13. ábra) ellensúlyozza a fővárostól vett nagy távolságot (12. ábra), és

12. ábra: Az egyes járás párok távolsága a reptértől
(forrás: saját szerkesztés, saját eredmények alapján, [2.]

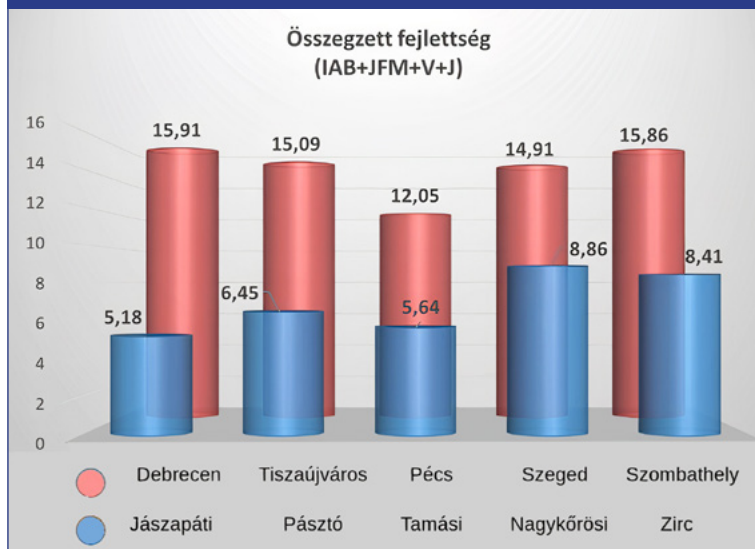


a képlet kiszámítása után (14. ábra) ezekre az „előrehaladottabb” járásokra erősebb vonzást fog gyakorolni a repülőtér, mint a közelebb fekvő, de fejletlenebb társaikra. A szigetszerű központok összekötő infrastruktúrájának fejlesztésével és a befektetések ezen helyekre ösztönzésével országunk decentralizáltabbá válhat.

13. ábra: Járáspárok összegzett fejlettsége
(forrás: saját szerkesztés, saját számolások alapján)



14. ábra: A képlet kiszámítása utáni eredmények
(A 11. ábrán ábrázoltak)
(forrás: saját szerkesztés, saját számolások alapján)



5. ÉRTÉKELÉS, INTERJÚ

A végső eredményeim jelentőségéről, értelmezéséről és azok felhasználási területeiről Rónavári-Kedves Lászlóval beszélgettem el egy interjú keretében. László a XVIII. kerületben található InnoK Innovációs Központ megszervezője és projektvezetője, a Városrehabilitáció18 Nonprofit Zrt. alvezérigazgatójaként dolgozik, már több mint 25 éve a városfejlesztés területén (27). A beszélgetésünk a repülés közlekedésre gyakorolt hatásainak megvitatásától indult. Rónavári-Kedves László állítása szerint a közlekedési forradalom, amely az 1980-90-es években játszódott le a repülés térnyerésével nagyban hozzájárult a globalizáció folyamatához, amelynek keretében a termelés és egyes vállalatok tevékenysége világszintűvé vált (2.8. fejezet). Ezzel párhuzamosan megjelentek a diszkont légitársaságok, és „nagyon sok ember számára elérhetővé vált a repülés élménye, mindennek jelentős össztársadalmi és környezetkárosító hatása van” (2.4.). Ezt követően rátértünk az elkészült térképről (11. ábra) leolvasható egyes területi különbségek vizsgálatára. Ahogyan azt már említettem, az infrastruktúra és közlekedésfejlesztés so-

rosan összefügg a repülőtérrel (3.0.), amely az egyes beszállítók (2.8.) megtelepülésével is szoros kapcsolatban áll. Ezzel kapcsolatban László a vasúthálózat kiemelt fejlesztését hangsúlyozta, ugyanis véleménye szerint a logisztika, szállítás területén manapság már nem feltétlen csak az a legfontosabb, „hogyan a legolcsóbban tegyük ezt, hanem elfogadható áron, de társadalmilag és környezetileg is hasznos módon, a vasúti bővítés emiatt üdvözlendő.” A vasúthálózat bővítése, fejlesztése az elszigetelt központok tekinté-

ben kiemelkedő fontosságú, ugyanis ezzel csökkenthető országunk centralizáltsága és további tökebefektetések vonhatók be a fővárosunkon kívül eső területekre. A repülőteret igénybe vevő befektetések területén alapvető fontosságú a repülőtér közelsége, így a legszorosabb kapcsolatot fenntartani kívánó cégek az 1-es zónában (11. ábra), illetve a XVIII. kerületben fognak megtelepülni. László kiemelte, hogy ezen területeken koncentrálódik legnagyobb mértékben a tőke és a fejlett munkaerő, így a színezések közötti kontrasztok az elkövetkezendő években valószínűsíthetően még erősebbé válnak. Mindez az elmaradottabb területek, illetve a „szigetszerű központok” vasúti bekötésének fejlesztésével ellensúlyozható, avagy László szavaival élve „A befektető odamegy, ahova tud gurulni a pénze.” A repülőtérre beszállító cégek a vasútfejlesztéssel a távolabbi területekről is képesek lesznek nagy mennyiségű árut a repülőtérre és ezáltal külföldre eljuttatni. Ezzel közvetlen összefüggésben azt is említette, hogy szemléljük csak meg az M0-s autópálya környékét, ahol számtalan logisztikával foglalkozó cég települt már meg a repülőtér jó elérhetősége miatt is (8.

ábra). Ezen jelenség kiterjesztése a távolabbi területekre elősegítheti a regionális fejlődést. Azonban a fehér (11,12-es színezés) területek László szerint nem feltétlen az infrastrukturális összekapcsoltság következtében fognak bekapcsolódni az ország vérkeringésébe, mivel településfejlesztésileg hátrányos térségek közé tartoznak, és nincs bennük befektetési potenciál azon kívül, hogy „olcsók”. Számukra például a falusi turizmus és a szoros együttműködések hozhatnak gyümölcsöző eredményeket. Mindezek alapján, ha egy transznacionális vállalat (számukra leggyakrabban kulcstényező a repülőtér) magyarországi telephelyének kiválasztásán töpreng, térképeink (8. ábra, 11. ábra) értékes rálátásokat biztosíthatnak számára a döntés meghozatalában. Ezután turizmusmarketinggel kapcsolatos kérdésekről is kikértem László véleményét, mivel neve több, a témához szorosan kapcsolódó tanulmánnyal is összefüggésbe hozható. Mivel térképünk (11. ábra) a jövedelmet és a társadalmi fejlettséget is vizsgálja, így ezen területeken is hasznosnak bizonyulhat. Alapvető, hogy a „gazdagabb”, sötétebb (1-6. színezésű) járásokban nagyobb a légi utazás iránti igény, így más turizmusmarketing eszközök bevetése javasolt, mint a „szegényebb”, világosabb (7-12. színezésű) járásokban. Ahogyan azt László is mondta: „Legdrágább a meglévő ügyfelet elveszíteni (az üzlet világában)”. Ezen elv alapján véleménye szerint az összes marketinges azt a stratégiát alkalmazná, hogy a „gazdagabb” járások lakosait (meglévő ügyfelek) venné rá egy év alatt akár többszöri légi utazásra, minthogy a „szegényebb” járásokban élőkét újoncként csábítsa a légi utazás piacára (2.6). Persze, nem lehet ezt ennyire kategorikusan kijelenteni, mivel minden járás területén megtalálhatók különböző jövedelmű egyének, viszont nagy vonalakban ez az igazság érvényes.

6. ÖSSZEGZÉS

Kutatásom eredményeként megállapítottam, hogy a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér nem rendelkezik jelentős határon túli vonzáskörzettel. Ez az ország-határok limitáló szerepének, a nagy veze-

tési távolságoknak és a repülőtér egyes versenytársai elhelyezkedésének köszönhető. A diszkont légitársaságok széles körű elterjedtsége is jelentősen hozzájárul az előbb említett tényezők fontosságához. Az ezt követő, járások kapcsolódását érintő vizsgálatom során vizualizáltam, hogy mely járások kapcsolódnak legszorosabban, illetve leggyengébben a repülőtérhez, ezen keresztül pedig Budapest egészéhez. A számítások világosan reprezentálják, hogy a fejlettebb területek még a nagyobb távolság ellenére is erősebben kapcsolódnak a repülőtérhez, míg a leszakadó, elmaradott járások a közelebbi elhelyezkedésük ellenére is csak kevésbé tudtak bekapcsolódni a gazdasági vérkeringésbe. Ennek következtében számátalan terület- és településfejlesztési, illetve gazdasági-társadalmi összefüggést is megfigyelhetünk. Nem beszélve arról, hogy térképünk a turizmusmarketing, infrastruktúrafejlesztés és külföldi befektetések területén is sok mindenre rávilágít. A külföldi tőke és a legnagyobb gazdasági fejlettség egyértelműen országunk középső területeire összpontosul, de a szigetszerű központok képesek lehetnek kiegyenlíteni a mérleget. A jövőben egy teljes körű, nagyobb szabású vizsgálatot szeretnék lefolytatni, amelyben a környező országok repülőtereinak Magyarországra kiterjedő vonzáskörzetét számíttanám ki. Ezzel Kelet-Közép-Európa teljes utasáramlása rekonstruálható lenne. Emellett megkísérelném megszerezni a repülőtértől az 4.2. fejezetben említett adatokat, az egyes járásokból érkező cargo mennyiségét és utasszámot, ezzel ismételten elvégezném a „Huff-modell”-es számításaimat és a végső eredményeimet összevetném ezen kutatás eredményeivel, ezzel még tovább pontosítva a repülőtér és járások kapcsolatának átfogó képét. **A számítások megerősítik azt a megállapítást, hogy a repülőtér nem csupán közlekedési eszköz, hanem híd a gazdasági-társadalmi kapcsolatok felé is, amely új perspektívákat képes megvilágítani az egyes innovatív fejlesztési célok tekintetében.**

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Heilauf Zsuzsanna (2013): Ég és föld, Polgári repülés Budapest 18. kerületében, Tomory Lajos Pedagógiai és Helytörténeti Gyűjtemény – Kondor Béla Közösségi Ház és Intézményei, Budapest
- [2] Pere Suau-Sanchez , Guillaume Burghouwt, Montserrat Pallares-Barbera (2014): An appraisal of the CORINE land cover database in airport catchment area analysis using a GIS approach, *Journal of Air Transport Management* 34, 12-16, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2013.07.004>
- [3] Sen Wang, Yi Gao, Ningning Nicole Kong, Jin Wei-Kocsis, Gavin Duncan, Daniel Skwarek, Levi Anstine (2022): Toolkit for establishing catchment areas, *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*, Washington, DC, DOI: <https://doi.org/nbjn>
- [4] Joel Heilman (2017): Spatial competition in airport markets: An application of the Huff model, *Dissertations and Theses @ UNI. 465.*, University of Northern Iowa
- [5] Edoardo Marcucci, Valerio Gatta (2011): Regional airport choice: Consumer behaviour and policy implications, *Journal of Transport Geography* 19, 70–84, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2009.10.001>
- [6] Rogier Lieshout (2012): Measuring the size of an airport's catchment area, *Journal of Transport Geography* 25, 27–34, DOI: <https://doi.org/10.17226/27424>
- [7] Sitong (Suzy) Chen, Dr. Nicole Kong, Shirley Li (2022): Modelling airport catchment areas (Using a spatial analysis approach) *Journal of Purdue Undergraduate Research: Volume 12, Fall 2022*, 12-19, DOI: <https://doi.org/10.7771/2158-4052.1560>
- [8] Baltazar, M.E., Silva, J. (2019): Airports Catchment Area Size Definition: a Portuguese Case Study, *Air Transport Research Society 23rd World Conference*, July 2-5, Amsterdam, Netherlands, DOI: <https://doi.org/10.1080/10548408.2016.1250698>
- [9] Dejan Paliska, Samo Drobne, Giuseppe Borruso, Massimo Gardina, Dasa Fabjan (2016): Passengers' airport choice and airports' catchment area analysis incross-border Upper Adriatic multi-airport region, *Journal of Air Transport Management* 57, 143-154, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.07.011>
- [10] Carmen Huber, Alexander Watts , Ardath Grills , Jean Hai Ein Yong , Stephanie Morrison , Sarah Bowden, Ashleigh Tuite, Bradley Nelson, Martin Cetron , Kamran Khan (2020): Modelling airport catchment areas to anticipate the spread of infectious diseases across land and air travel, *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* 36, 100380, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sste.2020.100380>
- [11] Nadine Pantazis, Ingo Liefner (2006): The impact of low-cost carriers on catchment areas of established international airports: The case of Hanover Airport, Germany, *Journal of Transport Geography* 14, 265–272, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2005.05.002>
- [12] Kurt Fuellhart (2003): Inter-metropolitan airport substitution by consumers in an asymmetrical airfare environment: Harrisburg, Philadelphia and Baltimore, *Journal of Transport Geography* 11, 285–296, DOI: <https://doi.org/fhzwmnd>
- [13] Dudás Gábor, Boros Lajos, Pál Viktor, Pernyész Péter (2016): A költségtávolság alakulása a diszkont és a hagyományos légitársaságok repülőjegy árai alapján, Budapest példáján, *Tér és Társadalom* 30. évf., 2. szám, 108-132, DOI: [10.17649/TET.30.2.2732](https://doi.org/10.17649/TET.30.2.2732)
- [14] Filipe Marques Teixeira, Ben Derudder (2021): Spatio-temporal dynamics in airport catchment areas: The case of the New York Multi Airport Region, *Journal of Transport Geography* 90, 102916, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102916>
- [15] Dr. Borotvás Elemér, Dr. Veroszta Imre (1993): *Közlekedéstudományi szemle*, XLIII. évfolyam, 11. szám, 401-418
- [16] Victor Valdes (2015): Determinants of air travel demand in Middle Income Countries, *Journal of Air Transport Management* 42, 75-84. DOI: <https://doi.org/f6xdrm>
- [17] Csapó János (2020): A nemzetközi és hazai turizmus legújabb keresleti trendjeinek bemutatása elméleti és gyakorlati megközelítésben, Pécsi Tudományegyetem, Közgaz-

daságtudományi Kar, Pécs

- [18] Dr. PhD Darabos Éva (2015): A Turizmus-vendéglátás gazdasági és pénzügyi vetületei Magyarországon és az európai országokban, Köztes Európa 7. évfolyam, 1-2. szám, 40-56
 - [19] Slavica Do'zi'c Danica Babi'c, Mili-ca Kali'c , Stefan 'Zivojinovi'c (2023): An AHP approach to airport choice by freight forwarder, Sustainable Futures 5, 100106, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2023.100106>
 - [20] Erdősi Ferenc (1999): Légi közlekedés és területi fejlődés, Tér és Társadalom, XIII. évf. 1999, 4. szám, 45-76
 - [21] Fatih Ecer, G'okhan Tanrıverdi, Mehmet Sahin Durak (2022): Exploring factors affecting airport selection during the COVID-19 pandemic from air cargo carriers' perspective through the triangular fuzzy Dombi-Bonferroni BWM methodology, Journal of Air Transport Management 105, 102302, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtran.2022.102302>
 - [22] Kpmg Tanácsadó Kft. (2023): A Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér gazdasági hatásait bemutató tanulmány (https://www.bud.hu/file/documents/7/7477/kpmg_tanulmany_2023.pdf)
 - [23] Kincses Boglárka (2017): Hazai vonzáskörzet-vizsgálatok kialakulása, irányvonalai – szakirodalmi áttekintés, kiemelt tekintettel az oktatásföldrajzra, Településföldrajzi Tanulmányok, 6. évfolyam, 2. szám, 25-40
- <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ttr00012/default/table?lang=en> (utolsó letöltés: 2023. 12. 29. 14:30)
- (5) Egyes országok népessége (2022) https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/demo_pjan/default/table?lang=en (utolsó letöltés: 2023. 12. 29. 14:40)
 - (6) Háztartások egy főre jutó bruttó rendelkezésre álló jövedelme vásárlóerőparitáson (2022) <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tec00113/default/table?lang=en> (utolsó letöltés: 2023. 12. 29. 14:45)
 - (7) Európai repülőterek térképe utazószám alapján https://www.reddit.com/r/flightsim/comments/fp34fw/very_cool_map_of_european_airports/ (utolsó letöltés: 2023. 12. 31. 11:10)
 - (8) Airport Cooperative Research Program: Defining an Air Service Catchment Area https://crp.trb.org/wp-content/uploads/sites/7/2016/10/E1_Tool2-DefiningAirServiceCatchmentArea.pdf (utolsó letöltés: 2023. 12. 30. 9:10)
 - (9) Magyarország járásai térkép <https://assets.4cdn.hu/kraken/6okzTo2wBPloT2I9s.png> (utolsó letöltés: 2023. 12. 26. 17:10)
 - (10) Szlovénia járásai térkép https://sl.wikipedia.org/wiki/Ob%C4%8Dina#/media/Slika:Obcine_Slovenija_2006.svg (utolsó letöltés: 2024. 01. 01. 19:10)
 - (11) Szlovákia járásai térkép <https://www.cas.sk/clanok/905410/identifikujete-slovenske-okresy-na-slepej-mape-tento-kviz-zvladnen-profil/> (utolsó letöltés: 2024. 01. 01. 18:50)
 - (12) Románia megyéi térkép <https://turismistoric.ro/care-este-cel-mai-mare-judet-din-romania-dar-cel-mai-mic/> (utolsó letöltés: 2024. 01. 01. 18:50)
 - (13) Ausztria járásai térkép https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CoViD19_Bezirke_%C3%96sterreich.svg (utolsó letöltés: 2024. 01. 01. 20:00)
 - (14) Szerbia járásai térkép https://it.m.wikipedia.org/wiki/File:Serbia_Ra%C5%A1ka.png (utolsó letöltés: 2024. 01. 01. 23:30)
 - (15) Horvátország megyéi térkép https://sh.wikipedia.org/wiki/Vukovarsko-srijemska_%C5%BEupanija (utolsó letöltés: 2024. 01. 02. 00:40)

EGYÉB FORRÁSOK

- (1) Személyes interjú
Interjú alanyok: Heilauf Zsuzsanna (Tomory Lajos Múzeum igazgató), Pápai Tamás (történész) Interjú helyszín, időpont: Telefonos beszélgetés, 2024. január 19.
- (2) TEIR adat: Összeállító: Műszaki infrastruktúra, elérhetőség, Budapest elérési ideje közúton a leggyorsabb úton, 2019, Forrás: GeoX <https://www.oeny.hu/oeny/teir/#/tablo/16> (utolsó letöltés: 2023. 12. 27. 20:10)
- (3) Jövedelemrugalmasság http://e-learning.sze.hu/MikroTK/m2/o2_10305.html (utolsó letöltés: 2023. 12. 25. 10:00)
- (4) Légi utazók száma országonként (2022)

- (16) Légi áruszállítás országonként (2022) <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ttr00011/default/table?lang=en> (utolsó letöltés: 2024. 01. 08. 15:20)
- (17) Egy főre jutó GDP vásárlóerő paritás (2022) <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tec00114/default/table?lang=en> (utolsó letöltés: 2024. 01. 08. 15:30)
- (18) Halász Nikolett: Az üzemeltetés körüli konfliktusok miatt akadhatott meg a Budapest Airport felvásárlása <https://telex.hu/gazdasag/2023/12/13/repter-varaslas-budapest-airport-uzemeltetes> (utolsó letöltés: 2024. 01. 13. 14:50)
- (19) Csiki Gergely: Így szedi össze a magyar állam a pénzt a Budapest Airport megvásárlására <https://www.portfolio.hu/gazdasag/20231222/igy-szedi-ossze-az-allam-a-penzet-a-budapest-airport-megvasarlasara-659339> (utolsó letöltés: 2024. 01. 13. 16:20)
- (20) Nagy László Nándor, Szabó Gyula: Történelmi lépés a kormánytól, ezzel minden számítást felülírtak <https://index.hu/gazdasag/2024/06/07/repter-ferihegyi-repuloter-felvasarlas-orban-viktor-nagy-marton-kormany-beruhazas/> (utolsó letöltés: 2024. 06. 26. 16:20)
- (21) Az általános tömegvonzás törvénye <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesettudomanyok/fizika/fizika-9-evfolyam/a-tomegvonzas/az-altalanos-tomegvonzas-torvenye> (utolsó letöltés: 2024. 01. 16. 13:30)
- (22) MAUP- Modifiable Areal Unit Problem <https://gisgeography.com/maup-modifiable-areal-unit-problem/> (utolsó letöltés: 2024. 01. 17. 01:30)
- (23) TEIR adat: Összeállítás: Jövedelem, Egy lakosra jutó SZJA adóalapot képező belöldi jövedelem <https://www.oeny.hu/oeny/teir/#/tablo/5> (utolsó letöltés: 2024. 01. 18. 11:30)
- (24) TEIR adat: Összeállító: Önkormányzati gazdálkodás: Helyi önkormányzat iparüzési adó bevétele, egy lakosra (1000 Ft) <https://www.oeny.hu/oeny/teir/#/tablo/5> (utolsó letöltés: 2024. 01. 16. 15:10)
- (25) Fejlődő és leszakadó járasok <https://gvi.hu/kutatas/608/fejlo-do-es-leszakado-jarasok-2017> (utolsó letöltés: 2024. 01. 14. 15:10)
- (26) BUD catchment https://www.bud.hu/en/business_and_partners/cargo/cargo_facts_and_figures.html
- (26) BUD catchment https://www.bud.hu/en/business_and_partners/cargo/cargo_facts_and_figures.html
- (27) Személyes interjú Interjú alany: Rónavári-Kedves László (InnoK Innovációs Központ projektvezető, Városrehabilitáció18 Non-profit Zrt. alvezérigazgató) Interjú helyszín, időpont: Telefonos beszélgetés, 2024. január 16.

FÜGGELÉK

JÁRÁSI FEJLETTSÉGI MUTATÓ ÖSSZETEVŐI

1. Regisztrált vállalkozások 100 állandó lakosra jutó száma, 2017
2. Regisztrált vállalkozások 100 állandó lakosra jutó számbeli változása 2014-2017 (index)
3. 1000 állandó lakosra jutó vendéglátóhelyek száma, 2017
4. 1000 állandó lakosra jutó kiskereskedelmi boltok száma, 2017
5. Épített lakások száma (db) a lakások arányában, 2017
6. A legközelebbi megyeszékhely elérhetősége, 2012
7. Kábeltelevíziós hálózatba bekapcsolt lakások aránya, 2017
8. 1000 lakosra jutó internet előfizetések száma, 2017
9. A közüzemi szennyvízgyűjtő-hálózatba (közcsatornahálózatba) bekapcsolt lakások aránya, 2017
10. A lakosságtól elkülönített gyűjtéssel elszállított települési hulladék (tonna) 1000 állandó lakosra vetítve
11. 1000 állandó lakosra jutó háztartások részére szolgáltatott villamosenergia mennyisége, 2017
12. 1000 állandó lakosra jutó személygépkocsik száma, 2017
13. Vándorlási különbözet 100 lakosra jutó aránya, 2017
14. 1000 lakosra jutó halálozások száma, 2017

15. Értékesített használt lakások átlagos ára (millió Ft), 2017
 16. 120 fő/km² népsűrűség feletti településeken lakók aránya, 2017
 17. Fiatalodási index (0-18/60-X éves népesség aránya, 2017
 18. Települési támogatásban részesítettek száma 1000 állandó lakosra vetítve, 2017
 19. Rendszeres gyermekvédelmi segélyekben részesítettek száma 100 0-17 éves állandó lakosra vetítve, 2017
 20. Nyilvántartott álláskereső aránya, 2017
 21. Tartós álláskereső aránya, 2017
 22. Aktív korúak aránya, 2017
- Forrás: Bence, B. and Fruzsina, N. (2019). Fejlődő és leszakadó járárok -2017 Magyar járárok társadalmi-gazdasági profilja a Járási Fejlettségi Mutató alapján, 2019. augusztus*



Budapest airport's catchment area and its impact on the country's different areas

Keywords: airport, catchment area, spatial analysis, infrastructure development, decentralisation, tourism marketing, location choice, Huff model, air travel, district development

The catchment area of an airport is related to several factors. Its geographic extent is influenced by the income of the society, travel times to the airport, national borders, proximity to competitors and ticket prices. The correlations identified help decentralisation, infrastructure development, efficient tourism marketing, the choice of location by foreign companies and economic circulation.



Das Einzugsgebiet des Flughafens Budapest und seine Auswirkungen auf bestimmte Gebiete des Landes

Schlüsselwörter: Flughafen, Einzugsgebiet, räumliche Analyse, Infrastrukturentwicklung, Dezentralisierung, Tourismusmarketing, Standortauswahl, Huff-Modell, Flugverkehr, Entwicklungsstand der Kreise

Das Einzugsgebiet eines Flughafens hängt mit vielen Faktoren zusammen. Die geografische Ausdehnung wird durch das Einkommen der Gesellschaft, die Fahrzeiten zum Flughafen, die Nähe zu den Landesgrenzen, zu Wettbewerbern und die Flugkartenpreise beeinflusst. Die aufgedeckten Zusammenhänge helfen bei der Dezentralisierung, der Entwicklung der Infrastruktur, dem effizienten Tourismusmarketing, der Standortwahl für ausländische Unternehmen und des wirtschaftlichen Kreislaufs.

Emlékeztető: az MTA Közlekedés- és Járműtudományi Bizottságának üléséről

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.6.4>

Török Ádám, Horváth Balázs

Helyszín: KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet

Budapest, Than Károly u. 3-5.

Időpont: 2024. május 29.

Török Ádám, a bizottság elnöke köszöntötte a megjelenteket. Emlékeztette a jelenlévőket, hogy 2024. évben a bizottság kihelyezett üléseket tervez, ehhez kapcsolódik ez az ülés is a KTI Széchenyi termében. A mai ülés csatlakozás a Közlekedéstudományi Egyesület Közlekedési Kultúra Napja rendezvénysorozathoz, így a téma a közlekedésbiztonság lesz. Felkérte Munkácsy Andrást, hogy köszöntse a megjelenteket a KTI képviselőjében.

Munkácsy András központvezető, Mayer András, a KTI ügyvezetője nevében köszöntötte az ülés résztvevőit. Örömet fejezte ki, hogy a KTI adhat otthont az MTA mai ülésének.

Török Ádám ismertette az ülés programját, amelyben öt előadás szerepelt, majd felkérte Koren Csabát előadásának megtartására. **Koren professzor úr** előadása válogatást adott a győri Széchenyi István Egyetem Építő-, Építész és Közlekedésmérnöki Karának Közlekedésepítési és Vízmérnöki, valamint Közlekedési Tanszékén folyó, közlekedésbiztonsággal foglalkozó kutatásokról. Az áttekintés az elmúlt két évre terjedt ki és nem teljes körű. A

két tanszék közlekedésbiztonsági kutatásai az „Ember – Jármű – Infrastruktúra” szakterületek érintkezési felületeire összpontosulnak. Az előadás a közös halmazok szerint csoportosítva tárgyalta nyolc kutatási témát. Az Ember – Infrastruktúra csoportban elsőként a „Vasúti átjárók közlekedésbiztonsági felülvizsgálati módszere” szerepelt. A kutatás célja a rendszeresen végzett közúti biztonsági felülvizsgálathoz hasonló módszer megalkotása. Elkészült egy módszertani segédlet tervezete, és tíz kiválasztott helyszínre a tesztelés megtörtént [1]. Szintén kötettpályás téma a „Baljáratú HÉV vonalak gyalogos átjáróinak biztonsága” [2]. Azt tapasztalták, hogy a baljáratú gödöllői H8-H9 vonalon más vonalakkal összevetve sok gyalogos baleset történik. Megvizsgálták a gyalogosok viselkedését három-három átjáróban a gödöllői és a szentendrei vonalon. A helyszíni megfigyelések szerint a gyalogosok nagy százaléka a megszokott jobboldali közlekedési rend szerint tekint körül a baljáratú átjárókban is. Javaslat készült kis költségű infrastruktúra-beavatkozásokra. A „Sémák találkozása” c. kutatás [3] szerzői azt tapasztalták, hogy a közlekedési infrastruktúra kialakításánál sokszor nem veszik figyelembe a járművezetők beidegződéseit, az általuk megszokott sémákat, és ez veszélyeket hordoz magában. Javaslatokat tettek és példákat mutattak be a sémáknak jobban megfelelő útkialakításokra.

A gépjárművek csomóponti láthatóságának értékelésével foglalkozó munka [4] abból indult ki, hogy a csomópontok látómezőire vonatkozó előírások a gyakorlatban sokszor nem teljesíthetők. Célul tűzték ki egy realisabb értékelési rendszer létrehozását, amely ugyanakkor kellően biztonságos. Ehhez lézerszkennerrel támogatott mérési módszert dolgoztak ki, amely figyelembe veszi a gépjárművek méretét és a látási akadályok térbeli összefüggéseit. Egyre időszerűbb foglalkozni a gyalogosok és az autonóm járművek közötti kapcsolattal. Ugyanis a gyalogos-átkelőhelyeken a gyalogosok és a járművezető közötti szokásos „integrálás” autonóm járművek esetén nem működik, ezért új kommunikációs rendszer kialakítása szükséges. E célból virtuális környezetben és forgalomban is tesztelték a járműre kihelyezett különféle jelzéseképű panelokat. Vizsgálták a különféle jelzéseképek, a sebesség, a megsebzés hatását [5]. Az „ember – jármű – infrastruktúra” mindhárom elemét érinti a jeltáblák minősítésével foglalkozó kutatás [6]. Ebben az autonóm járművekre szerelt LiDAR eszközzel történő minősítés alkalmasságát vizsgálták. Helyszíni vizsgálatok történtek 160 jelzőtáblán, háromféle módszerrel és kétféle LiDAR-al. A hagyományos kézi módszer és a LiDAR alig mutatott összefüggést. Az emberi és a műszeres minősítés összevetése még hátra van [6]. A vasúti átjárókban történt balesetek hátter tényezőinek feltárásával foglalkozó kutatás átfogó adatokat közölt, pl. éves idősorokat, havi eloszlásokat. Újdonság benne a holdfázisok és időjárás frontok, valamint a társadalmi események balesetekre gyakorolt hatásának vizsgálata. Ismertette a vasúti útátjárás balesetek és gázolások hatását a vasúti közlekedésre, üzem és forgalomszervezésre, valamint összefoglalta a balesetek és gázolások megelőzési lehetőségeit [7]. A balesetek térbeli eloszlásának speciális kérdését elemzi [8]. A terület alapú göchelykeresés egyik bemenő paramétere az iteráció bővítési sugara. Ennek változtatása más-más göchelyeket eredményez. A bővítési sugár optimális mértékével foglalkozva a kutatás arra jutott, hogy kisebb bővítési sugár (pl. 50 m) esetén több klasztert kapunk, ezek balesettípus szempontjából homogének. Nagyobb sugár inhomogén klasztereket eredményez. Érdemes típusonként leválogatott balesetek

halmazán is göcot keresni. Az előadó hivatkozott még a kiegészítő baleseti mutatókkal kapcsolatos kutatásokra, amelyekről külön előadás hangzik el. Ezután néhány képet villantott fel kutatási műszerekről és a további személyi és szervezési lehetőségeket foglalta össze.

Török Ádám megköszönte az előadást, és felkérte **Bíró Józsefet** előadásának megtartására.

A közlekedési szaktárca és a Mérnöki Kamara által 2013-ban kiírt közlekedésbiztonsági ötletpályázaton díjnyertes pályamű alapján Magyarországon 2015 óta rendezik meg [9] A Közlekedési Kultúra Napját május 11-én és az ehhez kapcsolódó időszakban. Ennek az Európában is egyedülálló eseménysorozatnak a célja, hogy különböző rendezvényekkel, aktivitásokkal, előadásokkal, nyílt napokkal, helyszíni bemutatókkal, közösségi közlekedési hangosbemondásokkal, sajtómegjelenésekkel ráirányítsuk a közfigyelmet a közlekedés sokszínűségére, szépségére, technikai vívmányaira, a biztonságtudatos, környezettudatos, toleráns, egymásra odafigyelő közlekedési magatartás fontosságára a közúti, a vasúti, a vízi és légi közlekedés területén egyaránt. Előadásában bemutatta, hogy míg 2015-ben 15 szervezet közreműködésével 11 rendezvény valósult meg, addig a 2024-ben megszervezett, tizedik, jubileumi esemény során a fenti célokért már mintegy 130 közlekedésbiztonság, közlekedési kultúra iránt elkötelezett szakmai szervezet fogott össze, és mintegy 300 aktivitás valósult, valósul meg. Ily módon A Közlekedési Kultúra Napja eseménysorozat az elmúlt évtizedben a közlekedési szakma egyik legnagyobb, leg-sokoldalúbb szakmai összefogásává, a közlekedők és a közlekedésben dolgozók közös ünnepnapjává vált. A 2024. évi, mintegy 300 aktivitás részletes ismertetése meghaladja az előadás kereteit, így a programokba, azok ívébe csak bepillantást nyújtott az alábbi példák alapján: a Széchenyi Egyetem hallgatói óvodásokhoz látogattak el, a KTI a Közlekedési Kisokos, általános iskolák 6. osztályos tanulóknak készült tansegédletének elektronikus változatát egy, A Közlekedési Kultúra Napja-

ról szóló, külön fejezettel egészítette ki, a Magyar Logisztikai Egyesület a BKK-val a Teleki Blanka Közgazdasági Technikumban a fenn tartható mobilitásról tartott interaktív órát, a Budapesti Műszaki Egyetem Közlekedésmérnöki Karán a közlekedésbiztonság tantárgy keretében egy külön órát szenteltek a közlekedési kultúrának. Így a programok már óvodától egyetemig hatnak; sőt, még azon túl is, hiszen igen nagy megtiszteltetés, hogy a témát a Magyar Tudományos Akadémia Közlekedés- és Járműtudományi Bizottsága is napirendre tűzte. Előadásában bemutatta még a 75 éves KTE, mint eseménykoordinátor külön aktivitásait, kiemelve annak az országos, reprezentatív közvéleménykutatásnak az eredményét, amelyet 2016 és 2020 után „Közlekedésbiztonság, közlekedési kultúra Magyarországon” címmel 2024-ben is elkészítettek. A közvéleménykutatás keretében Dr. Szabó Andrea kutatásvezető révén egy új, Közlekedésbiztonság – Közlekedési Kultúra (KB-KKI) index is kidolgozásra került. Mivel a közvéleménykutatás adatai alapján a megkérdezettek 77%-a hasznosnak, illetve nagyon hasznosnak tartja, hogy minden évben egy nap kiemelten foglalkozzunk a közlekedési kultúrával, és csupán 2%-a utasítja el, így egyértelműen megállapítható, hogy az eseménysorozatnak magas a társadalmi legitimitációja Magyarországon, ezért azt folytatni érdemes.

A következő előadó **Miletics Dániel**, aki közlekedésbiztonsági előtte-utána vizsgálatokról számolt be. Az előadás elején a vizsgálati módszertan elméleti háttérét világította meg, hangsúlyozva, hogy a balesetek vizsgálata helyett sokkal hatásosabb a konfliktusok vizsgálata [10], amelyek előre jelezhetik a baleseti gócpontokat. Az előtte-utána vizsgálatok jelentőségét egy intelligens gyalogátkelőhely telepítésének példáján mutatta be.

Török Ádám megköszönte az előadást, és felkérte Munkácsy András előadásának megtartására.

Munkácsy András előadásában két kerékpározáshoz kapcsolódó kutatási projekt (Danube Cycle Plan és Active 2 Public Transport) pél-

dáján mutatta be a kerékpáros stratégiák értékelésére alkalmas BYPAD audit módszert. A módszer új szemléletű megközelítést használ a fejlesztések eredményeinek értékelésére, amelyek alkalmasak a fejlesztések számszerűsíthető gazdasági értékelésére, akár kombinált közlekedési megoldások esetén is, mint amilyen az Active 2 Public Transport projekt is [11].

Török Ádám megköszönte az előadást, és felkérte Major Róbertet előadásának megtartására.

Major Róbert, aki alapvetően az MTA IX. osztályában aktív, így a mai alkalom az osztályok közötti együttműködésre is szép példa, előadásában a balesetmegelőzés érdekében tett rendőrségi erőfeszítéseket ismertette. Elmondta, hogy a rendőrség a jól ismert 3E elv szerint próbál előrehaladni (education, engineering, enforcement). Ez a gyakorlatban kisebb-nagyobb oktatásokat, de akár Interneten elérhető oktatóvideókat is takarhat. A második pillér a mérnöki tevékenység támogatása, míg a harmadik elem a jogszabályok betartatása. Bemutatta, hogy e tekintetben a rendőrség kötelékében szemléletváltás következett be, amelynek értelmében a legfontosabb a nagy hatást kiváltó intézkedések előnyben részesítése. Ez alatt a legfontosabb három baleseti ok (sebesség, elsőbbség, irányváltás) kiemelését kell érteni, hiszen ezek okozzák a balesetek 2/3-át. Emellett igen fontos az ittasság és bódultság kiszűrése, valamint a biztonsági öv használatának ellenőrzése is. Kiemelten fontos az irritáló szabályszegések visszaszorítása, akár oktatóvideók segítségével is. További lényeges eleme a szemléletváltásnak a kommunikáció és a helyes fellépés alkalmazása is [12].

Török Ádám megköszönte az előadást, és megnyitotta a vitát.

Prof. Tímár András megkérdezte Dr. Major Róbert előzési dühről alkotott véleményét. Major Róbert elmondta, hogy a közlekedési morál általában a társadalmi morál lecsapódása.

Orosz Csaba a rendőrségi fellépés területi különbségei felől érdeklődött.

Major Róbert válaszában kiemelte, hogy az utasítási rend az egész országban egységes: országos-vármegyei-kapitánysági szint. Másfelől egyre fontosabb az „Odamegyek ellenőrizni, ahol baleset várható” elv érvényesülése is.

Fleischer Tamás megköszönte az előadók érdekes, jó és informatív előadásait is. Hozzászólásában azonban felvetette, hogy nem biztos, hogy minden évben kell külön közlekedésbiztonsági ülést tartani.

Török Ádám válaszában kiemelte, hogy a közlekedésbiztonsági ülés hagyománya immár több, mint 10 éves, így ezt célszerű volna fenn tartani, és ő mindenképpen megtartaná ezt a szép hagyományt.

Pokorády László felhívta a jelenlévők figyelmét, hogy épp az ülés idején kerül átadásra egy szép közlekedéshez is kapcsolódó emlékmű Veszprém közelében.

Török Ádám megköszönte a kérdéseket, válaszokat és a hozzászólásokat.

Az egyebek napirend keretében elmondta, hogy a Pokorády László benyújtotta MTA doktori értekezését, így a folyamat elindult.

Az egyebek között másodikként említette Tímár András levelét a Magyar Mérnöki Kamara BME érdekében indított kezdeményezéséről. Javasolta, hogy a bizottság napolja el a téma részletes tárgyalását, tekintettel, hogy a BME-n közeleg a rektorválasztás. Tímár András hozzászólásában elmondta, hogy a bizottságnak felelőssége van a hazai műszaki felsőoktatás iránt, ezért az elnapolást elfogadja, de a napirendről a témát ne vegyük le! Ki kell fejeznünk aggodalmunkat! Orosz Csaba, Koren Csaba előadására utalva, a témához kapcsolódva megjegyezte, hogy az előadásban 16 önkéntes kutatást láthattunk, ez is jól mutatja a helyzet komolyságát. Szerinte a kritikus helyzet nem kap kellő hangsúlyt, úgy ahogy maga az egész felsőoktatás sem. Javasolta, hogy egy ülés foglalkozzon a hazai felsőoktatás helyzetével. Munkácsy András hozzátette, hogy kiemelten a mérnökképzés helyzetével.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Ladich, Marcell; Miletics, Dániel: How dangerous are the level road-railway crossings? In: Horváth, Balázs; Henézi, Diána (szerk.) I. Közlekedésbiztonsági konferencia Győr, Széchenyi István Egyetem, Közlekedéstudományi Egyesület (KTE), Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet (2023) 234 p. pp. 130-141, 11 p.
- [2] Nemekh Bayasgalan, Kosztolányi-Iván Gabriella, Koren Csaba: Gyalogosok viselkedésének vizsgálata jobb és bal oldali közlekedési rendű HÉV átjárókban. XIV. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia, Győr: Közlekedéstudományi Egyesület (2024). 10 p.
- [3] Henézi, Diána; Rosta, Roland: Sémák találkozása. In: Horváth, Balázs; Henézi, Diána (szerk.) I. Közlekedésbiztonsági konferencia Győr, Széchenyi István Egyetem, Közlekedéstudományi Egyesület (KTE), Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet (2023) 234 p. pp. 205-212, 8 p.
- [4] Magyari, Zsófia; Koren, Csaba: Lézerszkennelrel felmért közlekedési csomópontok láthatósági vizsgálata referenciasík segítségével. GEODÉZIA ÉS KARTOGRAFIA 75: 1 pp. 16-23. 8 p. (2023)
- [5] Zhanguzhinova, Symbat ; Makó, Emese ; Borsos, Attila ; Sándor, Ágoston Pál ; Koren, Csaba: Communication between Autonomous Vehicles and Pedestrians: An Experimental Study Using Virtual Reality, SENSORS 23: 3 Paper: 1049 (2023)
- [6] Aldoski, Ziyad Nayef ; Koren, Csaba: Impact of Traffic Sign Diversity on Autonomous Vehicles. PERIODICA POLYTECHNICA TRANSPORTATION ENGINEERING 51: 4 pp. 338-350. 13 p. (2023)
- [7] Henézi, Diána; Kormányos, László: Vasúti átjárókban történt balesetek lehetséges háttér tényezőinek feltárása. In: Horváth, Balázs; Horváth, Gábor (szerk.) XIII. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia, Győr: Multimodalitás és

- fenntarthatóság. Közlekedéstudományi Egyesület (2023) pp. 798-808. 11 p.
- [8] Hegyi, Pál; Koren, Csaba; Borsos, Attila: Baleseti klaszterek vizsgálata a városi úthálózaton a bővítési sugár függvényében. In: Horváth, Balázs; Horváth, Gábor (szerk.) XIII. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia, Győr: Multimodalitás és fenntarthatóság. Közlekedéstudományi Egyesület (2023) pp. 426-432, 7 p.
- [9] Közlekedéstudományi szemle (2016) 66(3):4 URL: https://matarka.hu/klikk.php?cikkmutat=2408094&mutat=http://epa.oszk.hu/03000/03006/00003/pdf/EPA03006_ktsz_2016_3_04.pdf
- [10] Khaska, K., & Miletics, D. (2021). Sight distance analyses for autonomous vehicles in Civil 3D. Pollack Periodica, 16(3), 33-38.
- [11] Munkácsy, A., Keserű, I., & Siska, M. (2022). Travel-based multitasking on public transport: An empirical research in Hungary. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 50(1), 43-48.
- [12] Major R., Mészáros G. (2016). The current questions of police speed control. Magyar Rendészet, 16(2), 131-138.



E számunk lektorai

Dr. Henézi Diána ■ Horváth Lajos

Dr. Lakatos András ■ Dr. Selymes Péter ■ Dr. Zsákai Tibor

Közlekedésbiztonság - Közlekedési környezetvédelem

Gyalogosok viselkedése jobb- és baljáratú HÉV vonalak átjáróiban

A budapesti elővárosi vasutak a megszokott jobb oldali közlekedési rend szerint működnek, kivéve a H8-H9-es HÉV vonalát, amely baljáratú. A cél a gyalogosok viselkedésének bemutatása a H5-ös jobbjáratú és a H8-H9-es baljáratú vonal kiválasztott szintbeni átjáróiban és feltárni a viselkedésük közötti különbségeket, valamint ezek biztonsági következményeit.

Kulcsszavak: elővárosi közlekedés, gyalogos, gyalogos-átkelőhely, szintbeni átjáró, gyalogos viselkedés, fénysorompó, labirintkoralát

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.6.5>

Nemekh Bayasgalan¹ – Kosztolányi-Iván Gabriella² – Koren Csaba³

¹ MSc Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

² PhD, egyetemi adjunktus, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

³ CSc, professzor emeritusz, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék
e-mail: nemekh.bayasgalan@gmail.com, ivang@sze.hu, koren@sze.hu

1. BEVEZETÉS

A jobb oldali közlekedési rendhez igazodva gyalogként mindannyiunkban rögzült az a szabály, hogy az útestre lelépés előtt előbb balra nézünk, azután jobbra. A budapesti elővárosi vasutak (HÉV) is általában jobb oldali rendszerben működnek, kivéve az Őrs vezér tere – Gödöllő – Csömör H8-H9 vonal, ahol bal oldali közlekedési rend van érvényben. Kutatási hipotézisünk az volt, hogy a gyalogosok a HÉV vonalak szintbeni átjáróiban bal oldali közlekedési rend esetén is a megszokott séma szerint viselkednek és ennek biztonsági következményei vannak.

2. SZAKIRODALMI ELŐZMÉNYEK

Magyarországon nem mindig volt jobb oldali közlekedés. Korábban, ahogy sok más

országban, nálunk is bal oldali közlekedés volt érvényben. Az áttérés történelmi háttéréről Domonkos Csaba, a Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum ipari örökség főosztályvezetője így ír: „...a XX. század közepére Európában csak pár renitens ország maradt az út bal oldalán, Nagy-Britannia, Írország, Svédország és Magyarország. A magyar bal oldali közlekedés az 1930-as években már egyre több gondot jelentett, hiszen [...] az autósoknak Magyarországra érve át kellett térniük a másik oldalra. Ez olyan hátrányokkal is járt, hogy a nagy nemzetközi útvonalak inkább elkerülték az országot. [...] A váltásra 1941. július 6-án került sor, de csak Budapesten kívül. A fővárosban és környékén ugyanis csak 1941. november 9-én tértek át a jobb oldali közlekedésre, az átmeneti időben a város környékét elhagyva egy ponton át kellett menni a másik oldalra.

A kétlépcsős váltásnak a budapesti közlekedés kissé komplikáltabb rendszere volt az oka, hiszen Budapesten ez nem csak annyit jelent, hogy az autósoknak a másik oldalon kellett közlekedniük. A fővárosnak az átállítás 12 millió pengőjébe került, úgy is, hogy költségcsökkentés miatt a HÉV-eknél, és a földalattinál megmaradt a bal oldali közlekedés. A Gödöllői HÉV ma is baljáratú, a kisföldalattinál csak 1973-ban tértek át a jobb oldali közlekedésre. Így is összesen 601 villamosmegállót kellett áthelyezni és 584-et átalakítani”[1].

A közlekedésben résztvevők közül a legvédtelenebbek és leginkább sérülékenyek a gyalogosok. A gyalogosok viselkedésének megfigyelésén vagy baleseti statisztikán alapuló tanulmányozásával számos hazai és külföldi kutatás foglalkozott már [2], [3], [4]. Granié és munkatársai 2013-ban kidolgoztak egy skálát, amely átfogó módon méri a gyalogosok közlekedési magatartását [5]. Ezen mérőeszköz hazai adaptációjának lehetőségével részletesen foglalkozott kutatásai során Högye-Nagy Ágnes: „A gyalogosbalesetek csökkentésének alapja lehet, hogy megfelelő ismerettel rendelkezünk a viselkedésükről, attitűdjeikről. A gyalogos közlekedést jóval kevesebb előírás szabályozza, szemben például a gépjárművezetéssel, mégis számottevő a szabálytalankodó gyalogosok aránya. Ezek a szabályszegő viselkedések elsődlegesen az útesten való átkeléshez köthetők, amelyek bár kis részét teszik ki a gyalogos tevékenységnek, mégis ez a legveszélyesebb része, hiszen a motorizált gépjárműforgalmat keresztezi (Yannis és társai)” [6].

Az úthasználói viselkedést számos tényező befolyásolja. Högye-Nagy Ágnes disszertációjában részletesen foglalkozott a gépjárművezetés közbeni figyelemelterelő tevékenységek hatásával. A mobiltelefon használat főleg a fiatalabb korosztály esetében, míg az egyéb figyelemelterelő tényezők szinte minden életkori csoportban növelik a baleset kockázatát [7]. Bár ezen megállapítása kimondottan gépjárművezetőkre vonatkozik, igaz lehet mindenkire, aki mozgásban van és a közlekedésben részt vesz.

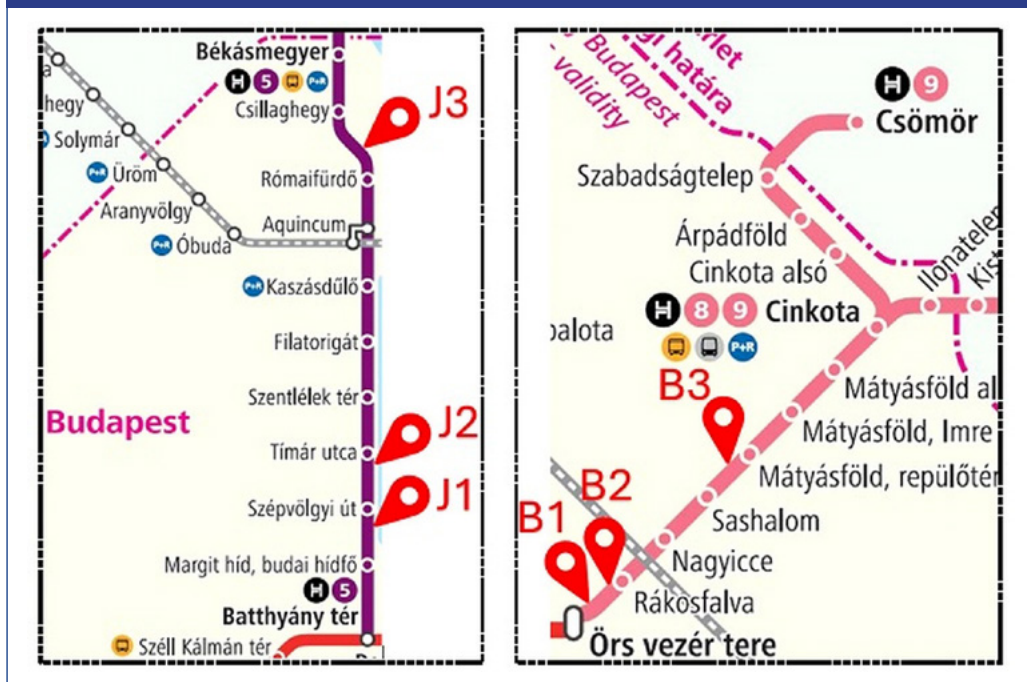
Egy korábbi kutatási jelentésben Martin [8] mintegy 130 forrás alapján részletesen feltárta a gyalogosok biztonságával foglalkozó szakirodalmat. A jobb oldali – bal oldali közlekedés kérdését nem említi.

Lévéque és társai [9] átfogóan tanulmányozták az úton átkelő gyalogosok viselkedésével foglalkozó, szemkamerás vizsgálatokon alapuló irodalmat. Összesen 53 forrás alapján foglalták össze a gyalogosok jellemzőivel (főleg az életkorral) és a külső tényezőkkel (az átkelőhely kialakításával) kapcsolatos megállapításokat. Kitértek az autonóm járművek kérdésre is. Említenek a balra - jobbra nézéssel kapcsolatos adatokat, de a biztonsággal kapcsolatos megállapításokat nem tesznek.

A megszokott és az attól eltérő forgalmi helyzetek összehasonlításával foglalkozott Thompson és Sabik [10]. Bal oldali közlekedéshez szokott személyeket teszteltek körforgalomba belépést szimuláló videókkal, amelyek egy része bal oldali (angol), más része jobb oldali (lengyel) környezetben készült. Azt találták, hogy a vizsgált személyek a körforgalomba belépésnél a szokatlan környezetben óvatossabbak voltak, csak nagyobb követési időközöket fogadtak el behaladásához, mint az általuk megszokott forgalmi rend esetén. Ugyanakkor a helytelen irányba nézés még akkor is jelentős arányban előfordult, amikor a kísérleti személyek már számíthattak rá, hogy szokatlan helyzet következik.

Ye és társai [11] gyalogosok esetében vizsgálták a megszokottól eltérő közlekedési rend hatását az átkelési magatartásukra. A vizsgálati területük Hongkong és Kína volt. Hongkongban ugyanis a korábbi angol hagyományt megtartva bal oldali közlekedés van, míg Kínában jobb oldali. A kísérleti alanyok egyik csoportja Hongkongban, másik csoportja Kínában nőtt fel és tanult közlekedni. A vizsgálat a virtuális valóság (VR) módszerével folyt, hogy a kísérleti személyek ne legyenek veszélynek kitéve. Összesen 102 személy vett részt a tesztben, nagyjából fele-fele arányban Kínából és Hongkongból, nagyjából fele-fele arányban férfiak és nők.

1. ábra: Választott helyszínek a H5 vonalon (J1-J2-J3) és H8-H9 vonalon (B1-B2-B3)



A csoportok viselkedését mindkét közlekedési rendszerben vizsgálták. Egyirányú utcákat szimuláltak, amelyeken egyik vagy másik irányból jöttek a járművek. Egyes változatokban voltak „Balra nézz!” ill. „Jobbra nézz!” burkolati feliratok, más változatokban nem voltak ilyenek.

Megfigyelték, hogy a szimulált átkelés során milyen irányokban és milyen sorrendben néznek a vizsgálati személyek. Szignifikáns különbségeket találtak a két csoport között abban a tekintetben, hogy melyik irányba néznek először. A szokatlan irányból (jobbról) érkező forgalom esetén a kínai személyek 2,93-szor annyit tévesztettek, mint a Hong-Kongból jövő, akiknek ez az irány volt a megszokott. A szöveges burkolati jelek nem csökkentették a tévesztés arányát.

Ye és társai [12] ezt követően szintén Hong-kongban vizsgálták. Azt keresték, hogy a hosszabb-rövidebb ideig ott tartózkodó külföldi gyalogosok hogyan tudnak alkalmazkodni a „jobbra nézz” rendszerhez. Azt találták, hogy

a bal oldali közlekedési rendszerű országokból jövőeknek ez természetes volt, míg a jobb oldali közlekedésű országokból jövőeknek nem. Az itt tartózkodás időtartama viszont bizonyíthatóan segített a „jobbra nézz” rendszer megszokásában.

3. VÁLASZTOTT HELYSZÍNEK

Vizsgálatunk tárgyaként kiválasztottuk a jobb oldali közlekedési rendű H5, és a bal oldali közlekedési rendű H8-H9 HÉV vonalát. Mindkét vonalon 3-3 vasúti átjárónál vizsgáltuk meg az átkelő gyalogosok viselkedését. A választott átjárók elhelyezkedését az 1. ábra mutatja be.

3.1. Jobb oldali közlekedési rendű helyszínek

A H5 HÉV Budapest legforgalmasabb elővárosi vasútvonala, amely a Batthyány tér és Szentendre között közlekedik, illetve betétjáratként Békásmegyer között. A térképrész-

2. ábra: Szépvölgyi út - J1 helyszín
(Google Térkép és saját felvétel)



A J1 helyszínen (Szépvölgyi út) az átjáró közlekedéssel folytatódik kijelölt gyalogos-átkelőben. A pálya egyik oldalán lakóterület található, míg a másik oldalon egy park és a Duna-part. Mivel a két peron eltoltnak helyezkedik el, a leszálló utasok az átjáró megközelítése közben láthatják a szemközti pályán közlekedő szerelvényt. Látást korlátozó akadályok nincsenek (2. ábra).

3. ábra: Árpád fejedelem útja/Nagyszombat utca - J2 helyszín
(Google Térkép és saját felvétel)



A J2 helyszín (Árpád fejedelem útja/ Nagyszombat utca) esetében a pálya egyik oldalán lakóterület található, másikon pedig egy szórakozóhely, valamint kicsit távolabb zöldövezet és a Duna-part. Az átjárón való áthaladás előtt a gyalogosoknak labirintkorláton kell keresztülhaladniuk. Mindkét oldalon egyaránt olyan a kialakítás, hogy a belépés előtt szembe kell fordulni az érkező szerelvényt. A gyalogosok és kerékpárosok átvezetése együtt történik a gyalogút és kerékpársáv összefonódása után (3. ábra).

4. ábra: Árpád fejedelem útja/Nagyszombat utca - J3 helyszín
(Google Térkép és saját felvétel)



leten (1. ábra) J1-gyel jelölt átjáró egy szélsőperonos megállóhely átjárója, J2 és J3 pedig a nyíltvonalat szintben keresztező átjárók. Mindhárom átjárónál fénysorompó segíti a gyalogosok biztonságos átkelését. Kialakításuk kiselemes STRAIL burkolati rendszerrel történt.

A J3 helyszínnél (Szentendrei út/ Határ út) a HÉV vonal lakóterület és iroda/bevásárló központot szel ketté. Ebben az átjáróban is labirintkorlátok fokozzák a gyalogosok biztonságát, ezek vonalvezetése ösztönzi az átkelőket, hogy elsőként a közlebbi vágányról érkező szerelvény irányába tekintsenek (4. ábra).

3.2. Bal oldali közlekedési rendű helyszínek

A H8-as és belőle kiágazó H9 HÉV az Örs vezér tere és Gödöllő, illetve Csömör, valamint betétjáratként Cinkota között közlekedik. Ez a vonal a mai napig megőrizte a bal oldali közlekedési rendjét. Itt is három helyszín került kiválasztásra, amelyből a B1 és B3 helyszín a nyíltvonalon szintben keresztező átjárók, míg a B2 egy szélsőperonos megállóhely átjárója. Ezen átjárók nincsenek ellátva fénySOROMPÓVAL, de belépés előtt az átkelőknak át kell haladniuk az itt elhelyezett labirintkorklátok között. A korklátok vonalvezetése ugyan ösztönzi a gyalogosokat, hogy közelebbi vágányról érkező szerelvény felé fordítsák a fejüket mielőtt belépnének a keresztszertbe, de ezen felül nincs egyéb figyelemfelhívó intézkedés az eltérő forgalmi rendre vonatkozóan. Sőt, a „Vigyázz! Vonat!” tábla (5. ábra) is szokványos, az irányokat mutató nyilak a jobb oldali közlekedési rendnek megfelelően vannak elhelyezve, ami még inkább a szokványos közlekedési rendhez tartozó viselkedési forma felé tereli a közlekedőket.

A B1 helyszínen (Sarkantyú utca) kialakított átjáró mindkét oldalán lakó- illetve kiszolgáló funkciók találhatóak. A HÉV vonallal párhuzamosan a Kerepesi út halad. Az átjárót és a kijelölt gyalogos-átkelőhelyet közlekedési választja el. A közúton való átkelést gyalogos lámpa segíti. Nincs figyelemfelhívó jelzés az eltérő forgalmi rendre vonatkozóan (6. ábra).

5. ábra: A Vigyázz! Vonat! figyelmeztető jelzés nyilai a jobb- és baljáratú vonal átjáróinál is ugyanazok (saját felvétel)



6. ábra: Sarkantyú utca - B1 helyszín (Google Térkép és saját felvétel)



7. ábra: Rákosfalva (Szentmihályi út/ Kerepesi út) - B2 helyszín (Google Térkép és saját felvétel)



A B2 helyszín (Rákosfalva (Szentmihályi út/ Kerepesi út)) egy szélsőperonos megállóhely, amelynek peronjai egymással szemben találhatók. A peron mindkét végén van egy-egy átjáró. A megfigyelés a közúti csomóponttól távolabbi peronról történt. Ez az átjáró kö-

8. ábra: Veres Péter út/ Jókai Mór utca – B3 helyszín
(Google Térkép és saját felvétel)



segítségével, amely a felvételekre elhelyezte a metaadataikat (dátum, idő, hely). A felvétel készítője az út túloldalára állt, vagy olyan félreeső pozíciót választott, hogy a közlekedők lehetőleg ne észleljék a jelenlétét, annak érdekében, hogy ez ne legyen befolyással a viselkedésükre.

zépszigettel megszakítva kijelölt gyalogosátkelőben folytatódik. A labirintkorlátok vonalvezetése egyik oldalon a gyalogost a közelebbi vágányról érkező szerelvény felé fordítja, míg a másikon áthaladva éppen háttal érkezünk meg a szerelvényhez. Ezen az oldalon nincsen fénysorompó, míg a másik oldalon csak a gépjárművek számára kihelyezett fénysorompót látunk. Itt sem találkozunk külön jelzéssel azzal kapcsolatban, hogy eltérő forgalmi renddel fognak találkozni a közlekedők (7. ábra).

A B3 helyszín (Veres Péter út/ Jókai Mór utca) nyílt vonalon található szintbeni gyalogos átjáró. A pálya egyik oldalán kertvárosi rész, míg a másikon kiszolgáló egységek és lakóövezetek találhatók. A gyalogos forgalom itt többnyire csak a kertvárosba érkező és az onnan induló gyalogosokat jelenti. A labirintkorláton keresztül léphetnek be az átjáróba, amelynek vonalvezetése szokásos kialakítású. Az eltérő forgalmi rendre sem figyelmezteti semmilyen jelzés a közlekedőket (8. ábra).

4. MEGFIGYELÉSEK, VIDEOFELVÉTELEK ELKÉSZÍTÉSE

A megfigyeléseket különböző napokon kiválasztott időpontokban végeztük. Egyes videófelveletek munkanapon, míg mások munkaszüneti napon készültek. Az időpont kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy tiszta időjárási körülmények legyenek, hogy a felvételek alapján értékelhető legyen a közlekedők viselkedése. A videófelveletek mobiltelefonnal készültek, egy telefonra letölthető applikáció

5. ADATOK RÖGZÍTÉSE, FELVÉTELEK FELDOLGOZÁSA

Az adatfelvétel a videófelveletek elkészítése után ezek manuális feldolgozásával folytatódott. Táblázatos formában rögzítésre kerültek a vasúti átjárók adatai, a megfigyelt átkelő gyalogosok személyes jellemzői és azok viselkedésével kapcsolatos adatok:

5.1. Vasúti átjáró jellemzői:

- valamennyi vizsgált átjáró típusa: Strail-rendszer, két vágány, közbelső peron nélkül
- biztosítás módja (biztosítás nélküli - fénysorompóval biztosított)
- labirintkorlát (van – nincs).

A H5 vonalon az összes megfigyelt vasúti átjáró fénysorompóval biztosított, míg a H8-H9 vonalon valamennyi vizsgált átjáró biztosítás nélküli.

A H8-H9 vonalon összesen 78, a H5 vonalon összesen 80 gyalogost sikerült megfigyelni. Az átjárónkénti bontást az átjárók jellemzőivel az 1. és a 2. táblázat tartalmazza.

Rögzítésre került, ha átkelés előtt volt érkező/távozó HÉV szerelvény.

5.2. Gyalogosok személyes jellemzői:

- nem
- életkor
(10 éves intervallumokra

1. táblázat: Jobb oldali közlekedési rendű H5 HÉV vonal vizsgálati helyszínei és a megfigyelt gyalogosok száma

	Vonal	H5 (Batthyány tér ↔ Békásmegyer ↔ Szentendre)			
Jel	Vasúti átjáró helye	GPS koordinátái	biztosítás módja	labirintkorklát	megfigyelt gyalogosok
J1	Szépvölgyi út	47°31'37.7"N 19°02'24.1"E	fénysorompóval biztosított	nincs	25
J2	Árpád fejedelem útja/ Nagyszombat utca	47°31'54.5"N 19°02'33.2"E	fénysorompóval biztosított	van	29
J3	Szentendrei út/ Határ út	47°34'42.0"N 19°02'55.5"E	fénysorompóval biztosított	van	26

2. táblázat: Bal oldali közlekedési rendű H8-H9 HÉV vonal vizsgálati helyszínei és a megfigyelt gyalogosok száma

	Vonal	H8 (Őrs vezér tere ↔ Cinkota ↔ Gödöllő) H9 (Őrs vezér tere ↔ Cinkota ↔ Csömör)			
Jel	Vasúti átjáró helye	GPS koordinátái	biztosítás módja	labirintkorklát	megfigyelt gyalogosok
B1	Sarkantyú utca	47°30'14.8"N 19°08'33.1"E	biztosítás nélküli	van	25
B2	Rákosfalva (Szentmihályi út/ Kerepesi út)	47°30'17.9"N 19°09'02.0"E	biztosítás nélküli	van	31
B3	Veres Péter út/ Jókai Mór utca	47°30'39.7"N 19°11'24.3"E	biztosítás nélküli	van	22

osztva)

- egyedül vagy többen kelnek át
- hátráltató tényező jelenléte

Rögzítésre került, hogy a megfigyelt gyalogosok egyedül vagy többen keltek át, hiszen csoportos átkeléskor az ún. „csordaszellem” miatt kevésbé óvatosak lehetnek a közlekedők, hiszen vannak, akik csak követik a tömeget és nem ellenőrzik, hogy biztonságos-e az átkelés. Továbbá rögzítésre került, ha jelen volt olyan hátráltató tényező, ami korlátozta a szabad mozgásában az alanyt, esetlegesen lassító tényezőként jelent meg vagy lehetséges figyelemelterelő hatással bírt. Hátráltató - lassító tényezőként vettük figyelembe, ha a közlekedő kerékpárt vagy rollert tolt, nagyobb táskákat cipelt, babakocsit tolt vagy pórázon kutyát vezetett. Hátráltató - figyelemelterelő tényezőként számoltunk azzal, ha az alany telefonált, a mobiltelefonja kijelzőjét nézte, fülhallgatója

volt vagy olvasott átkelés közben. A felvételek alapján sajnos nehezen megállapítható, ha az átkelők zenét vagy rádiót hallgattak (mivel ezek a felvételek bizonyos távolságból készültek), ha az alany nem fejhallgatót használ, a fülhallgató nem minden esetben látszik a felvételeken.

5.3. Gyalogosok viselkedése:

- körütekintések száma
- körütekintési sorrend
- áthaladás jellege
- átkelési idő.

A táblázatba bekerült a körütekintési sorrend és az is, hogy a gyalogosok hányszor ismétlik meg azt. Az áthaladás jellegét négy különböző típusra bontottuk:

1. megáll és körütekint

2. érkezés közben tekint körül
3. körütekintés közben halad át
4. követi a hozzátartozóját/tömeget.

6. ADATOK KIÉRTÉKELÉSE, ELEMZÉS

Az adatokat a továbbiakban összevonva elemeztük, egyben a három jobbjárátú és a három baljárátú átjáró megfigyeléseit.

A jobbjárátú H5 vonalon rendelkezésre álló 80 fős mintából 44 volt férfi és 36 nő. Az átkelők 44%-a egyedül ment át az átjárón, míg 56%-uk hozzátartozóval, ismerőssel vagy a tömeggel együtt csoportosan haladt át. Valamennyi megfigyelt átjárónál működő fénysorompó szabályozta az átkelést. A háromból két átjárónál labirintkorklát van kiépítve. Az átkelők 48%-ának kellett igazodnia érkező vagy távozó HÉV szerelvény mozgásához.

A baljárátú H8-H9 vonalon rendelkezésre álló 78 fős mintából 48 volt férfi és 30 nő. Az átkelők 32%-a egyedül ment át az átjárón, míg 68%-uk hozzátartozóval, ismerőssel vagy a tömeggel együtt csoportosan haladt át. Mindhárom átjáró biztosítás nélküli és mindegyiknél labirintkorklát van. Az átkelők 21%-ának kellett igazodnia érkező vagy távozó HÉV szerelvény mozgásához.

6.1. Körütekintések száma

Összehasonlítva a hat átjáróban kapott adato-

kat, azt látjuk, hogy ahol fénysorompó van, ott csökken a körütekintések száma. Ha a fénysorompó szabad jelzést mutat, akkor kevésbé óvatosak az átkelők. A H5 vonalon található három átjáróban működő fénysorompó szabályozta az átkeléseket, ezeken az átjárókban átlagosan 1,06 volt a körütekintések száma. Ahol pedig nem volt fénysorompó, mint a H8-H9 vonal átjáróiban, ott átlagosan 1,66-szor néztek körül a gyalogosok. A körütekintések számának átlagát külön minden vasúti átjáróban mutatja a 3. táblázat.

6.2. Körütekintési sorrend a teljes mintára

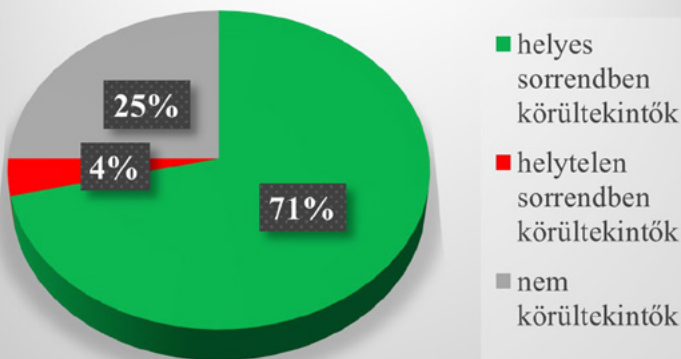
A H5 vonalon jobb oldali közlekedési rend van érvényben, így a gyalogosoknak nem kell eltérniük a megszokott közlekedési viselkedésüktől. A helyes körütekintési sorrend: balra – jobbra. A H8-H9 vonalon bal oldali közlekedési rend van érvényben, így a gyalogosoknak el kell térniük a megszokott közlekedési viselkedésüktől. A helyes körütekintési sorrend: jobbra – balra.

A H5 vonal átjáróiban a megfigyelésben részt vevők 71%-a tekintett körül helyes sorrendben (balra - jobbra) az átjárón való átkeléskor, míg csupán 4%-uk tekintett körül helytelen sorrendben (jobbra – balra). Ha a helytelen sorrendben körütekintőkhöz hozzávesszük azon áthaladókat, akik csak egyik irányba tekintettek, vagy egyáltalán nem tekintettek körül, akkor az áthaladók 29%-a nem tekintett meg-

3. táblázat: Körütekintések számának átlaga a kiválasztott átjárókban

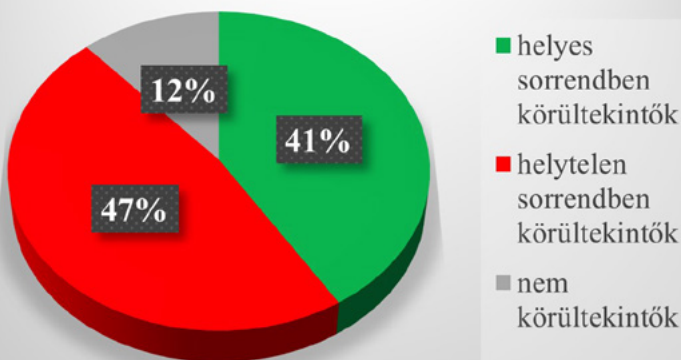
Vonal	H5 (Batthyány tér ◄► Békásmegyér ◄► Szentendre)		
Vasúti átjáró helye	J1: Szépvölgyi út	J2: Árpád fejedelem útja/ Nagyszombat utca	J3: Szentendrei út/ Határ út
Körütekintések számának átlaga	1,12	1,16	0,94
Vonal	H8 (Örs vezér tere ◄► Cinkota ◄► Gödöllő) H9 (Örs vezér tere ◄► Cinkota ◄► Csömör)		
Vasúti átjáró helye	B1: Sarkantyú utca	B2: Rákosfalva (Szentmihályi út/ Kerepesi út)	B3: Veres Péter út/ Jókai Mór utca
Körütekintések számának átlaga	1,84	1,45	1,75

9. ábra: Körültekintési sorrend a H5 HÉV vonal átjáróiban (J1-J2-J3)



felelően körül (9. ábra). A H8-H9 vonal átjáróiban a megfigyelésben részt vevők 41%-a tekintett körül helyes sorrendben (jobbra - balra) az átjárón való átkeléskor, míg 47% helytelen sorrendben tekintett körül (balra - jobbra). Ha a helytelen sorrendben körültekintőkhöz hozzávesszük azon áthaladókat, akik csak egyik irányba tekintettek, vagy egyáltalán nem tekintettek körül, akkor az áthaladók 59%-a nem tekintett megfelelően körül (10. ábra).

10. ábra: Körültekintési sorrend a H8-H9 HÉV vonal átjáróiban (B1-B2-B3)



Ha nem vesszük figyelembe azon áthaladókat, akik csak egyik irányba tekintettek, vagy egyáltalán nem tekintettek körül, akkor a megszokott jobb oldali közlekedési rendű H5 vonalon csak 5% volt a helytelen sorrendben való körültekintés aránya, míg a megszokottól eltérő H8-H9 vonal megfigyelt átjáróiban ez az arány sokkal magasabbra, 53%-ra adódott (4. táblázat).

4. táblázat: Helyes és helytelen sorrendben körültekintő személyek aránya a kiválasztott átjárókban

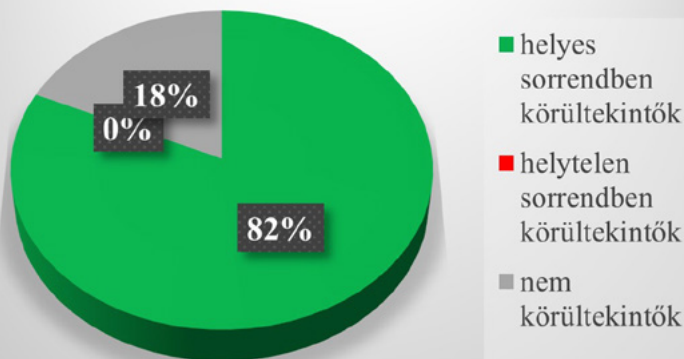
	H5 átjárói (J1-J2-J3)	H8-H9 átjárói (B1-B2-B3)
Helyes sorrendben körültekint	95%	47%
Helytelen sorrendben körültekint	5%	53%

Összehasonlítva a két vonal átjáróit megállapítható, hogy a megszokottól eltérő bal oldali közlekedési rend miatt a H8-H9 vonal átjáróiban a gyalogosok sokkal nagyobb arányban tekintettek körül nem megfelelő sorrendben, mint a megszokott jobb oldali közlekedési rendű H5 vonal átjáróit használó közlekedők. Összességében is sokkal nagyobb a helytelenül tekintett körül aránya (nem tekintett körül és helytelen sorrendben tekintett körül együtt) a megszokottól eltérő bal oldali vonal esetében (59%), mint a megszokott jobb oldali közlekedési rendű H5 vonalon (29%) annak ellenére, hogy a H5 vonalon vizsgált átjárókban a tekintett körül számát nagyban befolyásolja (csökkenti) a fényesorompó megléte.

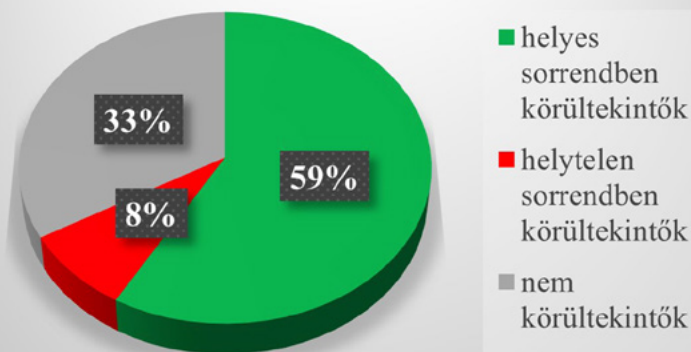
6.3. Körültekintési sorrend nemek szerint

A H5 vonalon a megfigyelésben részt vevő férfiak 82%-a, míg a nők 59%-a tekintett körül helyes sorrendben az átjárón való átkeléskor (11. ábra és 12. ábra). A helyes körültekintési sorrend aránya a H8-H9 vonalon sokkal kisebb, a megfigyelt férfiak 48%-a, míg a nők 30%-a tekintett körül helyes sorrendben az átjárón való átkeléskor (13. ábra és 14. ábra). A H5 vonalon, ahol fényesorompóval ellátott átjárókban történtek a megfigyelések, az átkelő férfiak 18%-a, míg a nők 33%-a egyáltalán nem tekintett körül, vagy csak az egyik irány-

11. ábra: Férfiak körültekintési sorrendje a H5 HÉV átjáróiban (J1-J2-J3)



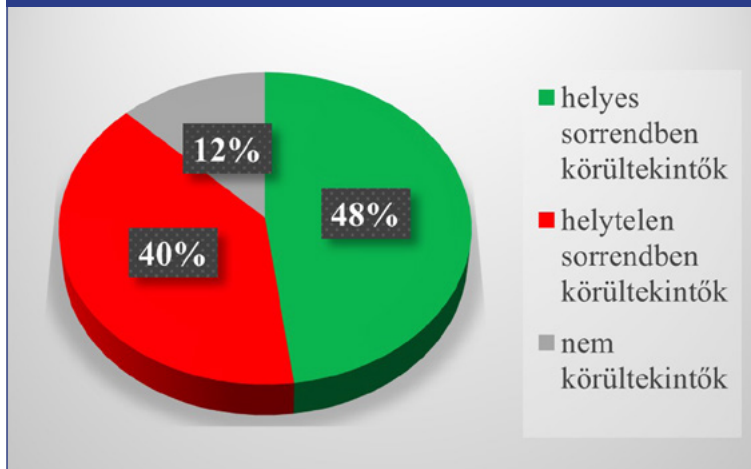
12. ábra: Nők körültekintési sorrendje a H5 HÉV átjáróiban (J1-J2-J3)



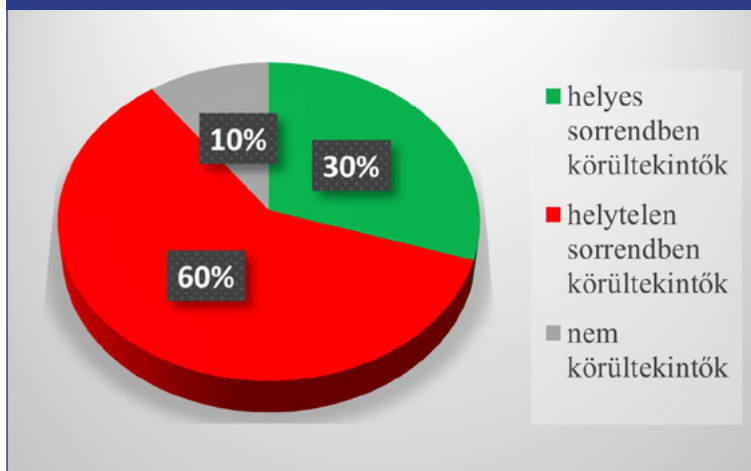
ba tekintett az átjárón való átkeléskor. A H8-H9 vonalon a megfigyelésben részt vevő férfiak 12%-a, míg a nők 10%-a nem tekintett körül az átjárón való átkeléskor.

A H5 vonalon átkelő férfiak egyike sem, a nőknek is csak 8%-a tekintett körül helytelen sorrendben az átjárón való átkeléskor. A H8-H9 vonalon is a nők voltak túlsúlyban, a férfiak 40%-a, míg a nők 60%-a tekintett körül helytelen sorrendben az átjárón való átkeléskor.

13. ábra: Férfiak körütekintési sorrendje a H8-H9 HÉV átjáróiban (B1-B2-B3)



14. ábra: Nők körütekintési sorrendje a H8-H9 HÉV átjáróiban (B1-B2-B3)



6.4. Körütekintési sorrend korcsoportok szerint

A korcsoportok szerinti megoszlás nem volt egyenletes a felvett mintában. A minta elemszáma az ilyen típusú elemzéshez kicsinek bizonyult. Nem figyelhető meg eltérés a körütekintés helyessége szempontjából korcsoport szerinti bontás alapján az átkelők viselkedésében.

6.5. Körütekintési sorrend hátráltató tényező jelenléte szerint

A H5 vonalon átkelők 44%-a használta az átkelőt hátráltató tényező jelenléte nélkül, 52%-uk valamilyen lassító tényezővel (kerékpár, roller, babakocsi, táskák, kutya) haladt át, 4%-uk pedig figyelemelterelő tényezővel (telefonált, a telefon kijelzőjét nézte, olvasott). A H8-H9 vonalat használó átkelők 78%-ánál nem volt jelen hátráltató tényező, 12%-uk lassító tényezővel, 10%-uk pedig figyelemelterelő tényezővel haladt át. A H5 vonalon a lassító tényező magasabb aránya a nagyobb tolt kerékpáros forgalommal magyarázható. Vizsgálataink kezdetén feltételeztük, hogy a hátráltató tényező jelenléte mellett nagyobb lesz a helytelenül körütekintők aránya. Ezt a hipotézisünket azonban az adatok nem igazolták. Sem a H5, sem a H8-H9 vonal esetében nem növekedett a helytelenül körütekintők aránya a megfigyelt átjárókban.

A 5. táblázat a H5 vonalon, a 6. táblázat pedig a H8-H9 vonalon átkelőkre vonatkoztatva ábrázolja a körütekintési sorrend megoszlását hátráltató tényező jelenléte szerint.

Ha tovább bontjuk a hátráltató tényezőt lassító és figyelemelterelő tényezőre, a helytelen sorrendben körütekintők aránya akkor sem növekedett meg egyik vonalon sem hátráltató tényező jelenléte miatt, még akkor sem, ha

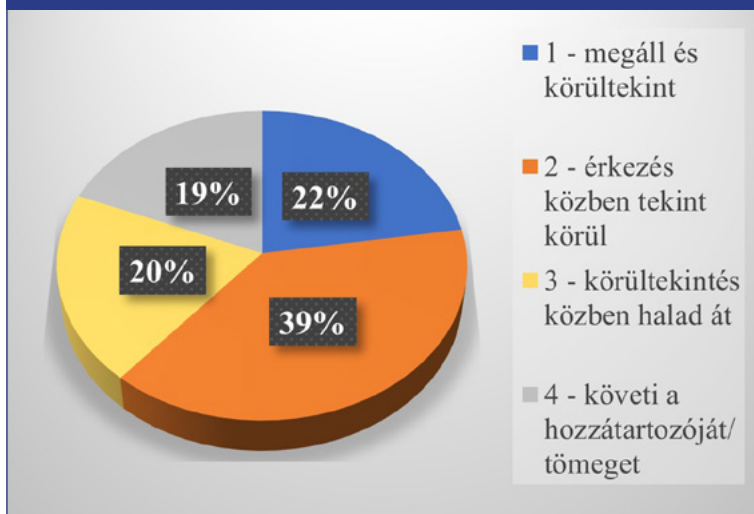
5. táblázat: A körütekintések aránya a H5 vonalon (J1-J2-J3), hátráltató tényező szerint

	Hátráltató tényező nélkül	Hátráltató tényezővel
Helyes sorrendben körütekint	68%	73%
Helytelen sorrendben körütekint	6%	2%
Nem tekint körül	26%	25%

6. táblázat: A körütekintések aránya a H8-H9 vonalon (B1-B2-B3), hátráltató tényező szerint

	Hátráltató tényező nélkül	Hátráltató tényezővel
Helyes sorrendben körütekint	41%	41%
Helytelen sorrendben körütekint	46%	53%
Nem tekint körül	13%	6%

15. ábra: Átkelők megoszlása az áthaladás jellege szerint a H5 HÉV átjáróiban

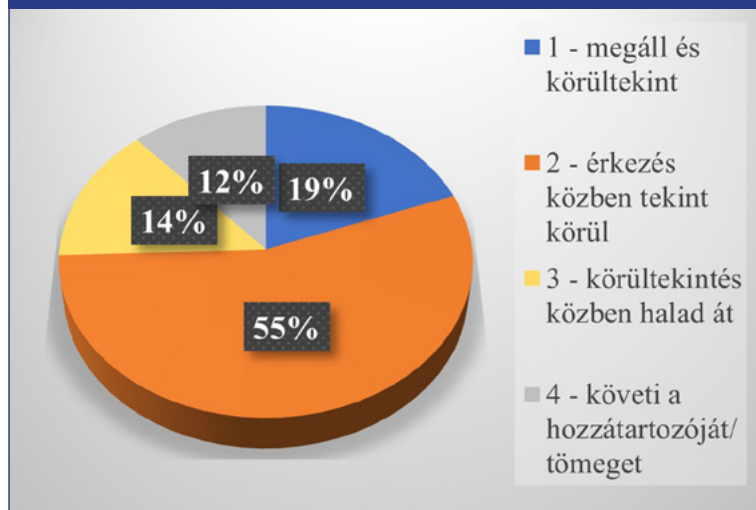


ez a hátráltató tényező jelentős mértékű figyelemelterelő hatással bírt (telefonált, olvasott vagy fülhallgatója volt).

6.6. Körütekintési sorrend az áthaladás jellege szerint

Mindkét vonal esetében elmondható, hogy a megfigyelt vasúti átjárókon való átkelésnél a gyalogosok ötöde megállt és körütekintett az átjáróba való belépés előtt (15. ábra és 16. ábra). Legnagyobb arányban mindkét vonal átjáróiban azok

16. ábra: Átkelők megoszlása az áthaladás jellege szerint a H8-H9 HÉV átjáróiban



A H5 vonal Árpád fejedelem útja/ Nagyszombat utcai átjárójában készült felvételeken például megfigyelhető, hogy sok kerékpárt toló közlekedő használta az átjárót és sokan közülük nem tekintettek körül, csak követték a tömeget. Olyan személyek is voltak, akik a fénysorompó piros jelzése ellenére keltek át, de egy- vagy többszöri körütekintés után. Voltak olyanok is, akik körütekintés nélkül keltek át, de a szabad jelzésen, miután mindkét irányban távoztak a szerelvények.

voltak, akik érkezés közben tekintettek körül (39% és 55%). Ez a két áthaladási jelleg tekintendő a legbiztonságosabbnak.

A két vonal adatait összevetve megfigyelhető, hogy a H5 vonalnál kicsit többen voltak olyan személyek, akik követték a hozzátartozójukat, a tömeget, miközben nem tekintettek körül, vagy csak az egyik irányba néztek. Ez az átjáró biztosítási módjából is adódhat, hiszen ezekben az átjárókban fénysorompó segíti a biztonságos átkelést.

Nagy potenciális veszélyben vannak azok az átkelők, akik körütekintés közben haladnak át, mivel ők az átkelőbe belépés közben néznek körül. Közülük a rossz sorrendben körütekintők hiába néznek a H8-H9 vonal átjárójában balra, ha közben belépnek az átjáróba éppen a jobbról érkező szerelvény elé kilépve. Ők az összes áthaladó kb. 8%-át teszik ki a vizsgált baljáratú H8-H9 vonal átjáróinál.

7. táblázat: Gyalogos balesetek a HÉV vonalakon kimenetel szerint a vizsgált időszakban

HÉV vonal	Balesetek száma (2013.07.01 – 2023.06.30)		
	halálos	súlyos sérülés	könnyű sérülés
H5	0	0	1
H6	0	4	0
H7	2	1	0
H8-H9	6	5	2
Összesen	8	10	3

7. BALESETEK

Az elemzést a HÉV átjárókban történt balesetek elemzésével folytattuk. Arra voltunk kíváncsiak, hogy a szokásostól eltérő közlekedési rend, ami a megfigyeléseink alapján érezhető eltérést, zavart okoz a közlekedők viselkedésében, visszatükröződik-e a baleseti adatokban. Lényegében azt kutattuk, hogy több baleset történik-e a megszokottól eltérő, baljártú vonal átjáróiban, mint a többi vonal átjáróiban.

7.1. Elérhető baleseti adatok

Az elemzéshez a baleseti adatokat a Magyar Közút NZRt. által üzemeltetett WEB-BAL 2.1 Verzió: 2.1.9.0 program adatbázisából nyertük. Az adatbázisból lekérve a HÉV szerelvényekre jutó baleseteket, összesen 58 balesetet kaptunk a 2013.07.01 – 2023.06.30 időszakra levetítve. Ebben szerepel az összes típusú baleset, így ezt tovább kellett szűkíteniünk, hogy csak a gyalogosokkal történt baleseteket kapjuk. További szűrés után 21 baleset adódott a vizsgált időszakban, amelyből 3 könnyű, 10 súlyos és 8 halálos kimenetelű volt. A baleseteket kimenetel szerint, vonalakra bontva mutatja a 7. táblázat.

Valamennyi baleset természete gyalogos elütés. Az okcsoportnál mindenhol a gyalogos hibája szerepel, elsődleges okként pedig 12 esetben tilos jelzésen való áthaladás, két esetben vigyázatlan, hirtelen lelépés az útestre, két esetben tiltott helyen való áthaladás és 5 esetben egyéb ok szerepel. A látási viszonyokat tekintve 14 baleset nappali, természetes fénynél történt, 1 szürkületben, 2 éjszaka, működő közvilágítással és 3 éjszaka, közvilágítás nélkül.

Meglepő módon a médiában, bulvárcikkek böngészésével további balesetekről kapunk adatokat, amelyeknek a megbízhatósága megkérdőjelezhető, így ezeket a további vizsgálatba nem vontuk bele. A bal oldali közlekedési rendű vonalon a vizsgált időszakból 24 db cikket találtunk. Összevetve ezeket a cikkeket a WEB-BAL-ból nyert adatok táblázatával, csak két esetet találtunk, ami ugyanarról a balesetről szólt. A többi három, megszokott közlekedési rendű HÉV vonalról összesen 19

cikket gyűjtöttünk össze. Ezeket az eseteket is összevetettük a WEB-BAL-ból nyert adatokkal és csak egy darab egyezést találtunk. Az eltérések mindenképpen a baleseti statisztika hiányosságaira utalnak.

Ha csak a balesetek darabszámát tekintjük, a négy HÉV vonal közül kiemelkedik a H8-H9 vonal, ahol 13 gyalogos elütés történt a vizsgált 10 éves időtartam alatt, ami több, mint a többi három vonalon összesen (8 gyalogos elütés). Hasonló arányt mutatnak a bulvárcikkek alapján fellelt további balesetek is. Ezek alapján úgy tűnik, hogy a HÉV vonalakon történt gyalogos elütéseknek több mint a fele a megszokottól eltérő, baljártú H8-H9 vonalon történt a vizsgált időszakban.

7.2. Baleseti adatok elemzése

A relatív baleseti mutató a baleseti kockázat legszélesebb körben elfogadott mérőszáma, így a HÉV vonalak biztonsági szempontból történő összehasonlításához ezen mérőszámot használtuk. A relatív baleseti mutatót az (1) képlet szerint számítottuk:

$$Br = (B \times 10^7) / (\overline{ANF} \times l \times t \times 365) \quad (1)$$

ahol: B – a t időtartam alatt bekövetkezett összes baleset száma
 $\overline{ANF}$ – átlagos napi vonatforgalom [jármű/nap]
 t – vizsgálati időtartam [év]
 l – szakaszhossz [km]

A Budapesti Közlekedési Központ oldaláról letöltve az alapmenetrendeket, figyelembe véve az egyes szakaszok hosszát, a járatszámot munkanapokon, szombati és munkaszüneti napokon, megkaptuk az egy év alatt megtett vonatkm-ek hosszát. Ezen számított adatokat 10 évre felszoroztuk, figyelmen kívül hagyva a 10 év alatt a menetrendváltozásokból esetlegesen adódó eltéréseket, ezáltal megkaptuk az (1) képlet nevezőjébe behelyettesítendő értéket. A számlálóba a WEB-BAL adatbázisából nyert baleseti adatok kerültek behelyettesítésre. A relatív baleseti mutatók alakulását a négy HÉV vonalra számítva a 8. táblázat mutatja.

8. táblázat: Gyalogos elütésekre vonatkoztatott relatív baleseti mutató a HÉV vonalakon

HÉV vonal	gyalogos balesetszám /10 év	10 ⁷ vonatkm/10 év	relatív baleseti mutató baleset/10 ⁷ vonatkm
H5	1	1,52	0,66
H6	4	1,2	3,34
H7	3	0,59	5,07
H8-H9	13	1,3	10,02

A négy HÉV vonalat összehasonlítva, a baljártatú H8-H9 vonalon adódott a legmagasabb relatív baleseti mutató a gyalogos elütések tekintetében, hiszen sokkal nagyobb lett a 10⁷ vonatkm-re jutó balesetek száma. Kijelenthető, hogy a megszokottól eltérő közlekedési rendű vonal mentén sokkal nagyobb baleseti kockázatnak vannak kitéve az azt keresztezni kívánó gyalogosok. A veszélyességi sorrend akkor sem változna, ha figyelembe vennénk a balesetek súlyosságát, illetve a sok „elveszett”, csak a médiában fellelhető balesetet. Megjegyezzük, hogy az átkelő gyalogosok összes számáról nincsenek adatok, pedig ezekhez is lehetne a baleseteket viszonyítani.

Eldondolkodtató, hogy a megszokott séma szerinti közlekedés, a megszokott sorrendben való körültekintés azokban az átjárókban, ahol éppen fordított sorrendben kellene körültekinteni, vajon milyen arányban járult hozzá a baleseti kockázat megemelkedéséhez, amit a relatív baleseti mutató nagysága kimutatott a vizsgált 10 éves időtartam alatt történt balesetek alapján.

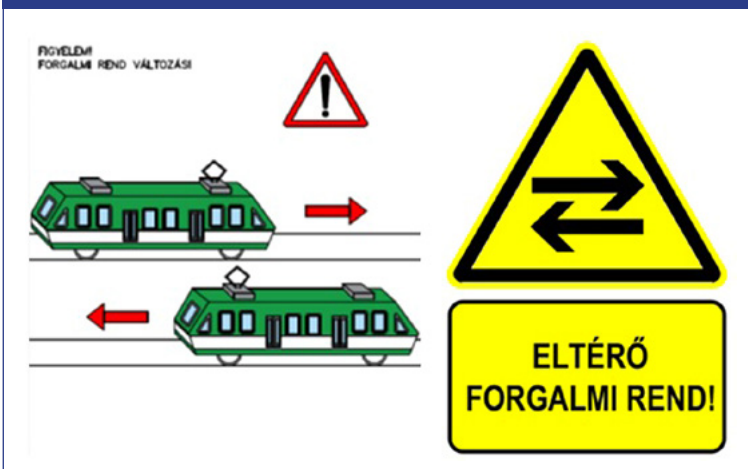
Nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt a tényt sem, hogy a H5 vonal

gyalogos átkelőinek többsége fénysorompóval biztosított, míg a H8-H9 vonal átjárói biztosítás nélküliek. Ez az eltérés is nyilván hozzájárul a baleseti adatok különbségéhez.

8. KÖVETKEZTETÉS ÉS JAVASLATOK

A fenti megfigyeléses vizsgálatok – bár korlátozott számú és terjedelmű mintán alapulnak – azt bizonyítják, hogy a gyalogosok nem képesek a bennük rögzült jobb oldali közlekedési rend sémát felülírni, ezért a baljártatú vonal átjáróiban fokozott veszélynek vannak kitéve. A baleseti adatok pedig – bár hiányokkal terheltek – bizonyítékkal szolgálnak a szokatlan közlekedési rend veszélyeire.

17. ábra: Lehetséges figyelemfelhívó jelzések (saját ábrák)



18. ábra: Burkolatjelek egy angliai gyalogos átkelőhelynél
(kép forrása: iStock.com)



A megszokottól eltérő közlekedési rendre fel kell hívni az emberek figyelmét az átjárók közelében, külön erre a vonalra érvényes figyelemfelhívó jelzésekkel (17. ábra).

További lehetséges intézkedés egyes angliai gyalogos átkelőhelyeknél alkalmazott burkolatjel adaptálása ezekre a vasúti átjárókra. Jobbra mutató nyílal és NÉZZ JOBBRA felirattal ösztönözni lehetne az átjáróhoz érkező gyalogosokat a megfelelő sorrendben való körültekintésre (18. ábra).

A labirintkorlátok felülvizsgálata is szükséges, hiszen azok geometriai vonalvezetése nem minden esetben a megfelelő irányba fordítja a gyalogosokat mielőtt az átjáróba lépnének. A korlátokat úgy lenne érdemes kialakítani, hogy az utolsó szakasz az érkező szerelvénnel szembe fordítsa az átkelőket. Az oda-vissza fordítások átfedési hosszát is minden esetben optimalizálni szükséges, hiszen, ha túl rövid ez a hossz, akkor az utolsó szakasz megtételekor még a fordulásra figyel a gyalogos, miközben már megérkezik az átjáróba. Ha viszont ezek az átfedési szakaszok túl hosszúak, akkor a gyalogosok inkább kikerülnek. A labirintkorlátok melletti területet is úgy kell kialakítani, hogy ösztönözze az érkezőt a korlát használatára – ne lehessen elhaladni mellette akadálytalanul.

A legmegnyugtatóbb megoldás persze az lenne, ha elkészülne a vonal tervezett rekonstrukciója és ennek keretében a jobb oldali közlekedési rendre való átállítása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Domonkos, Cs. (2021). 80 éve vezették be a jobb oldali közlekedést Magyarországon. PestBuda. https://pestbuda.hu/cikk/20211110_80_eve_vezettek_be_a_jobb_oldali_kozlekedest_magyarorszagon [olvasva: 2024. 06. 05.]
- [2] Holló, P., Papp, I., Siska, T. (1995). Observation of elderly pedestrians on signalized crossings and of jaywalkers in the vicinity of pedestrian subways In: Safety of Urban Transport with Focus on Pedestrian Problems. Proceedings of the 8th Workshop, International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety, Paris. 1–11.
- [3] Zeedyk, M. S., Kelly, L. (2003): Behavioral observations of adult-child pairs at pedestrian crossings. Accident Analysis & Prevention, 35(5). 771–776. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457502000866?via%3Dihub>. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00086-6](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00086-6)
- [4] Makó, E.; Szakonyi, P. (2016). Evaluation of Human Behaviour at Pedestrian Crossings In: Rafalski, L et al (szerk.) 6th Transport Research Arena (TRA 2016) : Proceedings of a meeting held 18-21 April 2016, Warsaw, Poland. Elsevier (2016). 2121-2128. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516302307?via%3Dihub>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.227>
- [5] Granié, M-A., Pannetier, M., Guého, L. (2013): Developing a self-reporting method to measure pedestrian behaviors at all ages. Accident Analysis & Prevention, 50. 830–839. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.07.009>
- [6] Hőgye-Nagy, Á. (2018). A gyalogos viselkedés skála magyar nyelvű adaptációja. Alkalmazott Pszichológia 2018, 18(4): 59–76. <http://ap.elte.hu/wp-content/>

uploads/2019/01/AP_2018_4_Hogy-Nagy.pdf [olvasva: 2024. 06. 05.]

- [7] Hógye-Nagy, Á. (2016): A biztonságos közúti viselkedést befolyásoló tényezők és a közlekedés biztonsági kultúrájának vizsgálata, módszertani megfontolásai, doktori értekezés, Debreceni Egyetem, <https://dea.lib.unideb.hu/server/api/core/bitstreams/e28dddc6-1493-4193-972b-4585eb6b9b56/content> [olvasva: 2024. 06. 05.]
- [8] Martin, A. (2006). Factors influencing pedestrian safety: a literature review. No. PPR241. Wokingham, Berks: TRL, 2006.
- [9] Lévêque, L., Ranchet, M., Deniel, J., Bornard, J. C., & Bellet, T. (2020). Where do pedestrians look when crossing? A state of the art of the eye-tracking studies. IEEE Access, 8, 164833-164843. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3021208.
- [10] Thompson, C., & Sabik, M. (2018). Allocation of attention in familiar and unfamiliar traffic scenarios. Transportation research part F: Traffic psychology and behaviour, 55, 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.03.006>
- [11] Ye, Y., Wong, S. C., Li, Y. C., & Lau, Y. K. (2020). Risks to pedestrians in traffic systems with unfamiliar driving rules: A virtual reality approach. Accident Analysis & Prevention, 142, 105565. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105565>
- [12] Ye, Y., Wong, S. C., Meng, F., & Xu, P. (2021). Right-looking habit and maladaptation of pedestrians in areas with unfamiliar driving rules. Accident Analysis & Prevention, 150, 105921. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105921>



Pedestrian behaviour in crossings of HÉV (Budapest commuter railway) lines with right- and left-hand approach direction

Keywords: suburban traffic, pedestrian, pedestrian crossing, level crossing, pedestrian behaviour, level crossing light signals, labyrinth handrails

In Budapest, suburban railway lines usually operate with right-hand traffic, but one of them, the line H8-H9 still works in the left-hand system. The aim of this paper is to investigate the behaviour of pedestrians in selected at-grade crossings of H5 right- and H8-H9 left-hand lines and to reveal any differences between their behaviour, as well as the safety consequences. The results show that in right-hand traffic crossings, about 70% of pedestrians look in the correct order (left-right) before crossing, while in left-hand crossings, where the traffic order is different from the usual, the proportion of pedestrians looking in the correct order (right-left) is only about 40%. The analysis has been extended to other parameters, and a comparison has been made between right- and left-hand lines in terms of pedestrian accident data, which shows several times higher values for the left-hand line. Finally, some recommendations are made to encourage appropriate pedestrian behaviour and thus improve safety.



Verhalten von Fußgängern an Bahnübergängen an HÉV (Budapester Vorortbahn) -Linien mit Rechts- und Linksverkehr

Schlüsselwörter: Vorstadtverkehr, Fußgänger, Fußgängerüberweg, Bahnübergang, Fußgängerverhalten, Lichtschränke Labyrinth-Geländer

In Budapest verkehren die Vorortbahnlinien im Rechtsverkehr, eine davon, die Linie H8-H9, verkehrt jedoch noch im Linksverkehr. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, das Verhalten von Fußgängern an ausgewählten Bahnübergängen der rechten Linien H5 und der linken Linien H8-H9 zu untersuchen und etwaige Unterschiede zwischen ihrem Verhalten sowie die Auswirkungen auf die Sicherheit aufzuzeigen. Die Ergebnisse zeigen, dass an Übergängen mit Rechtsverkehr etwa 70 % der Fußgänger vor dem Überqueren in der richtigen Reihenfolge (links-rechts) schauen, während an Übergängen mit Linksverkehr, an denen die Verkehrsordnung von der üblichen abweicht, der Anteil der Fußgänger die in der richtigen Reihenfolge (rechts-links) schauen, beträgt nur etwa 40 %. Die Analyse wurde auf weitere Parameter ausgeweitet und es wurde ein Vergleich zwischen der rechten und der linken Linien hinsichtlich der Fußgängerunfalldaten durchgeführt, der für die linke Linie vielfach höhere Werte zeigt. Abschließend werden einige Empfehlungen gegeben, um angemessenes Verhalten von Fußgängern zu fördern und somit die Sicherheit zu verbessern.

Támogatóink



ÉPÍTÉSI ÉS KÖZLEKEDÉSI
MINISZTERIUM



KTI
Alapítva - Since 1938

Magyar Közlekedéstudományi
és Logisztikai Intézet



Petőfi
Kulturális
Ügynökség



STADLER

Stadler Trains Magyarország Kft.



EUROASZFALT
ÉPÍTŐ ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT.

 **HungaroControl**

Magyar Légiforgalmi Szolgálat



KÖZLEKEDÉS
TERVEZŐIRODA



NEMZETI
ÚTDÍJFIZETÉSI
SZOLGÁLTATÓ ZRT.

