


LXXI. ÉVFOLYAM 6. SZÁM
2021. 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 RÜNDSCHAU
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
Barlog Károly
Dr. Békési István
Berta Tamás
Bretz Gyula
Horváth Lajos
Mészáros Tibor
Dr. Prileszky István
Somogyi Marcell
Szűcs Lajos
Dr. Tánzos 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

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

FELELŐS KIADÓ:
Dr. Tóth János,
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
Előfizethető a Közlekedéstudományi Egyesületnél
Egy szám ára: 1380 Ft, Éves előfizetés: 8280 Ft
Egyéni KTE tagnak tagdíjjal: 5140 Ft
Nyugdíjas és diák KTE tagnak tagdíjjal 4640 Ft

ISSN 0023 4362

A folyóiratunkban megjelenő cikkek egy év embargót követően 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

Sipos Tibor Ph.D. – Szabó Zsombor
Közösségi közlekedési módok súlyszámának meghatározása városi környezetben – egy lehetséges módszertan 4

Törő Olivér – Dr. Bécsi Tamás, PhD
Közúti jármű mozgásmodelljének meghatározása kényszerezett multimodelles szűrő eljárásokkal 17

Tumik Péter
A vasút jövője – a jövő vasútja Budapesten 29

Nagy Simon – Dr. Csonka Bálint
Dr. habil. Csizsár Csaba – Dr. Földes Dávid
A városi személyközlekedési rendszer fejlődési irányai 46

Horváth Balázs – Török Ádám
Budapest városfejlesztés aktuális kérdései az MTA Közlekedés- és Járműtudományi Bizottságának üléséről 61

Melléklet

*Közlekedésbiztonság -
Közlekedési környezetvédelem*

Krizsik Nóra – Pauer Gábor – Szigeti Szilárd
A kerékpáros baleseti sérültek aluljelentettségének vizsgálata kórházi adatok alapján 67

Tisztelt Előfizető! Tisztelt Olvasó!

A Közlekedéstudományi Szemle nem csak nyomtatott, hanem digitális változatban is olvasható. Digitális változat megrendelése csak egyéni előfizetőknek lehetséges a Közlekedéstudományi Szemle szerkesztőségénél (szemle@ktenet.hu). A nyomtatott változat 8280 Ft-os előfizetési díjjal szemben a digitális változat előfizetési díja csak 6000 Ft évente, KTE egyéni tagnak 4140 Ft. A könnyebb elérhetőség és az előfizetők jobb kiszolgálását biztosítandó, egyszerűsítettük az eddigi terjesztési formát. Így a jövőben az aktuális lapszámokat már a nyomtatott változat megjelenés előtt elküldjük előfizetőink e-mail címére pdf formátumban. Reméljük, hogy hamarosan üdvözölhetjük Önt is a digitális előfizetőink között.

Közösségi közlekedési módok súlyszámának meghatározása városi környezetben – egy lehetséges módszertan

A különböző városi közlekedési módok rangszámfüggésének vizsgálatánál a rangszám azt reprezentálja, hogy az adott település milyen szintű régiónak a központja. A vizsgálat során egy lineáris regressziós modellt építettek fel a különböző közlekedési módok súlyszámának a meghatározásához.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2021.6.1>

Sipos Tibor Ph.D. – Szabó Zsombor

adjunktus

tanársegéd

BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,

Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.

Mobilitás Kutatóközpont

Közszolgáltatási Központ

e-mail: sipos.tibor@kjk.bme.hu, szabo.zsombor@kjk.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A gazdasági fejlettség növekedésében jelentős szerepet játszik a még mindig rohamosan növekvő közlekedési igények kielégítése. Kérdés, hogy ez meddig folytatható annak tudatában, hogy a szén-dioxid-kibocsátás 24 százaléka a közlekedés számlájára róható fel. Talán Magyarországon még szerencsésnek mondhatjuk magunkat, ugyanis a kontinensen belül magas a közösségi közlekedést használók aránya, és részben ennek is köszönhető, hogy egyelőre „élhető” minőségű levegő áll rendelkezésünkre. Azonban ez közel sem jelenti azt, hogy hátradőlhetünk. A szemléletformálás és a zöld technológiai lehetőségek kihasználása mellett a közlekedésben rejlő fejlesztési potenciált is ki kell használnunk.

A gazdasági fejlődést támogató közlekedésfejlesztési projekteket zöld közlekedési mód alkalmazásával kell megvalósítanunk, így végterményben a gazdasági növekedés az ökoló-

giai lábnyom csökkenése mellett következik be. A megközelítés alkalmazása azonban megköveteli, hogy a tervezett közlekedési hálózaton a hagyományos és a zöld közlekedési módok kibocsátásának összehasonlítása elvégezhető legyen. Alapvetően azt gondolnánk, hogy az elemzés egyszerűen végrehajtható, azonban jelenleg igen csekély azon kutatások száma, amelyek erre a kérdéskörre adnak választ.

Önmagában a közösségi közlekedés fejlesztése is a fenntartható kategóriába sorolható, amennyiben eredményeképpen az egyéni közlekedési módokkal szemben a versenyképessége növekszik. A Fehér Könyv [1] ebben a kérdésben egyértelműen fogalmaz, miszerint a „*hagyományos tüzelőanyaggal működő gépjárművek használatát 2030-ig felére kell csökkenteni, 2050-re pedig teljesen ki kell küszöbölni; a jelentősebb városközpontok logisztikáját alapvetően szén-dioxid-mentesíteni kell 2030-ra*”. Emiatt a zöld közlekedési módok közé a

trolibuszt, a villamost és a metrókat soroljuk. Bár meg lehet említeni az elektromos buszok térhódítását is, azonban városi környezetben (sok jármű kis helyen), valamint az elektromos járművek akkumulátorkapacitásával szemben megfogalmazott kritikák miatt célszerűbbnek tűnik a trolibuszhálózat fejlesztése kis kapacitású akkumulátorokkal közlekedő járművekkel.

Kutatásunk kiemelt célja emiatt olyan arányszámok meghatározása az egyes városi közlekedési módokra, amelyekkel azok közvetlenül összehasonlíthatóvá válnak. Ehhez az elsődlegesen alkalmazni kívánt eszköz a lineáris regressziós modell, amelynek előnye, hogy a változók megfelelő megválasztásával a modellek paraméterei a kívánt arányszámokat eredményezik. Hátránya, hogy ezen modellekben a közösségi közlekedés mutatószámai leggyakrabban a függőváltozó szerepét veszik fel, amelyek nem rendelkeznek paraméterrel, így a hagyományostól eltérő megközelítések válnak szükségessé.

A teljesítménymutató, amelyet alkalmazunk, az a hálózatban jelenlévő egyes módok vonaldarabszáma. Ezzel a módszerrel szemben felmerülhet kritikaként, hogy a mutatószám nem veszi figyelembe azok hosszát, járatszámát, valamint utasszámát, azonban előzetes számítások azt mutatják, hogy indulásszámmal való súlyozás után sem kapunk lényegesen pontosabb képet (például: [2]), az adatok előállítására viszont lényegesen bonyolultabbá válik. Alkalmazhatóságát bizonyítja, hogy számos kutatás beemeli valamilyen formában a Smart City mutatók közé [3], azonban azt is hozzá kell tenni, hogy jogosan kritikák is fogalmazódnak meg jelen formájában használhatóságával kapcsolatban [4]. Egy esetleges súlyozási rendszer előállításával a kritikák egy része semlegesíthetővé válna.

2. IRODALOMKUTATÁS

Kutatásunk egy korábbi munka továbbfejlesztése [5]. Ebben azt vizsgáltuk, hogy a rangszám és a közösségi közlekedési hálózat között városi szinten milyen összefüggés mutatható ki.

Megállapítottuk, hogy a rangszám van annyira jó mutatószám, mint a GDP alapúak. A rang fontosságát, – igaz nem számszerűsíthető módon –, csupán empirikus úton, Lénár is megemlítette könyvében [6].

Amennyiben a városok szerepét elemezzük, kiemelten fontos kérdés, hogy lehet azokat lehatárolni? Egyrésztől Friedman [7] megemlítette, hogy a város elemzése nem történhet meg az azt körülvevő agglomeráció figyelembevétele nélkül. Másrészt viszont számos olyan település van, amely önmagában is értelmezhető. A [8] több mint 50 várost vett figyelembe és hasonlított össze, kialakítva egy listát a világ nagyvárosairól. Továbbá [9] megállapította, hogy London annyira különleges város, hogy sokkal inkább hasonlít New Yorkra, mint bármely más európai vagy angol városra [10].

A közlekedéstudománnyal foglalkozó szakirodalomban számos tanulmány hasonlítja össze az egyes városokat [11], [12], valamint ugyanez igaz a városi közösségi közlekedési rendszerekre is [13], [14]. A közlekedési módok közti összehasonlítás Cats munkáiban figyelhető meg, aki számos modellt állított fel, amelyekben az egyes közlekedési módok kialakulását és fejlődését vizsgálja, például [15].

A közösségi közlekedés közgazdasági szempontú megközelítése igen sokrétű. Egyrészt a közösségi közlekedés egy olyan termék, amelyért a felhasználók a pénzük mellett az idejükkel is fizetnek. És mivel egyre több közösségi közlekedést állítanak elő, a befektetett idő csökken a megnövekedett járatgyakoriság, a jobb lefedettség és a közvetlen útvonalak miatt [16]. Ezáltal megállapítható, hogy nagyobb és szélesebb kínálat mellett, a városokban megnő a közösségi közlekedést használók aránya [17]. Azonban a nagyobb kínálat értelemszerűen nagyobb költséggel is jár, amelynek jelentős részét az államnak, valamint a helyi önkormányzatnak kell állnia, hiszen az utazási díjak növelése könnyen az utasszám csökkenéséhez vezethet [18]. Másrésztől viszont a városi lakosság növekedésével egyre nagyobb igény mutatkozik a közösségi közlekedési rendszerekre [19], [20].

A közösségi közlekedési rendszerek elemzésénél mindig nagyon fontos kérdés, hogy milyen módszertant, eljárást alkalmazhatunk a hatékonyság mérésére. A [21] összefoglalja a legfontosabb eljárásokat, amelyekkel a közösségi közlekedési rendszerek legjellemzőbb paraméterei meghatározhatók. Budapest esetében Gaal és munkatársai elemezték a közösségi közlekedési rendszer teljesítményét [22]. A [23] a DEA elemzés módszertanát alkalmazta katalóniai városokra. Murray és munkatársai az elérhetőséget vizsgálták Brisbaneben, valamint az agglomerációjában [19], [24]. Kim és munkatársai a szöuli metró esetében végeztek fraktálanalízist [25]. Xi'an városában a metró rendszer hatékonyságát vizsgálta a [26]. A közösségi autóbusz közlekedés hatékonyságának a korlátait Borhan és munkatársai mutatták be a malajziai Putrajaya példáján keresztül [27].

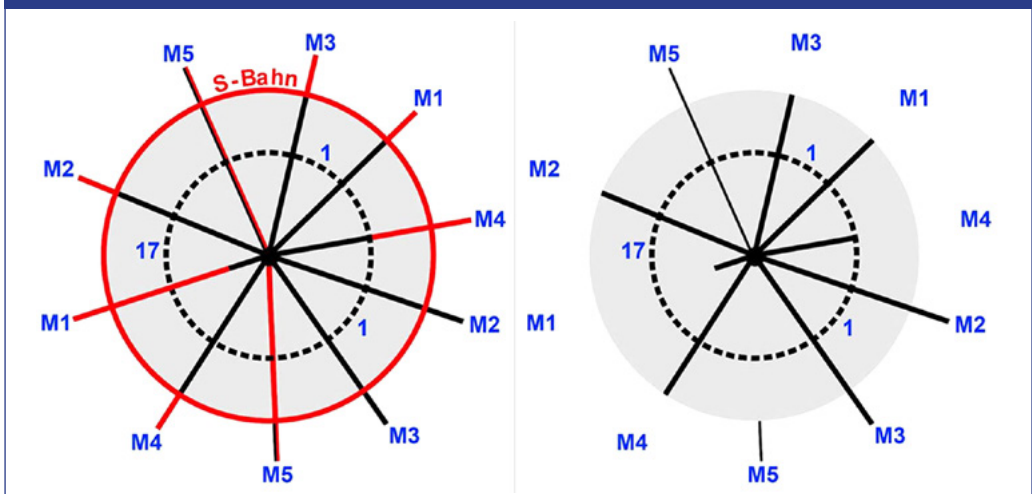
Természetesen számos olyan cikk készült, amely jelen elemzésben lévő városok esetét mutatja be. Budakeszi közösségi közlekedési rendszerét vizsgálták a klasszikus négylépcsős forgalmi modell segítségével [28]. A hozzáférhetőség szempontjából Yatskiv és munkatársai [29] vizsgálták meg Riga, valamint Šipuš and Abramović Sziszek (Sisak) városát [30]. Zágráb városát is számos elemzés vizsgálja [31], [32].

3. PROBLÉMAFELVETÉS

Az általunk kialakított módszertan arra az alapvető kérdésre keresi a választ, hogy ki lehet-e alakítani a városi közösségi közlekedési módokra is egy súlyszámot, mint ahogyan az a helyközi közlekedés esetében megoldható [33]. Alapfelvetés, hogy a közlekedéstudományokon belül minden egyes közlekedési módnak megvan a jól meghatározott szerepe, ami függ az utasszámtól, a helyközi közlekedésben az utazási távolságtól, míg helyi közlekedésben a követési időköztől [34]. Azonban ezt a szerepet számos paraméter befolyásolja. Például Budapest méreteiből adódóan a metrónak kellene azt a szerepet felvennie, hogy átmérős viszonylatokkal gyors eljutást biztosít a város egyik végéből a másikba, jelenleg azonban csupán négy olyan metrómegálló van, amely az 1950-ben a városhoz csatolt területen fekszik. Emellett a HÉV vonalak feltárják a külvárosi területeket, viszont azok egy kivételével nem érik el a belvárost. A jelenlegi, valamint az ideális hálózatbeli állapotok közti különbséget az 1. ábra szemlélteti.

A jövőre vonatkozóan az Európai Unió közlekedéspolitikai céljait összefoglaló Fehér Könyv [1] kimondja, hogy 2050-ig el kell érni a kibocsátásmentes városi közlekedést– vagyis a

1. ábra: Budapest gyorsvasúti rendszerének ideális felépítése és jelenlegi állapota
(forrás: [35])



hagyományos tüzelőanyaggal működő gépjárművek használatát 2030-ig felére kell csökkenteni, 2050-re pedig teljesen ki kell küszöbölni, valamint a jelentősebb városközpontok logisztikáját alapvetően szén-dioxid-mentesíteni kell 2030-ra. Ennek a kézenfekvő módja a közösségi közlekedési rendszerek intenzív fejlesztése, és a zöldnek tekinthető közösségi közlekedési módok alkalmazása. Az autóbushálózatok tekintetében az átállásra három lehetőség van, az elektromos buszok alkalmazása, a trolibuszhálózatok fejlesztése, a villamosok szerepének újradefiniálása.

A trolibuszhálózat Budapesten az 1950-es években alakult ki. 1933-ban kialakításra került egy trolibuszvonat, ami azonban az a II. világháborús szőnyegbombázások következtében megsemmisült. A trolibuszhálózat koncepciója a kislevegű villamosvonalak felváltására irányult. Ez először a belvárosban ment végbe, majd a Budai-hegyekre vonatkozóan is voltak tervek, ezek azonban nem valósultak meg. A folyamat végül Zuglóban fejeződött be. Így Budapesten két külön hálózat alakult ki, amely a Keleti pályaudvar – Puskás Ferenc Stadion vonalban áll összeköttetésben egymással. Hagyományosan trolibuszvonatát két esetben érdemes kiépíteni, egyrészt sűrűn beépített belvárosi részeken, ahol a károsanyag-kibocsátás elmaradása a legnagyobb előnyt biztosítja, a másik pedig a hegyvidéki terpen, ahol az elektromotor kedvezőbb karakterisztikája érvényesülhet.

A villamoshálózat Budapesten az 1800-as évek vége óta elérhető. Fejlődése a II. világháborúig töretlen, azonban utána elindult a felszámolási hullám, az európai trendek, valamint az 1968-as közlekedéspolitikai koncepció továbbgyűrűző hatásai miatt. A közút térnyerése, valamint a metróüzem iránti igény a villamoshálózat csökkenését eredményezte. Ezzel kapcsolatban Lénár [6] fogalmazott meg egy kritikát, amely szerint a közút fejlődésével, elmaradt a vasút feladatainak újrapozicionálása. Bár kutatásában a Hegyközi Kisvasúttal kapcsolatos észrevételeit írta le, az ott megfigyelt anomáliák akkoriban az egész országot terhelték. Az 1968-as közlekedéspolitikai koncepció nagy fejlődést hozott

a hazai közösségi közlekedésben, azonban a későbbi történelmi események mai szemmel nézve az elért eredményeket némiképp megkérdőjelezzik. Az kijelenthető, hogy a villamos számára máig nem alakult ki egyértelmű szerep a városi közlekedésben. Bár a korábban bemutatott szabályrendszer ([34]) továbbra is rendelkezésre áll, így a forgalomnagyság és a követési időköz egyértelműen determinálja a villamoshálózat iránti igényt, a gyakorlatban ez az elv nem teljesül, és ez nemcsak Magyarországra, hanem a teljes fejlett világra igaz [36]–[38].

Városi szinten vizsgálva kétféle modell figyelhető meg, a klasszikus állagmegóvás, vagyis az eddig megmaradt villamosviszonylatok üzemeltetése mellett. Az egyik az a turisztikai célú felhasználás, aminek leghíresebb képviselője Lisszabon. Itt a villamoshálózat teljes mértékben a turisták igényeit szolgálja ki, a legtöbb felhasználó vonaljeggyel utazik, valamint a pályasebesség is rendkívül alacsony [39].

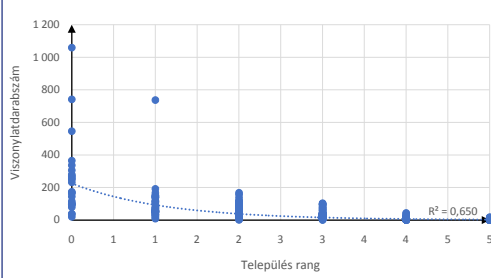
A másik a Stadtbahn- vagy Light Rail koncepció –, amelynek lényege, hogy a villamosok a külvárosokban emelt pályasebességgel, külön pályán közlekednek, míg a belvárosban „hagyományos” villamusként. Ennek egyik példája Dublin, ahol egy két vonalból álló hálózat van, amely teljesen átszeli a várost [37]. Ezzel a megközelítéssel az a probléma, hogy egy nagyon vékony határvonal van, ahol ez üzemeltethető, hiszen nagyvárosokban inkább metró, míg kisebb városokban autóbushálózatot vagy BRT (Bus Rapid Transit) rendszert építenek [38], ennek oka, hogy az emelt pályasebesség megköveteli a különböző forgalombefolyásoló eszközök telepítését, aminek beruházási költségnövelő hatása van.

A másik probléma, amibe beleütköztünk, hogy az elemzés során a közlekedési módok súlyozása a cél. A hálózatot leíró paraméterek függőváltozóként vesznek részt a modellben. A függőváltozó viszont egy adott érték minden egyes megfigyelésre, nem rendelünk hozzá paramétert. Így némileg másfajta megközelítést alkalmazunk, amelynek lényege, hogy a magyarázó változók közti arányokból következtetünk a közlekedési módok súlyszámaira.

4. AZ ADATOK ELEMZÉSE

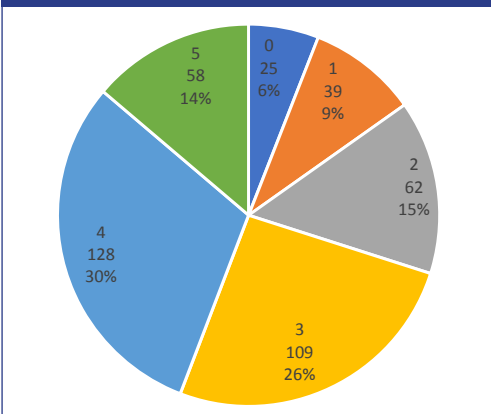
Az [5] lényege, hogy egy adott településen lévő közlekedési viszonylatok darabszáma hogyan magyarázható a települések rangszámával. Az eredmények azt mutatják, hogy egy negatív exponenciális függvényt kell keresni, eredményként a 2. ábra adódott.

2. ábra: A összesített viszonylatdarabszám a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)



Az elemzéshez 421 európai települést vettünk alapul Európa minden országából (a kaukázusi országokat nem ide számítva) a Vatikánt kivéve. Ezekre építünk egy linearizált regressziós modellt, amely a viszonylatdarabszámok, valamint a rangszámok közötti kapcsolatot vizsgálja. A rangszámok ebben az esetben is azt jelentik, hogy melyik az a legrangosabb NUTS

3. ábra: Az egyes rangú települések darabszáma és gyakorisága
(forrás: saját szerkesztés)



régió, amelynek az adott település még a központja, azzal a megkötéssel, hogy amennyiben az ország NUTS-1 szinten még nem bontható, akkor a főváros rangja nem 0, hanem 1 lesz. Amennyiben NUTS-2 szinten sem bontható, akkor a főváros rangja 2, és így tovább. A másik megkötés, hogy az Európai Uniói szeptember körét is igyekeztünk figyelembe venni, amennyiben az rendelkezésre állt. A rangszámok megoszlását a 3. ábra szemlélteti.

Az egyik különbség a korábbi kutatásokhoz képest, hogy a rangszámot átskáláztuk 1-6-ig terjedő skálára, így nemcsak negatív exponenciális, hanem negatív hatványkitevős modell is építhető.

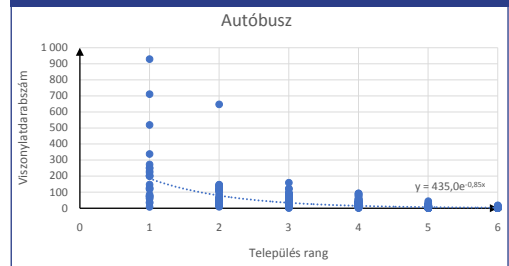
Ahhoz, hogy a kitűzött célhoz közelebb kerüljünk, meg kell vizsgálni az egyes közlekedési módokat. Öt közlekedési módot különböztettünk meg, úm.:

- autóbusz,
- trolibusz,
- villamos (és a Stadtbahn rendszerek),
- metró és elővárosi vasút,
- valamint az egyéb kategória.

4.1. Autóbusz

A települések kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy rendelkezzenek közösségi közlekedési hálózattal. Így csak olyan települések kerültek be, ahol van autóbushálózat. Az autóbuszviszonylatok darabszámát az egyes települések rangjának függvényében a 4. ábra szemlélteti.

4. ábra: Autóbusz-viszonylatdarabszámok a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)

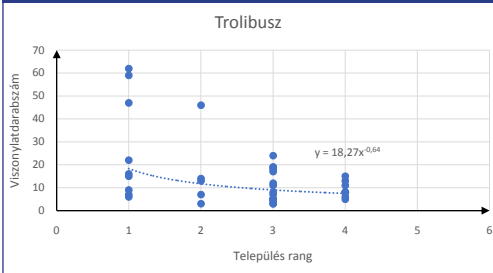


Mint az látható, az autóbuszokra inkább egy negatív exponenciális görbe illeszthető, amely az R^2 alapján jól jellemzi az adatsort.

4.2. Trolibusz

A trolibuszüzemeket tekintve a vizsgált településeken 39 található. A viszonylatok darabszámát a rangszám függvényében az 5. ábra szemlélteti.

5. ábra: Trolibusz-viszonylatdarabszámok a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)



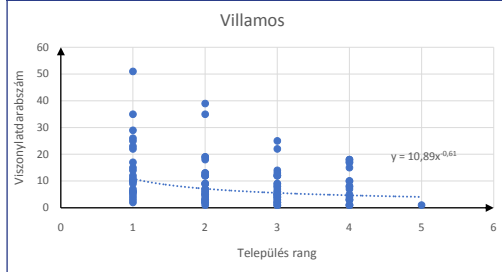
Az 5. ábrából látható, az adatokra inkább egy negatív hatványkitevős görbe illeszthető, amely nem fedi le megfelelően az adatsort. Ami látható még, hogy a trolüzemek a nagyvárosokban terjedtek el, mint egy kiegészítő szolgáltatásként. Míg az autóbuszüzemek esetén az illesztett görbe alapján egy 1 rangú városban $435,09 \cdot e^{-0,857} = 184,67$ autóbuszviszonylat jár, addig trolibuszból ugyanez a szám 18,272.

4.3. Villamos

A vizsgált települések közül 100 esetben üzemelt villamoshálózat. Ezekben a városokban a viszonylatok darabszámát a rangszám függvényében a 6. ábra szemlélteti.

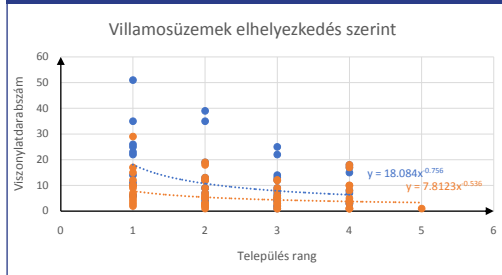
Ami látszik, hogy az adatsort itt is a negatív hatványkitevős függvény jellemzi a legjobban, amellett, hogy a görbe itt sem írja le megfelelően az adatsort. Amennyiben megvizsgáljuk a kiugró értékeket, azt láthatjuk, hogy Bécs kivételével ezek az egykori keleti blokk területén találhatóak. Ennek oka való-

6. ábra: Villamos-viszonylatdarabszámok a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)



szerűsíthetően, hogy a 60-as és 70-es évekbeli hálózatcsökkentés a vasfüggönyön innen kevésbé volt jellemző. Ha az adatsort ennek megfelelően szétbontjuk, a 7. ábrát kapjuk.

7. ábra: Villamos-viszonylatdarabszámok a rangszám és az elhelyezkedés függvényében
(forrás: saját szerkesztés)

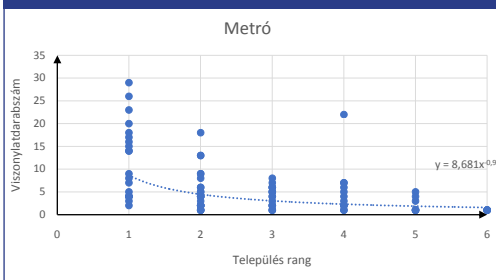


Mint az látható, a volt keleti blokk országaiban (kékkel) sokkal magasabb metszésponthoz sokkal meredekebb görbe tartozik, amely jobban is írja le az adatsort, mint a nyugati országok településeinél (narancssárga), azonban az R^2 érték még mindig nem tekinthető különösebben magasnak.

4.4. Metró

A vizsgált települések közül 86 esetben üzemelt metró vagy valamilyen város által megrendelt elővárosi vasúthálózat. Ezekben a városokban a viszonylatok darabszámát a rangszám függvényében a 8. ábra szemlélteti.

8. ábra: Metró-viszonylatdarabszámok a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)

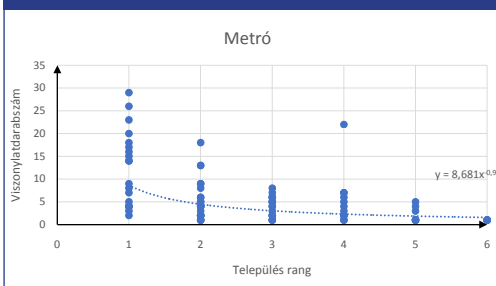


A 8. ábrából látható, és előzetesen várható is volt, itt a legmagasabb (abszolútértékben) a meredeksége a görbének, vagyis a rang csökkenésével (rangszám növekedésével) itt csökken legjobban a hálózatnagyság, és a legkisebb településekre esetleg egy-egy hálózati elem jut el.

4.5. Egyéb

Az egyéb kategóriába soroltuk azon közlekedési módokat, amelyek részei valamilyen módon a közösségi közlekedési hálózatnak, azonban egyik fenti módnak sem részei. Ezen hálózati elemek általában kevésbé veszik ki részüket a mindennapi közlekedés lebonyolításában, sokkal inkább turisztikai szerepkörrel rendelkeznek. A viszonylatok darabszámát a rangszám függvényében a 9. ábra szemlélteti.

9. ábra: Az egyéb közlekedési módok viszonylatdarabszáma a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)



Mint ahogyan az látható, ezen adatokat is negatív hatványkitevős görbével lehet közelíteni, amelynek R^2 értéke azonban kifejezetten alacsony.

4.6. Előzetes elvárások

A módszertanban ismertetett folyamatok során minden egyes módhoz kapcsolunk egy tengelymetszetet, valamint egy meredekséget. Így az egyes közlekedési módok vizsgálata alapján, a következő előzetes elvárásokat tehetjük. A trolibusz esetében a kiegészítő szerepnek köszönhetően alacsony tengelymetszetet, valamint alacsony meredekséget várhatunk, ugyanis feltételezhető, hogy a hálózatnagyság kevésbé függ a rangszámtól. A metrók esetében egy szignifikáns negatív meredekséget várunk a rangszám emelkedésével, ami abszolútértékben a legnagyobb. Az egyéb kategóriánál szintén nem várhatunk markáns hatásokat, kis meredekségű lefolyásra lehet számítani.

Az előzetes elvárásokat a villamosüzemek esetében a legnehezebb megfogalmazni. Egyrészt egy a metróénál alacsonyabb tengelymetszetet, valamint egy kisebb meredekséget várunk el. Azonban a problémafelvetésben megfogalmazott kritikák alapján korántsem biztos, hogy a leírt karakterisztikát fogjuk visszakapni.

5. MÓDSZERTAN

Amint az az adatok elemzéséből látható, valamilyen negatív exponenciális vagy negatív hatványkitevős modell építhető fel az egyes módokra. Tehát legyen $y_1 \dots y_5$ az egyes módokként megfigyelhető viszonylatok száma a korábbi felsorolás sorrendjében, vagyis:

- autóbusz,
- trolibusz,
- villamos,
- metró,
- egyéb.

Minden egyes közlekedési módhoz rendelkezésre áll egy függvény, amely negatív exponenciális alakban (1), míg negatív hatványkitevős alakban (2) formát vesz fel.

$$y_{ij} = a_j e^{b_j x_i} \quad \forall i = 1..421, j = 1..5 \quad (1)$$

$$y_{ij} = a_j x_i^{b_j} \quad \forall i, j \quad (2)$$

ahol:

- a_j és b_j módokra jellemző paraméterek (tengelymetszet és meredekség),
- x_i a település rangja,
- i a település sorszáma,
- j az adott mód sorszáma.

Az egyes görbék mind a metszéspontjukban, mind a meredekségükben különböznek egymástól, így definiálni kell dummy változókat, mind konstans értékkel, mind a független változótól függő értékkel [40]. A viszonyítási alap az autóbuszviszonylatok darabszáma lesz, hiszen azok minden településen jelen vannak. A többi módhoz konstans értékű dummy változót definiálunk, hogy értéke akkor egy, ha az adott településen az adott közlekedési mód előfordul, egyébként pedig 0. Jelölési rendszerük a következő:

- t : trolibuszra jellemző konstans dummy változó

$$\left(t = \begin{cases} 0, & \text{ha } y_2 = 0 \\ 1, & \text{ha } y_2 \neq 0 \end{cases} \right),$$

- v : villamosra jellemző konstans dummy változó

$$\left(v = \begin{cases} 0, & \text{ha } y_3 = 0 \\ 1, & \text{ha } y_3 \neq 0 \end{cases} \right),$$

- m : metróra jellemző konstans dummy változó

$$\left(m = \begin{cases} 0, & \text{ha } y_4 = 0 \\ 1, & \text{ha } y_4 \neq 0 \end{cases} \right),$$

- e : egyéb közlekedési módokra jellemző konstans dummy változó

$$\left(e = \begin{cases} 0, & \text{ha } y_5 = 0 \\ 1, & \text{ha } y_5 \neq 0 \end{cases} \right).$$

A magyarázó változótól függő dummy változót $d_j x$ alakban definiáljuk, ha az adott közlekedési módot inkább negatív exponenciális alakban lehet közelíteni, ellenkező esetben $d_j \ln x$ alakban ($\forall j=2,3,4,5$). Ebben a felírásban a d_j értékétől függően valamelyik közlekedési módhoz tartozó dummy változót jelöli. Mivel

az adatok elemzésénél bebizonyosodott, hogy az autóbuszok viszonylatdarabszámán kívül minden más negatív hatványkitevős alakban lehet felírni, így a $d_j \ln x$ forma szerepel a végső modellben.

A villamosok elemzésénél megjelent, hogy más tényező is befolyásolhatja a viszonylatdarabszámok és a rangszám viszonyát, mégpedig, hogy az adott település az egykori keleti blokk valamely országába tartozik-e vagy sem. Legyen s az ennek megfelelő változó, amely 1 értéket vesz fel, amennyiben az adott település a keleti blokkban volt. Ekkor a villamosok viszonylatdarabszáma a következő képlettel adódik (3).

$$y_3 = \begin{cases} a_{D3} x^{b_{D3}}, & \text{ha } s = 0 \\ a_{S3} x^{b_{S3}}, & \text{ha } s = 1 \end{cases} \quad (3)$$

ahol:

- a_{D3} és b_{D3} a nyugati blokk városaira,
- a_{S3} és b_{S3} pedig a keleti blokk településeire jellemző paraméterek.

Ebben az esetben y_3 felírható a következő alakban (4), ami logaritmizálás után lineáris regressziós modellel becsülhető.

$$y_3 = a_{D3} x^{b_{D3}} \left(\frac{a_{S3} x^{b_{S3}}}{a_{D3} x^{b_{D3}}} \right)^s = (a_{D3} x^{b_{D3}})^{(1-s)} (a_{S3} x^{b_{S3}})^s \quad (4)$$

Sajnos azonban az előzetes számítási eredmények azt mutatják, hogy a villamosok számának szétbontása a települések elhelyezkedése alapján nem vezet eredményre, így ezt nem alkalmazzuk a továbbiakban.

Mindezek alapján a következő modellt kívánjuk megbecsülni (5):

$$y_{i1} y_{i2}^t y_{i3}^v y_{i4}^m y_{i5}^e = a_1 e^{b_1 x_i} a_2^t x_i^{b_2} a_3^v x_i^{b_3} a_4^m x_i^{b_4} a_5^e x_i^{b_5} \quad \forall i \quad (5)$$

Ennek a függvénynek hátránya, hogy egyrészt nem lefedettség mérték, másrészt pedig ha egy adott településen egy adott közlekedési mód nem elérhető akkor a bal oldalon 0^0 sze-

repe, ami definíció szerint nem értelmezhető. Ezeket a problémákat úgy oldjuk fel, hogy egyrészt az előnyök felülírják a hátrányokat, vagyis az egyes görbék külön-külön becsülhetők, ami cél. Ugyanakkor viszont, az R^2 értéket, ami a teljes modellt minősíti, nem tudjuk értelmezni. Másrészt a modellt úgy definiáljuk, hogy $0^0 \equiv 1$, ebben az esetben azt a függőváltozót kapjuk, amit szeretnénk. Ez a modell, ezen feltételekkel logaritmizálás után becsülhető, a következő, átrendezett alakban (6).

$$\ln y_i = \ln a_1 + t \ln a_2 + v \ln a_3 + m \ln a_4 + e \ln a_5 + b_1 x_i + b_2 t \ln x_i + b_3 v \ln x_i + b_4 m \ln x_i + b_5 e \ln x_i \quad \forall i \quad (6)$$

ahol:

- $\ln y_i = \sum_j \ln Y_{ij} = \ln \prod_j Y_{ij}$, ahol $Y_{ij} \in \{y_{i1}, y_{i2}, y_{i3}, y_{i4}, y_{i5}\} \Big|_{0^0 \equiv 1} \forall i, j$

Ezt a többváltozós regressziós modellt általánosan a következő összefüggéssel lehet felírni [41]:

$$y_i = \alpha + \sum_{l=1}^q \beta_l x_{li} + u_i, \quad i = 1..n \quad (7)$$

ahol:

- y_i : az i -edik magyarázott változó,
- x_{li} : az i -edik magyarázott változóhoz tartozó l -edik magyarázó változó,
- α : a konstans tag,
- β_l : a l -edik magyarázó változóhoz tartozó együttható,
- k : magyarázó változók száma,
- n : ismérvek száma,
- u_i : i -edik hibatag.

6. EREDMÉNYEK

Az eredmények értékeléséhez a (6) képlettel adott modell a_j és b_j paramétereit becsültük. A paraméterbecslésnél a Hybrid-, a Fisher-, és a Newton-Raphson-módszert felváltva alkalmaztuk. Az iterációk számát legtöbbször 200-ban határoztuk meg, és az iterációkhoz tartozó konvergenciakritériumot a paraméterbecslésekben bekövetkező minimum $1E-006$ változáshoz kötöttük. Minden esetben Type III modell hatáselemzést alkalmaztunk, Wald

Chi-négyzet statisztikát és konfidencia-intervallumot választva. A konfidencia-intervallum értékét 95%-ban határoztuk meg.

Mivel a magyarázó változó önmagában nem határoz meg lefedettséget, így a modell tulajdonságaira nem térünk ki, csak a magyarázó változók paramétereinek elemzését mutatjuk be. Ezért csak a koefficiensek táblázatát közöljük. Megjegyzendő azonban, hogy az ANOVA eredményeképp az F -próba szignifikáns lett ($F=271,54$), vagyis azon nullhipotézis, miszerint minden együttható paraméter 0, elvethető [41]. A szignifikanciaszint jelölése a t -próba esetén a következő: ***, ha $p < 0,001$; **, ha $p < 0,01$; *, ha $p < 0,05$; és ., ha $p < 0,1$.

1. táblázat: A modell koefficienstáblázata
(forrás: saját szerkesztés)

	Koefficiens- sek	Standard hiba	t érték
Tengely- metszet	5,4006	0,3233	16,7025***
t	3,2283	0,4622	6,9846***
v	0,4245	0,5069	0,8375
m	4,3649	0,4618	9,4513***
e	1,2974	0,4016	3,2305**
x	-0,7449	0,0682	-10,9252***
t*lnx	-0,6448	0,4423	-1,4579
v*lnx	1,6264	0,4239	3,8364***
m*lnx	-2,2445	0,3718	-6,0362***
e*lnx	-0,5504	0,3202	-1,7189.

A modell sajátosságaiból adódóan a t , v , m , valamint e változókhoz tartozó paraméterekre tengelymetszetként, míg a többire meredekségként fogunk hivatkozni. Mint az látható, a modell teljesíti az előzetes elvárásainkat. A zöld közlekedési módok közül kiemelnénk a trolibuszt, valamint a metró. A trolibusz esetén látható, hogy az előzetes elvárásainknak megfelelően a görbe meredekség-paramétere nem különbözik szignifikánsan nullától, vagyis a trolibuszüzemek kiegészítő szolgáltatásként rangtól függetlenül jelennek meg.

Emellett, szintén az előzetes elvárásoknak megfelelően, a metró meredeksége abszolút értékben a legnagyobb. Így beigazolódott, hogy a viszonylatok darabszáma ebben az esetben csökken a legjelentősebben, a rangszám növekedésével.

Mint ahogyan azt korábban is említettük a villamos kérdésköre a legérdekesebb, mert a tengelymetszet sokkal alacsonyabb, mint bármely másik közlekedési mód esetében, viszont az is igaz, hogy nem tér el szignifikánsan nullától. Viszont a meredeksége mellett, hogy szignifikánsan eltér nullától, pozitív, ami ellentmond az előzetes elvárásainknak. Ennek oka abban keresendő, hogy a klasszikus villamoshálózatok felszámolása után, a napjainkban tapasztalható újjáépítés egy-egy vonalra koncentrálódik. Nagyon kevés a kialakított egységes hálózat, különösen igaz ez a nagyobb városokra.

Ha az így megbecsült görbéket ábrázoljuk, a 10. ábra diagramját kapjuk. Megállapítható, hogy az megfelel az előzetes elvárásainknak, habár a metró tengelymetszete talán túl magas lett. Ami még jól látszik a diagramon, hogy a villamoshoz tartozó görbe ellentétes irányú, ennek okait a korábbiakban már igyekeztünk összefoglalni.

Mindezek alapján kialakítható a válasz a cikk elején feltett kérdésre. A közlekedésfejlesztés körében van lehetőség olyan fejlődés kialakítására, amely a kibocsátás csökkenésével jár. Ennek a lehetséges módja pedig, ha a közlekedéspolitikát olyan

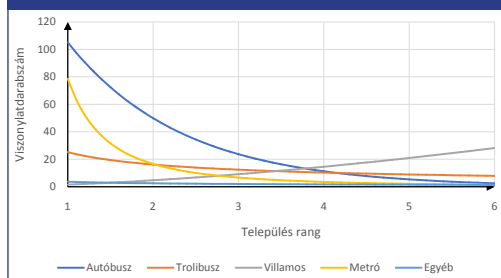
mértékben alakítjuk, hogy lehatároljuk az egyes közlekedési módok szerepét, és annak megfelelő hálózatot alakítunk ki, akár Budapest, Magyarország vagy az Európai Unió szintjén.

7. KIÉRTÉKELÉS

A fejezetekben egy új módszertant mutatunk be a közlekedési módok súlyozására. Ehhez felállítottuk egy lineáris regressziós modellt, amelyben az egyes közlekedési módok viszonylatdarabszámaikat negatív exponenciális, valamint negatív hatványkitevős görbékkel közelítettük. Megállapítottuk, hogy a trolibusz, valamint a metróhálózatok esetében az előre elvárt eredményt kaptuk, vagyis, hogy a trolibuszhálózatok csekély jelentőséggel bírnak, általában kiegészítő szerepkörben helyezkednek el. Ehhez mérten alacsony tengelymetszet, valamint alacsony meredekség jellemző rájuk. A metró ezzel szemben mind közül a legmeredekebb, hiszen csak a legnagyobb városokban figyelhető meg.

Meglepő eredmény egyedül a villamoshálózatok esetében született. Számos indok felmerülhet azzal kapcsolatban, hogy miért kaptuk ezt a végeredményt. Véleményünk szerint azonban a meglepő eredmények oka, hogy nem alakult ki egy egységes keretrendszer, amiben definiálni lehetne a villamosvonalak hálózaton belüli szerepét. Mindenképpen fontos megjegyezni, hogy a közlekedéstudományokban léteznek kritériumok, amelyek közlekedésszakmai paraméterek alapján meghatározzák az egyes közösségi közlekedési módok szerepét [34], azonban ezek a gyakorlatban nem, vagy csak korlátozottan teljesülnek. Számos történelmi, és jelenlegi példát lehetne hozni Budapestről is, ahol az adott közlekedési mód alkalmazása a szakmai paraméterek alapján kérdéses, ettől azonban eltekintően, ugyanis a cikknek nem célja az egyes jelenlegi közlekedéshálózati elemek vizsgálata. Így, amennyiben hatékony közlekedésfejlesztés a cél, mindenképpen szükséges a szerepkörök gyakorlatban is megjelenő lehatárolása.

10. ábra: Az egyes közlekedési módokhoz illesztett görbék ábrázolása
(forrás: saját szerkesztés)



8. ÖSSZEFOGLALÁS

Célunk volt a városi közösségi közlekedési hálózatokban megjelenő módokra felépített súlyszám-rendszer bemutatása, különös tekintettel a módszertanra, amelyen keresztül eljutottunk idáig. A súlyszám-rendszer azonban nem alakítható ki ezek alapján, ugyanis a villamoshálózatok szerepe tisztázatlan. Ez pedig megkérdőjelezi azt a törekvést miszerint lehetséges-e egyáltalán ilyen súlyszám-rendszer városi közösségi közlekedési hálózatokra vonatkozó kialakítása.

A kutatás során egy 421 települést felvonultató adatbázist vizsgáltunk, ebből levonva a következtetéseket. A probléma ezzel a megközelítéssel, hogy nem alkalmaztunk széleskörűen elfogadott mintavételezési eljárásokat, hanem nagy mintával igyekeztünk az eredmények elfogadhatóságát biztosítani. Célszerű lehet egy olyan adatbázis létrehozása, amely még nagyobb mintaelemszámmal, de a mintavételezés szabályainak megfelelően állna elő, és ezen keresztül is alátámasztani a felvetéseket, ugyanis ebben az esetben elképzelhető, hogy egyértelműbb eredményeket kapunk.

A kutatás eredményeképpen két jól meghatározott út áll rendelkezésre, amit követni lehet a jövőben. Az egyik, hogy egy különböző módszertannal mégiscsak előállítjuk a városi közösségi közlekedési módok súlyszámát, annak ellenére, hogy a szerepek nem tisztázottak. A másik lehetséges folytatás, az a villamoshálózatok szerepének megértése, tisztázása, valamint előremutató módszertanok lefektetése arra vonatkozóan, hogy hogyan lehetséges minél hatékonyabb közösségi közlekedési rendszereket kialakítani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Európai Bizottság, 'Fehér Könyv – Útiter az egységes európai közlekedési térség megvalósításához – Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé', Európai Bizottság, Brüsszel, COM/2011/0144, Mar. 2011. Accessed: May 30, 2021. [Online]. Available: <https://eur->

lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&qid=1622382850857&from=HU

- [2] Szabó Z. and Török Á., 'Tranzitforgalmak Magyarországon: Egy térökonometriai elemzés', *Közlekedéstudományi Konferencia*, vol. 8, pp. 201–212, 2018.
- [3] Szalmáné Csete M., 'Smart city koncepciók a fenntartható városfejlesztésben', presented at the *Okos városok és területi statisztika*, Budapest, Feb. 27, 2019. Accessed: Oct. 15, 2019. [Online]. Available: https://www.ksh.hu/okosvarosok_2019_02_27
- [4] Dusek T., 'Az okos városok komplex mutatószámai', presented at the *Okos városok és területi statisztika*, Budapest, Feb. 27, 2019. Accessed: Oct. 15, 2019. [Online]. Available: https://www.ksh.hu/okosvarosok_2019_02_27
- [5] Z. Szabó, Á. Török, and T. Sipos, 'Order of the Cities: Usage as a Transportation Economic Parameter', *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 49, no. 2, pp. 164–169, 2021, DOI: <https://doi.org/gt43>
- [6] Lénár G., *Az eltékozolt kisvasút*, 2nd ed. Sátorlajújhely: dr. Lénár György, 2015.
- [7] J. Friedmann, 'The Wealth of Cities: Towards an Assets-based Development of Newly Urbanizing Regions: The Wealth of Cities', *Development and Change*, vol. 38, no. 6, pp. 987–998, Nov. 2007, DOI: <https://doi.org/dbd7hw>
- [8] J. V. Beaverstock, R. G. Smith, and P. J. Taylor, 'A roster of world cities', *Cities*, vol. 16, no. 6, pp. 445–458, Dec. 1999, DOI: <https://doi.org/c32fvx>
- [9] P. J. Taylor and M. Hoyler, 'The spatial order of European cities under conditions of contemporary globalisation', *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, vol. 91, no. 2, pp. 176–189, 2000, DOI: <https://doi.org/bctg9h>
- [10] T. Herrschel and P. Newman, *Governance of Europe's city regions: planning, policy & politics*. Routledge, 2003.
- [11] M. Felleson and M. Friman, 'Perceived Satisfaction with Public Transport Service in Nine European Cities', *J Transp Res Forum*, vol. 47, no. 3, Feb. 2012, DOI: <https://doi.org/f23gfb>
- [12] T. Klinger, J. R. Kenworthy, and M.

- Lanzendorf, 'Dimensions of urban mobility cultures – a comparison of German cities', *Journal of Transport Geography*, vol. 31, pp. 18–29, Jul. 2013, DOI: <https://doi.org/f5c363>
- [13] J. Pucher and S. Kurth, 'Verkehrsverbund: the success of regional public transport in Germany, Austria and Switzerland', *Transport Policy*, vol. 2, no. 4, pp. 279–291, Oct. 1995, DOI: <https://doi.org/bnkmrz>
- [14] J. Sienkiewicz and J. A. Holyst, 'Statistical analysis of 22 public transport networks in Poland', *Phys. Rev. E*, vol. 72, no. 4, p. 046127, Oct. 2005, DOI: <https://doi.org/b43qnm>
- [15] O. Cats, 'Topological evolution of a metropolitan rail transport network: The case of Stockholm', *Journal of Transport Geography*, vol. 62, pp. 172–183, Jun. 2017, DOI: <https://doi.org/gb2vm8>
- [16] J. Preston, 'Public transport demand', in *Handbook of Research Methods and Applications in Transport Economics and Policy*, C. Nash, Ed. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2015, pp. 192–211. DOI: <https://doi.org/gt44>
- [17] J. Scheurer and S. Porta, 'Centrality and connectivity in public transport networks and their significance for transport sustainability in cities', presented at the World Planning Schools Congress, Mexico DF, Jul. 13, 2006.
- [18] J.-E. Nilsson, 'Congestion and scarcity in scheduled transport modes', in *Handbook of Research Methods and Applications in Transport Economics and Policy*, Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2015, pp. 134–153.
- [19] A. T. Murray, R. Davis, R. J. Stimson, and L. Ferreira, 'Public Transportation Access', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 3, no. 5, pp. 319–328, Sep. 1998, DOI: <https://doi.org/bbtmzx>
- [20] A. A. Schmalz and Á. Török, 'Transportation in Brazil: Joinville', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 46, no. 2, pp. 78–81, 2018, DOI: <https://doi.org/gt45>
- [21] M. A. Saif, M. M. Zefreh, and A. Török, 'Public Transport Accessibility: A Literature Review', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 47, no. 1, pp. 36–43, 2019, DOI: <https://doi.org/gt46>
- [22] G. Gaal, E. Horváth, Á. Török, and M. Csete, 'Analysis of Public Transport Performance in Budapest, Hungary', *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, vol. 23, no. 1, pp. 68–72, 2015, DOI: <https://doi.org/gt47>
- [23] V. Pina and L. Torres, 'Analysis of the efficiency of local government services delivery. An application to urban public transport', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 35, pp. 929–944, 2001, DOI: <https://doi.org/cmjcs2>
- [24] A. T. Murray, 'Strategic analysis of public transport coverage', *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 35, no. 3, pp. 175–188, Sep. 2001, DOI: <https://doi.org/cjfxv9>
- [25] K. S. Kim, L. Benguigui, and M. Marinov, 'The fractal structure of Seoul's public transportation system', *Cities*, vol. 20, no. 1, pp. 31–39, Feb. 2003, DOI: <https://doi.org/fdphq4>
- [26] J. Zhang, J. Li, and Y. Wu, 'A Study of Metro Organization Based on Multi-objective Programming and Hybrid Genetic Algorithm', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 45, no. 4, p. 223, Aug. 2017, DOI: <https://doi.org/gt48>
- [27] M. N. Borhan, A. N. H. Ibrahim, D. Syamsunur, and R. A. Rahmat, 'Why Public Bus is a Less Attractive Mode of Transport: A Case Study of Putrajaya, Malaysia', *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 47, no. 1, pp. 82–90, 2019, DOI: <https://doi.org/gt49>
- [28] F. Gumz and Á. Török, 'Investigation of Cordon Pricing in Budakeszi', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 43, no. 2, pp. 92–97, 2015, DOI: <https://doi.org/gt5b>
- [29] I. Y. (Jackiva), E. B. (Budiloviča), and V. Gromule, 'Accessibility to Riga Public Transport Services for Transit Passengers', *Procedia Engineering*, vol. 187, pp. 82–88, 2017, DOI: <https://doi.org/gt5c>
- [30] D. Šipuš and B. Abramović, 'The Possibility of Using Public Transport In Rural Area', *Procedia Engineering*, vol. 192, pp. 788–793, 2017, DOI: <https://doi.org/gt5d>
- [31] I. Dadić, G. Štefančić, and M. Rajsman, 'Zagrebačka County and the City of Zagreb as the Centre of the Croatian Transport

- System', *Promet-Traffic-Traffico*, vol. 13, no. S4, pp. 17–24, 2001.
- [32] M. Matulin, Š. Mrvelj, and N. Jelušić, 'Evaluating Public Transport Performances by Utilizing Probe Vehicles', *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 183–193, 2014. DOI: <https://doi.org/gt5f>
- [33] Szabó Z. and Sipos T., 'Ingázás a nagyvárosba – Egy országos igénymodell felállítása', *Területi Statisztika*, vol. 60, no. 5, pp. 581–605, 2020, doi: 10.15196/TS600504.
- [34] Vásárhelyi B. and Szabó D., Eds., *Városi közlekedési kézikönyv*. Budapest: Műszaki Kiadó, 1965.
- [35] L. Á. Molnár, 'Arányok, egyensúlyok, értékek a közlekedésben avagy miként lehet rengő föld idején házat építeni?', presented at the XIX. Városi közlekedés aktuális kérdései, Visegrád, 0 12, 2019.
- [36] M. Börjesson, R. D. Jonsson, and M. Lundberg, 'An ex-post CBA for the Stockholm Metro', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 70, pp. 135–148, Dec. 2014, DOI: <https://doi.org/f3nxx3>
- [37] B. Caulfield, D. Bailey, and S. Mullarkey, 'Using data envelopment analysis as a public transport project appraisal tool', *Transport Policy*, vol. 29, pp. 74–85, 2013, DOI: <https://doi.org/f5c36g>
- [38] P. Hodgson, S. Potter, J. Warren, and D. Gillingwater, 'Can bus really be the new tram?', *Research in Transportation Economics*, vol. 39, pp. 158–166, 2013, DOI: <https://doi.org/gt5g>
- [39] Carris, 'Relatório e Contas 2018 (Reports and Accounts)', Companhia Carris de Ferro de Lisboa, E.M., S.A., Lisszabon, 2018. [Online]. Available: http://www.carris.pt/fotos/editor2/carris_relatorio_e_contas_3.pdf
- [40] G. S. Maddala, *Introduction to Econometrics*, 3rd ed. Chichester, UK: John Wiley&Sons Ltd, 2001.
- [41] Bolla M. and Krámlí A., *Statisztikai következtetések elmélete*, 2nd ed. Budapest: TYPOTEX Kiadó, 2005.



Determining the weighting factor of public transport modes in urban environments – a possible methodology

The authors examine whether it is possible to carry out transport development, and through it economic development, as a result of which emissions are reduced at the system level. This requires a comparison of existing public transport networks by mode, which is very difficult, however, as the appropriate ratios are not available. During the research, a linearized regression model was constructed, which was based on the examination of 421 cities. The model provides information on the role of each mode of transport and, through this, to the considerations to be taken into account in the development of the transport networks.



Bestimmung des Gewichtungsfaktors öffentlicher Verkehrsträger im urbanen Umfeld – eine mögliche Methodik

Die Autoren untersuchen, ob eine Verkehrsentwicklung und damit eine wirtschaftliche Entwicklung durchführbar ist, wodurch die Schadstoffemissionen auf Systemebene reduziert werden können. Dies erfordert einen Vergleich der Verkehrsträger im bestehenden ÖPNV-Netz, was jedoch sehr schwierig ist, da die entsprechenden Kennzahlen nicht vorliegen. Während der Forschung wurde ein linearisiertes Regressionsmodell entwickelt, in dem 421 Städte untersucht wurden. Das Modell gibt eine Auskunft über die Rolle der einzelnen Verkehrsträger und damit über die bei der Entwicklung der Verkehrsnetze zu berücksichtigenden Überlegungen.

Közúti jármű mozgásmodelljének meghatározása kényszerezett multimodelles szűrő eljárásokkal

A közúti közlekedésben alkalmazott manőverdetektálás fontos kutatási téma, hiszen az autonóm járművek elterjedéséhez szükséges a nagy megbízhatóságú eljárások fejlesztése. Különösen számottevő a járművek, illetve a vezetők szándékainak felismerése és az ezekre való gyors reagálás, mivel az autonóm és az emberek által vezetett járművek várhatóan együtt fognak részt venni a forgalomban, és ezért az ezekkel összefüggő körülmények vizsgálata és a fejlesztések elengedhetetlenek. A módszer ígéretesnek tűnik, de a bemutatott eljárást egyelőre csak Matlab szimulációkban tesztelték, de érdemes lenne valós körülmények között szenzor adatokkal is kipróbálni a leírt koncepciót.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2021.6.2>

Törő Olivér – Dr. Bécsi Tamás, PhD

járműmérnök, közlekedésmérnök,
tudományos segédmunkatárs egyetemi docens
BME Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék
e-mail: toro.oliver@mail.bme.hu, becsi.tamas@mail.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedésben a fejlett vezetőtámogató és autonóm működést biztosító rendszerek elengedhetetlen követelménye a forgalomban résztvevő járművek, személyek és egyéb objektumok állapotának megbízható becslése és a forgalmi szituáció pontos felismerése. Az állapotbecslés egy igen tág fogalom, az állapot bármilyen mennyiséget, jellemzőt magába foglalhat, ami számunkra érdekes.

A tanulmány a közúti járművek manőverdetektálásával foglalkozik egy másik, a for-

galomban haladó megfigyelő szemszögéből. A manőver detektálását a jármű mozgási modelljének és paramétereinek azonosítására vezetjük vissza, klasszikus állapotbecslő eljárásokkal.

Egy tetszőleges pályán mozgó objektum állapotának leírására kétféle állapotterezes megközelítést alkalmazhatunk. Használhatunk egy komplexebb modellt, amivel minden lehetséges mozgást leírhatunk vagy előre definiálhatunk bizonyos mozgásformákra specializált modelleket.

Egy manőverező objektum állapotának becslése nehéz feladat, ha a rendszermodell változik a vizsgált időtartamban. Jól használható eljárásnak bizonyult a multimodelles (MM) leírás, amelyben minden figyelembe veendő mozgásformához különböző modellt illesztnek, majd a jobban teljesítő modellt fogadják el [1]. A kölcsönható multimodelles becslő (Interacting Multiple Model, IMM) egy közelítő megoldása az általános multimodelles problémának [2][3], amely lineárisan skálázódik a tekintetbe vett járműmodellek számával. Az IMM becslőt eredetileg Kálmán szűrőkkel mutatták be [4], de megvalósítható részecskeszűrőkkel [5][6][14], vagy valószínűségi halmazokkal együtt is használható [7][8].

Kényszerezett szűrők segítségével pontosabb becslést tudunk adni egy olyan környezetben, ahol a rendszermodell nem foglal magában bizonyos korlátozó körülményeket, fizikai akadályokat. Közúti forgalomban kényszerekre felhozhatjuk példaként az út görbületét vagy a felfestéseket, amelyeket a járművek általában követnek. Járművek kinematikai vagy dinamikai modellezésénél a futóművek kialakításából fakadó anholonom kényszerek is szóba jönnek.

Ebben a munkában egy olyan módszert mutatunk be, amely képes megbecsülni egy manőverező jármű állapotát és egy előre definiált halmazból kijelölni az éppen érvényben lévő mozgási modellt. Az eljárás közúti forgalomban használható, ahol a megfigyelő jármű részt vesz a forgalomban. A járművet pontszerűnek tekintjük, amit egy absztrakt szenzor érzékel. A jármű síkmozgást végez, az út egyenletlenségeit vagy a jármű lengéseit nem modellezzük.

2. ELMÉLETI HÁTTER

Az alkalmazott diszkrét lineáris rendszermodellek az alábbi formát öltik:

$$\mathbf{x}_{k+1} = F_k \mathbf{x}_k + G \mathbf{w}_k \#(1)$$

$$\mathbf{z}_k = H_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \#(2)$$

Az F rendszermátrix és a H mérési mátrix k indexe azt jelzi, hogy a modell időben vál-

tozhat, továbbá \mathbf{w} az \mathbf{x} állapotot, \mathbf{v} a \mathbf{z} mérést terhelő additív normál zaj Q és R kovariancia mátrixszal. A \mathbf{w} zaj a G mátrixon keresztül fejti ki hatását. A továbbiakban áttekintést adunk a klasszikus Kálmán szűrőn és részecskeszűrőn alapuló állapotbecslésről és az ezekre támaszkodó multimodelles és kényszerezett becslő eljárásokról.

2.1. Kálmán szűrő

A klasszikus Kálmán szűrő normál zajjal terhelt lineáris időinvariáns rendszerek optimális állapotbecslője, amelynek algoritmusai:

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = F_{k-1} \hat{\mathbf{x}}_{k-1} \#(3)$$

$$P_{k|k-1} = F_{k-1} P_{k-1} F_{k-1}^T + G Q_{k-1} G^T \#(4)$$

$$S_k = H_k P_k^- H_k^T + R_k \#(5)$$

$$\Lambda_k = \mathcal{N}(\mathbf{z}_k, H_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, S_k) \#(6)$$

$$K_k = P_k^- H_k^T S_k^{-1} \#(7)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k} = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + K_k (\mathbf{z}_k - H_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}) \#(8)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \#(9)$$

Az állapot várható értékére és kovarianciájára a (3)-(4) egyenletek adnak becslést. A $\mathbf{z}_k - H_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}$ innováció és S_k kovarianciája segítségével kapjuk az Λ_k likelihoodot. Ez a mennyiség lehetővé teszi különböző szűrők összehasonlítását a multimodelles eljárásoknál. A Kálmán erősítés (7) segítségével kapjuk meg a szűrő kimenetét (8),(9).

2.2. Részecskeszűrő

A részecskeszűrő egy véletlenszerű mintavételezésen alapuló rekurzív eljárás, amely nemlineáris rendszerek állapotának becslésére használható [13]. Az állapotvektorra és a mérésre rakódó zaj tetszőleges lehet, továbbá nem paraméteres eloszlás is közelíthető ezzel az eljárással. A részecskeszűrő egy tetszőle-

ges függvényt súlyozott mintákkal, vagyis részecskékkel közelít. A részecskékhez súlyokat a likelihood alapján társítunk, amelyet a mérési modellből származtatunk. A szűrő kimenete a részecskesokaság, ami egy diszkrét halmaz. Pontbecslést a mintapontok súlyozott átlagaként kaphatunk. Amennyiben sűrűségfüggvényre van szükségünk, magfüggvényes becsléssel kaphatunk egy analitikus formát.

A részecskeszűrő algoritmus a alábbiak szerint épül fel. A predikciós lépésben részecskéket sorsolunk az előzetes φ eloszlásból:

$$\mathbf{x}_k^i |_{k-1} \sim \varphi(\mathbf{x} | \mathbf{x}_{k-1}^i) \#(10)$$

Ha az előzetes eloszlásnak a mozgási modellből származtatott sűrűségfüggvényt választjuk, akkor bootstrap részecskeszűrőről beszélünk. A részecskesúlyok ebben az esetben a likelihood értékek egységnyire normálásával adódnak:

$$w_k^i = \frac{g_k(\mathbf{z}_k | \mathbf{x}_k^i |_{k-1})}{\sum g_k(\mathbf{z}_k | \mathbf{x}_k^i |_{k-1})} \#(11)$$

Pontbecslés számítása súlyozott átlagaként:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \sum w_k^i \mathbf{x}_k^i |_{k-1} \#(12)$$

A társított kovariancia mátrix:

$$P_k = \sum_{i=1}^N w_k^i (\mathbf{x}_k^i - \hat{\mathbf{x}}_k)(\mathbf{x}_k^i - \hat{\mathbf{x}}_k)^T \#(13)$$

Szinte minden részecskeszűrő algoritmus tartalmazza az újramintavételezés lépést, amely során a valószínűbb részecskéket megtöbbszörözzük. Minden részecskét a súlyával arányos valószínűséggel sorsolunk ki visszatevéseken az $\mathbf{x}_k^i |_{k-1}$ sokaságból. Az újramintavételezett részecskék azonos súlyt kapnak.

2.3. Multimodelles állapotbecslés

A multimodelles állapotbecslés alap gondolata, hogy egyszerre több, eltérően konfigurált szűrőt futtatunk párhuzamosan, majd valamilyen kritérium alapján kiválasztjuk a legjobb becslést vagy több becslés súlyozott keverékét. A legegyszerűbb eljárás a statikus multimodell becslő, amely az egyes szűrők kimeneteit a likelihoodjaik alapján hasonlítja össze a Bayes-formula segítségével. Amennyiben az egyik szűrő modellje pontosan leírja a vizsgált mozgást, a szűrőhöz társított valószínűség egyhez fog konvergálni. A megfigyelt rendszer modellváltásait a statikus multimodell becslő nem tudja kezelni. A dinamikus multimodell becslő figyelembe veszi, hogy a megfigyelt objektum manőverezhet, tehát a mozgást leíró modell időben változhat. A modellváltásokat egy Markov-lánc modellezi a hozzá társított átmeneti valószínűségeket tartalmazó mátrixszal. A modellvalószínűségeket ugyanúgy számoljuk, mint a statikus esetben, a becslő kimenete viszont figyelembe veszi az összes szűrő eredményét egy Gauss keverékmódel formájában.

A dinamikus multimodell becslő elméletileg az összes modell hipotézist figyelembe veszi az adott időpontig, a gyakorlatban azonban ez nem alkalmazható az exponenciálisan növekvő számítási igény miatt. Jól használható szuboptimális megoldások közé tartoznak az egy vagy két lépésnyi modell történettel dolgozó algoritmusok, amelyek egybeolvasztják azokat a modell történeteket, és csak a régebbi modellekben térnek el egymástól. Ezen eljárások összefoglaló neve általánosított pseudo-Bayes becslők (generalized pseudo-Bayesian, GPB). Ha m modellt tekintünk, akkor m , m^2 , m^3 szűrő szükséges az első, második és harmadrendű GPB implementálásához [4].

A kölcsönható multimodelles becslő eljárás (IMM) jó kompromisszumot képez a teljesítmény és számítási igény között. Az algoritmus filozófiája hasonlít a másodrendű GPB-hez, teljesítménye kevésbé marad el tőle, de az implementálandó szűrők száma megegyezik a modellek számával (1. ábra). Az eljárást

eredetileg Kálmán szűrőkkel mutatták be, de megvalósítható kiterjesztett Kálmán szűrővel vagy részecskeszűrővel is.

Az IMM algoritmus az alábbiak szerint épül fel. A $k-1$ pillanattól megkapjuk minden szűrő becsült \hat{x}_{k-1} állapotát és a hozzá kapcsolódó P_{k-1}^j kovariancia mátrixot ($j=1\dots m$). Minden szűrő egy egyedi keveréket kap, amit a v_{k-1}^{ij} mátrix segítségével állítunk össze. A v_{k-1}^{ij} mátrixot a μ_{k-1}^i modell valószínűségekből és a π_{ij} átmeneti valószínűségekből kapjuk:

$$v_{k-1}^{ij} = \frac{\pi_{ij} \mu_{k-1}^i}{\sum_{l=1}^m \pi_{il} \mu_{k-1}^l} \#(14)$$

és segítségével képezzük az egyedi keverékeket:

$$\hat{x}_{k-1}^{0j} = \sum_{i=1}^m v_{k-1}^{ij} \hat{x}_{k-1}^i \#(15)$$

$$P_{k-1}^{0j} = \sum_{i=1}^m v_{k-1}^{ij} \left[P_{k-1}^i + (\hat{x}_{k-1}^i - \hat{x}_{k-1}^{0j})(\hat{x}_{k-1}^i - \hat{x}_{k-1}^{0j})^T \right] \#(16)$$

A szűrők kimenete az \hat{x}_k^j állapot, P_k^j kovariancia és a L_k^j likelihood. A modell valószínűségek

$$\mu_k^j = \frac{L_k^j c_k^j}{\sum_{i=1}^m L_k^i c_k^i} \#(17)$$

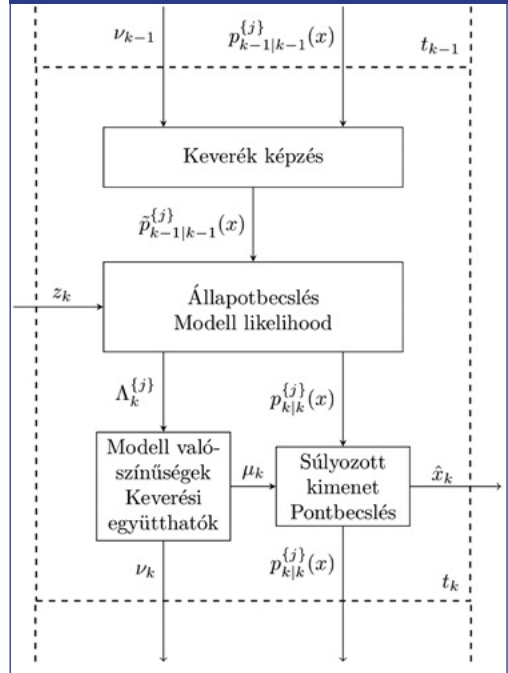
$$c_k^j = \sum_{i=1}^m \pi_{ij} \mu_k^i \#(18)$$

szerint adódnak. A modell valószínűségek segítségével számítható egy globális pontbecslés:

$$\hat{x}_{k|k} = \sum_{j=1}^m \mu_j \hat{x}_{k|k}^j \#(19)$$

$$P_k = \sum_{j=1}^m \mu_k^j \left[P_{k|k}^j + (\hat{x}_{k|k}^j - \hat{x}_{k|k})(\hat{x}_{k|k}^j - \hat{x}_{k|k})^T \right] \#(20)$$

1. ábra: Állapotbecslés az IMM struktúrában



2.4. Kényszerezett becslés

Lineáris gaussi rendszerek esetén a Kálmán szűrő adja az optimális becslést, kényszerek használatával azonban képesek vagyunk növelni az optimális becslő teljesítményét. Ez természetesen csak azért lehetséges, mert az eredeti rendszermodellünk nem tartalmaz minden információt, a kényszerek általi korlátozások nincsenek figyelembe véve.

A kényszereket többféleképpen csoportosíthatjuk: vannak egyenlőségi és egyenlőtlenségi, lineáris és nemlineáris, illetve kemény és puha kényszerek. A puha kényszerek a keményekkel ellentétben csak megközelítőleg teljesülnek. Puha kényszerekkel modellezhetjük azt, hogy nem vagyunk biztosak a kényszert kijelölő határértékekben.

Lineáris egyenlőségi kényszereket

$$Dx = d \#(21)$$

alakban tudunk megadni, ahol \mathbf{x} az n_x dimenziós állapotvektor, \mathbf{d} egy n_c dimenziós vektor és a D mátrix $n_c \times n_x$ méretű. Lineáris egyenlőtlenségi kényszerek esetén $D\mathbf{x} \leq \mathbf{d}$ irándó. Nemlineáris kényszereket $f(\mathbf{x}) = \mathbf{d}$ vagy $f(\mathbf{x}) \leq \mathbf{d}$ alakban adhatunk meg.

A kényszerek többféleképpen is beépíthetők a becslő eljárásokba. A mechanikai rendszerek tárgyalásánál elterjedt módszer a modell redukció. Ilyenkor állapotokat kombinálunk, esetleg teljesen új bázisra állunk át. A kényszerek alkalmazása tehát egy pontosabb rendszermodell felállítását jelenti. A módszer korlátozottan használható, mivel csak kemény egyenlőségi kényszereket tud figyelembe venni, ami hátrányt jelenthet, hogy az új állapotok esetleg nehezen értelmezhetők, elvész fizikai jelentésük.

2.4.1. Kényszerezett Kálmán szűrő

Egyenlőségi kényszereket figyelembe lehet venni hibamentes mérésekként. Ezt a módszert alkalmazva a mérési egyenleteket kibővítjük a kényszereket leíró egyenletekkel:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{z}_k \\ \mathbf{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_k \\ D \end{bmatrix} \mathbf{x}_k + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_k \\ 0 \end{bmatrix} \#(22)$$

Amennyiben nem zérus hibát tételezünk fel, úgy puha kényszereket is modellezhetünk:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{z}_k \\ \mathbf{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_k \\ D \end{bmatrix} \mathbf{x}_k + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_k \\ \mathbf{r}_k \end{bmatrix} \#(23)$$

Az állapot projekció módszerével egyenlőségi és egyenlőtlenségi kényszereket is beépíthetünk a becslő eljárásba. Ha egyenlőségi kényszereket tekintünk, akkor az

$$\tilde{\mathbf{x}}_k = \operatorname{argmin}_{\mathbf{x}_k} (\mathbf{x}_k - \bar{\mathbf{x}}_k)^T W_k (\mathbf{x}_k - \bar{\mathbf{x}}_k) \#(24)$$

egyenlet megoldását keressük

$$D\mathbf{x}_k = \mathbf{d} \#(25)$$

teljesülése mellett. A megoldást

$$\tilde{\mathbf{x}}_k = \mathbf{x}_k - W_k^{-1} D^T (D W_k^{-1} D^T)^{-1} (D \mathbf{x}_k - \mathbf{d}) \#(26)$$

alakban kapjuk. W_k egy súlymátrix, aminek értékét választhatjuk $W_k = P_{k|k}$ vagy $W_k = I$ szerint. $W_k = P_{k|k}$ választással a minimális varianciájú becslést kapjuk, $W_k = I$ esetén pedig a legkisebb négyzetek értelmében optimálisat [9]. Azonos kezdeti állapottal indított szűrők ugyanazt a kényszerezett becslést eredményezik és ez az eredmény megegyezik a hibamentes mérés módszerével kapottal [10].

Egyenlőtlenségi kényszerek esetén úgy járunk el, hogy a

$$D\mathbf{x}_k \leq \mathbf{d} \#(27)$$

kényszeregyüttesből kiválasztjuk az aktívakat, ezeket összegyűjtjük egy új

$$D^* \mathbf{x}_k = \mathbf{d}^* \#(28)$$

egyenletrendszerbe és alkalmazzuk (26)-ot D^* és \mathbf{d}^* -gal.

2.4.2. Kényszerezett részecskeszűrő

A részecskeszűrő kényszerezése többféleképpen is elvégezhető [12]. A predikciós lépésben lehetőségünk van olyan eloszlásból sorsolni részecskéket, amely kompatibilis a kényszerekkel. Ha a predikció során nem vetjük tekintetbe a kényszereket, akkor a kényszerfeltételekből kilógó részecskék súlyának módosításával elérhetjük, hogy ezek a részecskék kicsi vagy nulla valószínűséggel éljék túl az újramintavételezést. Megfelelő eloszlás vagy likelihood függvény választásával tetszőleges kényszer beépíthető a részecskeszűrő algoritmusba.

2.5. Manőver klasszifikálás

Multimodelles szűrők használhatók manőverklasszifikálásra, ehhez azonban az alkalmazott rendszermodelleknek az egyes mozgásformákhoz kell igazodniuk. A gyakorlatban egy rendszermodellel több mozgásformát is leírunk, illetve nem alkalmazunk túl bonyolult modelleket. A kényszerek használata lehetővé teszi, hogy az általánosan használt (egyes

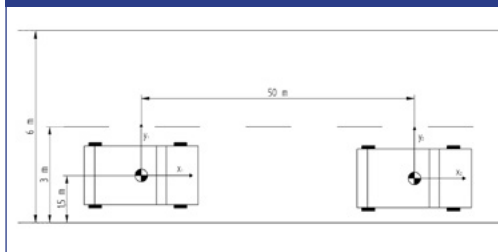
vonalú vagy kanyarodó mozgás) modelleket finomhangoljuk, és a felismerni kívánt manőverekhez illesszük. A klasszifikálás stratégiája a következőképpen foglalható össze. Kényszereket definiálunk, amelyek bizonyos állapotokra megszorításokat tesznek. Például gyorsítás esetén a gyorsulás pozitív, távolságtartás esetén a relatív távolság konstans. A szűrőket kiegészítjük ezekkel a kényszerekkel és beillesztjük egy multimodelles struktúrába. Egy jármű természetesen többféle manővert is végrehajt, így mindenképpen dinamikus eljárásra van szükségünk.

A kényszerezett szűrők eltérő eredményeket adnak. Amelyik kényszerezett becslt állapot nem illeszkedik a mérésre, az kis likelihood értéket kap és így kis valószínűségűnek ítél az IMM algoritmus.

3. ESETTANULMÁNY

Egy esettanulmányt mutatunk be a kényszerezett multimodelles szűrővel történő állapotbecslés és manőverdetektálás alkalmazásból. A bemutatott becslő eljárást Matlab szimulációban teszteltük. A felépített közúti forgalmi szituáció a következő. A megfigyelő jármű a megfigyelt járművet követi egy kétsávos úton (2. ábra). A megfigyelő jármű szenzorait nem volt célunk modellezni, így egy absztrakt szenzort választottunk, amely megadja a megfigyelt jármű relatív koordinátáit és sebességvektorát. A hátsó, megfigyelő jármű állandó 60 km/h sebességgel követte a megfigyelt járművet, amely különböző manővereket hajtott végre. A járművek közötti kezdeti követési távolság 50 m volt. A megfigyelt jármű manővereit az 1. táblázat tartalmazza. A manőver-

2. ábra: Járművek elhelyezkedése a kétsávos úton a kezdeti pillanatban

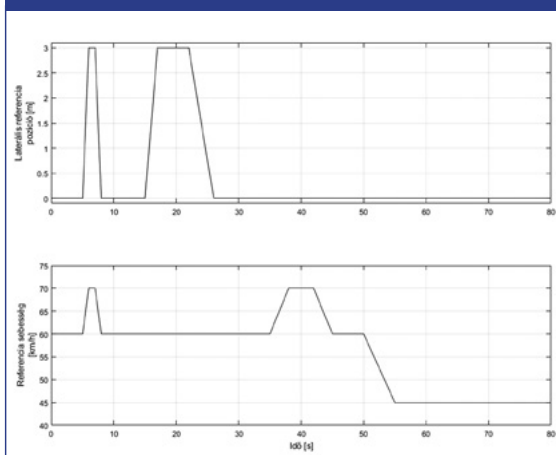


1. táblázat: Szimulált manőverek szekvenciája

Idő	Előrehaladás	Megnevezés	Megjegyzés
0 s	0 m	Jobboldali sávban haladás	
5 s	83,5 m	Előzési manőver	
8 s	133,5 m	Jobboldali sávban haladás	
15 s	250,2 m	Sávváltás balra	1,5 m/s oldalirányú sebességgel
17 s	283,5 m	Baloldali sávban haladás	
22 s	366,8 m	Sávváltás jobbra	0,8 m/s oldalirányú sebességgel
26 s	433,5 m	Jobboldali sávban haladás	
35 s	583,5 m	Távolodás	Maximálisan 2,8 m/s sebességkülönbséggel
45 s	750,2 m	Jobboldali sávban haladás	
50 s	833,5 m	Közeledés	Maximálisan 4,2 m/s sebességkülönbséggel
~ 67.25 s	1132 m	Ráfutás	Amikortól a két jármű közti távolság ≤ 10 m
~ 69.65 s	1172 m	Esemény, szimuláció vége	Amikor a két jármű távolsága eléri a nullát

váltásokat jellemző állapotátmeneti mátrixot a 2. táblázatban szereplő értékekszerint vettük fel. A manőverező jármű vezérlőjeleit a 3. ábra mutatja. A szimuláció akkor ér véget, amikor a hátsó jármű utoléri az elsőt.

3. ábra: Megfigyelt jármű vezérlőjelei



2. táblázat: Manőrváltási valószínűségek

	Jobb oldali sávban	Sávváltás	Bal oldali sávban	Előzés	Távolodás	Közeledés	Ráfutás
Jobboldali sávban	90%	2%	0	0	4%	4%	0
Sávváltás	1%	90%	1%	8%	0	0	0
Bal oldali sávban	0	2%	90%	0	4%	4%	0
Előzés	0	10%	10%	80%	0	0	0
Távolodás	5%	0	5%	0	90%	0	0
Közeledés	5%	0	5%	0	0	80%	10%
Ráfutás	0	0	0	0	10%	10%	80%

3.1. Szűrők konfigurálása

A megfigyelő jármű koordináta-rendszerében a rendszermodell:

$$\mathbf{x}_{k+1} = F\mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \#(29)$$

$$\mathbf{z}_k = H\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \#(30)$$

Az állapotvektor a megfigyelő járműre nézve relatív komponensekből tevődik össze:

$$\mathbf{x}_k = [x \quad v_x \quad y \quad v_y] \#(31)$$

vagyis, a hosszirányú távolság és sebesség, illetve a laterális távolság és sebesség. Az ennek megfelelő egyenes vonalú egyenletes mozgást leíró rendszer-mátrix a következő:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \#(32)$$

A H mérési mátrix az absztrakt szenzor-modellnek megfelelően egy négydimenziós egységmátrix. A modell és mérési zajt nulla várható értékű, additív normál eloszlásúnak feltételezve a kovariancia mátrixok:

$$Q = \text{diag}\left(\frac{dt^2}{2}, dt, \frac{dt^2}{2}, dt\right) \#(33)4.$$

$$R = \text{diag}(0.1, 0.3, 0.2, 0.3) \#(34)$$

A következőkben definiáljuk az észlelni kívánt manőverek kényszervezését:

- Haladás a jobb sávban egyenletes sebességgel: kényszeríteni a hosszirányú sebességet, valamint a keresztirányú távolságot és sebességet kell $D\mathbf{x}=\mathbf{d}$ formában:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ v_x \\ y \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \#(35)$$

A haladás a bal oldali sávban ettől annyiban különbözik, hogy az y állapotra nem nullát írunk elő, hanem egy sávnyi értéket.

- Sávváltás: a sebességkomponensekre írunk fel kényszerveket:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ v_x \\ y \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ v_{ch} \end{bmatrix} \#(36)$$

- Távolodás: a longitudinális sebességkomponensre alsó határt szabunk meg:

$$\begin{bmatrix} v_{min} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ v_x \\ y \\ v_y \end{bmatrix} < \begin{bmatrix} \infty \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \#(37)$$

Közeledés esetén ugyanilyen struktúrában felső határt adunk meg.

- A ráfutás esemény hasonló a közeledéshez, de csak egy bizonyos távolságon belül értelmezzük:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -\infty \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} < \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ v_x \\ y \\ v_y \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} d_{min} \\ -v_{min} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \#(38)$$

- Az előzést egy előre meghatározott sebességprofil segítségével detektáljuk:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ v_x \\ y \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x) \\ d_{sáv} \end{bmatrix} \#(39)$$

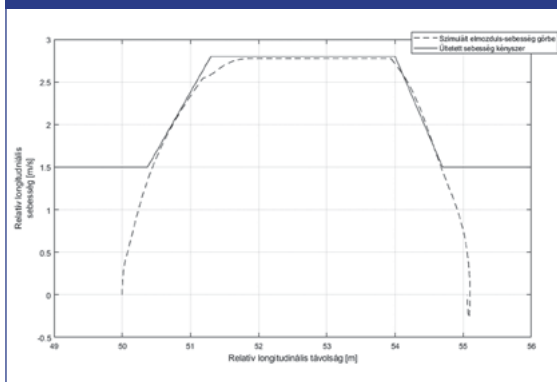
Az előzési manőver sebességprofilja (4. ábra) volt az alapja a kapcsolódó nemlineáris $f(x)$ kényszerfeltétel megalkotásának.

Az alkalmazott kényszerek a következő konkrét alakokat öltik. A jobb és bal oldali sávban haladás és a sávváltás kényszert a mérési egyenlet kiegészítésével modellezzük. Jellegükből adódóan ezeket a mozgásformákat puha kényszerekkel írjuk le, tehát a mérési egyenlet kovarianciamátrixát nem zérus mátrixokkal bővítjük (3. táblázat). Ezek a kényszerek könnyen implementálhatók Kálmán szűrő segítségével.

3. táblázat: Sávban haladás és sávváltás kényszer paramétere

Manőver	Kényszer mátrix (D)	Kényszer (d)	Kényszer bizonytalansága (r)
Jobboldali sávban haladás	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2 \end{bmatrix}$
Baloldali sávban haladás	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2 \end{bmatrix}$
Sávváltás	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

4. ábra: Longitudinális sebesség kényszer a távolság függvényében és trapezoid közelítése



A közeledés, a távolodás és a ráfutás kényszereket egyenlőtlenségekkel adjuk meg (4. táblázat). Ezek a kényszerek becslés projekció módszerével a Kálmán szűrő kimenetére alkalmazhatók. Az előzést egy nemlineáris kényszerrel írjuk le, amely állapotfüggő. Ezt részecskeszűrő segítségével valósítjuk meg, a kényszerből kilógó részecskék újramintavételezésével. Az 5. táblázat összegzi a manővereket és a társított kényszereket.

4. EREDMÉNYEK

A szimuláció $dt=10$ ms lépéssel futott, a mérések 100 ms időközönként érkeztek. A manőverező jármű mozgását egy kinematikus biciklimodell írja le, az előírt trajektórián egy nemlineáris laterális szabályozó, a Stanley controller segítségével halad végig [11].

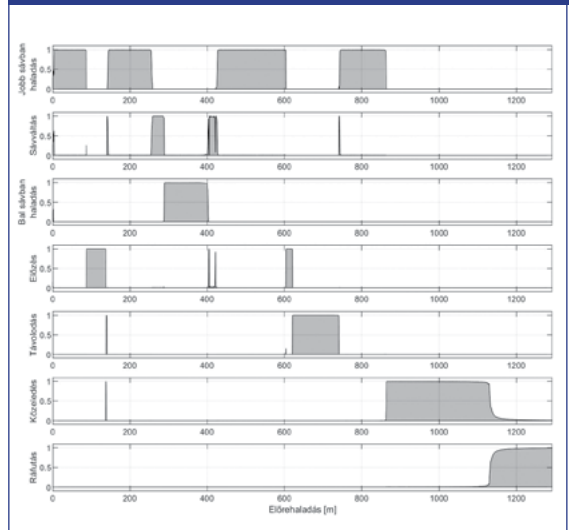
4. táblázat: Közeledés, távolodás, ráfutás és előzés kényszer paraméterei

Manőver	Kényszer mátrix (D)	Kényszer (d[min, max])
Közeledés	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\infty & -4 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$
Távolodás	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 & \infty \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$
Ráfutás	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\infty & 10 \\ -\infty & -4 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$
Előzés	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} f(x) \\ 0.5 & 3.5 \end{bmatrix}$

5. táblázat: Manőverek kényszerkezési módjai összefoglalva

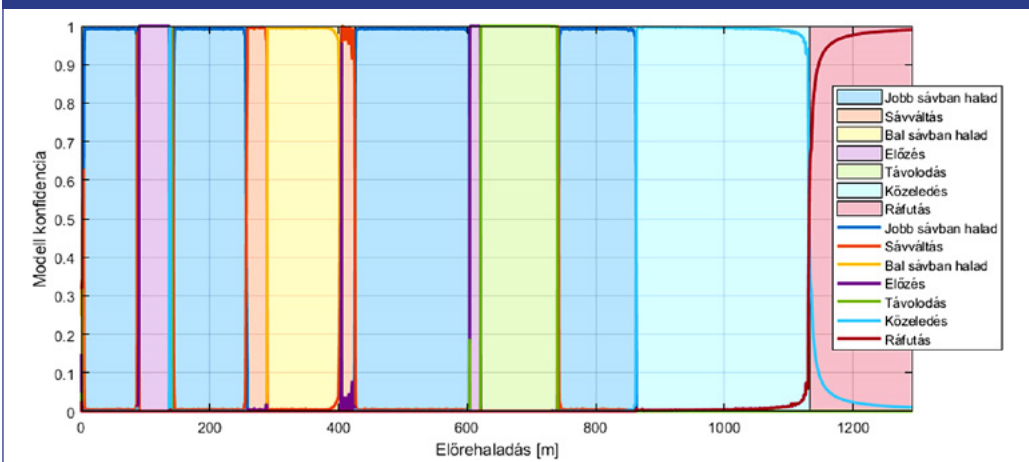
Mozgás modell	Kényszerkezés
Jobb oldali sávban haladás	Mérési egyenlet kibővítése
Sávváltás	Mérési egyenlet kibővítése
Bal oldali sávban haladás	Mérési egyenlet kibővítése
Előzés	Kényszerkezett részecske-szűrés
Távolodás	Becslés projekció
Közeledés	Becslés projekció
Ráfutás detektálás	Becslés projekció

5. ábra: A becsült modell valószínűségei

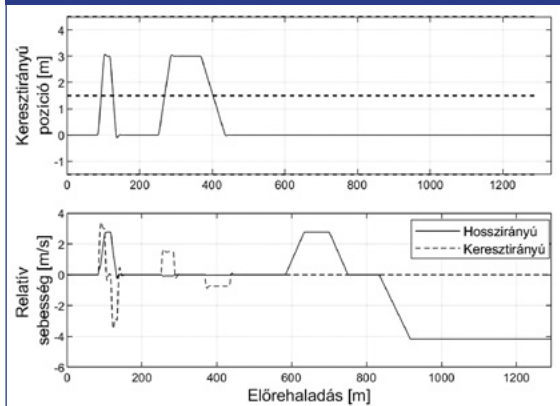


Az 5. ábrán az egyes manőverekhez társított szűrők modellvalószínűségei láthatók. A vékony tüskék transziens jelenségek, ezek kis bizonytalanságot tükröznek, amelyek manőverváltáskor következnek be. A 6. ábra egyszerre mutatja az összes manőver valószínűségét az idő függvényében. A kitöltés indikálja az éppen aktuálisnak becsült, vagyis a pillanatnyi legnagyobb valószínűségű manővert.

6. ábra: A becsült aktuális manőverek



7. ábra: A megfigyelt jármű becsült állapotai



A bemutatott eljárás fő célja a manőverdetektálás. A szűrők azonban a teljes állapotot becslik, ennek performanciáját szemlélteti a 7. ábra, ahol a megfigyelt jármű becsült pozíció és sebesség koordinátáit láthatjuk. Az egyes állapotokhoz tartozó mérési és becslési hibákat összehasonlítóképpen a 8. ábrán és a 6. táblázatban tüntettük fel.

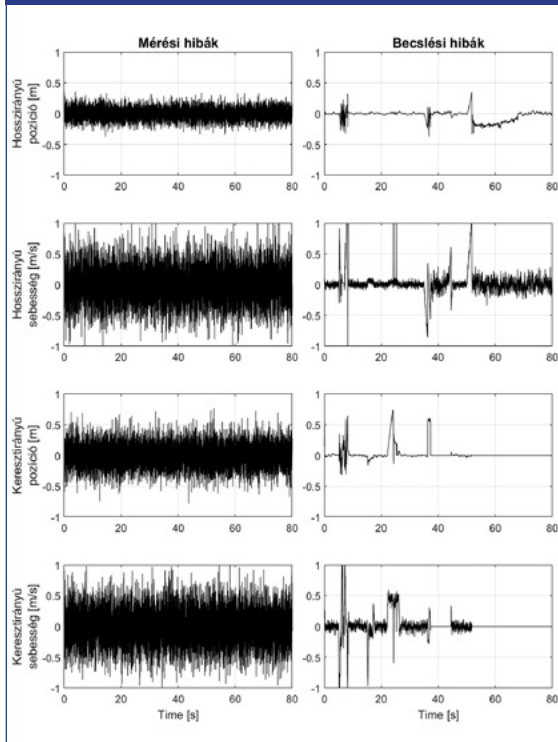
6. táblázat: Mérési és szűrés utána RMSE a relatív állapotokon

Állapot	Mérés RMSE	Szűrés RMSE
Longitudinális távolság	0.1	0.1531
Longitudinális sebesség	0.3	0.2159
Laterális távolság	0.2	0.1150
Laterális sebesség	0.3	0.1786

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Egy kis számításigényű, valós időben futtatható eljárást mutattunk be, amely járművek állapotának becslésére és a végrehajtott manőver észlelésére használható. A becslés során egyszerű egyenes vonalú egyenletes mozgást leíró modellt használtunk, amit kényszerekkel igazítottunk az előre definiált mozgásformákhoz. Lineáris egyenlőségi és nem egyenlőségi kényszerekhez Kálmán szű-

8. ábra: Mérés és becslés zaja



rőt, nemlineáris kényszerhez részecskeszűrőt társítottunk és multimodelles struktúrába illesztettük azokat. Szimulált tesztkörnyezetben az eljárás sikeresen azonosította a manővereket és becsülte a megfigyelt jármű állapotát. A bemutatott módszer klasszikus elméleti alapokon nyugszik, kiegészítője lehet egy mesterséges intelligenciát használó algoritmusnak.

Sávdetektáló kamera segítségével az út ívét előre lehet jelezni, amely információ alapján a manőverváltási valószínűségeket és a kényszerek paramétereit változtatni lehet, így egy adaptív algoritmust kapunk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] X. R. Li and V. P. Jilkov, "Survey of maneuvering target tracking. part v. multiple-model methods," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic

- Systems, vol. 41, no. 4, pp. 1255–1321, 2005. DOI: <https://doi.org/fn8tfr>
- [2] H. A. Blom and Y. Bar-Shalom, “The interacting multiple model algorithm for systems with markovian switching coefficients,” IEEE transactions on Automatic Control, vol. 33, no. 8, pp. 780–783, 1988. DOI: <https://doi.org/cwbf76>
- [3] E. Mazor, A. Averbuch, Y. Bar-Shalom, and J. Dayan, “Interacting multiple model methods in target tracking: a survey,” IEEE Transactions on aerospace and electronic systems, vol. 34, no. 1, pp. 103–123, 1998. DOI: <https://doi.org/c9b8j9>
- [4] Y. Bar-Shalom, X. R. Li, and T. Kirubarajan, Estimation with applications to tracking and navigation: theory algorithms and software. John Wiley & Sons, 2004. DOI: <https://doi.org/dfqbsw>
- [5] Z. Messaoudi, A. Ouldali, and M. Oussalah, “Comparison of interactive multiple particle filter and interactive multiple model unscented particle filter for tracking multiple manoeuvring targets in sensors array,” in Cybernetic Intelligent Systems (CIS), 2010 IEEE 9th International Conference on. IEEE, 2010, pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/bbrxrf>
- [6] M. Zhang and W. Chen, “Variable structure multiple model particle filter for maneuvering radar target tracking,” in Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), 2010 International Conference on. IEEE, 2010, pp. 1754–1757. DOI: <https://doi.org/cvkvz2>
- [7] Törő, O., Bécsi, T., Aradi, S. and Gáspár, P., 2018. Imm bernoulli filter for cooperative object tracking in road traffic. IFAC-PapersOnLine, 51(9), pp.355-360. DOI: <https://doi.org/gt4j>
- [8] Törő, O., Bécsi, T., Aradi, S. and Gáspár, P., 2018. IMM Bernoulli Gaussian Particle Filter. IFAC-PapersOnLine, 51(22), pp.274-279. DOI: <https://doi.org/gt4k>
- [9] D. Simon, Optimal state estimation : Kalman, H_∞ and nonlinear approaches. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience, 2006. DOI: <https://doi.org/bmzttv>
- [10] Teixeira, B. O., Chandrasekar, J., Tórres, L. A., Aguirre, L. A., & Bernstein, D. S. (2009). State estimation for linear and non-linear equality-constrained systems. International Journal of Control, 82(5), 918-936. DOI: <https://doi.org/bfwshc>
- [11] O. Törő, L. Bécsi, and S. Aradi, “Design of lane keeping algorithm of autonomous vehicle,” Periodica Polytechnica Transportation Engineering, vol. 44, no. 1, pp. 60–68, 2016. DOI: <https://doi.org/ggfvvq>
- [12] Z. Zhao, B. Huang, and F. Liu, “Constrained particle filtering methods for state estimation of nonlinear process,” AIChE Journal, vol. 60, no. 6, pp. 2072–2082, 2014. DOI: <https://doi.org/gt4m>
- [13] Chen, Z., 2003. Bayesian filtering: From Kalman filters to particle filters, and beyond. Statistics, 182(1), pp.1-69. DOI: <https://doi.org/bkztpw>
- [14] A. A. Saucan, T. Chonavel, C. Sintés, and J. M. L. Caillec, “Interacting multiple model particle filters for side scan bathymetry,” in 2013 MTS/IEEE OCEANS - Bergen, June 2013, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/gt4n>



Determination of road vehicle motion model by constrained multiple model filtering procedures

The paper presents a solution based on traditional methods for manoeuvring detection in road traffic. The method works in a multiple model structure with Kálmán filters and particle filters. Each manoeuvre is defined and fitted into the elementary filters using different state constraints so that a unique filter is associated with each manoeuvre. The multiple model structure evaluates the accuracy of the estimation of each filter and accepts the manoeuvre associated with the better performing filter as current. The efficiency of the procedure is demonstrated in a simulated traffic situation where the observed object was examined from the perspective of the observation vehicle.



Bestimmung des Straßenfahrzeug-Bewegungsmodells durch beschränkte Multimodell-Filterverfahren

Der Beitrag stellt eine Lösung vor, die auf traditionellen Methoden zur Manövriererkennung im Straßenverkehr basiert. Das Verfahren arbeitet in einer multiplen Modellstruktur mit Kálmán-Filtern und Partikelfiltern. Jedes Manöver wird unter Verwendung verschiedener Zustandsbeschränkungen definiert und in die elementaren Filter eingepasst, so dass jedem Manöver ein individueller Filter zugeordnet ist. Die Multimodellstruktur bewertet die Genauigkeit der Schätzung jedes Filters und akzeptiert das Manöver, das dem Filter mit der besseren Leistung zugeordnet ist, als aktuell. Die Effizienz des Verfahrens wird in einer simulierten Verkehrssituation demonstriert, bei der das beobachtete Objekt aus der Perspektive des Beobachtungsfahrzeugs untersucht wurde.



E számunk lektorai

Dr. Gáspár Péter ■ Dr. Katona András
Mika Péter ■ Dr. Tóth János ■ Dr. Tóth László

A vasút jövője – a jövő vasútja Budapesten

A budapesti vasúthálózat kiépítése 174 évvel ezelőtt vette kezdetét, majd folyamatos bővülés, átalakulás után évtizedek múltán nyerte el a jelenlegihez hasonló formáját. A személyszállítás jelenleg három fejpályaudvarra koncentrálódik, amelyeket elsősorban a teherforgalom összekötő vonalakon kerülhet el. A hálózat átalakítására, pl. központi pályaudvar létrehozására már a 19-20. század fordulóján is születtek elképzelések, megvalósításuk azonban máig elmaradt. A fővárosi hálózat nagy része mára utas- és vasútforgalmi szempontból elavult, miközben az országos hálózat, azon belül is főként az elővárosi vasútvonalak jelentős fejlődésen mentek keresztül, vagy éppen zajlik a korszerűsítésük. Ennek következtében ma már a budapesti pályaudvarok, gyűjtő és összekötő vonalak képezik a vasúthálózat szűk keresztmetszetét.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2021.6.3>

Tumik Péter

KTI Közlekedéstudományi Intézet Nkft.
e-mail: tumik.peter@kti.hu

1. BEVEZETÉS

A 19. században, a vasúti közlekedés hajnalán a személy- és teherszállítás a nagyvárosokban jellemzően ugyanazon a pályaudvaron, vasútállomáson zajlott. A személy- és tehervonati forgalom azonos pályát használt, üzemük szorosan összekapcsolódott. Ezt a gyakorlatban és szimbolikusan is leginkább a vegyesvonatok közlekedése szemlélteti, ami azonban nem jelentette azt, hogy egy nagyvárosban csak egy központi szereppel bíró, multifunkcionális pályaudvar létesült, ugyanis a vasút fejlődése kevésbé volt az állam szintjéről koordinálva, mivel a magántőke, illetve az eltérő érdekeltségek komoly szereppel bírtak. Ennek következtében a

különböző vasúttársaságok saját vasútvonalakat, pályaudvarokat, vasútállomásokat építettek. Esetenként a vasútüzem jellege (pl. nyomtáv, úrszelvény) is eltérő volt.

A társadalmi és gazdasági átalakulások, valamint a technikai-technológiai fejlődés a vasúti közlekedésre is kihatással volt. A személy- és az áruszállítási funkciók egyre jobban elkülönültek egymástól, sőt a személyszállításon belül is több szegmens (távolsági, elővárosi, városi) jött létre. A vasúti közlekedés fejlesztése egyre inkább központosított, összehangolt lett. Ezzel párhuzamosan az addig vasúttársaságonként széttagolt hálózat egységesebb, átjárhatóbb lett. Ez a folyamat napjainkban is tart, egyes országok, városok

előrébb, mások hátrébb járnak az úton. Hajtóerőnek elsősorban a személyforgalmi igények változása (növekedése) és a környezeti terhelés csökkenésére irányuló szándék tekinthető, a féket pedig a finanszírozási források előteremtése, valamint a környezeti adottságok (pl. beépítettség, talajviszonyok) és a műszaki korlátok jelentik.

Fontos megemlíteni még az időtényezőt is, amely különösen a 21. században komoly problémát jelent. Egyrészt a tervezés és a megvalósulás között esetenként hosszú idő telik el, másrészt a kivitelezés gyakran csúszik. Előbbinek a finanszírozási források megteremtése és a lassú döntéshozatali mechanizmus lehetnek az okai, utóbbinak pedig a finanszírozási igény projekt alatti növekedése, a nem teljes körű társadalmi-politikai támogatottság, valamint a munkaerőhiány.

Napjainkban, a nagyvárosokban a vasúti közlekedésről általánosságban elmondható, hogy a belvárosban vagy annak közelében található a kizárólag személyszállítási funkciót ellátó pályaudvarok, míg a teherszállítási funkciók a város peremére vagy a városon kívülre szorultak. A távolsági és városi-elővárosi személyvonati forgalom gyakran teljesen elkülönül, külön pályán, akár külön vonalvezetéssel működik,

jó esetben azonban a két hálózat megfelelően kapcsolódik egymáshoz. Különösen a városi-elővárosi forgalomban a belvárosi állomások mellett a városok külső részén, közlekedési csomópontokban, decentrumokban fekvő állomások szerepe felértékelődött. Speciális kiszolgálási pontnak tekinthetők a repülőterek.

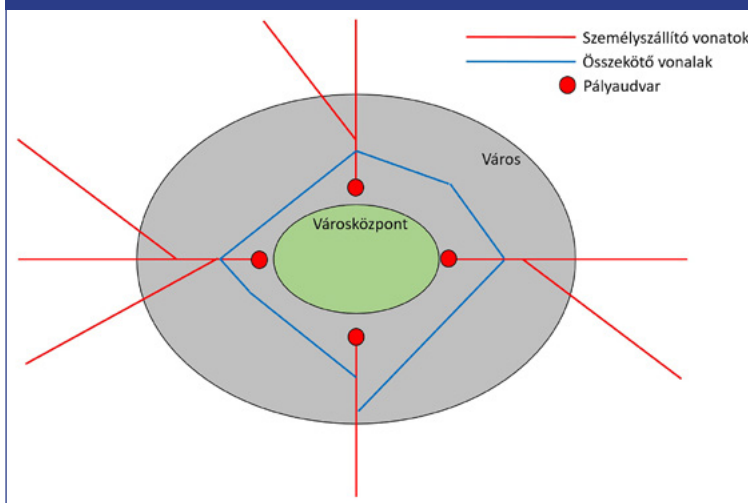
2. A NAGYVÁROSI VASÚTHÁLÓZAT TÍPUSAI

Természetesen nincs két egyforma nagyvárosi vasúthálózat, azonban felépítésükben és fejlesztésükben párhuzamosságok figyelhetők meg, logikai szempontból pedig elvi változatok határozhatók meg. Egyes városok hálózata a vizsgált időpontokban jól összekapcsolható az elvi változatokkal, míg más esetekben több típusjegy is felismerhető. Egy adott város hálózata egy-egy infrastruktúra-fejlesztési projekt következtében átalakulhat.

2.1. Több fejpályaudvar

A nagyvárosi vasúthálózat kiépülésének tipikus példája, hogy a személyszállító vonatokat több fejpályaudvar fogadja. Adott számú vasútvonal vagy vonalcsoport tartozik egy fejpályaudvarhoz, és a városhatáron belépő vasútvonal általában a hozzá fizikailag legközelebb eső pályaudvarhoz csatlakozik. (Ettől eltérő példa is akad, elég csak Budapest esetében arra gondolni, hogy a városba délkeleten belépő 100a és 142 sz. vonal a városközpont északi oldalán fekvő Nyugati pályaudvarba, a keleten belépő 80a és 120a sz. vonal pedig a városközpont keleti oldalán fekvő Keleti pályaudvarba csatlakozik, egymást Kőbánya térségében külön szintben keresztezve.) A tehervonati forgalom számára összekötő vonalak állnak rendelkezésre, így a fejpályaudvarok

1. ábra: Több fejpályaudvar, elvi vázlat



érintése nélkül, azokat kikerülve rövidebb útvonalon, jellemzően menetirányváltás nélkül tudnak közlekedni. A több fejpályaudvarral rendelkező hálózatra korábban számos példa létezett.

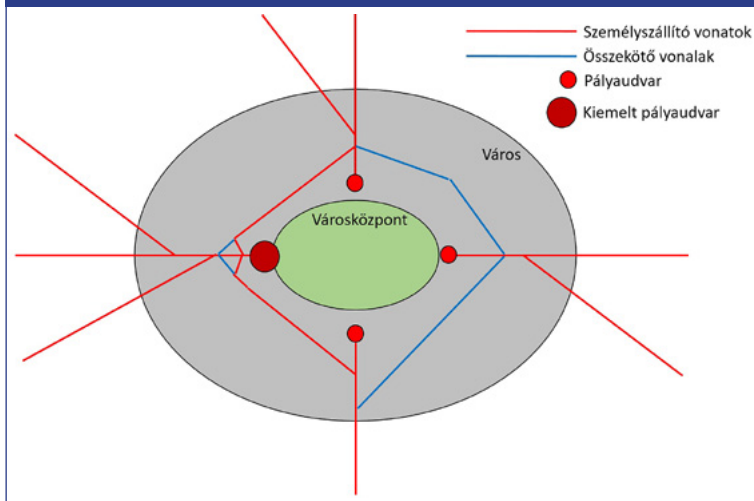
2.1.1. Kiemelt fejpályaudvar

Amennyiben az utazási igények indokoltta, a vasúthálózat kialakítása pedig lehetővé teszi, úgy több fejpályaudvar közül az egyik kiemelt szerepet kaphat. Ez azt jelenti, hogy egyes vasútvonalak bizonyos vonattípusai nem a számukra alapból kijelölt, általában legrövidebb úton elérhető fejpályaudvarra közlekednek, hanem egy távolabbi, kedvezőbb kapcsolatot biztosító pályaudvarra. Erre tipikus példa, hogy a távolsági és/vagy nemzetközi vonatok egy része vagy egésze ugyanazon a fejpályaudvaron fordul. Így átszállásos, vagy akár közvetlen kapcsolatok kialakíthatók. A bécsi főpályaudvar létesítése előtt kiemelt fejpályaudvari szerepet töltött be a Wien Westbahnhof, mivel a nyugat felől érkező vonatok mellett a keletről, Budapest felől érkező vonatokat is fogadta. Ennek köszönhetően Magyarország és Nyugat-Ausztria, illetve Németország között egy átszállással vagy közvetlenül is lehetséges volt az utazás. Hasonló szerepet tölt be Budapest-Keleti. A keleti irány (Miskolc, Eger, Szolnok, Békéscsaba, Románia) mellett nyugat (Győr, Sopron, Szombathely, Bécs) és délnyugat (Pécs, Kaposvár) felől is fogad vonatokat. Továbbá volt időszak, amikor a Pozsony, Prága, Varsó irányú nemzetközi vonatok is innen indultak.

2.1.2. Több fejpályaudvar összekötő vonallal kiegészítve

Az eredetileg a tehervonati forgalom számára létrehozott, a kiinduló vasútvonalakat összekötő, jellemzően a város külső területein futó

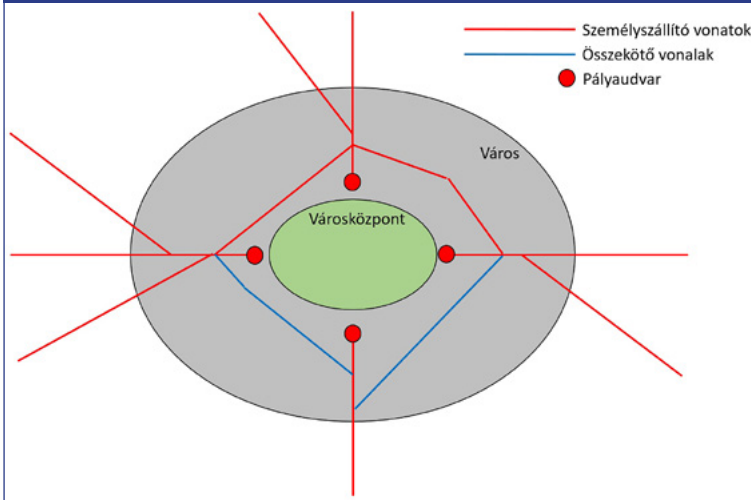
2. ábra: Kiemelt fejpályaudvar, elvi vázlat



összekötő vonalakon személyszállítás is végezhető, amennyiben ilyen irányú utazási igény megjelenik. A városok szerkezetének átrendeződése, egyes városzéli területek felértékelődése, az agglomeráció méretének és súlyának növekedése generálhat ilyen irányú utazási igényt. Feltétele, hogy az összekötő vonal infrastruktúrája alkalmas legyen a személyszállítás lebonyolítására, utasforgalmi létesítmények, városi kapcsolódási pontok rendelkezésre álljanak vagy megteremthetők legyenek. Mivel a külső városrészek utasvonzó hatása általában kisebb, mint a városközponté, ezért az összekötő vonalak többnyire kiegészítő szerepet kapnak a személyszállításban, a fajsúlyos továbbra is a fejpályaudvari irány.

A távolsági és/vagy elővárosi forgalom erősödése, továbbá a sűrűbb követés iránti igény következtében a kiinduló vasútvonalakon a vonatok száma alapesetben folyamatosan nő. A fejpályaudvarok bevezető szakaszának korlátozott kapacitása azonban szűk keresztmetszetet képezhet. Ez azt jelenti, hogy a városhatáron több vonat lép be, mint amennyi a belváros irányába tovább tud közlekedni. Ebben az esetben a fejpályaudvarról kiszoruló vonatok megfelelő városi közlekedési kapcsolat esetén fordulhatnak az érintett külvárosi állomáson, ennek hiányában pedig egy összekötő

3. ábra: Több fejpályaudvar összekötő vonallal kiegészítve, elvi vázlat



vezőtlen, ugyanis több helyszínen szükséges biztosítani az utasforgalmi és vasútüzemi kiszolgáló létesítmények működését. Akár a nagyváros földrajzi fekvésének jellege miatt, akár annak következtében, hogy a kiemelt szereppel bíró fejpályaudvar gyakorlatilag átveszi az összes többinek a feladatát, létrejöhet olyan hálózat, ahol kizárólag egy fejpályaudvarra koncentrálódik a személyszállítási funkció, amely egyben a központi pályaudvar szerepét is betölti. Ebben az esetben jellemzően minden vasútvonal minden vonattípusa itt fordul, tehát a távolsági mellett az elővárosi vonatok is egy közös csomópontban találkoznak. Ennek előnye, hogy az átszállási kapcsolatok a vonatok között kedvezően alakulnak, hátránya azonban, hogy egyes irányokból csak hosszú, kerülő úton érhető el a városközpont. Ez különösen a rövid távolságú elővárosi forgalomban problémás,

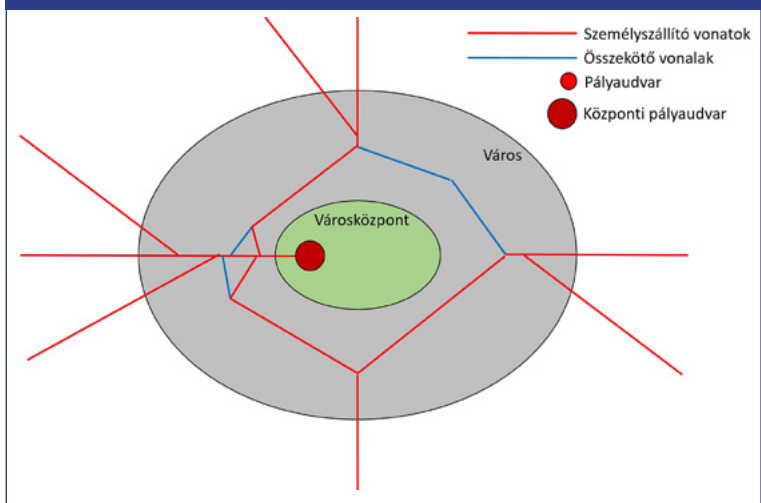
vonalon kell tovább közlekedniük a megfelelő kapcsolat elérése érdekében. Mivel az utasok többségének a fejpályaudvar volna kedvező, de oda kapacitáshiány miatt nem tud a vonat közlekedni, így kényszerből az összekötő vonalat használják. Ebben az esetben viszont már nem kiegészítő szerepet tölt be az összekötő vonal, hanem legalább egy vasútvonal vagy vonattípus esetében domináns szerepet. Erre jó példa Budapesten a 150 sz. vasútvonal esete, ahonnan a Keleti pályaudvar terheltsége miatt alapmenetrend szerint Kőbánya-Kispest állomásra közlekednek az elővárosi vonatok.

2.2. Egy fejpályaudvar központi funkcióval

Utasforgalmi szempontból a több fejpályaudvarral rendelkező hálózatok hátránya, hogy a vasútvonalak között nehézkes az átjárás. Emellett üzemeltetési szempontból is ked-

ben az esetben jellemzően minden vasútvonal minden vonattípusa itt fordul, tehát a távolsági mellett az elővárosi vonatok is egy közös csomópontban találkoznak. Ennek előnye, hogy az átszállási kapcsolatok a vonatok között kedvezően alakulnak, hátránya azonban, hogy egyes irányokból csak hosszú, kerülő úton érhető el a városközpont. Ez különösen a rövid távolságú elővárosi forgalomban problémás,

4. ábra: Egy fejpályaudvar központi funkcióval, elvi vázlat



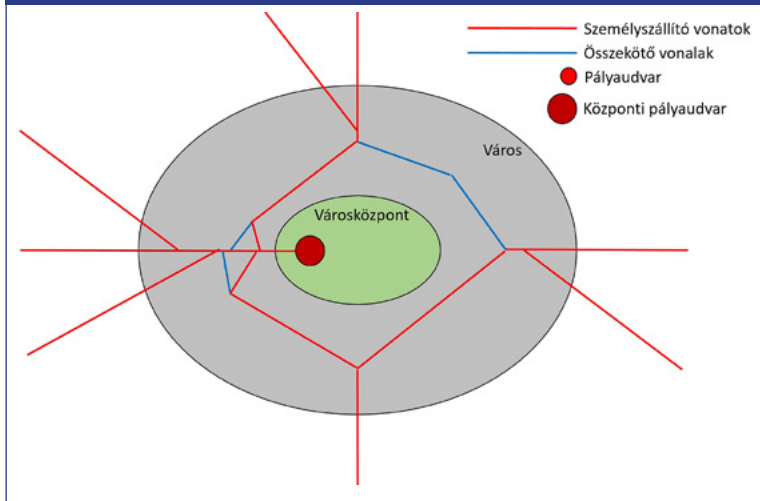
ugyanis ott arányaiban nagyobb az eljutási idő növekedése. A hálózatra jó példa Firenze és Torino városa.

2.3. Fejpályaudvar átmenő elővárosi vonallal

UtASForgalmi szempontból a fejpályaudvarok legnagyobb hátránya, hogy az azon túli városrészek csak átszállással, ezáltal kényelmetlenül, továbbá hosszabb idő alatt érhetőek el, ami vasútüzemi szempontból is kedvezőtlen, ugyanis

a hosszabb-rövidebb fordulási idő miatt a járművek futásteljesítménye romlik, ezáltal a hatékonyság csökken. Bár napjainkban a fordulási idő egyes országokban, vasúttársaságoknál elméleti szinten jármű és személyzeti oldalról minimális, – mindössze 4-5 percet vesz igénybe –, azonban műszaki okok, illetve a menetrend sajátosságai miatt ez esetenként 30-60 perc is lehet. Az első példa a németországi ICE vonatok frankfurti, lipcsei vagy stuttgarti fordulása, utóbbira pedig a Budapest – Cegléd zónázó vonat Nyugati pályaudvari 66 perces tartózkodása. A napközben óránként közlekedő vonat típus óra:57-kor érkezik és óra:03-kor indul, azonban 6 perc alatt nem tud megfordulni, ezért csak 66 perc múlva indul vissza. Az állásidő rövidítése érdekében felmerülhetne más vasútvonal vonataival való összeforgatás, azonban ezt nehezítheti a pályaudvar vágányhálózatának kialakítása vagy hasonló kapacitású viszonylat hiánya. Városszerkezeti szempontból is kedvezőtlen a fejpályaudvari fordulás, ugyanis nagy a helyigénye. Egyrészt a személyvonati vágányok, utasforgalmi létesítmények jelentős területet foglalnak el, másrészt a vasútüzemi kiszolgáló létesítmények jellemzően a pályaudvar közvetlen közelében, ezáltal a városközpont közelében, ezáltal a városközpont közelében, értékes területen fekszenek.

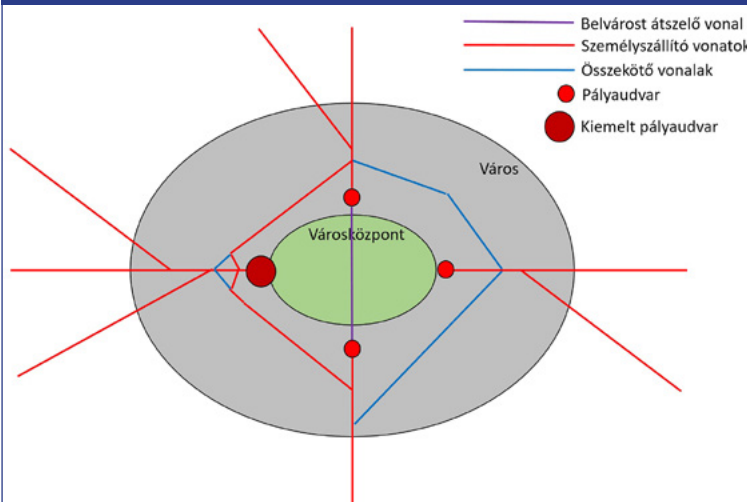
5. ábra: Központi pályaudvar átmenő elővárosi vonallal, elvi vázlat



Mivel utasforgalmi szempontból a fejpályaudvar elsősorban az elővárosi forgalom számára jelent nagyobb hátrányt, továbbá jellemzően több elővárosi vonat közlekedik, mint távolsági, illetve az elővárosi vonatforgalom jellegzetességei következtében egyszerűbb, alacsonyabb költségigénnyel megvalósítható egy új vasútvonal létesítése számára, így a problémák enyhítésére megfelelő megoldás lehet egy új, elővárosi vonatok számára épített, a városközpontot átszelő, átmenő vasútvonal építése. Ezeknek az új vasútvonalaknak az építése általában magas költségigényű, ugyanis az érintett (belvárosi) terület beépítettsége következtében többnyire csak a felszín alatt vagy felett lehetséges.

Átmenő elővárosi vonal működhet egy vagy több fejpályaudvar mellett is. Jellemző kialakítás, hogy az új vasútvonal egyik vége a központi szereppel bíró fejpályaudvar, amelyre főként Németországban találunk példát. Ilyen kialakítású München, Stuttgart (csak jelenleg, ugyanis a vasúthálózat átalakítása zajlik), Frankfurt am Main, Lipcse vagy Zürich vasúthálózata. Ugyanakkor olyan is előfordulhat, hogy az átmenő elővárosi vonal nem érinti a központi fejpályaudvart, amelyre Milánó a megfelelő példa. Münchent külön célszerű kiemelni, ugyanis az utasforgalom jelentős mértékű növekedése következtében a meglévő

6. ábra: Több fejpályaudvar átmenő elővárosi vonallal, elvi vázlat



kétvágányú elővárosi alagúttal közel párhuzamosan egy újabb kétvágányú alagutat terveznek a belvárost átszelve.

2.4. Új, átmenő központi pályaudvar

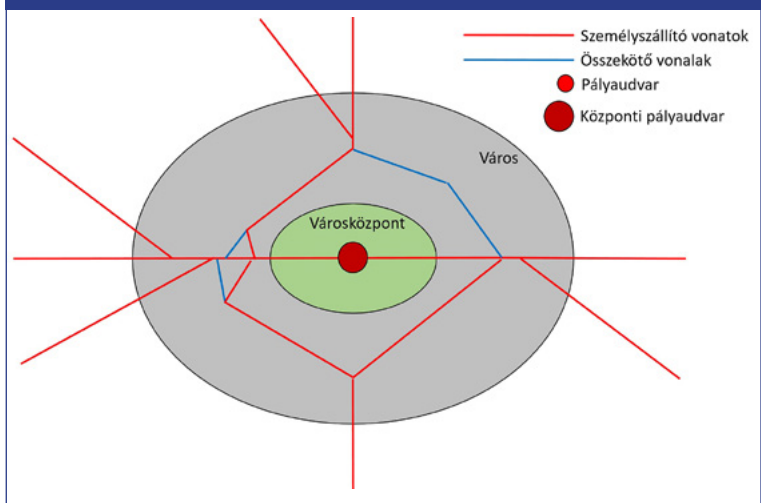
Amennyiben nem csak az elővárosi, hanem a távolsági forgalom tekintetében is cél a város minél kedvezőbb feltárása, illetve a városon áthaladó vasúti forgalom gyorsítása, akkor a megfelelő megoldás az elővárosi és a távolsági forgalmat egyaránt kiszolgáló, egy a várost átszelő, átmenő vasútvonal létesítése. A két szegmens eltérő jellemzői, illetve az összességében nagyobb vonatforgalom következtében egy ilyen közlekedési tengely kiépítése rendkívül magas költségű. Ennek oka, hogy az elővárosi és távolsági forgalmat nem célszerű, többnyire nem is lehetséges ugyanazon a vasúti pályán lebonyolí-

tani, ezért több vágányra, ennek következtében nagyobb méretű műtárgyakra (alagút, viadukt, állomás) van szükség. A megvalósítást nem csak a költségek, de a rendelkezésre álló terület korlátai is nehezíthetik, akadályozhatják.

2.4.1. Új, átmenő központi pályaudvar a városközpontban

Utasforgalmi szempontból a leginkább kedvező a városközpontot átszelő vonal létesítése, a beépítettség azonban értelemszerűen itt a legmagasabb. Gyakorlatilag csak egy kellő szélességű (nyílt vonalon legalább 4, állomáson 6-8 vágány) felszín alatti vagy feletti kialakítás merülhet föl. Ennek megfelelően ez a fajta kialakítás igen ritka. Berlinben a vasúti forgalom gyakorlatilag egy nyugat-kelet és egy észak-dél irányú tengelyen zajlik, melyek metszéspontjában található a központi pályaudvar (Berlin Hauptbahnhof), amelyet

7. ábra: Új átmenő, központi pályaudvar a városközpontban, elvi vázlat



az összes elővárosi és távolsági vonat érint. Stuttgartban jelenleg zajlik az eddig központi pályaudvar (Stuttgart Hauptbahnhof) átalakítása. Az eddig fejpályaudvarként funkcionáló állomást átmenő jellegűvé alakítják át. A jelenlegi észak-dél irányú elővárosi alagút mellett egy nyugat-kelet irányú alagút kiépítésre kerül, amit a távolsági vonatok is használnak majd.

2.4.2. Új, átmenő központi pályaudvar a városközpont mellett

Az egyszerűbb megvalósíthatóság, illetve a költségek csökkentése érdekében adódik a lehetőség a sűrűn beépített városközpont elkerülésére, és az átmenő központi pályaudvarnak a városközpont melletti, általában korábban már meglévő vasúti nyomvonalon történő létrehozására. Ez elsősorban a városon áthaladó, illetve a város másik részébe irányuló (távolsági) forgalom számára kedvező, de a városközpontot kevésbé tárja fel. Erre jó példa Bécs, ahol a meglévő vasúti területek felhasználásával, két korábbi fejpályaudvar területén egy átmenő központi pályaudvart létesítettek (Wien Hauptbahnhof). Ezt érinti az összes távolsági vonat, azonban az elővárosi vonatok egy része továbbra is a legközelebbi fejpályaudvarra közlekedik.

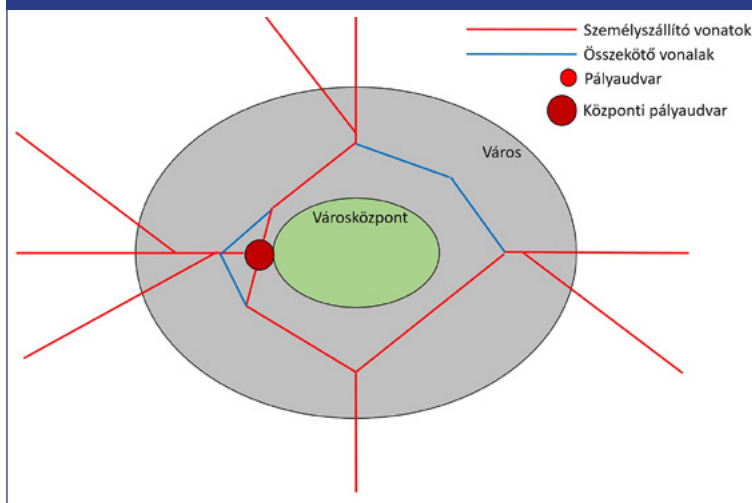
2.5. Történelmi átmenő, központi pályaudvar

Egyes nagyvárosokban a vasúthálózat kialakulásakor nem fejpályaudvarokat építettek, vagy legalábbis nem az dominált, hanem a várost a központ közelében átszelő vasútvonal, és azon központi átmenő pályaudvar jött létre. Ezekben a városokban az átmenő hálózat kialakítása érdekében nem volt szükség új, magas költségigényű beruházásokra. Ilyen hálózatot láthatunk pl. Prágában, Varsóban, Krakkóban, Bolognában, Nürnbergben. A vasúthálózat szerkezetiileg megegyezik az 2.4.2 fejezetben bemutatott hálózattal.

3. BUDAPEST VASÚTHÁLÓZATA JELENLEG

Budapesten 11 vasútvonal lépi át a városhatárt, ezen felül 4 HÉV vonal is működik, amelyek közül három hagyja el a főváros területét. Bár a HÉV vonalak nyomtávja megegyezik a nagyvasúti hálózatéval, fizikailag korlátozottan átjárhatók, a vontatási áramnemük és üzemük eltérő, jelenleg nem alkotnak egységes hálózatot. A metróhálózat nem lépi át a városhatárt, üzemük a HÉV-től és a nagyvasúttól is különbözik. Vizsgálatunk a továbbiakban elsősorban a nagyvasútra vonatkozik.

8. ábra: Új átmenő, központi pályaudvar a városközpont mellett, elvi vázlat



A fővárosba érkező vasútvonalak az alábbi vonalcsoportokat alkotják, annak megfelelően, hogy melyik irányból lépik át a városhatárt, illetve melyik másik vasútvonallal kapcsolódnak össze a város külső részén lévő állomásokon:

- nyugati vonalcsoport, 1 sz. vonal
- délnyugati vonalcsoport, 30a és 40a sz. vonal
- déli vonalcsoport, 150 sz. vonal

- délkeleti vonalcsoport, 100a és 142 sz. vonal
- keleti vonalcsoport, 80a és 120a sz. vonal
- északkeleti vonalcsoport, 70 és 71 sz. vonal
- északnyugati vonalcsoport, 2 sz. vonal.

Budapesten több fejpályaudvar létesült, amelyek jelenleg is a hálózat alapját képezik. Jelentős hálózatfejlesztés az idők folyamán nem történt, így a vasúti személyszállítás napjainkban is három fejpályaudvarra összpontosul, amelyek a városközpont területi határainak széléin találhatók. A fővárosi vasúthálózatot a különböző vasúttársaságok építkezései formálták. Ez esetenként a logikusnak tűnő kialakítástól eltérő megoldásokat eredményezett. Erre jó példa, hogy a délkelet felől belépő vonalcsoport nem a hozzájuk legközelebb eső pályaudvarhoz (Keleti), hanem a városközpont északi szélén lévő pályaudvarhoz (Nyugati) kapcsolódik, és külön szintben keresztezi a kelet felől belépő, a Keleti pályaudvarhoz csatlakozó vasútvonalat.

Mindhárom fejpályaudvar egyaránt lebonyolít távolsági és elővárosi forgalmat. A Keleti pályaudvar időszakonként változó mértékben, általában kiemelt szerepet töltött, illetve tölt be. Ez egyrészt a nyugati vonalcsoport fővárosi hálózatba történő bekötésének a módjából következik (Budapest-Kelenföldön az 1 sz. vasútvonal vágányai a Keleti pályaudvar felé, a 30a és 40a sz. vonalak vágányai a Déli pályaudvar felé adnak optimális kapcsolatot), másrészt a nemzetközi forgalom kedvezőbb kiszolgálása érdekében alakult így. A kiemelt (központi) szerep azonban nem teljes körű, ugyanis egyrészt a délkeleti vonalcsoport felől (Kőbánya-Kispestről) a Keleti pályaudvarral nincs megfelelő hálózati kapcsolat, másrészt a délnyugati vonalcsoportról a kapcsolat nem kellő kapacitású.

A vonatforgalom fejpályaudvarok közötti megosztását a hálózati adottságok mellett, illetve az utasforgalmi igényeken túl befolyásolja a bevezető szakaszok vonali pályakapacitása és a pályaudvarok állomási kapacitása (személyvonati vágányok száma, vágánykapcsolatok kialakítása, biztosítóberendezés

típusa). 2020-ban az alábbi feladatmegosztás szerint működnek a fejpályaudvarok az alapmenetrendben, az alapütemi vonatokat figyelembe véve. (Vágányzári menetrend szerint 2020 tavaszán a 150 sz. vonal elővárosi vonatai is a Keleti pályaudvarra közlekednek.)

Keleti pályaudvar:

- nyugati vonalcsoport távolsági vonatai
- délnyugati vonalcsoport egyes távolsági vonatai
- déli vonalcsoport távolsági vonatai
- keleti vonalcsoport távolsági és elővárosi vonatai.

Nyugati pályaudvar:

- délkeleti vonalcsoport távolsági és elővárosi vonatai
- északkeleti vonalcsoport távolsági és elővárosi vonatai
- északnyugati vonalcsoport elővárosi vonatai.

Déli pályaudvar:

- nyugati vonalcsoport elővárosi vonatai
- délnyugati vonalcsoport egyes távolsági és elővárosi vonatai.

A különböző vonalcsoportokat összekötő vonalak kapcsolják össze, amelyek elsősorban a tehervonati forgalom számára létesültek. Ezek egyes szakaszait azonban a személyszállító vonatok jelenleg is használják. A délnyugati vonalcsoport egyes elővárosi vonatai Kelenföldről a Déli pályaudvar helyett Kőbánya-Kispest, a déli vonalcsoportról az elővárosi vonatok a Keleti pályaudvar helyett szintén Kőbánya-Kispest felé közlekednek. Míg utóbbi esetben egyértelműen kényszermegoldásról van szó, amit a Keleti pályaudvar korlátozott állomási kapacitása okoz, addig az elsőben egy kedvező városi közlekedési kapcsolat megteremtését is szolgálja az összeköttetés.

3.1. Fejlesztés nélküli beavatkozás

Budapesten a vasúthálózat egy jelentős része leromlott állapotú, így a hálózat fejlesztése, illetve a kapacitás bővítése nélkül, pusztán a jelenlegi forgalom zavartalan lebonyolítása

érdekében is szükséges volna jelentős mértékű infrastruktúra oldali beavatkozás. Ez a vasút szempontjából jellemzően komplex felújítást (pl. fejpályaudvarok és azok bevezető szakaszai), néhány esetben a biztosítóberendezés cseréjét (pl. Nyugati és Déli pályaudvar, Rákosrendező), továbbá az utasforgalmi létesítmények megújítását jelentené. Ezek a beavatkozások csak a jelenlegi menetrendi kínálat megtartását eredményeznék. Amennyiben nagyobb, a korszerűsített vonalakon már lehetővé váló, megnövelt vonatforgalom lebonyolítását tűzzük ki célul – a jelenlegi hálózat alapján –, ahhoz további, kapacitásbővítő beavatkozások is kellenek. Tehát a nagyobb kapacitásbővítő, illetve hálózatfejlesztési projektek erőforrásigényét nem a nullához, hanem az egyébként is szükséges, fenntartási jellegű beavatkozásokhoz célszerű kapcsolni. A budapesti vasúthálózat egyes szakaszainak állapotát mutatja be a 9. és 10. ábra, annak függvényében, hogy 2000-2020 között történt-e fejlesztés, illetve az egyes szakaszok átépítése milyen mértékű.

4. BUDAPEST VASÚTHÁLÓZATÁNAK FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

A magas színvonalú, megbízható szolgáltatás nyújtására képes hatékony infrastruktúra létrehozása komplex, rendszerszintű tervezést igényel. Az utazási igények kielégítése mellett tekintettel kell lenni a finanszírozási igényre, illetve a hálózat kiépítéséhez szükséges időigényre is.

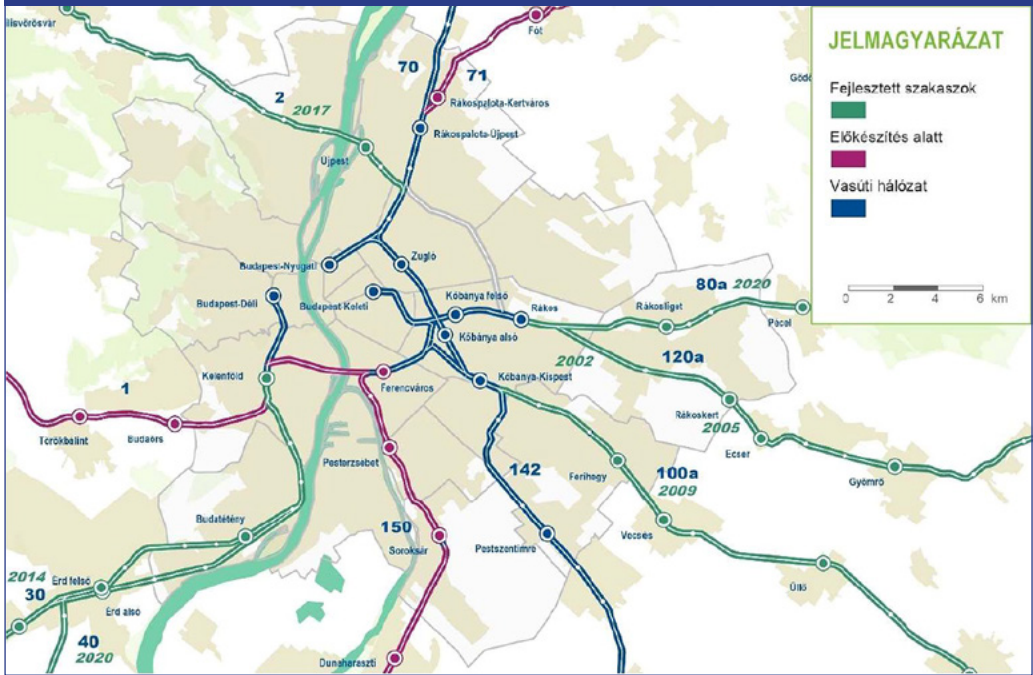
Ha feltesszük a kérdést, hogy milyenek szeretnénk látni a jövő vasútját Budapesten, akkor egyszerűnek tűnik a válasz. Az utasforgalmi szempontból leginkább kedvező hálózaton (a belvároson át) korszerű vonatok közlekedjenek, sűrűn, gyorsan, zavartalanul. Láthattuk azonban, hogy a nagyobb utas- és vonatforgalmat lebonyolító, fejlettebb vasútüzemmel rendelkező, gazdaságilag erősebb országok nagyvárosaiban sem a leginkább kedvező hálózatot alakították ki. Ennek oka, hogy az infrastruktúra kiépítésének költsége jelentős, különösen a sűrűn beépített területeken, és az elérhető előnyök, hasznok ezeket a költségeket nem ellensúlyozzák kellő mértékben.

A hálózat fejlesztésekor, átalakításakor szükséges még az időtényező figyelembevétele is, ami több elemből áll. Amennyiben csak egy konkrét projektet nézünk, azt tapasztalhatjuk, hogy rendszeres a csúszás. Ennek okai lehetnek a lassú döntéshozatali folyamat, a teljes körű társadalmi-politikai támogatottság hiánya, tervezési hiányosságok, finanszírozási nehézségek, az építőipari kapacitás korlátozottsága. Az időtényező egy másik, talán ennél is fajsúlyosabb eleme, hogy a kiindulási állapotból hogyan jutunk el a célállapotig, és milyen közbenső lépéseket tudunk meghatározni. A hálózat markáns átalakítása ugyanis évtizedekig is eltarthat. Amennyiben az előnyök jelentős része csak a célállapotban jelentkezik, és az átalakítás nem bontható fel önállóan is értelmezhető elemekre, akkor ez azt eredményezi, hogy a beavatkozások éveken (évtizedeken át) hasznok nélkül kötik le az erőforrásokat, és a kivitelezési munkálatok folyamán esetleg még akadályozzák is a forgalom lebonyolítását.

Az elővárosi és a távolsági forgalom egyaránt a fejpályaudvarokra összpontosul, ezért a vonatokról csak a városközpont széle érhető el közvetlenül, az azon túli területek csak a városi közlekedési hálózatra történő átszállással közelíthetők meg. Bár a Keleti pályaudvar kiemelt szereppel bír, azonban több vonalcsoporthoz így sincs átszállási lehetőség.

A hálózat fejlesztésének több változata, több lépése lehetséges. Az első lépés, hogy a Keleti pályaudvar kiemelt szerepe tovább erősödik, illetve ezzel párhuzamosan az összekötő vonalak nagyobb hangsúlyt kapnak a személyszállításban is. A második lépés, ami akár időben követheti az első szintet, hogy létrejön egy központi pályaudvar. Ez elméleti szinten lehet fej- vagy átmenő pályaudvar. Amennyiben központi fejpályaudvar létesülne, akkor azt legalább az elővárosi forgalom számára célszerű volna egy, a belvárost átszelő vasútvonallal kiegészíteni. Átmenő központi pályaudvar, illetve maga az átmenő vasútvonal átszélheti a városközpontot, vagy annak szélén haladhat el.

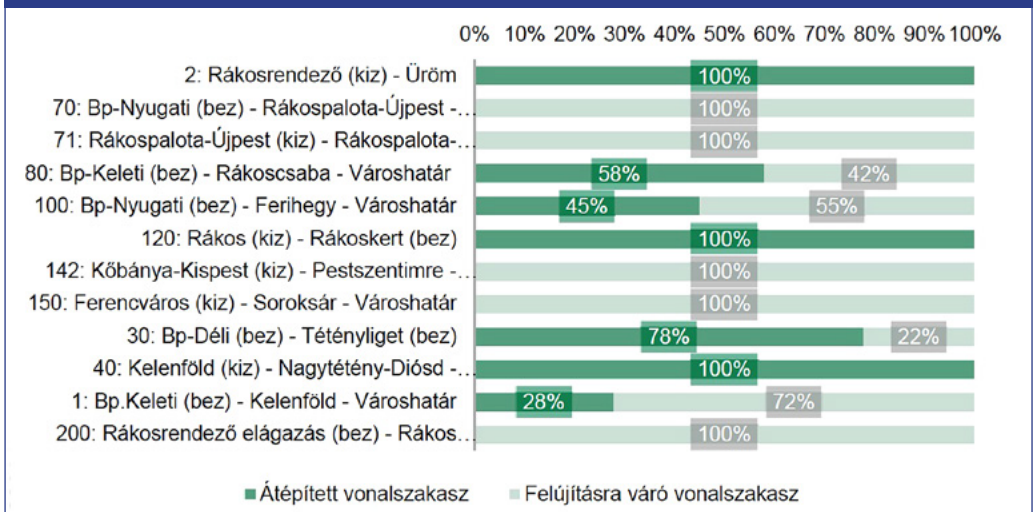
9. ábra: A budapesti vasúthálózat állapota [1]



A következő alfejezetekben olvashatók, hogy egyes elvi fejlesztési lehetőségekhez milyen infrastruktúra elemek létesítése szükséges, ezáltal bemutatva azok megvalósíthatóságát.

Első lépésben célszerű általánosságban megvizsgálni, hogy az utasforgalmi igények alapján a vonatforgalom optimális lebonyolítása érdekében milyen infrastruktúra-igények

10. ábra: A budapesti vasúti szakaszok átépítésének mértéke [1]



merülnek fel. A távolsági és az elővárosi forgalomban a szempontok alapvetően eltérnek egymástól. Az elővárosi forgalomban többnyire sűrűn, 15-30 percenként közlekednek a vonatok, így közöttük az átszállási idő kedvező. A távolsági forgalomban azonban jellemzően 60-120 percenként közlekednek a vonatok, így ott hosszú átszállási idő is kialakulhatna. Annak érdekében, hogy a különböző távolsági vonatok között át lehessen szállni, optimális esetben először beérkeznek a vonatok egy pályaudvarra, majd az átszálláshoz szükséges tartózkodási idő után elindulnak. Ez azt jelenti, hogy legalább annyi vágánynak kell rendelkezésre állnia, ahány irány van. Ez fejpályaudvar, vagy egy korábban kialakult, városközpont melletti pályaudvaron általában adottságként kezelhető, azonban egy újépítésű, városközpontban létrehozott, akár felszín alatti pályaudvar esetében nehézkes, rendkívül költséges. Míg az átmenő pályaudvar legnagyobb előnye éppen az volna, hogy az utasok átszállás nélkül gyorsan eléri a központi pályaudvaron túli városrészeket is, addig a hosszabb tartózkodási idő éppen ez ellen hat.

A fővárost érintő legjelentősebb középtávú vasúti fejlesztést a város alatti vasúti alagút jelenti. Ennek vonalvezetése – az egyik végállomást illetően – még nem eldöntött. Kelenföld és a Nyugati pályaudvar között alapvetően több elvi lehetőség is felmerülhet a vonalvezetés tekintetében (pl. Déli pályaudvar és Széll Kálmán tér térségének vagy az Astoria és Ferenciek tere térségének érintése), amelyek közül az optimális változat kiválasztása nem elsősorban vasútforgalmi kérdés.

A cikkben szereplő Kelenföld – Nyugati pályaudvar megnevezésnek – az előzőeket is figyelembe véve – a tervezés és a tájékoztatás szempontjából nincs meghatározó jelentősége.

4.1. Tervezett vonatforgalom

Annak érdekében, hogy a fejlesztési lehetőségek infrastruktúra-igényét vizsgálni tudjunk, szükség van a tervezett vonatforgalom volumenének és irányának meghatározására. Mivel a budapesti hálózat tervezése, méretezése a cél, ezért a városhatárt átlépő vasútvonalak

esetében azzal a feltételezéssel élünk, hogy azok a kívánt vonatforgalomhoz megfelelő kapacitással rendelkeznek. Egyes vasútvonalak az elmúlt időszak fejlesztései következtében erre már jelenleg is alkalmasak, másoknál ehhez (további) beruházásokra van szükség. A csúcsidőszakban közlekedő személyszállító vonatok számának meghatározásához az alábbi alapelvekből indulunk ki:

- távolsági forgalomban, a releváns irányokban 30-60 perces követés
- elővárosi forgalomban, a külső zónában 30 perces követés
- elővárosi forgalomban, a belső zónában 15 perces követés.

A felsorolt alapelvek mentén az egyes vasútvonalak tervezett vonatforgalmát az 1. táblázat mutatja.

4.2. Új, átmenő központi pályaudvar a városközpontban

A lehetséges fejlesztési irányok közül az utasforgalmi szempontból a leginkább kedvezőbb változat vizsgálatával kezdjük. Egy új, a belvárost átszelő vasútvonal létesítésével és az azon fekvő központi pályaudvarral az utazási igények a legnagyobb mértékben kielégíthetők. A vasúti tengelyen ebben az esetben a távolsági és az elővárosi forgalom is áthaladna, így mindkét szegmens minden vonata a lehető legnagyobb mértékben feltárná a fővárost, és ezzel párhuzamosan közvetlenül vagy legfeljebb egy átszállással minden helyközi utazás megvalósítható volna.

Budapest vasúthálózatát vizsgálva látható, hogy a Dunántúl felé induló vasútvonalak mindegyike érinti Budapest-Kelenföld állomást. Keleti irányban ilyen jellegű domináns csomópont nincs, a vonalak Rákosrendező, Rákos, Kőbánya-Kispest és Ferencváros állomásba csatlakoznak, és onnan két fejpályaudvarba, a Keletibe és a Nyugatiba torkollanak be. Az új vonal hosszának minimalizálása érdekében két elvi lehetőség merül fel, Kelenföldet a Nyugattal és/vagy a Keletivel lehetséges összekötni. A teljes beépítettség miatt mindkét irányban csak a felszín alatti össze-

1. táblázat: Tervezett vonatforgalom vasútvonalanként

Vonal	Távolsági	Külső zóna	Belső zóna
1	3	2	4
30a	4-6	2	4
40a	2	2	
150	1	1	4
142	0	2	2
100a	6	2	4
120a	0	2	4
80a	2	2	4
71	0	2	2
70	0	2	4
2	0	2	4

déli) mellett meg kell oldani a Nyugatiba bekötött vonalcsoportok elérését is. A délkeleti vonalcsoport esetében ez a Kőbánya-Kispest és Budapest-Keleti között megfelelően létrehozott kapcsolattal megoldható. Az északkeleti és északnyugati vonalcsoport felől azonban a meglévő vasútvonalak mentén, még a megfelelő kapcsolatok kiépítése mellett is jelentős kerülő volna, így kialakítása, illetve a vonatok ilyen irányú közlekedtetése nem célszerű. Alternatíva a Budapest-Keleti

kötetés képzelhető el, így magas költséggel, nagy időigénnyel, és komoly kockázatokkal kell számolni.

4.2.1. Kelenföld – Nyugati tengely

A Kelenföld – Nyugati tengely esetén a jelenleg is a Nyugatiba bekötött vonalcsoportok (délkeleti, északkeleti és északnyugati) mellett meg kell oldani a Keletibe bekötött vonalcsoportok elérését is. A keleti vonalcsoport esetében ez az ún. királyvágány mentén, Kőbánya felső és Kőbánya-Teher térségében létrehozott kapcsolattal megoldható. A 150 sz. vonal (déli vonalcsoport) irányából a Nyugati pályaudvar felé történő közlekedés, még a megfelelő kapcsolatok kiépítése mellett is jelentős kerülő volna, így kialakítása, illetve a vonatok ilyen irányú közlekedtetése nem célszerű. Számukra más megoldás szükséges. A H6 és H7 jelzésű HÉV vonalak felhasználásával létrehozandó M5 metró vonal alkalmas lehet a 150 sz. vasútvonal elővárosi vonatainak a közlekedtetésére is.

4.2.2. Kelenföld – Keleti tengely

A Kelenföld – Keleti tengely esetén a jelenleg is a Keletibe bekötött vonalcsoportok (keleti,

és Rákosrendező közötti vasúti pálya kiépítése, ami a magas szintű beépítettség következtében szintén csak felszín alatt volna lehetséges. Ennél azonban rövidebb, ha a Nyugati pályaudvar kerülne összekötésre a Kelenföld – Keleti tengellyel. Ebből az következik, hogy amennyiben az északkeleti és északnyugati vonalcsoportot is szeretnénk bekötni a belvárost átszelő vonalba, akkor a Nyugati pályaudvar bekötését nem célszerű, nem lehetséges mellőzni. Tehát a kizárólag a Keleti pályaudvart bekapcsoló hálózat nem megfelelő.

4.2.3. Kelenföld – Nyugati és Kelenföld – Keleti tengely

Amennyiben Kelenföldről mindkét pesti pályaudvar összekötésre kerül, akkor az összes vonalcsoportról biztosítható a belváros elérése. Amennyiben minden vonalról a legrövidebb úton át kívánjuk elérni a belvárosi tengelyt, akkor a déli, délkeleti és keleti vonalcsoportról a Keleti, az északkeleti és északnyugati vonalcsoportról pedig a Nyugati pályaudvaron át adódik a kapcsolat. A kettős tengely előnye a csak Nyugati pályaudvari bekötéssel szemben, hogy a délkeleti és keleti vonalcsoportról rövidebb az út, ezáltal rövidebb a menetidő.

Fontos megemlíteni, hogy Kelenföld és Keleti között már létezik egy nagykapacitású, kötőpályás közlekedési kapcsolat, az M4 metró. Bár a nagyvasút nyomvonala és megállókiosztása eltérhetne a metróétól, azonban így is konkurráló, részben párhuzamos szolgáltatást nyújtanának, ami a beruházás hasznosságát jelentősen rontaná.

4.2.4. A változatok megvalósíthatósága

Mivel a jelentős forgalmat kitevő, északkeleti és északnyugati vonalcsoport kapcsolatának hiányában Kelenföld kizárólag a Keleti pályaudvarral történő összekapcsolása nem elégséges, ezért csak olyan változat merülhet fel, amelyben a Kelenföld – Nyugati tengely megvalósul.

A kettős, a Nyugati mellett a Keletit is bekapcsoló összeköttetés utasforgalmi szempontból a leginkább előnyös, azonban infrastruktúra igénye jelentős. Mivel a Kelenföld – Nyugati tengelyen legalább 16, a Kelenföld – Keleti tengelyen pedig akár 36 vonat is áthaladna óránként és irányonként (feltételezve, hogy minden nyugatról érkező vonatot össze lehetne kötni egy keletre indulóval), így belátható, hogy valójában két önálló vonal építésére volna szükség. Ekkora vonatforgalmat Kelenföld felől nem volna lehetséges ugyanazon a pályán leközeledtetni, különálló Kelenföld – Nyugati és Kelenföld – Keleti vonalra volna szükség.

Az is látható ugyanakkor, hogy a Keleti pályaudvar felé sem elegendő egy kétvágányú pálya a 36 pár vonat számára, azt tovább kellene bontani. A távolsági és elővárosi forgalom szétosztásával a két Kelenföld – Keleti vonalon kb. 10-12, illetve 26 vonat közlekedne. Ez utóbbi még mindig több, mint a gyakorlatban, megbízhatóan leközeledtethető vonatok száma. Ez az érték csökkenthető, például egyes vonatok Keleti helyett Nyugati felé történő közeledtetésével, vagy a 150 sz. vonal HÉV hálózatba kötésével, ez azonban a hálózat utasforgalmi szempontú értékét csökkentené.

Látható tehát, hogy a belvárost átszelő, a távolsági és elővárosi vonatokat is kezelő vasúti

tengely megvalósítása gyakorlatilag három kétvágányú vonal kiépítését jelentené a felszín alatt, a városközpontban egy szintén felszín alatti legalább 8 vágányos állomással. Ennek megvalósítása belátható időn belül nem reális, és építészetiileg vélhetően nem is lehetséges.

4.3. Új, átmenő központi pályaudvar a városközpont mellett

Mivel a városközpontot átszelve nem reális egy, a teljes forgalmat ellátó vasúti tengely létrehozása, ezért célszerű megvizsgálni, hogy milyen lehetőségek merülnek fel a jelenlegi vasútvonalak, illetve azok nyomvonalaival a felhasználásával, továbbá azokon hol van lehetőség egy központi pályaudvar létesítésére.

A budapesti vasúthálózat adottsága és a területi beépítettség alapján a fő vasúti tengely megvalósítására kizárólag a Kelenföld – Ferencváros (Népliget) vonalszakasz, vagy Kőbánya térsége volna megfelelő. Mindkét lehetséges helyszín viszonylag távol helyezkedik el a városközponttól (a Nagykorúttól 1,5 és 4 km), így a jelenlegi, fejpályaudvar irányú vonatok az útvonal módosulás hatására kedvezőtlenebb kapcsolatot nyújtanának a legtöbb utasnak. A tengelyen áthaladó vonatok száma megegyezik a 4.2.4. pontban szereplővel (óránként 52 pár vonat), ennek megfelelően csak a személyszállító vonatok számára három kétvágányú pályára volna szükség. Tovább nehezíti a megvalósítást, hogy a fővárost érintő teherforgalom is ezen az útvonalon bonyolódik le, ami növeli az infrastruktúra-igényt, ezáltal a vasút térigényét. A kialakítástól függően a Kelenföld – Ferencváros szakaszon, amely magába foglalja a Duna keresztesét is, 6-8 vágányra volna szükség, ami a beépítettséget és a költségigényt figyelembe véve nem reális.

4.4. Központi fejpályaudvar és átmenő elővárosi vonal

A külföldi példáknál láthattuk, hogy a belvárost átszelő, újépítésű vasútvonallal rendelkező nagyvárosok esetében jellemzően csak az elővárosi forgalom, vagy annak is csak egy része használja ezt a tengelyt. A távolsági forgalom

többnyire a központi pályaudvar szerepét betöltő fejpályaudvaron fordul, amit általában a várost átszelő tengely is érint. Ez az olyan városokra (pl. Frankfurt, Lipcse, München, Zürich, Milánó) is jellemző, ahol jóval nagyobb az áthaladó távolsági utasforgalom, mint Budapesten. Felmerülhet tehát, hogy Budapesten is a városközpontot átszelő tengelyen csak az elővárosi forgalom, vagy annak egy része haladjon át, míg a távolsági forgalom egy fejpályaudvaron forduljon.

A korábban leírtaknak megfelelően a belvárost átszelő tengelyt Kelenföld és a Nyugati között célszerű kiépíteni, hiszen csak így biztosítható minden vonalcsopotról az elérhetősége. Amennyiben a távolsági vonatok a Nyugati pályaudvaron tudnának fordulni, úgy az központi pályaudvarnak lenne tekinthető. A távolsági forgalom egésze és az elővárosi egy része számára fejpályaudvarként szolgálna, az elővárosi forgalom másik része számára pedig átmenő pályaudvarként. Ezzel a megoldással az 2.3 fejezetben ismertetett hálózati struktúra jönne létre. A központi pályaudvaron minden vonalról és vonattípusról minden vonalra és vonattípusra át lehetne szállni, az elővárosi forgalom nagy része pedig a belvároson át haladna, ezzel oda közvetlen eljutás volna biztosított.

Ez a hálózat azt is jelenti, hogy a távolsági vonatok minden vonalról a Nyugati pályaudvarra közlekednek. Kelet-Magyarország felől ez megoldható, hiszen a délkeleti vonalcsopotról jelenleg is oda járnak a vonatok, a keleti vonalcsopotról pedig a királyvágány mentén megoldható az eljutás, viszont a Dunántúl felől a megfelelő kapcsolat kiépítése (dedikált vágányok, műtárgyak) esetén is jelentős kerülőút volna a Nyugatiba való eljutás.

A Nyugati pályaudvar tehát nem tudja betölteni a távolsági forgalomban a kiemelt szerepet, ezáltal központi pályaudvarra sem fejleszthető.

4.5. Kiemelt fejpályaudvar és átmenő elővárosi vonal

Amennyiben valódi központi pályaudvar létrehozása, amit minden vonat érint, nem lehetséges, célszerű megvizsgálni, hogy a távolsági forgalom számára milyen alternatíva merül

fel. A Keleti pályaudvar jelenleg is betölt egyfajta kiemelt szerepet. A Dunántúl felől és a keleti vonalcsopotról jelenleg is megközelíthető, a délkeleti vonalcsopotról pedig közelebb is volna, mint a Nyugati pályaudvar, ráadásul a megfelelő kapcsolat kiépítése a város külső részén viszonylag könnyedén megvalósítható. [2] További előny, hogy a fejpályaudvar műszaki állapota jelenleg is elfogadható, megfelelő vágánykapcsolatok és biztosítóberendezés működik, így felújítása, fejlesztése kevésbé sürgős, mint a másik két fejpályaudvaré. Városi közlekedési kapcsolatai kedvezőek.

Megvalósíthatónak tűnik tehát egy olyan hálózat, amelyben a távolsági forgalom a Keleti pályaudvaron fordul, az elővárosi közlekedés egy része pedig a belvárost átszelő Kelenföld–Nyugati tengelyen bonyolódik, másik része pedig a Nyugati pályaudvaron fordul. Ennél a hálózathoz külön-külön az elővárosi és a távolsági forgalomban is megvalósul a minden vonat közötti átszállási lehetőség. A Dunántúl felől érkező távolsági vonatokról Kelenföldön adódik átszállási lehetőség az elővárosi vonatokra. A kelet-magyarországi távolsági és elővárosi forgalom között azonban egyes relációk egy átszállással – valódi központi pályaudvar hiányában – nem teljesíthetők. Ezek egy része távlati fejlesztésekkel javítható, ilyen pl. a Hatvan – Miskolc irányú forgalomnak a Liszt Ferenc Repülőtér felé történő bekötése. [2]

A belvárost átszelő tengely kapacitása nem teszi lehetővé, hogy minden (keleti irányból érkező) elővárosi vonat azon közlekedjen, ezért azok számára alternatív végállomás vagy útirány szükséges. Mivel a városközpontot az azt átszelő vonal mellett a fejpályaudvarok közelítik meg a leginkább, így az átmenő vonalról kiszoruló vonatok számára a Nyugati vagy a Keleti pályaudvar lehet optimális célpont. Utasforgalmi szempontból a Nyugati mellett szól, hogy azt így minden elővárosi vonat érintené, ezzel teljes körű átszállási kapcsolat jönne létre az elővárosi vonatok esetében. A Nyugati pályaudvar területén az átmenő vonal felszín alatti vágányai mellett a felszínen is maradnának vágányok, azonban a jelenleginél kevesebb is elegendő, így azok területigénye is kisebb volna.

4.6. A kiválasztott változat részletes elemzése

A reálisan megvalósítható, az utasforgalmi szempontokat a lehető legnagyobb mértékben kielégítő változat tehát a 4.5 fejezetben bemutatott hálózat, miszerint Kelenföld és a Nyugati pályaudvar között egy új, a belvárost átszelő elővárosi vonal épül, a távolsági vonatok mindegyike a Keleti pályaudvarra közlekedik, és a Nyugati pályaudvar elővárosi fordítóállomásként is funkcionál. Ezen felül a belvárost elkerülő, összekötő vonalakon a külső városrészek közlekedési kapcsolatai is fejlesztésre kerülnek. Ebben a fejezetben a tervezett vonatforgalom akadálymentes lebonyolításához szükséges infrastruktúra-igény kerül meghatározásra. Ez egyben visszacsatolást is ad, hogy valóban reálisan megvalósítható-e a kiválasztott változat.

Az infrastruktúra tervezésének, illetve a vele szemben támasztott igények meghatározásának több módszere lehetséges. A menetrend alapú infrastruktúra-tervezés a leghatékonyabb, azonban alkalmazásához a jövőbeli személy- és áruszállítási igények előrebecslése, valamint (legalább) a személyvonatok pontos menetrendjének ismerete szükséges. Mivel a repülőtéri projektben érintett vonalszakaszok és állomások jelentős, összetett (távolsági, elővárosi, teher) és időben változó vonatforgalmat bonyolítanak le, továbbá a menetrend nehezen tervezhető, ezért a forgalmi szituáció alapján történő infrastruktúra-tervezés a megfelelő módszer. [3]

Budapest, illetve a vonal térségében a jövőben még számos vasúti fejlesztés várható, amelyek kihatással lesznek a jelen projekthez kapcsolódó infrastruktúra-igényre is, így a tervezéskor azok várható hatását vizsgálni szükséges. A távlati igények egy részét már a repülőtéri projektben célszerű kielégíteni a jövőbeli problémák és a felmerülő többletköltség elkerülése végett, más részét a költségek csökkentése céljából csak figyelembe kell venni és előkészíteni. [3]

4.6.1. Kelenföld – Nyugati pályaudvar szakasz

A városközpontot átszelő új vasútvonal nyomvonala (Déli pályaudvar vagy Belváros érinté-

se) a vonatok számát, illetve a csatlakozó pontok kialakítását nem befolyásolja, így ebből a szempontból irreleváns. Az eltérő hossz miatt a vonalvezetés kismértékű, kb. 1 perces menetidő-különbséget jelenthet, ennek azonban a vizsgálat e szintjén nincs jelentősége.

A vonalszakasz kétvágányú, jelentős részben a felszín alatt halad. A közbelső megálló(k) esetében szintén elegendő két vágány a homogén vonatforgalomnak (kizárólag elővárosi vonatok) köszönhetően. Kelenföldön a felszíni állomáshoz csatlakozik a vonal, a Nyugati pályaudvarnál azonban felszín alatti állomás szükséges. Mivel a délkeleti és keleti, illetve az északkeleti vonalcsoportok szempontjából elágazó állomásnak is minősül, így célszerű négyvágányú állomást kialakítani. A kivitelezést segítheti, hogy az építkezés vasúti területen történhet.

A vasútvonalon 3 perces követés lehetséges, amely óránként (minden menetvonalat kihasználva) 20 pár vonatot jelent. Kelenföld irányából 14 elővárosi vonat lép be óránként a főváros hálózatára, míg a Nyugati pályaudvar felől lényegesen több, 38. Ez azt jelenti, hogy Kelenföld felől az összes, Nyugati pályaudvar felől azonban csak az elővárosi vonatok egy része, kb. 20 pár vonat közlekedhet a belvárosi pályán át. A 20 pár vonatból 14 pár összekötésre kerül egy menetrendi és férőhelykapacitás szempontból megfelelő vonattal, 6 pár vonat pedig Kelenföldön visszafordul. 18 pár vonatnak továbbra is a Nyugati pályaudvaron kell fordulnia, vagy alternatív útirányon át kell közlekedni. Annak érdekében, hogy meghatározzuk, melyik vasútvonal vonatai ne közlekedjenek a városközpontot átszelő vasútvonalon, célszerű megvizsgálni, hogy melyik vasútvonalak esetében van a legkisebb hozzáadott értéke az átmenő jellegnek.

Az északkeleti vonalcsoport esetében (10 pár vonat) egyértelmű a belvárosi tengely magas hozzáadott értéke, hiszen ez egyenes folytatása annak. Az északnyugati tengely már a budai oldalon, Aquincumban is kap a belváros felé kötőpályás kapcsolatot (H5 HÉV, a jövőben M5 metró), majd Újpesten szintén (M3 metró), így esetében a belváros átszelése, sőt

a Nyugati pályaudvar érintése is alacsonyabb hozzáadott értékkel bír. A keleti vonalcsoport számára a belváros gyors elérése a jövőbeni Törökőr megállóhelyről (M2 metró) és Zuglóból (a jövőben M4 metró) is megvalósítható, azonban a dél-budai kapcsolat vasúton nem teremthető meg. A délkeleti vonalcsoport számára a belváros Kőbánya-Kispestről (M3 metró), Törökőr megállóhelyről (M2 metró) és Zuglóból (a jövőben M4 metró) is megvalósítható, továbbá a Kelenföld – Kőbánya-Kispest nagyvasúti viszonylattal Dél-Buda is gyorsan elérhető, így ebben itt tűnik a legacsonyabb hozzáadott értékűnek a belvárosi tengely szerepe. Ugyanakkor ebből az irányból érkeznek 15 percenként a repülőteret is kiszolgáló vonatok, amelyek esetében, még ha eljutási időben nem is ez a legrövidebb, a közvetlen belvárosi kapcsolat fontos lehet. [2] Ennek következtében célszerű ezt a 4 pár vonatot, és ezen felül a keleti vonalcsoportról 6 pár vonatot a városközpontot átszelő vasútvonalon közlekedtetni. A többi vonatnak a Nyugati pályaudvaron megtartott, illetve korszerűen kialakított vágánycsoporton szükséges fordulnia.

4.6.2. Keleti pályaudvar

A Keleti pályaudvar a távolsági forgalom szempontjából központi pályaudvarnak tekinthető, ugyanis minden távolsági vonat érinti. Ez óránként kb. 18 pár vonat közlekedtetését jelenti, ebből 10 nyugat felől, 8 kelet felől érkezik. Az átszállásmentes eljutási lehetőségek megteremtése érdekében, a férőhely-kapacitás alakulásának függvényében egyes viszonylatok összeköthetők. Az összekötés előnye nem csak a vidék-vidék kapcsolatok javulása, hanem így biztosítható a Dunántúl felől a repülőtér közvetlen elérése is. Mivel egy adott vasútvonalon közlekedő vonatok jellemzően 30 percenként közlekednek, így a pályaudvaron egyszerre a 18 pár vonatnak körülbelül a fele, illetve a kisebb aszimmetria miatt kb. 8-10 vonat fog megjelenni. A rendszer stabilitása érdekében ehhez kb. 12 vonatfogadó vágány szükséges, ami gyakorlatilag jelenleg is rendelkezésre áll. Kedvező adottságnak tekinthető, hogy a pályaudvar bevezető szakaszainak kialakítása

napjainkban is lehetővé tenné az átlós, kelet-nyugat irányú vonatközlekedést, sőt ezek alkalmazása adott esetben kevesebb keresztező vágányutat eredményezne a vonatközlekedés lebonyolítása során.

5. KONKLÚZIÓ

Egy nagyváros vasúti hálózata többféleképpen optimalizálható, azonban a városközpont minél kedvezőbb feltárásának célja általában markánsan mindenhol megjelenik. Ahol a városszerkezet és a vasúthálózat fejlődése azt eredményezte, hogy a vasút a központhoz közel került, ott komolyabb beruházás nélkül lehetséges megfelelő színvonalú szolgáltatást nyújtani, azonban számos városban ehhez jelentős mértékű beavatkozás, jellemzően felszín alatti vasútvonal kiépítése volt szükséges. Ezek a vonalak elsősorban a városi, elővárosi forgalom számára épültek ki, és a távolsági forgalom, még jelentős mértékű átmenő utasforgalom esetén is egy belvároshoz közeli fejpályaudvarra koncentrálnak. Ennek utasforgalmi, vasútüzemi és finanszírozási okai is vannak. Az utasforgalmi igények kielégítését akadályozzák, korlátozzák a technikai lehetőségek, a környezeti adottságok, a finanszírozási lehetőségek és az időtényező. Egy nagy horderejű hálózatátalakítás évtizedekig is eltarthat, ezért célszerű a fejlesztéseket több, önállóan is előnyökkel járó lépésre bontani.

Budapesten is ajánlott egy a városközpontot átszelő vasútvonal létesítése, ami az elővárosi forgalom egy részét (nyugat felől az egészét, kelet felől kb. a felét) le tudja bonyolítani. Ezzel attraktív szolgáltatás hozható létre, ami nagyban elősegítheti a fővárosba irányuló utazások vasútra terelését, ezzel a környezeti terhelések csökkentését, végső soron a város élhetőségét. A távolsági forgalom számára a Keleti pályaudvar funkcionálhat központi pályaudvarként. Itt az egyes járatok összekötése, illetve a kényelmes és gyors átszállási lehetőségek megteremtése valósítható meg. Az átlós távolsági járatok segítségével a repülőtér átszállásmentes elérése is létrejöhethet.

A Kelenföld – Nyugati pályaudvar városközpontot átszelő vasúti tengely létrehozása jól illeszthető a jelenlegi hálózathoz is, hiszen

a Déli és a Nyugati pályaudvar napjainkban meghatározó fordítópontként funkcionál az elővárosi forgalom szempontjából. Hasonló a helyzet a Keleti pályaudvarral, amely napjainkban is kiemelt szerepkörrel bír a távolsági forgalomban. Ezeknek köszönhetően a célállapothoz szükséges beavatkozások lépésekre bonthatók, az egyes infrastruktúra-elemek kivitelezése azonnali előnyökkel, hasznokkal járhat. Ez a megtérülés és a politikai-társadalmi támogatottság szempontjából is kedvező.



The future of the railway – the railway of the future in Budapest

The construction of the Budapest railway network began 174 years ago, and after continuous expansion and transformation, it took the form similar to its current one a few decades later. Passenger transport is currently concentrated on three main railway terminals, which can be bypassed, mainly by freight transport, on connecting lines. Ideas were conceived to transform the network, e.g. to create a central railway station, as early as at the turn of the 20th century, but their implementation has not yet taken place to date. Much of the capital's network is now obsolete in terms of passenger and rail traffic, while the national network, especially the suburban railways, have undergone significant development or are in the process of being modernized. As a result, the railway stations of Budapest along with the city's gathering lines and connecting lines are now a bottleneck in the railway network.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] TRENECON Kft.; FŐMTERV Zrt.; KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.: Budapest Vasúti Stratégia (BVS) – Első szakkikk
- [2] Tumik Péter: Nächster Halt/Next stop: Budapest Airport, Közlekedéstudományi Konferencia Győr 2018.
- [3] Tumik Péter: Innovatív megoldások a hatékony, utas- és üzemeltetés-barát vasúti infrastruktúra tervezéséhez, a „Rákos-Hatvan projekt” példáján keresztül, Közlekedéstudományi Konferencia Győr 2017.



Die Zukunft der Bahn – die Bahn der Zukunft in Budapest

Der Bau des Budapester Eisenbahnnetzes begann vor 174 Jahren und nahm nach kontinuierlichen Erweiterungen und Umbauten Jahrzehnte später eine Form an, die zur heutigen ähnlich ist. Der Personenverkehr konzentriert sich derzeit auf drei Hauptbahnhöfe, die - vor allem durch den Güterverkehr - auf Verbindungsstrecken umgangen werden können. Es wurden bereits um die Wende des 19-20. Jahrhunderts Ideen für den Umbau des Netzwerks entwickelt, z.B. mit der Errichtung eines Zentralbahnhofs, deren Umsetzung ist aber bis zum heutigen Tag noch nicht stattgefunden. Ein Großteil des Hauptstadtnetzes ist im Personen- und Schienenverkehr mittlerweile veraltet, während das nationale Netz, insbesondere die Vorortsbahnen wurden erheblich weiterentwickelt oder befinden sich in der Modernisierungsphase. Infolgedessen sind Budapests Bahnhöfe, Sammel- und Verbindungslinien heute ein Engpass im Eisenbahnnetz.

A városi személyközlekedési rendszer fejlődési irányai

A technológiai fejlődés következtében a városi közlekedési rendszer átalakulása várható. Cél annak meghatározása, hogy milyen beavatkozási területeken, milyen intézkedésekkel lehet elérni az igényelt vagy szükséges változtatásokat.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2021.6.4>

Nagy Simon – Dr. Csonka Bálint – Dr. habil. Csiszár Csaba – Dr. Földes Dávid

Ph.D. hallgató tudományos munkatárs egyetemi docens tudományos munkatárs
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,
Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék
E-mail: nagy.simon@kjk.bme.hu, csonka.balint@kjk.bme.hu,
csiszar.csaba@kjk.bme.hu, foldes.david@kjk.bme.hu

1. BEVEZETÉS

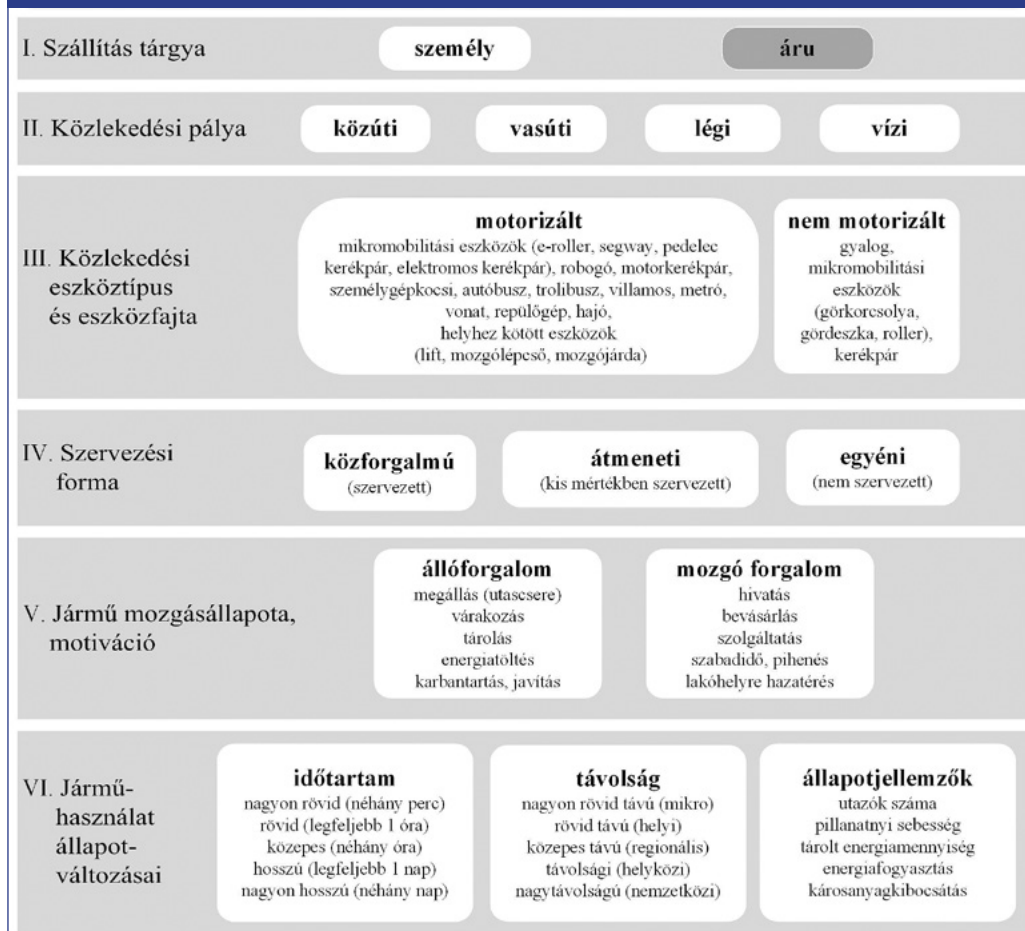
A közlekedés a mindennapi élet természetes és nélkülözhetetlen része; biztosítja a tevékenységek szabadságát térbeli kötöttségek nélkül. A személyek és áruk helyváltoztatásánál a biztonság, a fenntarthatóság, a hatékonyság fokozása és az eljutási idő csökkentése alapvető fontosságú. A közúti közlekedésben markáns átalakulás figyelhető meg, amit részben az informatikai rendszerek fejlődése generál. A változások irányítása és a hatásokra való felkészülés stratégiai megközelítésű előretekintéssel és annak gyakorlatba történő adaptálásával érhető el. A városi közlekedéstervezésben egyre több helyen megjelenik és meghatározóbbá válik az emberközpontú település- és közlekedéstervezés és az innovatív, digitális alapú megoldások alkalmazása.

Az ENSZ előrejelzése szerint 2050-re az emberek 83%-a fog városokban lakni Európában [1]. A változások érintik a közlekedési rendszer elemeit, a belső és a külső kapcsolatrendszert, a folyamatokat és a humán összetevőket, külön-

nösen a rendszer használóit, azaz az utazókat. Ugyanakkor az utazói viselkedés és az életvitel gyakran idézik elő a közlekedési rendszerekkel kapcsolatos elvárások változását is. A változások a szállítás tárgyára is kihatnak; egyre gyakrabban a személy- és az áruszállítási feladatok végrehajtásához közös erőforrások (tér, energia, közlekedési eszköz stb.) kerülnek felhasználásra.

Az egyik legjelentősebb változás az információ körének, dinamizmusának és a feldolgozottság mértékének a változása. Ennek következtében különböző időciklusú szabályozókörök képezhetők a stratégiai, taktikai és operatív tervezés, az üzemeltetés és a kiértékelési feladatoknál. További jelentős változás az alternatív meghajtású, valamint a vezető nélküli és a jelenleginél kisebb méretű közúti járművek elterjedése, ami jelentősen megváltoztatja a közlekedéstervezési, -üzemeltetési, valamint a tér- és időgazdálkodási alapelveket és a forgalmi folyamatok jellemzőit. Mindez a hagyományos elvek újragondolását és a módszerek átalakítását, valamint új módszerek bevezetését teszi szükségessé.

1. ábra: A személyközlekedési rendszerek csoportosításai



Rendszerszemléletben összefoglaljuk a változást előidéző tényezőket, a beavatkozási területeket és intézkedéseket, továbbá a várható hatásokat.

2. A KÖZLEKEDÉSI RENDSZER SZERKEZETÉNEK MODELLJE

A közlekedéstudomány alkalmazott tudományág; feladata a közlekedés és környezetének elemzése, kölcsönhatásaik feltárása a teljes közlekedési rendszer komplex módon történő tervezése a társadalmilag hatékony működés elérése érdekében [2]. A közlekedési rendszerek összetett, dinamikus, nyílt, sztochasztikus rendszerek, amelyek célja a közlekedési

igények magas színvonalú kiszolgálása az emberi tevékenységek és kapcsolatok térbeni és időbeni összekapcsolásával, az életminőség megőrzése, illetve javítása érdekében [3]. A *mobilitási* igényeket a népesség és a gazdasági struktúrából levezethető tevékenységek határozzák meg, amelyek térbeli jellemzői összefüggenek a területhasználattal [4]. Bár a közlekedési rendszer biztosítja az emberek és áruk szabad áramlásának feltételeit, de negatívan hat a környezetre és a közlekedési balesetekre, az energiafogyasztásra, a környezetterhelésre, a területfoglalás következtében. A fenntartható mobilitás tartós, kiegyensúlyozott viszonyt jelent a környezet, a társadalom, a gazdaság és a közlekedési rendszer között.

A rendszer elemei azok a személyek és eszközök, akik, illetve amelyek a rendszer céljának elérésében szerepet kapnak, és meghatározott tulajdonságokkal, funkcióval rendelkeznek [5]. A közlekedési részrendszerek csoportosítását az 1. ábrán foglaltuk össze.

A komplex rendszereknek általában több céljuk van, amelyek célrendszerbe illeszthetők. A rendszer környezete a működésre ható tényezők összessége. A körülhatárolás az elemzés céljától és mélységétől is függ. Mivel a közlekedési rendszer nyitott, ezért működését jelentősen befolyásolja a társadalmi, gazdasági, környezeti és településszerkezeti keretrendszer. A városi közlekedési alrendszer komplexitása a legnagyobb a résztvevő elemek nagy száma és a szűkös tér miatt. Ezért a közlekedési rendszer külső kapcsolatait a városi alrendszerekre vonatkozóan érdemes vizsgálni. A rendszer állapota azoknak a tulajdonságoknak a halmaza, amellyel a rendszer az adott időpontban rendelkezik. A rendszer funkciói az összetevők funkcióinál magasabb szintű is lehet, és minőségileg új tulajdonságai vannak.

Az egyre bonyolultabbá váló városi rendszerekben az egyes részrendszerek integrációja, a kölcsönhatások figyelembevétele a fenntarthatóságot szem előtt tartva egyre inkább szükséges. Az okos város (smart city) a rendszerek rendszereként (system of systems) értelmezhető. A részrendszerek más-más célhierarchiával működnek, miközben a teljes rendszer céljainak eléréséhez magasabb rendű koordináció szükséges. A legfontosabb szereplők: a város irányító szervezete (várostervezés, adminisztráció), a felhasználók (vállalkozások, városlakók) és az infrastruktúrát (pl. közlekedés, energia, kommunikáció, hulladékgazdálkodás, vízgazdálkodás) működtető szervezetek.

A részrendszerek közötti kölcsönhatások szemléltetésére jó példa az *okos mobilitás* (smart mobility), ami a legtöbb részrendszerrel kapcsolatban áll. Az együttműködés több jellegű lehet. Egyrészt például hasznosítja a más részrendszerekből származó erőforrásokat (pl. megújuló energiát előállító rendszer: járművek meghajtása vagy oktatási rendszer: a képzett munkaerő biztosítása). Másrészt az okos mo-

bilitás biztosítja az egyes részrendszerek működését (pl.: hulladékkezelő rendszer: szemétszállítás). A közlekedéssel kapcsolatban lévő legfontosabb városi alrendszerek a következők:

- közlekedési infrastruktúra,
- területfelhasználás,
- energiaellátó rendszerek,
- infokommunikációs rendszerek és szolgáltatások,
- közbiztonság,
- oktatás, nevelés,
- szociális ellátás és egészségügy.

3. A KÖZLEKEDÉSI RENDSZER MŰKÖDÉSÉNEK ÉS BEAVATKOZÁSI TERÜLETEINEK MODELLJE

A működési modell a rendszer folyamatait képezi le; gyakran illeszkedik a szerkezethez, hiszen a folyamatok az elemekhez, alrendszerekhez rendelhetők.

Személyközlekedés esetén működés közben a következő összetevők „áramlásai” irányíthatók a megfelelő hálózatokon:

- járművek és utazók a közlekedési hálózaton,
- energia az energiaellátó hálózaton,
- adatok az infokommunikációs hálózaton.

A hálózatok, mint egymáshoz illeszkedő síkok ábrázolhatók. A járművek, az utazók és az energia áramlása az alapfolyamat, míg az adatok áramlása az információkezelési folyamat része. Az információ egyrésztől leképezi az alrendszer működését, másrésztől befolyásolja az alrendszer működését.

A közlekedéstervezés és -üzemeltetés feladata az áramló elemeknek a térbeli-időbeli összerendezése. Mindeközben számos optimalizálási feladat definiálható az egyes hálózatokon és azok között, tekintettel arra, hogy a hálózatok és az elemek jellemzői időben is változnak. A fizikai áramlásokhoz értékáramlás is tartozik; az ezzel összefüggő pénzügyi folyamatok információkezelési folyamatoknak tekinthetők. Az utazók a közlekedési infrastruktúra

használatáért (az álló- és mozgóforgalomra vonatkozóan) és a nyújtott mobilitási szolgáltatásért fizetnek díjat.

A feladatok összetettségét fokozza, hogy az egyes hálózattípusok általában nem egységesek, hanem több alhálózattól tevődnek össze, amit eltérő érdekeltségű szervezetek működtetnek. A közlekedési rendszer egyes szereplőinek gyakran eltérő célkitűzéseik vannak, amiből az optimalizálási feladatoknál több célfüggvény is levezethető. Mindemellett az utazók sem tekinthetők homogén csoportnak, ezért nemcsak az utazói csoportokról, hanem az egyes személyek jellemzőiről, elvárásairól is szükséges adatokat gyűjteni.

Például, az elektromos járművek közterületi töltésekor a járművet, a parkolóhelyet, a töltőpontot és a vételezett energiamennyiséget rendeljük egymáshoz. Eközben a közlekedési igény, a személyes elvárások, a közlekedési hálózat és az energiahálózat kapacitása, mint legfontosabb változók és paraméterek veendő figyelembe (pl. egy multimodális utazástervező alkalmazásban).

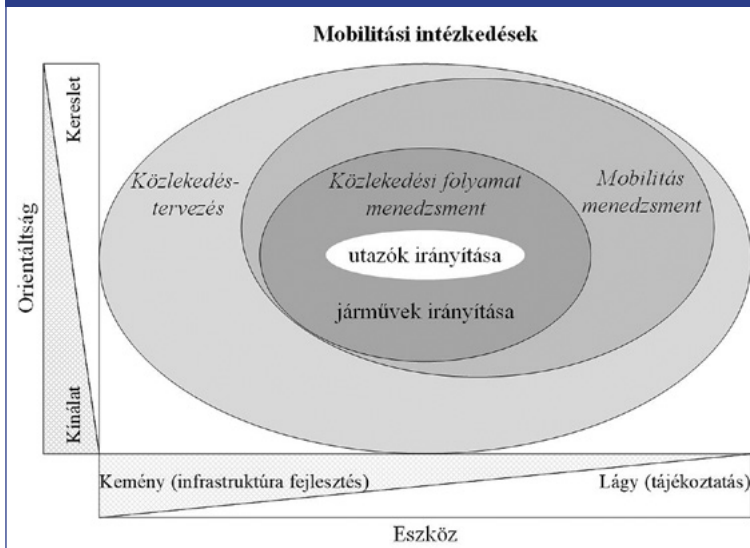
Az utazói viselkedésre és döntésre (különösen módválasztásra) számos, a különböző

időhorizontú (rövid-, közép- és hosszútávú) a döntéseket befolyásoló szempont, a nyújtott és használt információs szolgáltatás, valamint az árazás módja gyakorol hatást. A döntéseket az egyes közlekedési módok jellemzői külön-külön és a teljes közlekedési rendszer jellemzői együttesen befolyásolják. A döntések eredménye: mikor, mivel, kivel, milyen útvonalon stb. utazunk.

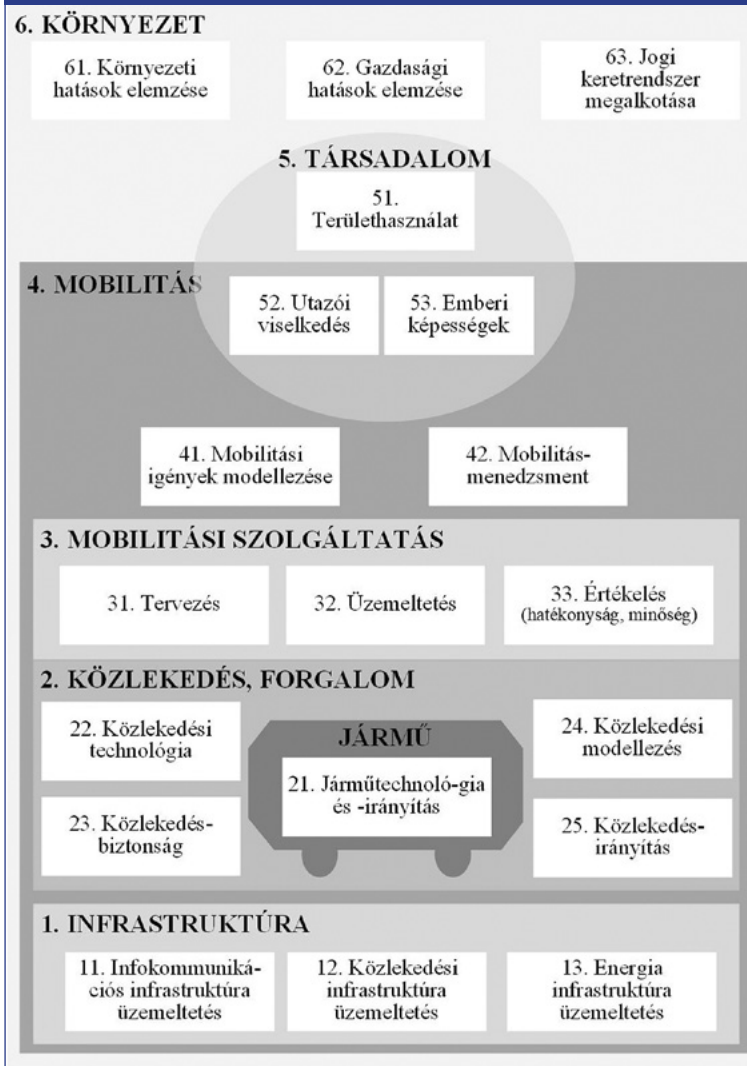
A legfontosabb közlekedésüzemeltetési feladatok: *közlekedéstervezés, mobilitásmenedzsment, közlekedési folyamatmenedzsment*. A közlekedéstervezés a hosszútávú döntéseket befolyásolja (pl. saját jármű vásárlás) és jelentős hatással van a környezetre és az erőforrások felhasználására. A mobilitási menedzsment a középtávú döntéseket befolyásolja (pl. módválasztás). A közlekedési folyamatmenedzsment a rövidtávú és pillanatnyi döntésekre van hatással, vagyis ide tartozik a járművek és utazók mozgásának irányítása. Ezen feladatok kezeléséhez tartozó intézkedések eltérő mértékben tartalmaznak lágy (tájékoztatás) és kemény (infrastruktúra-fejlesztés) eszközöket, és eltérő arányban irányulnak a keresletre és a kínálatra (2. ábra). Az üzemeltetési feladatok eredményessége az utazói reakciótól nagymértékben függ [6], így azok

folyamatos gyűjtése és kiértékelése szükséges. A mobilitásmenedzsment elsősorban a döntésekre hat, ennek megfelelően az intézkedések keresletorientáltak és lágy eszközöket tartalmaznak. A közlekedési folyamatmenedzsment, aminek eleme az utazók irányítása, elsősorban a mozgásokat befolyásolja, jellemzően helyváltoztatás közben. Az intézkedések egyik szélsőség felé sem tolódnak el. A közlekedéstervezés van a legnagyobb hatással a hosszútávú erőforrás-felhasználásra,

2. ábra: A közlekedés üzemeltetési feladatok és a mobilitási stratégia elemek közötti összefüggések



3. ábra: A közlekedési rendszer beavatkozási területeinek modellje



(pl. indulási időpont jelzése) jellegű. A járművek irányítása többnyire a „szigorú” beavatkozási formák közé tartozik.

Az adatátviteli rendszerek teljesítőképességének fejlődése lehetővé teszi a közlekedési rendszerek „tehermentesítését”, hiszen számos tevékenység, amely korábban fizikai helyváltoztatást igényelt elvégezhető az infokommunikációs rendszereken keresztül (táv munka, távoktatás, ügyintézés stb.).

A személyközlekedési rendszerek legfontosabb jellemzői:

- hálózati (viszonylati) jellemzők, térbeli-idejeli rendelkezésre állás,
- hozzáférhetőség,
- átszállóhelyek, csomópontok jellemzői (pl. gyaloglási távolság, biztonság),
- járműjellemzők (pl. kényelem, biztonság),
- díjfizetési és ellenőrzési rendszer,
- mobilitási szolgáltatás rugalmassága.

valamint a közlekedés és annak környezetének a kapcsolatára. Az intézkedések között a szélsőségek is megtalálhatók.

Utazás közben, üzemeltetési célokra a személyenkénti információgyűjtés helyett elegendő a járműinformációk gyűjtése; különösen akkor, ha a be- és kiszállás regisztrált. Az információ hatása az utazókra lehet kötelező érvényű (szigorú – pl. jelzőlámpa jelzése), tanácsadó (megengedő – pl. útvonaltervezés), illetve tájékoztató

A beavatkozási területek rendszerszemléletű modelljét a 3. ábra mutatja be.

A közlekedési rendszer legtöbb eleme rendelkezik információkezelési képességekkel, és így a működési folyamatok szervezése és irányítása többszintű (pl. egyéni-lokális; közösségi-globális) optimalizálási feladatokként definiálható. Kihívást jelent az információk körének és megbízhatóságának a megválasztása, továbbá a feldolgozási folyamatoknak a

kidolgozása és azoknak szervezetekhez rendelése, valamint a jogi és pénzügyi keretrendszer megalkotása.

4. FEJLŐDÉSI TRENDEK A VÁROSI KÖZLEKEDÉSMENEDZSMENT-BEN

A közlekedési rendszer környezete, céljai, szerkezete (elemei és kapcsolatai), valamint működése folyamatosan változik. A fejlődést befolyásoló legfontosabb tényezők:

- technológia (jármű, pálya, infokommunikáció),
- közlekedési szokások,
- társadalmi és utazói elvárások,
- épített és természeti környezet,
- fenntarthatósági célkitűzések,
- gazdasági környezet, innovatív iparágak (pl. energetika, járműipar, digitális ipar),
- politikai és szabályozási környezet (energiapolitika, klímapolitika, területhasználat szabályozása) – pl. Jedlik Ányos Terv, Új Nemzeti Energiastratégia, törvény az *elektromobilitásról*.

A napjainkban megfigyelhető közlekedési átalakulás a következő kifejezésekkel jellemezhető: utazási láncok, integráció, klímabarát, digitalizálás, automatizálás, mesterséges intelligencia, kommunikációintenzív rendszerek [7].

Az elektromobilitás térnyerése fokozódik: a kötöttpályás eszközöket követően a személygépkocsik körében intenzív az elektromos meghajtás növekedése [8]. Továbbá számos mikromobilitási és nagyobb kapacitású közúti közforgalmú eszköz is elektromos meghajtásúvá válik. A városi közlekedésben várható az egyre nagyobb arányú elektromos meghajtású járművek alkalmazása, ami különböző ösztönzők és előírások bevezetésével fokozható (pl. taxi és autóbuszflotta járműcsere). Az elektromos jármű a villamosenergia-rendszer szempontjából egy mozgó energiatároló, amivel a terhelésingadozás mérsékelhető. A töltési terv optimalizálást támogató, a villamosenergia-hálózat és a jármű közötti kétirányú energiaáramot figyelembe vevő megoldások

(pl. [9], [10]) alkalmazásával az elektromos járművek nem csupán közlekedési eszközök, hanem a villamos hálózat aktív tagjainak tekinthetők.

Elsősorban nagyvárosi környezetben, a járműtulajdonlásról áthelyeződik a hangsúly az információs szolgáltatásba „ágyazott” személyre szabott, automatizált mobilitási szolgáltatásokra. Egyre népszerűbbek az ún. *átmeneti közlekedési módok*. Teret nyerne az új *megosztáson alapuló mobilitási szolgáltatások*, amelyek a jármű és férőhely kihasználtságot fokozzák (pl. *autómegosztás, utazásmegosztás*). A férőhely-kihasználtság az utazásmegosztás, míg az időalap kihasználtság az autómegosztás szolgáltatással növelhető. Az elméleti maximális kapacitáskihasználás azt jelenti, hogy valamennyi jármű, a teljes időalapban maximális férőhely-kihasználtsággal közlekedik. Ez az „ideális” állapot a szervezés informatikai támogatásával közelíthető. A kapacitáskihasználás gyakorlati felső határa a közlekedési igények jellemzőitől és az utazók személyes jellemzőitől, elvárásaitól függenek, ezért a kihasználás növelését célzó intézkedések elsősorban erre a két tényezőre hatnak.

Az újszerű *fuvarmegosztás* (ride-sourcing) szolgáltatás fejlett fuvarszervezési információkezelésre épül; egy olyan szervezet működteti, amely nem végez szállítást. Ez a megoldás alapjaiban eltér a hagyományos személyközlekedési szolgáltatástól, azonban jól mutatja a személyközlekedés átalakulásának az irányát. Az autómegosztás és az utazásmegosztás egyidejű alkalmazásával a kapacitáskihasználás extenzív és intenzív módon egyszerre növelhető. Ez a megoldás jelentős fejlesztési potenciállal rendelkezik, különösen az önzetű közúti járművek elterjedése következtében.

Nagy kihívást jelent az individuális utazások erőforrás-hatékony lebonyolítása, amihez új járműkialakítási és utazásszervezési koncepciók jelennek meg. A közlekedési rendszerek összetevői egyre inkább rendelkeznek az adaptív és az öntanuló tulajdonságokkal. Az ember-gép rendszerekben az információkezelési műveletek egyre nagyobb arányban a gépek felé tolnak, mert a humán képességek korlá-

tozottak. Ugyanakkor egyre nagyobb figyelem irányul az utazó információkezelési és döntési folyamataira is.

Az új mobilitási szolgáltatások bevezetésével csökken a közlekedés erőforrás-felhasználása és a környezetterhelés; továbbá, a kedvezőbb idő- és térgazdálkodás következtében megtakarítások érhetők el egyéni és társadalmi vonatkozásban is.

Ezt a tendenciát erősíti az önvezető (autonóm) járművek elterjedése. A közlekedési kereslet kiszolgálásában fokozatosan nő a szerepe az új, jellemzően keresletalapú, infokommunikációs bázisú, mobil alkalmazáson keresztül előzetes rendeléssel igénybe vehető, megosztott, kis kapacitású autonóm közúti járműves mobilitási szolgáltatásnak. Ugyanakkor a közúti kapacitások korlátozott jellege miatt a közlekedési igények a megosztott és a ráhordó jellegű szolgáltatások, valamint a nagy kapacitású közforgalmú eszközök (pl. metró, villamos, autóbusz) együttes alkalmazásával szolgálhatók csak ki. Az önvezető járműveket alkalmazó közlekedési rendszer főbb jellemzői a következők:

- A járművezetői tevékenység csak az individuális közlekedési módok egy részénél, főleg a mikromobilitási módoknál marad meg.
- A tulajdonlás alapú gondolkodás helyett a szolgáltatás alapú gondolkodás lesz a meghatározó.
- A mobilitási szolgáltatói szerepkör felerősödik. A szolgáltatásba a magánszemélyek és a közlekedési társaságok járművei egyaránt bevonhatók. A mobilitási szolgáltató tevékenysége kiterjedhet a megosztott mikromobilitási módokra és a kerékpárkölcsonzésre is.
- A nagy kapacitású automatizált járművek várhatóan továbbra is a közlekedési társaságok tulajdonában és üzemeltetésében maradnak. A kis kapacitású járművek számos üzemeltetési modell szerint működtethetők.
- Integrált személyközlekedési rendszer jön létre.

A területfelhasználás is átalakul. Az autonóm járműalapú mobilitási szolgáltatásoknál az utazási idő hasznosabban és/vagy kellemesebben tölthető el, így a nagyobb távolságú napi ingázások a településszerkezet átalakulását is előidézik [11]. A megosztott használat miatt a jelenleginél lényegesen kevesebb járművel kiszolgálhatók az individuális mobilitási igények [12]. Ezek a járművek több időt töltenek forgalomban. Ugyan az üres futás mértéke növekedhet (az átlagos járműkihasználtság akár romolhat is), de kevesebb parkolóhely, illetve garázs is elegendő lesz. Az időben megosztott funkciójú parkolólétesítményeknél például éjszaka, a helyi lakosok járművei parkolnak, nappal a hivatás, ügyintéző stb. forgalom, a városi logisztikai forgalom, az autonóm járművek be- és kiszállítási műveletei vagy az elektromos járművek töltési műveletei között lehet a szabad helyeket elosztani. Egészen újszerű eljárásokat igényel a járműmegosztások logikájához hasonlóan a parkolóhely megosztás, amikor a saját parkolóhelyek szabad kapacitása kínálható fel rövid időtartamú városi parkolásra. A szabályozó információs szolgáltatások kiterjednek a változó díjtételekre és a jogosultságok kezelésére is.

A kis méretű, tisztán elektromos autonóm járművek behajthatnak az épületekbe is (pl. bevásárlás esetén). Ezen járművek az épületek „térbeli kiterjesztéseiként” is értelmezhetők. Míg a liftek vertikálisan, addig az épületbe behajtó járművek horizontálisan kapcsolják össze a tevékenységi helyszíneket (pl. elszállítják az utasokat a legközelebbi közforgalmú közlekedési megállóhoz) [13], [14]. A közlekedési folyamat (forgalom) menedzsment funkció a mobilitásmenedzsment és (köz)területmenedzsment funkciók irányába bővül.

A jövőben nem csupán a tervezett és a tényleges jellemzők alapján történik a működtetés, hanem a rövidtávon előrejelzett jellemzők felhasználásával, így fokozva az utazói elégedettséget. Ez különösen a keresletvezérelt és keresletalapú szolgáltatásoknál szükséges, ahol a rövid kiállási idő (az igénybejelentés és a jármű érkezése közötti időtartam) a járműveknek a várható utazási igények valószínűsége szerinti, térbeli újraosztásával biztosítható.

Az autonóm járművek széles körű elterjedéséig, főként az átmeneti időszakban, számos megoldandó kérdéskör maradt. Például: autonóm járművek-humán járművezetők viselkedése, forgalmi jellemzők alakulása, jogi kérdések (bevezetés fokozatai, feltételei; pl. a legmagasabb automatizálási szint engedélyezése).

A következő felsorolásban összefoglaltuk a fejlődési trendeket a 3. ábra beavatkozási területeihez illeszkedve.

1. Infrastruktúra

11. fejlett mobilkommunikáció széles körű alkalmazása, nagy adatmennyiség (Big Data), kooperatív intelligens infrastruktúra használata (ideértve az e-mobilitást és az okos villamoshálózat (Smart Grid) rendszereket is),
12. a közlekedési infrastruktúra közös és többcélú használata személy- és áruszállítási feladatoknál, hozzáférhetőség javítása, előzetes utazói infrastruktúra („menetvonal”) foglalás (bookroad),
13. töltőinfrastruktúra kiépítése/bővítése, a megújuló forrásból lokálisan villamos energiát előállító energiaközösségek felkészítése az elektromos járművek hálózati integrálására, centralizált és decentralizált töltésszabályozás,

2. Közlekedés, forgalom

21. alternatív, környezetbarát meghajtású járművek (akkumulátoros, LNG, CNG, hidrogén), magas szinten automatizált, hálózatba kapcsolt, egymással kommunikáló járművek, mesterséges intelligencia alkalmazása,
22. kis méretű egyéni járművek terjedése, kevesebb parkolóhely, új közlekedés- és forgalomszervezési módszerek, az információáramlás többcélú felhasználása,
23. fokozódó biztonság és biztonságérzet (úgy is, hogy megmaradnak az ember által irányított eszközök is, például kerékpárok),
24. a forgalmi helyzetek többszemponú modellezése, elemzése, új modellezési technikák alkalmazása,
25. precízebb helymeghatározás, digitális térképek használata; a járművek mozgásával

kapcsolatos információ (úthasználat, közlekedés és közlekedők paraméterei) felhasználása, hálózati szintű keresletalapú forgalomirányítás,

3. Mobilitási szolgáltatás

31. közlekedési módok és szolgáltatások összekapcsolása, közlekedési szövetségek (integrált intézményrendszer és díjfizetési rendszer) alkalmazása, utazási láncok képzése intermodális csomópontok használatával, ráhordás a nagy kapacitású (kötőpályás) eszközökre; mikromobilitás, megosztott (jármű, férőhely) és keresletvezérelt mobilitási szolgáltatások, autonóm járművekre épülő mobilitási szolgáltatások fejlődése; a mobilitás, mint szolgáltatás (MaaS) és annak árufulvarozási megfellelője, a szállítás, mint szolgáltatás (DaaS) koncepciók térnyerése,
32. a szolgáltatás mennyiségi és minőségi jellemzőivel arányos, az aktuális kapacitásoktól és az utasok jellemzőitől függő díjak alkalmazása, módváltás elősegítése, összekapcsolt információs szolgáltatások fejlesztése,
33. magas szolgáltatási minőség biztosítása, utazói elégedettség fokozása,

4. Mobilitás

41. közlekedési szokások megváltozása és megváltoztatása (táv munka, távoktatás, távkonferencia stb.) szerinti igénymodellezés,
42. ösztönzők bevezetése a fenntartható közlekedési módok elősegítésére (pl. elektromos járművek vásárlása, ingyenes parkolás, töltőtelepítés), az egyéni gépjárműhasználat visszaszorítása, a megosztott mobilitási módok előnyben részesítése,

5. Társadalom

51. a közterületek többcélú, hatékony kihasználása,
52. az utazóra, mint felhasználóra fókuszáló fejlesztések (pl. kereslet-vezérelt szolgáltatások és személyre szabott információs szolgáltatások terjedése),

53. a humán összetevők tevékenységének mérséklésére, illetve azok kiváltására irányuló fejlesztések (automatizálás),

6. Környezet

- 61. környezetvédelmi stratégiák alkalmazása, zaj- és légszennyezés csökkentése,
- 62. a közlekedési alrendszer modellezésében a gazdasági szempontok erősödnek,
- 63. nemzetközi standardok kialakulása és követése; a stratégiai céloknak megfelelő adók, illetve, ösztönző szabályok bevezetése.

A jövő közlekedését a technológiai és a társadalmi fejlődés, továbbá a hatékonyság és a rugalmasság elérését célzó intézkedések együttesen befolyásolják.

5. BEAVATKOZÁSI CÉLOK ÉS MEGOLDÁSI LEHETŐSÉGEK A FENNTARTHATÓSÁG ÉRDEKÉBEN

A közlekedésfejlesztési célok a következők:

- 1. biztonság fokozása: forgalombiztonság, üzembiztonság, utasbiztonság javítása,
- 2. keresletingadozás csökkentése: csúcsigények időbeli „kisimítása”, igények térbeli befolyásolása (belső városi területek terhermentesítése),
- 3. utazási időfelhasználás csökkentése,
- 4. forgalmi zavarok enyhítése: rövid és kiszámítható eljutási idő garantálása,
- 5. hatékony erőforrás felhasználás: energiafelhasználás csökkentése, megújuló energiaforrások nagyobb arányú használata, térfoglalás csökkentése, közösségi és megosztott közlekedési módok előnyben részesítése, humán erőforrás szerepének csökkentése,
- 6. méltányos díjfizetés: teljesítménnyel (pl. megtett út), szolgáltatási minőséggel arányos díj,
- 7. környezetterhelés csökkentése: levegőtisztaság javítás, zajscsökkentés, zéró emisszió (lokálisan, globálisan),
- 8. előnyben részesítés: bizonyos járműkategóriáknál (pl. kevésbé környezetszennyező járművek) vagy járműfoglaltság függvényében,

- 9. kényelem fokozása: utazási kényelem és szolgáltatási színvonal javítása,
- 10. életminőség javítása: az életkörülmények, a városok és kisebb települések élhetőségének javítása,

A célok elérése érdekében a következő intézkedések és eszközrendszer alkalmazása javasolt (1. táblázat):

1. utazó

- 11. életvitel formálása: pl. lépcsőzetes munkakezdés, otthoni munkavégzés (a magán-szféra és a munkához köthető területek összemosisodnak),
- 12. szemléletformálás: az utazók módválasztásának befolyásolása, motiválás a fenntartható közlekedési módok választására,

2. infrastruktúra

- 21. gyalogos infrastruktúra fejlesztése: biztonságos és mindenki számára hozzáférhető közterületek létesítése,
- 22. kerékpáros infrastruktúra fejlesztése: úthálózat és a kapcsolódó infrastruktúra (pl. kerékpártárolók) kiépítése,
- 23. motorizált járművek mozgóforgalmi infrastruktúra fejlesztése,
- 24. parkolási infrastruktúra fejlesztése,
- 25. villamosenergia- és töltőhálózat: fejlesztés, publikus elektromos töltőhelyek kiépítése,
- 26. infokommunikációs rendszerek: ITS és C-ITS, kooperatív rendszerek,

3. infrastruktúra használat

- 31. forgalomtechnika: pl. forgalomcsillapítás,
- 32. parkolásszabályozás: térben, időben, díjjakkal,
- 33. dinamikus forgalomszabályozás: az infrastruktúra elemek használati szabályainak dinamikus változtatása (forgalomnagyság, környezetterhelés stb.) függvényében,
- 34. tömegközlekedési sávok dinamikus forgalomszabályozása: üzemirányítás és forgalomirányítás összekapcsolása,
- 35. összetett forgalomszabályozás: díjfizetés, járműfajták korlátozása, használat kor-

1. táblázat: A célok és az intézkedések közötti összefüggések

	CÉLOK									
	1. biztonság	2. kereslet	3. utazási időfelhasználás	4. forgalmi zavarok	5. erőforrások	6. díjfizetés	7. környezetterhelés	8. előnyben részesítés	9. kényelem	10. életminőség
INTÉZKEDÉSEK										
11: életvitel		2	1	2	2		1		1	2
12: szemléletformálás	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2
21: gyalogos infrastruktúra	2				1		2		1	2
22: kerékpáros infrastruktúra	2	1	1		1		2	1	1	2
23: mozgóforgalmi infrastruktúra	2	1	2	2			1	2		2
24: parkolási infrastruktúra	1	2	1	1	1		1		2	2
25: villamosenergia- és töltőhálózat		1			2		2	2		1
26: infokommunikációs rendszerek			1	1	1	2	1	1	2	2
31: forgalomtechnika		1	2	2	1		1	2	1	1
32: parkolásszabályozás	1	1	1	1	1	2	1		1	2
33: dinamikus forgalomszabályozás		1	2	2	2	1	2	1	1	1
34: buszávok	1	1	2	2	1		1	2		2
35: összetett forgalomszabályozás		1	2	2	2	1	2	2	1	1
36: áruszállítás	1	1		2	1		1	1	1	1
37: ellenőrzés	2									1
41: közforgalmú közlekedés		1	1	2	2	2	2	1		2
42: közösségi kerékpár	1	1	1	1	2		2			2
43: mikromobilitási módok	1	1	1	2	2		2			2
44: átmeneti közlekedési módok		1		1	2		2			2
45: közlekedési szolgáltatási piac		2			1	1			1	
46: szolgáltatási szövetségek		2	2	1	1	2			1	1
47: díjfizetési rendszer		2	1		1	2			1	1
51: árképzés		2		1		2				
52: adók		2				2				
53: finanszírozás		2		1	1	2	1	1		
61: K+F+I	2	1		2	2	2	2	2	2	2

Jelmagyarázat:

1: kismértékben vagy áttételesen segíti elő a célok elérését 2: nagymértékben segíti elő a célok elérését

- látozása – és ezek kombinációi, előnyben részesítés,
36. áruszállítás: szabályozás (city logisztikai koncepció),
37. ellenőrzés: közlekedési szabályok betartásának fokozott ellenőrzése,
- 4. mobilitási szolgáltatás**
41. közforgalmú közlekedés: kapacitás, minőség és hozzáférhetőség fejlesztése,
42. közösségi kerékpár: rendszerek bővítése, fejlesztése,
43. mikromobilitási módok: támogatása, közösségi használat
44. átmeneti közlekedési módok: keresletvezérelt mobilitási szolgáltatástípusok alkalmazása,
45. közlekedési szolgáltatási piac: szabályozása, megnyitása,
46. szolgáltatási szövetségek (közlekedési szövetség, parkolási szövetség, MaaS, DaaS stb.),
47. díjfizetési rendszer,

5. gazdasági intézkedések

51. árképzés: mozgóforgalmi létesítmények; állóforgalmi létesítmények; mobilitási szolgáltatás; egyéb, kiegészítő szolgáltatás,
52. adók: üzemanyag, energia, jármű, szolgáltatási díj; illetékek,
53. finanszírozás: fenntarthatósági célú beruházások számára kedvező konstrukció biztosítása, pénzügyi támogatás környezetbarát technológiák alkalmazására, kis méretű járművek beszerzésére stb.

6. egyéb

61. K+F+I: innováció a technológia és szolgáltatások területén, K+F támogatása, egyetem, kutatóintézetek és piaci szereplők összekapcsolása.

A célok és az intézkedések között feltárt összefüggéseket az 1. táblázatban foglaltuk össze. A cellákban az intézkedések jelentőségének „mértéke” látható egy-egy adott cél elérése érdekében.

A közúti közlekedési rendszerbe történő beavatkozások a hatások időbelisége, valamint térbeli kiterjedtsége és a terület (2. táblázat) alapján csoportosíthatók. Időbeliség alapján az alábbi beavatkozásokat különböztetjük meg:

- rövid távú: forgalomirányítási beavatkozások,
- közép távú: forgalomtechnikai beavatkozások,

- hosszú távú: infrastrukturális beavatkozások (pl. építkezés).

6. ÖSSZEFOGLALÓ

Rendszerszemléletben vázoltuk fel a jövő városi közlekedésfejlesztésének fontosabb trendjeit, bemutatva az elérendő célokat, megoldási lehetőségeket és azok kapcsolatrendszerét. Vizsgálatunk alapján a jövőben az elektromos meghajtású, önzvezető járművek és a birtoklás helyett a megosztáson alapuló szemléletmód elterjedése fejt ki a legnagyobb hatást a városi közlekedési rendszerre. A célok elérése számos kutatási feladatot jelent a jövőre nézve. A közlekedési rendszer egyik legfontosabb szabályozóeszköze az árképzés, amellyel beállíthatók az erőforrások és felhasználók közötti egyensúlyi pontok az adott, dinamikus változó körülmények között. A jövőben a keresletszabályozás területén megnő a dinamikus árképzés jelentősége, amit az információs technológia fejlődése tesz lehetővé.

A rendszerértékelési és -fejlesztési feladatokat a belső és a külső kapcsolatrendszer ismeretében, a célokból levezetve lehet meghatározni. E tekintetben a globális, regionális és lokális megközelítésű és kihatású döntések (politikák) szabják meg a keretrendszert.

7. FOGALOMTÁR

integráció (integration): a rendszerek szerkezetének és működésének összekapcsolása. Horizontális integráció

2. táblázat: Az intézkedések jelentőségének „mértéke” az adott célok elérése érdekében

		TERÜLETEK		
		Társadalom	Gazdaság	Környezet
KITERJEDTSEĞ	Globális	fentartható társadalom globális szinten	világpiaci hatások	klimaváltozás mérséklése
	Regionális	élhetőbb város	nemzetgazdaságra gyakorolt hatások	nemzeti fenntarthatósági célok elérése
	Lokális	lokálisan élhetőbb környezet – kerület	lokális gazdaságra gyakorolt hatások	lokális zaj- és légszennyezés csökkenése

esetén a feladatok között nincs hierarchikus függőség. Vertikális integráció esetében új, magasabb szintű, ún. átfogó funkciók valósulnak meg. Az integrációs feladatok logikai és fizikai szintekhez sorolhatók. A közlekedési integráció területei: informatikai, szervezeti, infrastruktúra, szolgáltatás, ágazatpolitikai integráció.

integrált személyközlekedési rendszer (integrated passenger transportation system): különböző személyközlekedési alágazatokhoz és módokhoz tartozó rendszerek szerkezetének és működésének összekapcsolása.

átmeneti közlekedési módok (transitional transportation modes): olyan újszerű, infokommunikációs bázisú közlekedési módok, amelyek tulajdonságait tekintve az egyéni gépjárműves és a nagy kapacitású, hagyományos közforgalmú közlekedés között helyezkednek el. Infokommunikációs rendszerre épülnek és a működés gyakran a megosztás elvén alapul. Ebbe a csoportba tartozik:

Rugalmas (keresletvezérelt) közforgalmú közlekedés (telebusz) (demand responsive public transportation): előzetes igénybejelentés után vehető igénybe, a közforgalmú közlekedéssel megegyező tarifával. Jellemzőn ritkán lakott területeken vagy olyan időszakokban, ahol az utazási igény alacsony és nem egyenletes eloszlású.

Autómegosztás, kerékpármegosztás (car-sharing, bike-sharing): közösségi szolgáltatások. Cél a járművek időbeli kapacitásának (időalapjának) jobb kihasználása; a kapacitáskihasználás extenzív növelése. A járműveket díj ellenében bárki igénybe veheti jellemzően rövidtávú, városi utazásokra, rövid időtartamra.

körzetbázisú (free-floating): egy kijelölt zónán belül bárhol felvehető

és leadható a járművek. A használat közben a zónát elhagyhatja a jármű.

állomásbázisú, körutazásos (station-based, round-trip): a járművek kijelölt állomásokon vehetők fel és adhatók le. A használat végén a felvételi pontra kell visszavinni a járművet.

állomásbázisú, egyirányú (station-based, one-way): a járművek kijelölt állomásokon vehetők fel és adhatók le. A használat végén tetszőleges állomásra visszavihető a jármű.

Utazásmegosztás (ride-sharing) (telekocsi, személyfuvarbörze): a tulajdonos vagy üzemeltető a jármű szabad férőhelyeinek megosztásával több felhasználóval egyidejűleg használja ugyanazt a járművet közös utazás során; általában az utazási költséget is szétosztják. Cél a járművek kapacitáskihasználásának intenzív növelése. Gyengén szabályozott, nonprofit közlekedési mód, jellemzően hosszabb távú utazásokra.

Fuvarmegosztás (ride-sourcing, ride-hailing): infokommunikációs alapú fuvarközvetítő szolgáltatás, jellemzően rövid utazási távolságra, városi környezetben. A taxihoz hasonló, azonban kevésbé szabályozott. Igényektől és kapacitásoktól függő változó díjtételeket alkalmaznak. Diszpécser nélküli, automatikus igény-kapacitás összerendelés jellemzi.

Taxi, megosztott taxi (taxi, shared taxi): erősen szabályozott, profitorientált közlekedési mód, rövidebb utazásokra, jellemzően városi környezetben. Háztól házig eljutást biztosít magas díjért. Megosztott használatnál a jármű szabad férőhelyein idegen utastársak utaznak.

Sofőrszolgálat: saját járműben utas-ként lehet utazni sofőr „bérlésével”.

elektromobilitás (electromobility): elektromos járművek használata; a járművek és a járműhasználatot támogató kiszolgáló infrastruktúra, valamint a kapcsolódó információs és kommunikációs technológiák együttese. Elektromos közúti járműkategóriák:

tisztán elektromos akkumulátoros jármű (BEV - Battery Electric Vehicle)

hálózatról tölthető hibrid elektromos jármű (PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle)

növelt hatótávolságú elektromos jármű (REEV - Range-Extended Electric Vehicle)

közlekedés: személyek, áruk, hírek és információk továbbítása.

közlekedési folyamat (forgalom) menedzsment (traffic management): a mobilitásmenedzsmentnél „szűkebb” fogalom. A mobilitási igényekből az egyéni döntések hatására keletkező forgalmi folyamatokat befolyásolja az optimális levezetés érdekében, figyelembe véve az infrastruktúra kapacitáskorlátait és aktuális jellemzőit. Az utazókkal kapcsolatos információkezelési műveletek a helyváltoztatás közben, a közterületeken, az utasforgalmi létesítményeknél és a járműveken jellemzők.

megosztáson alapuló mobilitási szolgáltatás (shared mobility service): olyan szolgáltatások, amelyek folyamatszervezési eljárásokkal növelik a járművek napi hasznos futásidejét és -teljesítményét, valamint a férőhely-kihasználását.

mikromobilitási mód: kis méretű, általában egy- vagy kétszemélyes (többnyire emberi, vagy egyre inkább elektromos meghajtású) járművek használata rö-

vidtávú utazásoknál (az utolsó kilométereknél). Például: roller, kerékpár, segway.

mobilitás: A mozgás képessége az emberi szükségletek (anyagi és szellemi javak, szolgáltatások) kielégítéséhez és a tevékenységek elvégzéséhez, biztonságosan és hatékonyan. Kiterjed a személyek, áruk, információk „mozgási” műveleteire, azaz a személyközlekedési, logisztikai és infokommunikációs folyamatokra.

mobilitásmenedzsment: a közlekedési igények kezelése magas szolgáltatási minőségre törekedve és az erőforrásokkal való hatékony gazdálkodás mellett. Eszköze: az utazók döntési szempontjainak megismerése és befolyásolása. Eredménye: a befolyásolás hatására megváltozó utazói szokások. Kiterjedhet a helyváltoztatási igények térbeli, időbeli és egyéb jellemzőihez megfelelő közlekedési mód kiválasztására vagy az utazási lánc megtervezésére, vagy tágabb megközelítés szerint a szükséglet kielégítéséhez tartozó helyszín és időpont megválasztására is. Utóbbi esetben az egyes helyszínek aktuális közlekedési elérhetősége, valamint az ottani anyagi, szellemi javak és szolgáltatások dinamikus jellemzői együttesen befolyásolják a választást. A felkeresendő objektumok (pl. szolgáltatóház) aktuális hasznossági értékei az objektumok kínálata, térbeli helyzete, a személyközlekedési kínálat és az utazó személyes jellemzői szerint határozhatók meg.

mobilitás, mint szolgáltatás (Mobility as a Service=MaaS): személyre szabott, integrált mobilitási és információs szolgáltatás, amely a közlekedési módok széles palettáját (egyéni és közösségi közlekedési módok) összekapcsolt formában kínálja az utazói elégedettség fokozása érdekében. A járműtulajdonlásról a járműhasználatra helyezi a hangsúlyt. Az utaskezelési

funkciók (pl. multimodális utazástervezés, navigáció, helyfoglalás, fizetés, utaskapcsolat, visszajelzések, panaszkezelés, kártérítés) jelentős része a teljes helyváltoztatásra vonatkozóan elvégezhető egy közös felületen (többnyire okostelefonon). Az utazók és a közlekedési szolgáltatók közötti MaaS operátor feladatkör lényege az igények és a kapacitások összerendezésének optimalizálása.

okos mobilitás (smart mobility): valós idejű adatok alapján működő közlekedési rendszer, az okos város (smart city) rendszer alrendszer. Ötvözi az emberi tudást, intelligenciát, döntési folyamatokat. Fejlett információs és kommunikációs technológiák kooperatív alkalmazása az infrastruktúrában, a járművekben és az utazóknál.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ENSZ (2018): World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. <https://population.un.org/wup/Download/>
- [2] Kövesné, Gilicze, É. (2017): A közlekedéstudomány helye, szerepe a hazai tudományos rendszerben. Közlekedéstudományi Szemle, LXVII (2): 7.
- [3] Kövesné, Gilicze, É., Debreczeni, G., Csiszár, Cs. (2015): Személyközlekedés. Felsőoktatási jegyzet.
- [4] Kövesné, Gilicze, É. (2007): A fenntartható felszíni közlekedés fejlesztésének rendszerkapcsolatai. Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia, Budapest. 1-8.
- [5] Westsik, Gy. (1982): Közlekedési rendszertervezés. Tankönyvkiadó
- [6] Piet, R. (2011): The Economics of Information in Transport. A Handbook of Transport Economics (szerk. Palma, A., Lindsey, R., Quinet, E., Vickerman, R.), Edward Elgar, Cheltenham, 586-603. ISBN: 978 1 84720 203 1
- [7] Flügge, Barbara (eds.) (2017): Smart Mobility – Connecting Everyone - Trends, Concepts and Best Practices-Springer Vieweg (2017) DOI: <https://doi.org/ggkpkw>
- [8] Rietmann, N., Hügler, B., Lieven, T. (2020): Forecasting the trajectory of electric vehicle sales and the consequences for worldwide CO2 emissions. Journal of Cleaner Production, 261: 121038. DOI: <https://doi.org/g4n6>
- [9] Alonso, M., Amaris, H., Germain, J. G., Galan, J. M. (2014): Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grids by Heuristic Algorithms. Energies, 7(4): 2449-2475. DOI: <https://doi.org/f54bf9>
- [10] Csonka, B. (2020): Centralized charging power distribution method for electric vehicles. 2020 Smart City Symposium Prague (SCSP). DOI: <https://doi.org/g4n7>
- [11] van Arem, B., Aki Ackerman, A., Chang, T., Riggs, W., Wegscheider, A., Smith, S., Rupprecht, S. (2019): Building Automation into Urban and Metropolitan Mobility Planning. Road Vehicle Automation 6. AVS 2019. Lecture Notes in Mobility. 123-136. (ed. Meyer, G., Beiker, S.). Springer, Cham DOI: <https://doi.org/g4n8>
- [12] Spieser, K., Ballantyne, K., Treleaven, K., Zhang, R., Frazzoli, E., Morton, D., Pavone, M. (2014): Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-demand Systems: a Case Study in Singapore. Road Vehicle Automation. Lecture Notes in Mobility (ed. Meyer, G., Beiker, S.). Springer, Cham DOI: <https://doi.org/g4n9>
- [13] Lu, Z., Du, R., Dunham-Jones, R., Park, H., Crittenden, J. (2017): Data-Enabled Public Preferences Inform Integration of Autonomous Vehicles with Transit-Oriented Development in Atlanta. Cities, 63: 118-127. DOI: <https://doi.org/f9xr4f>
- [14] Cao, Z., Ceder, A. (2019): Autonomous Shuttle Bus Service Timetabling and Vehicle Scheduling Using Skip-stop Tactic. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 102: 370-395. DOI: <https://doi.org/g4pb>



Development directions of the urban passenger transport system

The transformation of the urban transport system is expected because of technology developments. In this paper, the structural and functional characteristics of the transport system are presented. We summarise the main expected differences between the current and future transport systems. Furthermore, we categorize measures according to aims, effects and policy areas. Our aim is to re-define the transport system and integrate it into a wider system considering social, economic, and environmental aspects.



Entwicklungsrichtungen des städtischen Personenverkehrssystems

Aufgrund der technologischen Entwicklungen es wird eine Umgestaltung des städtischen Verkehrssystems erwartet. In diesem Beitrag werden die strukturellen und funktionalen Eigenschaften des Verkehrssystems vorgestellt. Es werden die wichtigsten zu erwartenden Unterschiede zwischen den aktuellen und zukünftigen Verkehrssystemen zusammengefasst. Darüber hinaus kategorisieren wir die Maßnahmen nach Zielen, Wirkungen und Politikbereichen. Unser Ziel ist es, das Verkehrssystem neu zu definieren und in ein umfassenderes System unter Berücksichtigung sozialer, wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte zu integrieren.





BUDAPEST VÁROSFEJLESZTÉS AKTUÁLIS KÉRDÉSEI

az MTA Közlekedés- és Járműtudományi Bizottságának üléséről

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2021.6.5>

Horváth Balázs, Török Ádám

2021. szeptember 22-én tartotta a Magyar Tudományos Akadémia Közlekedés és Járműtudományi Tudományos Bizottságának ülését. Az ülést **Dr. Török Ádám** elnök nyitotta meg, ami a vírus veszély miatt ZOOM rendszerben került megtartásra. Bevezetőjében köszöntötte a megjelenteket, az idei harmadik tudományos ülésen, mely Budapest városfejlesztéséről szólt.

Somodi László (BFK) előadásában ismertette, hogy a kormány 2020 februárjában alakította meg a Budapest Fejlesztési Központot (BFK) a fővárosi fejlesztési munkák szakmai műhelyként [1]. Ez egységes szemléletben kezeli Budapestet és térségét, megoldást keres a központi régió problémáira, és igyekszik válaszokat találni a 21. század kihívásaira is, legyen szó akár a közlekedés problémáiról, akár a város zöldítéséről, vagy a ma már kihasználatlan városi terek újrahásznosításáról [2]. Fejlesztési során a részvételiség elveit szem előtt tartva vonja be az érintetteket a beruházások tervezésébe és megvalósításába.

A budapesti agglomeráció rohamos népességnövekedéséből kiindulva 2040-re 200 000 fővel növekedhet a várostérség népességszáma [3]. Az utóbbi 60 évben a belső kerületek népessége felére csökkent, az agglomeráció népessége azonban 60%-kal nőtt. Előreláthatólag 2040-ig a teljes magyar lakosság 15%-a a fővárosi térségben fog élni. Az ingázó autók számára nincs több hely, 2010 óta a közúti

gépjármű állomány 1 millióról 1,25 millióra emelkedett. Az agglomerációban nagyobb a növekedés, mint a fővárosban, ott 10 év alatt 36%-kal nőtt a gépjárművek száma. Fontos még megemlíteni azt a tényt is, hogy ameddig Budapesten 10-ből 6 ember a tömegközlekedést preferálja, addig az agglomerációban ez az arány 10-ből 3 ember. Azonban a felmérések azt is kimutatták, hogy megfelelő alternatíva esetén az emberek szívesen lemondanának az autózásról [4]. Ebből kifolyólag a központi régió közlekedési problémáira csak a vasútfejlesztés jelenthet megoldást.

A vasútfejlesztés nem csak megfelelő alternatívát jelent az agglomerációból ingázóknak, de a klímacélok eléréséhez is egy nélkülözhetetlen eszköz, hiszen a vasút utaskilométerre számolt szén-dioxid kibocsátása átlagosan harmada a benzin- és dízelüzemű gépjárművekének [5]. Jelenleg Budapesten a közlekedés a légszennyezettség legfőbb okozója, ami kb. évi 300 milliárd egészségügyi költséget jelent.

Ma Budapest elővárosi vasúti közlekedése 11 MÁV és 4 HÉV-vonalat jelent, amelynek struktúrája egy évszázada változatlan. Napi 523 000 utas érkezik Budapestre vasútvonalakon, ennek 89%-a elővárosi utazás [6]. Mintegy negyedmillió ember használja a vasutat és a HÉV-et Budapest térségében, egy száz éve elavult vasúti hálózaton. 37 db olyan állomás van Magyarországon, amelynek az éves utasszáma eléri az egymillió főt, ebből

27 Budapest agglomerációjában helyezkedik el. A budapesti pályaszakaszok 53%-a vár felújításra. Ezek elmaradása nem teszi lehetővé az új motorvonatok előnyeinek kihasználását, a járatok sűrítését, és rengeteg késést is okoz.

A közelmúltban történt felújítások nem érintették a kritikus belső szakaszokat, rengeteg vasútállomás helye kedvezőtlen, épületük leromlott állapotban van, környezetük elhanyagolt, a ráhordást biztosító létesítmények (P+R, B+R parkolók) hiányosak. Mindezek együttesen jelentik a főváros, a hazai vasútközlekedés szűk keresztmetszetét. A Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégia (BAVS) az alábbi problémákra épül:

- korlátozott átszállási lehetőségek,
- a fejpályaudvarok akadályozzák a járatsűrítést,
- kevés és túlterhelt a Dunát keresztező kapcsolat,
- az Újpesti vasúti hídon csak az esztergomi vasútvonal elővárosi vonatai közlekednek,
- jelenleg csak a Déli összekötő vasúti híd képes a két országrész közti vasúti forgalmat lebonyolítani.

A vasút potenciálját a megvalósult fejlesztések bizonyítják. Az olyan területeken, ahol történt a közelmúltban felújítás, 70-110%-os utasszám-növekedést tapasztaltunk az utóbbi 10 évben, ahol nem, ott 40-50%-os utasszám-csökkenést.

A BAVS fő céljai:

- minden budapesti agglomerációba tartozó állomásról óránként legalább 4 vonat elérhető legyen Budapest,
- ezekkel legalább 3 metróvonal közvetlenül elérhető legyen,
- kétszereződjön meg a Budapest-elővárosi utasforgalom,
- mindezt egyetlen bérlettel / jeggyel lehessen igénybe venni.

A stratégia ékkövé a Duna-alagút jelenti, hiszen jelentősen növeli Budapest vasúti átjárhatóságát, új összeköttetéseket és átszállási pontokat biztosít, barnamezős területek felszabadítását teszi lehetővé. A fejlesztés jelenleg négy lehetséges nyomvonalal rendelkezik. Tervezésről vár-

hatóan 2022-ben, megvalósításról 2025-28-ban lesz döntés. A BAVS legfőbb eredményei a 115 000 személykocsiról vonatra való átváltás, utasonként napi 15 perc időmegtakarítás, ebből évi 150 milliárd forintnyi haszon, másfelkétyszeres vasúti utasszám Budapesten és vonzáskörzetében, 100%-ban korszerű vonatflotta, több mint 200 hektár vasúti terület rehabilitációja, 20 perc alatt elérhető lenne a repülőtér a belvárosból, 60 000 tonna szén-dioxid-kibocsátás csökkentés évente, a tehervonatok áthaladási ideje 70 perccel csökken, 16 db új vasúti megálló létesül. A stratégia másik fontos projektje a Déli Körvasút bővítése, hiszen ezzel lehet a szűk keresztmetszetet oldani. A fejlesztés a Kelenföld és Kőbánya-Kispest közötti vonalszakaszt érinti, amelyen tervezetten három új megálló is épül, ú.m. Nádorkert, Közvágóhíd és Népliget. Ezek új átszállókapcsolatokat hoznak létre, pl. HÉV, M3 metró vagy budai fonódó villamos. A stratégia ezen a szakaszon a 10-15 perces járatsűrűséget tűzte ki célul [7].

Az észak-déli HÉV-ek várostérségi szerepe sem hanyagolható el, hiszen 620 ezer a közvetlenül érintett lakosok száma. Ezen fejlesztésre vonatkozó tervezés műszaki tartalma: H6-H7 meghosszabbítása a Kálvin térig, H5-H6-H7 teljes felújítása és akadálymentesítése, valamint H7 meghosszabbítása az Erdősor útig. Az M5 metró projekt az észak-déli HÉV-vonalak összekötését jelenti, amely nem csak közlekedésfejlesztés, de városfejlesztés szempontjából is rendkívül fontos elem, hiszen az összefüggő Duna-menti zöldfolyosóra felszabaduló vasúti területet, valamint a Duna-part közvetlen gyalogos elérését fogja biztosítani [8].

Somodi László végezetül elmondta, hogy a BFK fejlesztései során a részvételiség elveit szem előtt tartva vonja be az érintetteket a beruházások tervezésébe és megvalósításába, ennek megfelelően minden BFK projekt kapcsán van lehetőség véleménynyilvánításra, általában több ezer kitöltőre lehet számítani, amelyek eredményei beépülhetnek a tervezési folyamatokba.

Molnár László Árpád előadásában kiemelte, hogy Budapest jelenleg aktuális város- és közlekedésfejlesztési kérdéseit – szoros egymásra hatásban – indokolt egy hosszabb távú

folyamat összefüggéseibe ágyazni. A 80-as évek végén, 90-es évek elején több nemzetközi konferencia, illetve szaklapok tudományos írása hívta fel a figyelmet „elmaradásunkból” eredő előnyeinkre. Nevezetesen, hogy városaink építhetnek az akkor még kiemelkedően kedvező modal-split adottságainkra és arra alapozó területi politikával előtérbe helyezhetik a közösségi közlekedés fejlesztését. Vagy azt elhanyagolva, a nyugat-európai városok korábbi gyakorlatát követve teret engednek az egyéni gépjárműhasználatnak úgy, hogy ahhoz nálunk nem állnak és már nem is állhatnak rendelkezésre kellő közlekedési- és parkolási infrastruktúrák [9].

Az alternatíva felvetések, figyelmeztetések eredménye – helyesebben szólva eredménytelensége – Budapest elmúlt negydedes százados városfejlesztési és mobilitási folyamatait tekintve, ismert. A spontán, illetve magánfejlesztői érdekek által determinált városfejlődés a kompaktság kívánatos céljaival ellentétesen fokozta a szétterülést és növelte az autós mobilitástól védelemre érett térségek terheit. A közösségi közlekedés állandósuló finanszírozási gondjai visszavetették hálózatának fejlesztését, csökkentették a teljesítményeket, és kedvezőtlenül hatottak a szolgáltatás minőségére. Eközben, alapvető hálózatszerkezeti és parkolási hiányosságok ellenére is, dinamikus növekedett a motorizáció, növekedett az autósforgalom. Mindezek eredménye Budapest mai kritikus közterületi és mobilitási helyzete, valamint a közlekedés jelentős hozzájárulása a város környezeti problémáihoz, kritikus lég-és zajszennyezési helyzetéhez [9].

A budapesti közlekedés eszközállománya ma elégtelen a város mind növekvő mobilitási folyamatainak mederben tartására. Eközben, mert a közlekedés egyre inkább a komplex területi, gazdasági és városgazdálkodási folyamatok integráns része, ez utóbbiak kedvezőtlen alakulása nem csökkenti, hanem inkább növeli a közlekedéssel szembeni kihívásokat. E kiterjedt összefüggésrendszerben a közlekedés hatékony, érdemi fejlesztéséhez kulcsfeladat az ágazaton belüli problémák integrált, komplex, stratégiai megközelítése és kezelése. A komplex megközelítést a mobilitási folyamatokra kivetítve, azok

elvárható rendezéséhez háromszintű, egymásra épülő beavatkozáson keresztül vezethet az út [10]. E beavatkozási irányok:

- a forgalom mellőzése,
- a forgalom áthelyezése,
- a forgalom eszközváltása.

1. A forgalom mellőzése

A forgalom mellőzését szolgáló beavatkozások olyan területfejlesztési, városgazdálkodási politikát igényelnek, amelyek megfelelnek a kompaktság, a „kis távolságok városa”, a „15 perces város” terület- és funkció-elrendezési elvnek. Ezen elv szerint, nem motorizált formában (gyalogosan, kerékpárral) könnyen elérhető a napi városi élet alapvető funkciói a munkahely, az iskola, a kereskedelem, a szabadidő létesítményei, ezáltal mellőzhető vagy minimalizálható a motorizált eszközhasználat. A közlekedési szektor feladata itt az orientálás, a folyamatok kívánatos irányba terelése, illetve az érintett térségben a gyalogos és kerékpáros közlekedés minőségi infrastruktúrájának megteremtése.

A forgalom mellőzése elv érvényesítéséhez országos és fővárosi szinten egyaránt kedvezőtlenek a beépítési adottságok. Magyarország 2,7 milliós lakóház állományának 92 százaléka egylakásos, Pest megye esetén ez az érték 84% és Budapesten is közel 66%. A lakónépesség nagyobb hányadának területi elhelyezkedése tehát közel falusias, a nagyvárosok esetén is inkább kisvárosias. A népesség e laza területi elhelyezkedése mellett, a kompaktsági célokat tovább gyengíti a kereskedelmi és egyéb szolgáltatások szétterülése, a web-áruházak és az internetes kereskedelem helyi kis üzleteket romboló hatása, vagy éppen a „nem számít, milyen messziről dolgozom” home-office hatása. Azok közül a térségek közül, ahol pedig a területfejlesztés érvényt szerez a sűrítés elvnek, ott több térségben a növekvő mobilitási terhek miatt éppen nem kívánatos a sűrítés. Budapesten ilyen térség például a Duna zóna, amelynek északi és déli térségeiben nagy volumenű ingatlanfejlesztések (iroda és lakás) zajlanak, kapcsolódó közlekedésfejlesztések nélkül, miközben kiemelt várospolitikai cél a dunai rakpartok forgalomcsillapítása, humanizálása.

2. A forgalom áthelyezése

A forgalom áthelyezése – közúti közlekedésre vonatkozó – beavatkozási célcsoportnak a belsővárosi és más környezetérzékeny térségek védelmén, csillapításán túl a főváros esetében különös hangsúlyt ad, hogy az áthelyezés érdekében indokolt új közúthálózati elemeket olyan alulhasznosított, rozsdáövezeti zónákban kellene megvalósítani, amelyek a városfejlesztési tervek elsőszámú célpontjai is. Így, ott a sűrítés valóban kívánatos cél [11]. Ilyen térség például a Duna bal parti átmeneti zóna és ilyen, a forgalom áthelyezését célzó közúthálózati fejlesztés a Körvasúti körút, illetve a Külső-keleti körút. E hálózatfejlesztések azonban, sok évtizedes érvényes koncepciók, rendezési tervek ellenére váratnak magukra, szoros összefüggésben a város fejlődésében és közlekedésében meghatározó Duna-hidak építésével.

Az Árpád híd 1950. évi átadása óta, a Budapest területén a napjainkig eltelt 71 esztendő alatt, mindössze egyetlen új keresztmetszetben épült Duna híd, 1995-ös forgalomba helyezésével a Lágymányosi híd, mai nevén Rákóczi híd. (A hazai személygépkocsi állomány e 71 év alatt 160-szorosára növekedett.) Amennyiben a folyamatosan zajló hid-viták mellett (ellenére), középtávon épülnek új Duna-hidak, akkor e hidaknak fenti város-és hálózatfejlesztési célokat szolgálniuk kell. Mint ahogy a főváros térségi hálózatfejlesztéseknek – különös tekintettel a gyorsforgalmi hálózati fejlesztésekre - is szolgálniuk kell a „forgalom kívánatos áthelyezése” mobilitási célt. Nevezetesen, hogy e fejlesztések a védendő városi térségek terheit ne növeljék, hanem csökkentsék. A jelenleg érvényes hálózatfejlesztési elképzelések egy része e cél ellen hat.

3. A forgalom eszközváltása

A forgalom eszközváltását – azért, hogy belsővárosi- és környezetérzékeny térségekben az autó helyett a közösségi közlekedésnek, valamint a nem motorizált közlekedésnek jelentős dominanciája legyen -, a racionális közterületgazdálkodási célok mellett környezeti, kibocsátási, egészségvédelmi szem-

pontok is indokolják [12]. Az eszközváltáshoz nyilvánvaló feltétel a szükséges vonali és kapcsolati infrastruktúra, valamint a kellő szabályozás és üzemvitel megléte. Budapest e területen nem áll jól. Nincs intézményi háttere a város és környéke közlekedési harmonizációnak, így nincs egységes menetrend-, jegy- és bérletrendszer sem. A közösségi közlekedés mind növekvő finanszírozási gondjai pedig ismertek. A BKK/BKV sokat lépett előre a digitális platformok fejlesztése területén, a járműállomány megújítása azonban képtelen követni az elvárásokat, a kötöttpályás gyorsforgalmi fejlesztésében. Így a rendszer gyorsaságában és megbízhatóságában kirívó a lemaradásunk a gyakran követendő mintaként emlegetett európai városokkal szemben. Különösen kirívóak a Duna jobb parti térség hálózati elmaradásai, holott a közúthálózati elemekben is itt jelentkezik a legnagyobb hiány, valamint e térségben a legnagyobb a városkörnyék népességnövekedése (az elmúlt három évtizedben 50%-os, szemben az országos szint csökkenésével). Érdemi kitörést e helyzetből elsődlegesen a kiváló hálózati adottságú, de leromlott állapotú nagyvasútra, valamint a városi gyorsvasutakra (metró és HÉV) alapozott fejlesztéspolitika adhat.

A sikeres eszközváltás sajátos, de rendkívül fontos feltételét jelenti a főváros mind kritikusabb parkolási helyzetének rendezése, szoros összefüggésben kezelve a közterületi parkolás, a közterületen kívüli parkolás, a munkahelyi parkolás, a lakossági parkolás, a P+R parkolás ügyét, szabályozását, rendezését. Ma a fenti öt szegmens igényei jórészt tömörítve, a közterületi parkolást terhelik, áldatlan közterületi és forgalmi állapotokat teremtve. A megoldás iránya a cégautó kedvezmények szigorítása, a munkahelyi parkolás, valamint a lakossági parkolás normatív szabályozása, a közterületen kívüli- és a P+R férőhelyek lényeges növelése.

4. Egy követhető fejlesztéspolitika

Tekintettel a kompaktságot jórészt nélkülöző laza területszerkezetre, a mind növekvő motorizációs ellátottságra és autósforgalomra, a közúthálózati hiányosságokra, valamint a

közösségi közlekedés súlyos finanszírozási gondjaira és fejlesztési korlátaira, Budapest és környéke közlekedésfejlesztésének irányát, a környezeti, gazdasági és üzemviteli fenntarthatóság szempontjaira is figyelemmel, az alábbi hálózatfejlesztési/szervezési elvek szerint javasolt meghatározni:

- a sűrű térségekben a gépjárműközlekedés visszaszorítása mellett, a közösségi közlekedés és a nem motorizált közlekedés dominanciája, az ehhez szükséges infrastruktúra megteremtésével,
- a laza térségekben az egyéni közlekedés nagyobb súlya és lehetőségei mellett, markáns kötőpályás gerincvonalak létrehozása,
- e gerincvonalakra kiterjedt ráhordó rendszerek feltételeinek megteremtése a P+R, B+R és más mikromobilitási eszközök fejlesztésével,
- a ráhordási pontok, kapcsolati pontok városi szolgáltatásokkal együttes minőségi fejlesztése, a intermodalitás, illetve a funkcionális kapcsolati tér szempontjai szerint,
- a fenti integrált közlekedési rendszer működéséhez a szükséges intézményi- és szabályozási háttér felépítése.

A fővárosban és környékén jelenleg zajló, a vasúti és HÉV hálózat fejlesztését célzó komplex előkészítő és tervezői munka esélyét adhatja a felvázolt rendszer megteremtésének, egy-egy jó példa felmutatásának és alkalmazásának.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Mátrai, T., Kerényi, L. S., & Juhász, M. (2013). Integrated transport management to enhance sustainable transport modes in Budapest. In European Transport Conference 2013 Association for European Transport (AET).
- [2] Mátrai, T., Ábel, M., & Kerényi, L. S. (2015, June). How can a transport model be integrated to the strategic transport planning approach: A case study from Budapest. In 2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS) (pp. 192-199). IEEE. DOI: <https://doi.org/g4pc>
- [3] Juhász, M., Mátrai, T., & Kerényi, L. S. (2014). Changes in travel demand in Budapest during the last 10 years. *Transportation Research Procedia*, 1(1), 154-164. DOI: <https://doi.org/g4pf>
- [4] Andrejszki, T., Török, Á., & Csete, M. (2015). Identifying the Utility Function of Transport Services From Stated Preferences. *Transport and Telecommunication*, 16(2), 138-144.
- [5] Gaal, G., Horváth, E., Török, Á., & Csete, M. (2015). Analysis of public transport performance in Budapest, Hungary. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 23(1), 68-72. DOI: <https://doi.org/gt47>
- [6] Horváth, B. (2008). A new public transport assignment model. *Acta technica jaurinensis*, 1(1), 93-108.
- [7] Horváth, B. (2016). Uncertainty of the Od Matrix's Estimation in Urban Public Transport. *Transportation Research Procedia*, 14, 1716-1722. DOI: <https://doi.org/g4pg>
- [8] Nagy, V., Horváth, B., & Horváth, R. (2017). Land-use zone estimation in public transport planning with data mining. *Transportation Research Procedia*, 27, 1050-1057. DOI: <https://doi.org/g4ph>
- [9] Horváth, B., Horváth, R., & Gaál, B. (2013). Estimation of passenger demand in urban public transport. *Acta Technica Jaurinensis*, 6(3), 64-73.
- [10] Andrejszki, Tamás ; Török, Árpád ; Kóvári, Botond (2016): Közlekedési preferenciák meghatározása kinyilvánított preferencia vizsgálat alapján, KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE 64 : 6 pp. 36-41. , 6 p. (2016)
- [11] Török, Árpád (2013): Közlekedési hálózatfejlesztési döntések egyensúlyi modell környezetben történő leképezése, KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE 63 : 1 pp. 17-23. , 7 p.
- [12] Desta, R., Tesfaye, D., & Tóth, J. (2021). Microscopic Traffic Characterization of Light Rail Transit Systems at Level Crossings. *Advances in Civil Engineering*, 2021. DOI: <https://doi.org/g4pj>
- [13] Kisgyörgy, L., & Tóth, J. (2020). Fuzzy analysis of comfort along travel chains. *Transport*, 35(2), 203-212. DOI: <https://doi.org/g4pk>

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE MEGRENDELŐLAP

Alulírott
megrendelem a Közlekedéstudományi Szemlét a következő hónaptól az alábbiak szerint.

Megrendelő neve:

Címe (ahová a lapot kéri):
.....
.....

Telefonszám:

Fax:

E-mail:

Az előfizetési díjat az alábbiak szerint fizetheti be:*

Banki átutalással (név és cím feltüntetésével) a következő bankszámlaszámra:
10200823-22212474

Készpénzzel a KTE irodában:1066 Budapest, Teréz krt. 38. II. em. 235.

**A megfelelőt kérjük beikszelni!*

Előfizetés 1 évre: **

• Nyomtatott változat: 8280 Ft/pld. pld.

• KTE tagoknak nyomtatott változat: 4140 Ft/pld.
(tagdíj nélkül) pld.

***A kért példányszámot kérjük kitölteni!*

Az előfizetési díjról számlát kérek: igen nem

Számlázási név:

Számlázási cím:

Az első lapszám kézbesítésére az előfizetési díj befizetését követően kerül sor. Az egyéves előfizetés 6 lapszámot tartalmaz.

Dátum: alíírás

DIGITÁLIS VÁLTOZAT

Digitális változat megrendelése csak egyéni előfizetőknek lehetséges!

• Digitális változat ára KTE tagoknak 4140 Ft/év (tagdíj nélkül) pld.

• Digitális változat ára NEM KTE tagoknak 6000 Ft/év pld.

Megrendelő neve: E-mail címe:

Dátum: alíírás

Kérjük, hogy a megrendelő lapot e-mailben a szemle@ktenet.hu e-mail címre, faxon a 06-1-353-2005 számra, vagy a 1066 Budapest Teréz krt. 38. II. em. 235. postacímre szíveskedjen elküldeni!

Közlekedésbiztonság - Közlekedési környezetvédelem

A kerékpáros baleseti sérültek aluljelentettségének vizsgálata kórházi adatok alapján

A kerékpáros közlekedés napjaink egyre gyakoribb, elterjedtebb közlekedési módja. Ezt felismerve a hazai és nemzetközi közlekedéspolitikai kiemelt területként kezeli a kerékpáros balesetek csökkentését és a kerékpáros sérülések enyhítését. A hatékony közúti biztonsági beavatkozások tervezéséhez elengedhetetlen a baleseti adatelemzések elvégzése. Az adatelemzések megbízhatóságát azonban jelentősen ronthatja az ehhez alkalmazott adatbázisok megbízhatatlansága, az esetlegesen abból hiányzó baleseti és sérüléssel járó adatok jelentős mennyisége. Célunk annak vizsgálata volt, hogy a személyes balesetet szenvedett és kórházi ellátásban részesült kerékpárosok mekkora hányada szerepel a hivatalos baleseti adatbázisban.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2021.6.6>

Krizsik Nóra^{1,2} – Pauer Gábor¹ – Szigeti Szilárd¹

¹KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Közlekedésbiztonsági Kutatóközpont

²BMGE Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék
e-mail: krizsik.nora@kti.hu, pauer.gabor@kti.hu, szigeti.szilard@kti.hu

1. BEVEZETÉS

A kerékpározás napjainkban egyre gyakoribb közlekedési mód. Ebben fontos szerep jut a kerékpárok olcsó hozzáférhetőségének [1], az egészséges életmódhoz való hozzájárulásának [2][3], a környezettudatos életmód térnyerésének, valamint a kerékpározás rövid távokon előnyös gyorsaságának és háztól házig tartó közlekedési tulajdonságának.

A kerékpáros közlekedés térnyerését felismerve az Európai Unió [4] és a hazai közlekedéspolitikai [5] egyik kiemelt pillére a védtelen közlekedők, köztük a kerékpárosok biztonságának növelése. A hatékony közúti biztonsági beavatkozások tervezéséhez pedig elengedhe-

tetlen a baleseti adatelemzések elvégzése. Az adatelemzések megbízhatóságát azonban jelentősen ronthatják az ehhez alkalmazott adatbázisok hibái, az esetlegesen abból hiányzó baleseti és sérült adatok jelentős mennyisége.

Jelen kutatásban célunk annak vizsgálata, hogy megbecsüljük a személyes balesetekben megsérült, kórházi ellátásban részesült kerékpárosok mekkora része szerepel a rendőrségi adatokon alapuló hivatalos (KSH által kezelt) baleseti adatbázisban, és mekkora az abból hiányzó („látens”) baleseti sérültek aránya. A kutatás összegezésében az egészségügyi adatbázisok és a hivatalos baleseti adatbázis adatainak összehasonlítása révén kapott eredményeket ismer-

tejük. Megjegyezzük, hogy ezen vizsgálatok csak azon kerékpárosokról nyújtanak képet, akik orvosi ellátást igényeltek. Az adatbázisba be nem kerülő kerékpárosok aránya ennél jóval magasabb lehet, tekintve, hogy a baleseti helyszínelés, adatrögzítés valószínűsége a könnyű sérülések esetén jóval alacsonyabb.

2. AZ EGÉSZSÉGÜGYI SEKTOR ADATBÁZISAI, AZ ADATGYŰJTÉSI MÓDSZERTAN

Alapfeltevésünk volt, hogy az egészségügyi szektor adatbázisában [6] több kerékpáros baleseti sérült szerepel, mint ami a hivatalos (rendőrség által lejelentett, KSH által kezelt) baleseti adatbázisban található [7]. Az előbbiben ugyanis szerepel minden olyan kerékpáros sérült adata is, akiknek:

- balesete során rendőri helyszínelés nem történt,
- a balesetet követő időszakban orvosi ellátásra szorultak,
- beismerték, hogy a sérülést kerékpáros közlekedés közben szereztek,
- az orvos az esetüket nem jelentette a rendőrség felé (vagy azért, mert elmulasztotta, vagy azért, mert a szabályozás erre nem is kötelezi, pl. könnyű sérülés esetén).

Az előzőekkel szemben olyan eset, amely a hivatalos baleseti adatbázisban szerepel, az egészségügyiben pedig nem, olyan kerékpáros baleset lehet, ahol történt ugyan személyi sérülés és rendőri intézkedés, kórházi ellátás azonban nem (vagy az orvos számára nem derült ki, hogy a sérült kerékpáros volt).

Azon esetek részletes vizsgálata érdekében, ahol a sérült kerékpáros orvosi ellátásban részesült, három egészségügyi intézménytől kapott adatbázis áttanulmányozását végeztük el. Az adatbázisok a 2018-ban az adott intézményekben kezelt kerékpáros sérültekről tartalmaztak adatokat. A felmérésben az alábbi három egészségügyi intézmény vett részt:

- Észak-Közép-budai Centrum, Új Szent János Kórház, Budapest
- PTE ÁOK Traumatológiai-és Kézsebészeti Klinika, Pécs
- Szeged Traumatológiai Klinika, Szeged

A következőkben ismertetjük az ellátási területet és az adatgyűjtési módszertant az egyes kórházak tekintetében.

2.1. Észak-Közép-budai Centrum, Új Szent János Kórház

A kórház Budapest és agglomerációja nyugati régiójának beteg ellátásáért felel, amely közel 800 ezer lakosra terjed ki. Budapest kerületei közül ide tartoznak az I-II, a XI-XII és a XXII kerületek. Az agglomerációból számos város szintén a kórház ellátási területét alkotja, Budakeszi járás területéről 14 település, Érd járásról 7 település, Pilisvörösvár járásról 10 település, Komárom-Esztergom megyéből pedig két település. További 25 településről szállítanak ide sérülteket, abban az esetben, ha életveszélyes sérülés történt. A kórház minden nap, napi 24 órában fogadja az ezen területekről érkező sérülteket.

A kórházba érkezve a sérültet traumatológus orvos veszi át, a beteg adatait az egészségügyi adminisztrátor rögzíti. Amennyiben mentő hozza a sérültet, az orvos a mentőst és a sérültet is kikérdezi a baleset körülményeiről, a helyszínről és időpontjáról. Amennyiben rendőri intézkedés történt és a rendőr megjelenik a kórházban, úgy általában az orvostól kér véleményt a sérülés jellegéről, súlyosságáról.

A kórházban a beteg minden adata bekerül a MedWorks számítógépes adatbázisba. A személyes adatokon kívül rögzítik az amnézis (baleset körülményei, ideje, helyszíne), a státusz, a diagnózisok BNO (Betegségek Nemzetközi Osztályozása-ICD) és a beavatkozások WHO kódját is. Baleset esetén szerepeltetni kell a sérülés okának kódját (E kód), amelyre az ismertetett projektben készített baleseti adatgyűjtés is támaszkodott.

2.2. PTE ÁOK Traumatológiai-és Kézsebészeti Klinika

A kórház ellátási közege körülbelül 240 ezer fő, amely többnyire Pécs városát és vonzáskörzetét jelenti. Ezen kívül a Baranya megyében történt súlyos sérüléssel esetek is itt kerülnek ellátásra. A balesetben érintetteket indokolt

esetben az Országos Mentőszolgálat szállítja, azonban a sérültek érkehetnek saját lábón is.

A sérülteket a Sürgősségi Betegellátó Osztályon a triázs rendszer osztályozza súlyosság szerint [8], ami után a traumatológus orvos veszi át a vizsgálatot. A sérülteket, a hozzátartozókat, a mentőorvost kikérdezik a baleset körülményeiről, időpontjáról és helyszínéről. A beteg adatait a MedSolution számítógépes adatbázisban rögzítik. Az adatbázisba felírják a sérült személyes adatait, amnéziséjét, státuszát, jelen panaszait, a diagnózisok BNO kódjait és a beavatkozások WHO kódjait. A balesetek BNO kódja mellett szerepel a sérülés okának kódja (E kód) is, amely alapot szolgáltatott jelen kerékpáros baleseti kimutatáshoz.

2.3. Szeged Traumatológiai Klinika

A kórház Szeged és vonzáskörzetének baleseti ellátásáért felelős, amely 350 ezer lakost szolgál ki a hét minden napján, napi 24 órában. Emellett a Dél-Alföldi régió III. szintű, legmagasabb ellátást igénylő betegei is a klinikán kapnak kezelést, vagy közvetlen módon, vagy intézeti átadás révén ide kerülve.

A betegek adatait a Med-Sol számítógépes adatbázisban rögzítik és tárolják. A rögzített adatok között szerepelnek többek között a sérült személyes adatai, a baleset körülményei, valamint a diagnózisok BNO kódja.

3. AZ EGÉSZSÉGÜGYI INTÉZMÉNYEKBEN ELLÁTOTT KERÉKPÁROS SÉRÜLTEK ADATAINAK ELEMZÉSE

Az egészségügyi intézmények adatbázisaiból

kapott adatok a 2018-ban az általuk ellátott összes kerékpáros sérültekre kiterjedtek.

3.1. A balesetek elemzése kimenetel és a rendőri intézkedés története szerint

A három kórházban 2018-ban összesen 1716 kerékpáros sérült került ellátásra.

Az egészségügyi adatbázisban rögzítik, hogy a sérült balesete kapcsán történt-e rendőri intézkedés, illetve milyen súlyos volt a sérülés kimenetele.

A sérülés kimenetele szerint az ellátott kerékpárosok közül

- 4 fő elhunyt,
- 729 fő súlyosan sérült,
- 983 fő könnyen sérült.

Az esetek többségében (75,3%) nem történt rendőri intézkedés, 12,7%-ban igen, míg 12%-ban nem volt erre vonatkozóan elérhető adat. Az orvosi dokumentációk megjegyzik, hogy mivel a sérültekkal rengeteg különböző orvos foglalkozik, ez az adat nem minden esetben kerül rögzítésre, így a valóságban ennél valamivel több esetben történhetett rendőri intézkedés. Amennyiben a kórháztól utólag kértek láttelelet, az sem került rögzítésre.

A sérülés súlyosságának, és a rendőri intézkedés megtörténtének összefüggéseit az 1. táblázat szemlélteti.

A kapott értékek alapján a könnyű sérüléssel járó balesetknél 10,8% ban, míg a súlyos sérültek baleseteinek 15,1%-ánál biztosan történt rendőri intézkedés. A különbség valamilyen még nagyobb lehet annak tükrében, hogy

1. táblázat: Rendőri intézkedés megtörténtének arányai a sérülés kimenetelének függvényében

		rendőri intézkedés		
		volt	nem volt	nincs adat
sérülés kimenetele	könnyű sérülés (983 fő)	10,8%	80,2%	9,1%
	súlyos sérülés (729 fő)	15,1%	69,0%	15,9%
	halálos (4 fő)	50,0%	0,0%	50,0%
	összesen (1716 fő)	12,7%	75,2%	12,1%

a súlyos sérültek 15,9%-ánál nem volt kitöltve az erre vonatkozó adat, míg a könnyű sérültek esetén a hiányzó adatok aránya csak 9,1% volt. A halálos sérültek esetszáma ezen adatbázisokban olyan alacsony volt, hogy abból nem érdemes következtetéseket levonni.

3.2. A kerékpáros balesetek mechanizmusa

A kerékpáros balesetek mechanizmusáról nem minden intézmény tudott információt szolgáltatni. Az Új Szent János Kórház ellátási területéről (Budapest és agglomerációjának nyugati régiója) kapott adatok szerint az ott kezelt 806 sérült:

- 11,3%-a (91 fő) kerékpáros – gépjármű ütközése révén sérült (olyan eseteket is ide sorolva, mint pl. kinyíló személygépkocsi ajtónak hajtó kerékpáros.)
- 2,9%-a (23 fő) kerékpáros – gyalogos találkozása során sérült
- 1,5%-a (12 fő) kerékpáros másik kerékpárossal történő ütközése során sérült
- 77,5%-a (625 fő) magános kerékpáros balesetben sérült (pl. fának- falnak hajtás, kormány- pedál okozta sérülés, kutyatámadás stb.)
- A további 55 esetben nem volt adat a sérülés körülményeiről.

Érdekes eredményekre vezet, ha a rendőri intézkedés meglétét a fenti baleseti típusok szerint vonjuk vizsgálat alá. A 806 esetből 95-nél (11,8%) volt elsődleges adat rendőri intézkedésre vonatkozóan. Ebből

- kerékpár - gépjármű ütközésekor 91-ből 56 esetben (61,5%),
- kerékpár – gyalogos ütközésnél 23-ból 11 esetben (47,8 %),
- kerékpár – kerékpár ütközésekor 12-ből 6 esetben (50%),
- magános elesés, tárgynak ütközésnél 625 esetből mindössze 19 esetben (3%) történt intézkedés. (Három rendőri intézkedéssel érintett esetről nem volt adat a baleset körülményeiről).

A PTE ÁOK Traumatológiai-és Kézsebészeti klinika ellátási területéről (Pécs és vonzáskörzete) kapott adatok szerint az ott kezelt 241 sérült:

- 13,3%-a (32 fő) kerékpáros – gépjármű ütközése révén sérült
- 1,2%-a (3 fő) kerékpáros másik kerékpárossal történő ütközése során sérült
- 85,5%-a (206 fő) magános kerékpáros balesetben sérült (pl. elesés, fának ütközés)

Rendőri intézkedés 241 esetből 29-nél (12%) volt rögzítve.

- kerékpár - gépjármű ütközésekor 32-ből 27 esetben (84,4%)
- kerékpár – kerékpár ütközésekor 3-ből 0 esetben (0%)
- magános elesés, tárgynak ütközésnél 206 esetből mindössze 2 esetben (1%) történt intézkedés.

A Szeged Traumatológiai Klinika ellátási területéről (Szeged és vonzáskörzete) kapott adatok szerint az ott kezelt 669 sérült:

- 18,7%-a (125 fő) kerékpáros – gépjármű ütközése révén sérült
- 4,2%-a (28 fő) kerékpáros másik kerékpárossal történő ütközése során sérült
- 77,1%-a (516 fő) magános kerékpáros balesetben sérült (pl. elesés, fának ütközés)

A 669 esetből 94-nél (14,1%) volt elsődleges adat rendőri intézkedésre vonatkozóan. Ebből

- kerékpár - gépjármű ütközésekor 125-ből 71 esetben (56,8%)
- kerékpár – kerékpár ütközésekor 28-ből 8 esetben (28,6%)
- magános elesés, tárgynak ütközésnél 516 esetből mindössze 15 esetben (2,9%) történt intézkedés.

A fenti, balesetek mechanizmusára (típusára) és rendőri intézkedésre vonatkozó adatokat a 2. táblázatban foglaltuk össze a kórházaktól kapott, összesített értékek alapján.

Az adatok bizonyítják azt az előzetes feltételezést, amely szerint a baleseti adatbázisba kerülés valószínűsége jóval alacsonyabb a kerékpárosok magános balesetei esetén, de a kerékpáros gyalogossal, vagy másik kerékpárossal való ütközésekor is, mint gépjárművekkel érintett baleseteik során.

2. táblázat: A baleset mechanizmusának és a rendőri intézkedés gyakoriságának kapcsolata (összesített adatok alapján)

		Az adott baleseti mechanizmushoz sorolt sérültek részaránya	Rendőri intézkedés aránya az adott baleseti mechanizmus esetén
baleset mechanizmusa	kerékpáros – gépjármű ütközése (248 fő)	14,5%	62,1%
	kerékpáros – gyalogos ütközése (23 fő)	1,3%	47,8%
	kerékpáros – kerékpáros ütközése (43 fő)	2,5%	32,6%
	kerékpáros – gyalogos/kerékpáros együtt (66 fő)	3,8%	37,9%
	magános kerékpáros baleset (1347 fő)	78,5%	2,7%
	nincs adat a baleset típusáról (55 fő)	3,2%	-

A kapott baleseti sérült adatok és orvosi dokumentációk alapján alátámaszthatjuk továbbá azt a feltételezést is, hogy könnyű sérülések esetén a rendőrök értesítési aránya alacsonyabb, így az ilyen adatok baleseti adatbázisba kerülésének valószínűsége jóval kisebb a súlyos, halálos sérültekhez képest.

4. AZ EGÉSZSÉGÜGYI SZEKTOR ADATBÁZISÁNAK ÖSSZEVETÉSE A HIVATALOS BALESETI ADATBÁZISSAL

Az egészségügyi intézményektől kapott adatok tartalmaztak tehát arra vonatkozó információkat, hogy az adott sérülés kapcsán történt-e rendőri intézkedés, e tekintetben azonban további vizsgálatokat is végeztünk. Ezek elsősorban arra irányultak, hogy megvizsgáljuk, hogy a rendőri intézkedéses sérültek adatai valóban megtalálhatók-e a hivatalos baleseti adatbázisban.

Az előző céllal összhangban kísérletet tettünk a sérültekről kapott adatok megfeleltetésére a rendelkezésünkre álló hivatalos baleseti adatbázis adatai között. A kórházaktól kapott baleseti sérült adatokat a WEB-BAL 2.0 adatbázis-kezelő szoftver segítségével kerestük a hivatalos adatbázisban. A baleseti adatokat azokra az esetekre kértük le, amikor rendőri intézkedést jeleztek.

Mindhárom egészségügyi intézmény ellátási körzete jelentős, több százezer ember ellátá-

sáért felelnek. A baleseti adatok a 2018-as évre vonatkozó kerékpáros érintettségű baleseteket tartalmazták. A baleseti adatok feldolgozásának módszertana mindhárom kórház esetében megegyezett. Rögzítettük, hogy az adott baleset szerepelt, nem szerepelt, vagy nem volt egyértelműen megfeleltethető a baleseti adatbázisban. Az adatbázisban nem fellelhető baleseti adatokat kimenetelük szerint összesítettük. Rögzítésre kerültek továbbá a baleseti adatbázisban szereplő eseteknél azonosított eltérések is.

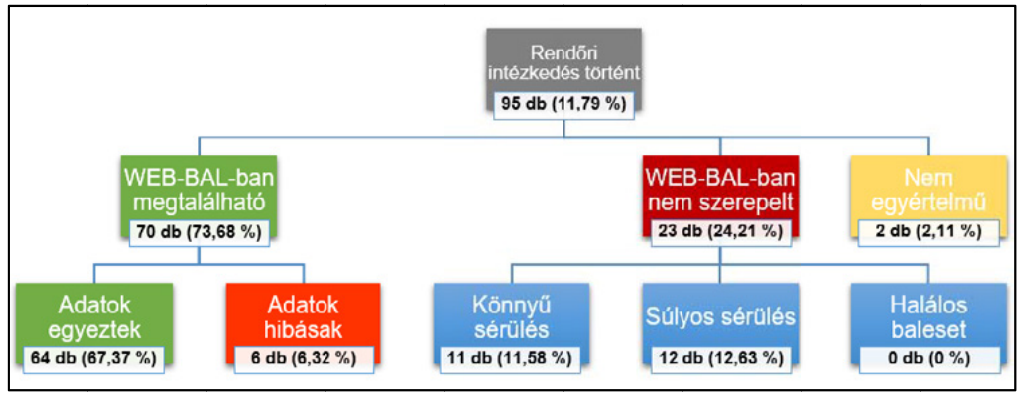
4.1. Az Észak-Közép-budai Centrum, Új Szent János Kórház baleseti adatainak összevetése a hivatalos adatbázissal

A 2018-as év során a kórházban összesen 806 balesetet szenvedő kerékpárost kezeltek, akik közül mindössze 95 esetben történt rendőri intézkedés. A 95 rendőri intézkedéssel jegyzett baleset közül mindössze 70 volt megtalálható a WEB-BAL adatbázisban, amelyből 64 esetben egyezett az adat. A balesetek közül 23 nem volt megtalálható a baleseti adatbázisban, amelyek közül 11 könnyű, 12 súlyos kimenetelű volt.

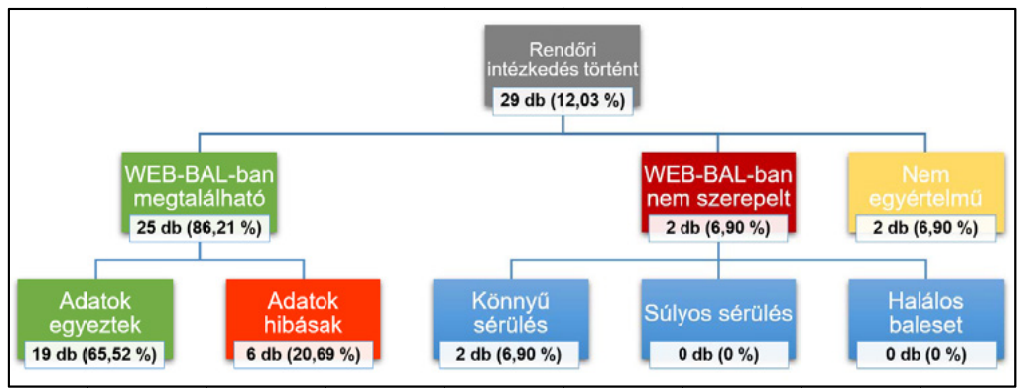
4.2. PTE ÁOK Traumatológiai-és Kézsebészeti Klinika baleseti adatainak összevetése a hivatalos adatbázissal

Összesen 241 kerékpáros sérültet láttak el a kórházban 2018-ban, amelyek közül 29 esetben jegyztek fel rendőri intézkedést. A feljegyzett 29 esetből 25 szerepelt a közúti baleseti adatbázis-

1. ábra: Észak-közép-budai Centrumkórház, Új Szent János Kórház baleseti adatainak megjelenése a hivatalos baleseti adatbázisban



2. ábra: PTE ÁOK Traumatológiai-és Kézsebészeti Klinika baleseti adatainak megjelenése a hivatalos baleseti adatbázisban



ban is, a maradék négy közül kettő nem szerepelt, kettőről pedig nem lehetett egyértelműen eldönteni. A 25 baleset közül azonban 6 esetben eltérés volt megfigyelhető, amely többnyire a baleseti kimenetelét érintette. A baleseti adatbázisban nem található két adat könnyű sérüléses baleset, a nem egyértelműen beazonosítható két baleset pedig súlyos kimenetelű baleset volt.

4.3. Szeged Traumatológiai Klinika baleseti adatainak összevetése a hivatalos adatbázissal

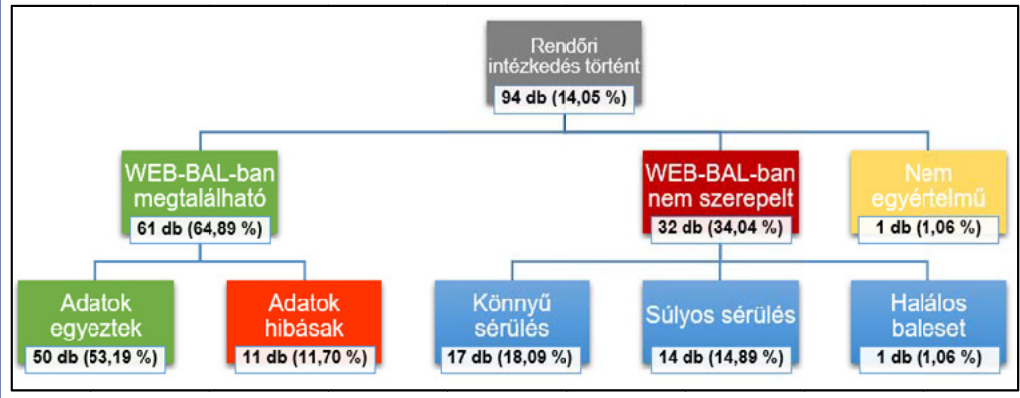
Szeged kórházában 2018-ban összesen 669 kerékpáros érintettségű sérültet regisztrál-

tak. Ezen balesetek közül 94 esetben történt rendőri intézkedés az orvosi adatbázis szerint. A 94 esetből mindössze 61 volt megtalálható a hivatalos baleseti adatbázisban. A maradék balesetek közül 32 esetnek nem volt nyoma, egy esetben nem volt egyértelműen eldönthető. A megtalálható balesetek közül 50 egyezett, 11 esetben viszont hibás adatok szerepeltek. A WEB-BAL-ban nem megtalálható adatok közül 17 könnyű sérüléses, 14 súlyos sérüléses és egy halálos kimenetelű baleset volt.

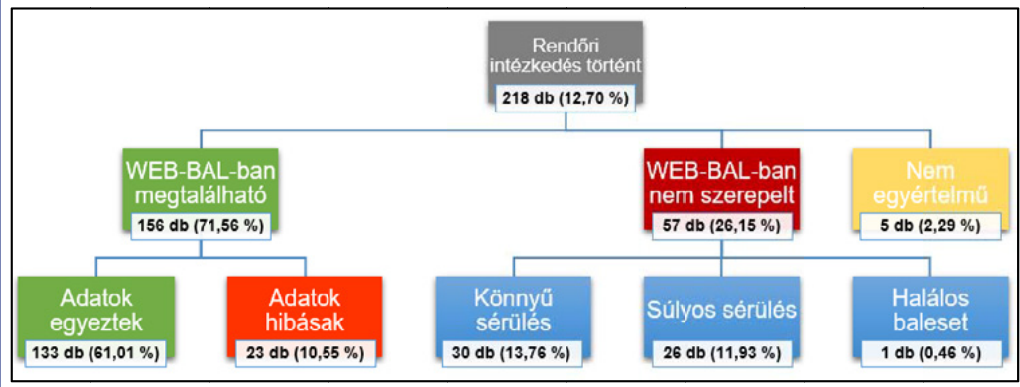
4.4. Kórházak adatainak összesítése

A három intézményről az összegzett baleseti

3. ábra: Szeged Traumatológiai Klinika baleseti adatainak megjelenése a hivatalos baleseti adatbázisban



4. ábra: A három egészségügyi intézmény összesített baleseti adatainak megjelenése a hivatalos baleseti adatbázisban



kimutatást készítettünk (1-3. ábrák), amelyet a 4. ábra összegez. A 2018-ban a három kórház ellátási területén kezelt 1716 kerékpáros sérült közül 218 esetben rögzítettek rendőri intézkedést az orvosi adatbázis szerint. Ezek közül összesen 156 sérültet találtunk meg WEB-BAL adatbázis kezelő segítségével, amelyek közül 133 esetben volt teljes adat egyezés. Az orvosi adatbázisban rendőri intézkedéssel jelölt balesetek sérültjei közül ugyanakkor 57 főt (26%) nem tudtunk azonosítani a közúti baleseti adatbázisban, 5 esetben nem volt egyértelműen megállapítható az egyezés. A nem fellelhető adatok közül 30 könnyű, 26 súlyos, egy pedig halálos kimenetelű sérülés volt.

Az eredmények arra utalnak, hogy annak ellenére, hogy történik rendőri intézkedés, a baleseti adatok néhány esetben nem, vagy nem pontosan azonosíthatóan kerülnek a hivatalos baleseti adatbázisba. Ennek okai további kutatásokat igényelnek, de szerepet játszhatnak benne az adatokban történt esetleges elírások, javítások akár a rendőrségi adatrögzítés, akár az egészségügyi adatbázis adatai esetén. Lehetséges az is, hogy az egészségügyi adatbázis adataival ellentétben mégsem történt néhány esetben rendőri intézkedés (ennek előzetes megtörténtéről ugyanis az orvos csak a sérülttől, vagy a mentőstől tud tájékozódni). Ahogy az is előfordulhat,

hogy egy-egy ilyen esetet végül nem minősít-
tenek közlekedési balesetnek.

4.5. Összesítés kimenetel szerint

Az egészségügyi adatbázis adatait a sérülés kimenetele szerint vizsgálva megállapítható, hogy rendőri intézkedés 106 könnyű sérülés, 110 súlyos sérülés és 2 halálos esetben történt. A rendőri intézkedéssel jelzett könnyű sérültek balesetei közül 75 sérült adatait találtuk meg a hivatalos baleseti adatbázisban (70,8%), 30 sérültet nem (28,3%), további egy eset nem volt egyértelműen beazonosítható (0,9%).

A súlyos kimenetelűek között 80 sérülést sikerült beazonosítani a rendőri adatbázisban (72,7%), 26 esetet nem (23,7%), míg 4 esetet nem volt egyértelműen eldönthető (3,6%).

4.6. Összesítés baleseti mechanizmus szerint

A baleset mechanizmusa szerint a kapott egészségügyi adatbázisból három kategóriát vizsgáltunk, amelyek a magános kerékpáros balesetek, a kerékpár-kerékpár és gyalogos-kerékpár balesetek (együttesen), illetve a jármű-kerékpár balesetek voltak. A 218 rendőri intézkedéssel érintett baleseti sérült közül

36 fő esetében magános kerékpáros baleset, 25 fő esetében kerékpár-kerékpár, vagy gyalogos-kerékpár baleset, 157 esetben gépjármű-kerékpár baleset történt.

A magános balesetek közül 14 esetben (38,9%) megtalálható volt a baleset a hivatalos adatbázisban, 21 esetben (58,3%) nem volt megtalálható, egy esetben (2,8%) nem volt egyértelműen megállapítható.

A kerékpár-kerékpár és gyalogos-kerékpár típusú baleseteket illetően 18 esetben (72%) volt megtalálható a rendőri adatbázisban a baleset, 6 esetben (24%) nem volt megtalálható, további egy esetben (4%) pedig nem volt egyértelműen beazonosítható a baleset.

Végül a gépjármű-kerékpár balesetek esetében a hivatalos baleseti adatbázisban 124 baleset (79%) volt fellelhető, 30 baleset (19,1%) nem volt megtalálható, 3 esetben (1,9%) pedig nem volt egyértelműen megállapítható az egyezés.

5. A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A bemutatott vizsgálatok szemléltetik az egészségügyi, és a hivatalos, rendőrségi bal-

3. táblázat: Kerékpáros sérültek száma a baleseti adatbázisban, illetve ellátott kerékpárosok száma az egészségügyi szektor adatbázisaiban (2018)

Adatforrás	Vizsgálati terület		Kerékpáros sérültek száma			
	Régió	Érintett népesség	meghalt	súlyosan sérült	könnyen sérült	Összesen
Észak-Közép-budai Centrum, Új Szent János Kórház	Budapest és agglomerációjának nyugati régiója	kb. 800 ezer fő	2	320	484	806
Hivatalos baleseti adatbázis (WEB-BAL)	Budapest és Pest megye teljes területe	kb. 3 millió fő	11	226	573	810
Szeged Traumatológiai Klinika	Szeged város és vonzáskörzete	kb. 350 ezer fő	1	270	398	669
Hivatalos baleseti adatbázis (WEB-BAL)	Csongrád megye teljes területe	kb. 400 ezer fő	2	89	148	239
PTE ÁOK Traumatológiai-és Kézsebészeti Klinika	Pécs város és vonzáskörzete	kb. 240 ezer fő	1	139	101	241
Hivatalos baleseti adatbázis (WEB-BAL)	Baranya megye teljes területe	kb. 360 ezer fő	0	35	60	95

eseti adatbázisok közt fennálló jelentős eltéréseket. Ezen eltérések számszerűsítéséhez a 3. összefoglaló táblázatot készítettük el.

A táblázat adatai alátámasztják, hogy nagyságrendi különbség van (körülbelül háromszoros) az egészségügyi adatbázisban, illetve a hivatalos baleseti adatbázisban szereplő kerékpáros sérültek számában. A vizsgálatba vont budapesti kórház Budapest és Pest megye lakosságának körülbelül egynegyedét látja el, mégis majdnem ugyanannyi kerékpáros sérülttel foglalkoztak 2018-ban, mint amennyi a hivatalos adatbázis szerint az adott évben teljes Pest megyében és Budapesten szenvedett személyi sérüléssel balesetet.

A Szeged és vonzásokörzetének ellátásáért felelős kórház majdnem háromszor annyi kerékpáros sérültet látott el, mint amennyi a hivatalos baleseti adatbázis szerint teljes Csongrád megyében előfordult.

A Pécs és vonzásokörzetének ellátását végző intézmény pedig két és félszer annyi kerékpáros sérültet látott el, mint amennyi a hivatalos adatbázisban teljes Baranya megyében rögzítésre került (miközben a megye népessége kb. másfélszerese a kórházhoz tartozó népességnek).

Azaz, a vizsgálatba vont kórházakban ellátott kerékpáros sérülteknek mindössze harmada szerepel a hivatalos baleseti adatbázisban. Tekintve, hogy jelen elemzések csak azokra terjedtek ki, akik balesetük kapcsán kórházi ellátásra szorultak, az aluljelentettség mértéke még ennél is jóval nagyobbra becsülhető.

6. KONKLÚZIÓ

Kutatásunk során az egészségügyi szektor (3 megyei kórház) adatbázisainak vizsgálata révén kívántuk megbecsülni, hogy a személy-sérüléssel baleset kapcsán kórházi ellátásban részesült kerékpárosok mekkora hányada szerepel a hivatalos baleseti adatbázisban. Ismertettük a kórházak baleseti adatgyűjtési folyamatait, és elemeztük az egészségügyi adatbázisban szereplő kerékpáros sérültek adatait. Ezután a baleseteket összevetettük a hivatalos rendőrségi adatbázissal.

Eredményeink alapján nagyságrendi különbség van (körülbelül háromszoros) az egészségügyi adatbázisban, illetve a hivatalos baleseti adatbázisban szereplő kerékpáros sérültek számában. Azaz, a kórházakban kezelt sérültek körülbelül harmada szerepel csupán a hivatalos baleseti adatbázisban. Értelemszerűen a sérültek aluljelentettsége ennél jóval magasabb lehet, hiszen ez a kimutatás csak azon kerékpárosokra vonatkozik, akik a baleset kapcsán kórházi ellátást igényeltek.

A további részeredmények azt mutatták, hogy a sérülések súlyosságának csökkenésével a kerékpárosok baleseti adatbázisba való bekerülése is csökken. A balesetek mechanizmusát tekintve a magános balesetek bekerülési valószínűsége a legkisebb.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Stefan Gössling – Andy Choi – Kaely Dekker – Daniel Metzler: The Social Cost of Automobility, Cycling and Walking in the European Union, *Ecological Economics* 2019/158 65-74 DOI: <https://doi.org/gf8zfw>
- [2] Stephanie A.Schauder - Mark C.Foley: The relationship between active transportation and health, *Journal of Transport & Health* 2015/2(3) 343-349 DOI: <https://doi.org/gf24b4>
- [3] Natalie Mueller - David Rojas-Rueda - Tom Cole-Hunter - Audrey de Nazelle - Evi Dons - Regine Gerike - Thomas Götschi - Luc Int Panis - Sonja Kahlmeier - Mark Nieuwenhuijsen: Health impact assessment of active transportation: A systematic review, *Preventive Medicine* 2015/76 103-114 DOI: <https://doi.org/f7kk2s>
- [4] Európai Bizottság: Fehér Könyv- Útiterv az egységes európai közlekedési térség megvalósításához – Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé, Brüsszel, 2011
- [5] Innovációs és Technológiai Minisztérium - Belügyminisztérium: Közúti Közlekedésbiztonsági Akcióprogram 2020-2022, Budapest, 2020
- [6] Magyarország Kormánya: 1997. évi XLVII. törvény az egészségügyi és a hozzájuk

- kapcsolódó személyes adatok kezeléséről és védelméről, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99700047.tv> (2021. 04. 29.)
- [7] Magyarország Kormánya: 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet a közúti közlekedés szabályairól, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=97500001.kpm> (2021.04.29.)
- [8] Magyarország Kormánya: Az emberi erőforrások minisztere 44/2018 (XII.19.) EMMI rendelete egyes, a sürgősségi ellátást érintő miniszteri rendeletek módosításáról, Magyar Közlöny 2018/205 35473-35478



Investigation of the underreporting of people injured in bicycle accidents, based on hospital data



Untersuchung der Untererfassung von Verletzten bei Fahrradunfällen, aufgrund von Krankenhausdaten



KEDVES OLVASÓ!

**KÉRJÜK, HOGY 2022-RE IS FIZESSEN ELŐ
A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLÉRE.**

Támogatóink



Innovációs és Technológiai
Minisztérium

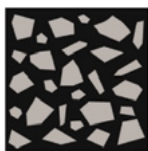


FÜMTERV



STADLER

Stadler Trains Magyarország Kft.



EUROASFALT
ÉPÍTŐ ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT.

HungaroControl

Magyar Légiforgalmi Szolgálat

KÖZLEKEDÉS
FŐVÁROSI TERVEZŐ IRODA KFT.



NEMZETI
ÚTDÍJFIZETÉSI
SZOLGÁLTATÓ ZRT.

