LXIV. ÉVFOLYAM 5. SZÁM
2014. OKTÓBER

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE

A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVA 1951-BEN

ÚJ SZÉCHENYI TERV

A közúti TEN-T hálózat műszaki szabályozásának kialakítása a Közutak tervezése (KTSZ) Útügyi Műszaki Előírás és kapcsolódó előírások felülvizsgálatával.

2014 augusztusában elindult a közúti TEN-T hálózat műszaki szabályozásának megújítási folyamata, melynek köszönhetően - a Közutak tervezése és a hozzá szorosan kapcsolódó útügyi műszaki előírások alapján - elkészül a szükséges jogszabály tervezet és eljárásrendi útmutató.
Az elmúlt 20 év gyakorlata szerint az útügyi műszaki előírásokat az e célból 1994-ben létrejött Magyar Útügyi Társaság szakbizottságai dolgozzák ki. Az útügyi műszaki előírások alkalmazása a közlekedési infrastruktúra működtetés szinte teljes területén egységesen érvényesül, mind az állami és önkormányzati intézmények és szervezetek tevékenységében, mind a magánszféra kapcsolódó területein. A közúti szakma egyértelmű, általánosan követendő egységes szabályozást igényel, a jó minőségű, biztonságos, költséghatékony létesítmények előállítása, a közlekedésépítés és a közlekedési létesítmények magas szakmai színvonalú működtetése érdekében. A cél olyan javaslat kidolgozása, amely a jogi és a műszaki-gazdasági követelményeket egyidejűleg kielégíti. A jogszabály tervezet és eljárásrendi útmutató elkészítése során felhasználják a szabályozási rendszer eddigi szakmai tapasztalatait.

A projekt célja, hogy jogszabályi szinten kerüljenek meghatározásra azok az általános szabályozási elvek, feltételek, melyek alkalmazásával körülhatárolhatóak a közutak tervezésével, építésével, üzemeltetésével és fenntartásával kapcsolatos azon területek, amelyek – mint általánosan kötelező magatartási szabályt tartalmazó műszaki előírások – normatív, jogszabályi szabályozást igényelnek.

A projekt befejezése 2015 júniusában várható.

MAGYAR ÚTÜGYI TÁRSASÁG MAÚT 1994

MAGYARORSZÁG MEGÚJUL

A projekt Európai Unió támogatásával valósul meg.

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

Megjelenik kéthavonta
www.ktenet.hu

ALAPÍTOTTA:
a Közlekedéstudományi Egyesület

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG:
Kövesné Dr. Gilicze Éva elnök
Dr. Katona András főszerkesztő
Dr. Békési István
Berta Tamás
Bretz Gyula
György Tibor
Horváth Lajos
Dr. Iványi Árpád
Mészáros Tibor
Dr. Prileszky István
Szécsey István
Szűcs Lajos
Dr. Tánczos Lászlóné
Dr. Tóth János
Dr. Tóth László

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

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

FELELŐS KIADÓ:
Dr. Tóth János,
a Közlekedéstudományi Egyesület főtitkára

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

MEGBÍZOTT KIADÓ:
Press GT Kft.
1139 Budapest, Üteg 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 Közlekedéstudományi Szemlét vagy annak részleteit a Szerkesztőbizottság írásos engedélye nélkül bármilyen formában reprodukálni és közölni tilos.

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

A lap egyes számai megvásárolhatók a Közlekedéstudományi Egyesület Titkárságán (1066 Budapest, Teréz krt. 38. II. 235.),

TARTALOM

Dr. Tóth Géza – Dr. Kincses Áron
Gravitációs analógián alapuló elérhetőségi modellek: elmélet és gyakorlat (1. rész) 4

Péter Tamás – Szauter Ferenc – Bokor József
A közúti közlekedés forgalmi folyamatainak komplex analízise 18

Dr. Bécsi Tamás – Dr. Tettamanti Tamás – Dr. Varga István
A közúti forgalom becslésére felhasználható mérési adatok és együttes alkalmazhatóságuk 29

Bánfi Miklós Gábor – Török Ádám
A vasúti áruszállítás problémái a mai selyemúton 43

Könyvajánló 50

Melléklet
Közlekedésbiztonság – Közlekedési környezetvédelem

Dr. Jankó Domokos
Kedvezőtlen tendenciák Budapest közúti baleseti helyzetében (2013) 53

Bite Pálné dr. Pálffy Mária – Nagy Dániel Szilveszter – Bite Pál Zoltán
A zajárnyékoló falak zajcsökkentő hatásának fokozási lehetőségei 63

Tisztelt Olvasó!
A Közlekedéstudományi Szemle 2013-tól már nem csak nyomtatott, hanem digitális változatban is olvasható. A **www.dimag.hu** portálon kiválasztható az az eszköz – Pc, tablet, „okos telefon" – amire a lapot le szeretné tölteni, előfizetésre pedig bankkártyás fizetéssel van lehetőség. A digitális változat előfizetési díja 8280 Ft helyett csak 6000 Ft évente, KTE egyéni tagnak 4140 Ft. Az előfizetőknek a portál automatikusan jelzi az új lapszám megjelenését. Valamennyi letöltött lapszám tartalma a továbbiakban egy helyen, az Ön által használt elektronikus eszközre optimalizálva lesz elérhető az Ön számára! Várjuk Önt is digitális számaink előfizetői között!
Üdvözlettel:

A Szerkesztőbizottság

Gravitációs analógián alapuló elérhetőségi modellek: elmélet és gyakorlat (1. rész)

Az elérhetőségi modellek leggyakrabban alkalmazott típusai gravitációs analógián alapulnak. Ezekben a modellekben a kutatók különböző típusú ellenállási tényezőket használnak, de mélyebben ritkán indokolják meg azt, hogy miért éppen az adott típust választották a konkrét kutatáshoz. A tanulmányban összegyűjtötték a leggyakrabban használt modelleket, ellenállási tényezőket megvilágítva a használhatóságuk lehetőségeit és korlátait konkrét magyarországi példákon keresztül.

DR. TÓTH GÉZA[1] – DR. KINCSES ÁRON

Központi Statisztikai Hivatal
Területi Statisztika folyóirat
főszerkesztője
e-mail: Geza.Toth@ksh.hu

Központi Statisztikai Hivatal
főosztályvezető
e-mail: aron.kincses@ksh.hu

1. GRAVITÁCIÓS ANALÓGIÁN ALAPULÓ MODELLEK

A gravitációs analógián alapuló modellek kétségtelenül a leggyakrabban használatos elérhetőségi modellek a szakirodalomban [17, 20, 12, 3, 4, 30, 15, 30, 26]. Ezek a modellek megkísérlik figyelembe venni az utazók viselkedését meghatározó szempontokat is. (Így tehát az utazó bármely elérhető célpontot választhatja, s a célpontok választásának valószínűsége valamilyen formában belekerül a modellbe.) A gravitációs analógián alapuló modellek egyik leggyakrabban használt típusát jelentik a potenciálmodellek. A potenciálmodellek – diszjunkt, teljesen lefedett területi felosztások kialakítása után – az *i.* terület elérhetőségi lehetőségeit becslik az összes további terület viszonylatában, amelyek közül a kisebb tömegű, illetve távolabbi lehetőségek csökkenő hatással rendelkeznek [12].

A tanulmány célja, hogy bemutassa a különböző modellek konstansainak számítási hátterét. Az eredményül kapott konstansok segítségével több elérhetőségi modellt is kiszámítunk, majd az eredményeket szembesítjük a valós áramlási adatokkal. Fel kívánjuk hívni a figyelmet arra, hogy egy-egy modell választása mögött milyen a módszertani háttér, s ez mennyiben befolyásolja a belőle nyerhető eredményeket. Jelen tanulmányban ajánlásokat fogalmazunk meg az ellenállási tényezők alkalmazhatóságra és azok feltételeire vonatkozóan.

1.1. Elérhetőségi potenciálmodellek

Az elérhetőség definíciója véleményünk szerint a következő: „Az elérhetőség a területfelhasználási és közlekedési rendszernek a társadalomban betöltött azon szerepére kell vonatkozzon, ami egyének és csoportok számára lehetővé teszi, hogy részt vegyenek a különböző helyszíneken folyó tevékenységekben." [13 p. 128.] Esetünkben az elérhetőséget a definícióból kiindulva úgy mérjük, hogy az társadalmi teret jellemző érték, amely megmutatja az egyes térségekben a területfelhasználási és közlekedési rendszerek

1 A tanulmány megírása során Tóth Géza munkáját az MTA Bolyai Kutatási Ösztöndíj támogatta.

térbeli kapcsolatrendszerének szorosságát. Ez az általános definíció sokkal inkább az elméleti megközelítések sajátja. A számításokhoz mindenképpen a valóságos terek leegyszerűsítésére, modellezésére van szükségünk. A modellből megkapott értékekkel leírjuk a valós térbeli egymásra hatásokat.

A potenciálmodellek általános potenciál alakja a következő (1. képlet):

$$A_i = \sum_j D_j \cdot F(c_{ij}), \qquad (1)$$

ahol A_i i terület elérhetősége, D_j az i-ből elérhető j terület tömege, c_{ij} i és j területek közötti általános utazási költség, $F(c_{ij})$ ellenállási tényező (függvény).

A téma legkorábbi előzményének a Hansen-féle [17] gravitációs modell tekinthető. Hansen [17 p. 73.] azt állította, hogy az elérhetőség „a népesség távolságon átnyúló kapcsolatrendszerének általánosítása." Az elérhető célok elérési potenciáljának koncepciója szoros kapcsolatban van a tömegek gravitációs modellen alapuló interakciójával.

Hansen modelljének általános képlete (2. képlet):

$$A_i = \sum_j \frac{W_j}{f(c_{ij};\beta)}, \qquad (2)$$

ahol A_i az i térség elérhetősége, W_j az utazók által elérhető „tömeg" függetlenül attól, hogy azt ténylegesen el kívánják-e érni, vagy sem, $f(c_{ij};\beta)$ az ellenállási tényező (az ellenállási tényező ilyen általános felírása arra utal, hogy a β lehet mind hatvány-, mind pedig szorzótényező is, amelyet az elemző dönt el), c_{ij} az i és j pontok közötti utazási költséget kifejező változó, β egy választott állandó.

A Hansen-féle modell még meglehetősen szorosan ragaszkodott a fizikából ismert gravitációs összefüggéshez, amely megnyilvánul abban is, hogy a képletben szereplő konstans a modell fizikai levezetéséből következően mindenképpen négyzet: β=2 (3. képlet) [5].

$$A_i = \sum_j \frac{W_j}{c_{ij}^{\beta}}, \qquad (3)$$

A gravitációs és a potenciálmodellek sok tekintetben összekapcsolódnak. A két modellben az a közös, hogy a lehetséges interakció nagysága két település, térség stb. között fordítottan arányos a közöttük levő távolság nagyságával. A másik hasonlóság pedig az, hogy a vizsgált településeken bármely személy (vagy egyéb tömegegység) azonos nagyságú interakciót generál. Így két település közötti interakció nagysága egyenesen arányos a választott „tömegnek" megfelelő településnagysággal, vagyis a vizsgálati egységek „tömegének" növekedésével az interakció nagysága is nő.

A konstans (β) megválasztásának problémája a szakirodalomban több helyen is megjelenik, hiszen a társadalomtudományi analógiákban nem feltétlenül ragaszkodunk a fizikai gravitációs törvényben szereplő négyzetes hatványkitevőhöz. Amennyiben a konstans értéke nagyobb, mint 1, akkor azzal az elemző nagyobb súlyt ad a távolságoknak. Vannak viszont olyan vizsgálatok, ahol olyan infrastrukturális rendszereket modelleznek (például az intercity vonatok), amelyek inkább közepes távolságokon fejtik ki előnyüket, így ilyen esetben a konstans értéke 1 [22, 6]. Az ilyen típusú modellek előnyei közé sorolható a könnyű érthetőség, illetve számíthatóság. Azon mutatók közül, amelyek azzal, hogy valamennyi potenciálisan felmerülő elérhető célt figyelembe vesznek, reflektálnak az utazók viselkedési szempontjaira. Fontos pozitívumként emelhető ki az is, hogy az ilyen mutatók képesek az egyes elérhető lokalitások közötti különbségtételre is, azaz nem azonos súllyal veszik figyelembe a különböző lehetséges utazásokat. E modellek negatívuma ugyanakkor, hogy nagyon érzékenyek a határterületek megválasztására, s nem képesek azon utazókat kezelni, akiknek több utazási preferenciája van. Viszonylag nehéz az eredmények nagyságának, az egyes térségek számított potenciálértékei közötti különbségeknek az értelmezése is.

1.2. Az ellenállási tényező megválasztása

A távolságfüggés alkalmazását a társadalomföldrajzi vizsgálatokban elsősorban az indokolja, hogy a térbeli elkülönülés gátolja a külön-

böző térségek közötti együttműködést, amelyet ezért célszerű számszerűsíteni. A legegyszerűbb esetet természetesen a légvonalbeli távolságok használata jelenti. Elérhetőségi mutatók vonatkozásában viszont mindig valamilyen közlekedési mód segítségével való eljutás távolságát, költségét vagy eljutási idejét vesszük figyelembe. A két pont közt leküzdendő távolságot területi ellenállási tényezőnek nevezzük.

Az elérhetőségi potenciálmodell és a fizikai potenciálmodell alkalmazásában az egyik fő különbség az, hogy a fizikaival ellentétben a társadalmi tér jellemzően nem folytonos, hanem diszkrét. A társadalmi-gazdasági alakzatok (például a települések, városok) rendszerint a tér egy-egy kitüntetett pontjában koncentrálódnak, „tömegük" ehhez a ponthoz köthető. Mivel az ilyen tömegpontok nem töltik ki a teret, csak nehezen lehetne egy lehatárolt térrész (például egy ország) bármely pontjának potenciálértékét megadni (ami természetesen függ az összes többi pont hatásától) [31]. A tömegpontok különböző mértékű térbeli koncentrálódása eltérő jellemzőjű potenciálfelületeket indukál, amely azt a következményt rejti magában, hogy az egyes vizsgálatokban a pontok közötti távolságot, s így az ellenállási tényezőt más és más függvénnyel írhatjuk le. Vagyis a különböző térségekre, különböző területi szintekre, vagy azonos területi szinten, de eltérő számú tömegpontra végzett vizsgálatokban használt ellenállási tényező képlete más és más.

Az elérhetőségi vizsgálatokban az ellenállási tényező több formája is megjelenik. A korlátokat alkalmazó modellek esetében vagy csak meghatározott távolságon, időn vagy költségen belül elérhető célpontokat veszünk figyelembe, vagy lineáris ellenállási tényezőt használunk. A valamennyi elérhető célt és útvonalat vizsgáló modellek között már jelentős különbségeket láthatunk az ellenállási tényező megválasztásában. A modellek az adott „tömegek" közötti távolságokat is különbözőképpen veszik figyelembe. Több olyan megközelítés is ismert, amikor a távolság reciprokát, illetve annak valamely hatványát alkalmazzák a kutatók [17, 10, 8]. Ezen belül a „leghétköznapibb" megoldásnak a lineáris ellenállási tényezőt (a potenciál képletében, a nevezőben a távolság az első hatványon szerepel) alkalmazó modellek tekinthetők, ekkor ugyanis az elérési időn, költségen semmiféle matematikai módosítást sem végzünk. A gravitációs analógiához szorosan ragaszkodó modellekben – mint azt már jeleztük, a modell fizikai eredetéből következően – leggyakrabban a távolság, idő, költség négyzetét szokták alkalmazni. Ez azonban egyáltalán nem kőbe vésett szabály, így a gravitációs analógián alapuló modelleknél előfordulnak más hatványértékek is. Szerepük ez esetben nem más, mint az, hogy a különböző távolságra fekvő elérhető célpontok elérésének valószínűségét számszerűsítsék a modellben. Lényegében ennek a célnak a pontosítása érdekében használják a kutatók az exponenciális ellenállási tényezőt alkalmazó modelleket [28, 27, 9, 24]. Ismertek továbbá gaussi [20, 16], illetve log-logisztikus [1, 18] ellenállási tényezőt alkalmazó modellek is. Van példa egyes alaptípusok további módosítására is, de ezzel részletesen nem foglalkozunk [25].

Egyes kutatók az elérési mátrix (az összes vizsgált területegység közötti páronkénti elérési költségek vagy idők az elemei) elemeit idő/költség intervallumokba sorolták [28], s azt figyelték meg, hogy a gyakoriságok és az átlag idő/költség közötti kapcsolat leginkább exponenciális regressziós függvénnyel írható le. E modellek tehát abból a feltételezésből indulnak ki, hogy a vizsgálati területen belül a távolság/idő/költség növekedésével az egyes célpontok gyakoriságának valószínűsége exponenciálisan csökken, amely vélhetően hat a potenciális utazási lehetőségek számára is. Ez alapján a legcélszerűbb kitevő (4. képlet):

$$e^{-\beta c_{ij}}, \qquad (4)$$

ahol c_{ij} i és j pontok közötti utazási költség (idő), β konstans. A β a vizsgált térelrendeződés állandója, amelyet minden egyes új térstruktúra vizsgálatakor meg kell határozni! Ennek az az oka, hogy különböző területi szintek, illetve eltérő célponti kör vizsgálatakor a gyakoriságok és az átlagidők/költség közötti kapcsolat mindig más és más függvénygörbével írható le. E a konstansnak pedig éppen az a jelentősége, hogy kapcsolatot teremt az egyedi térrészek

potenciál-hozzájárulása és az egész tér között. (A konstans meghatározásának problémájára a későbbiekben részletesebben is kitérünk.)

Az exponenciális regressziós kutatásokban, bizonyos térstruktúrák vizsgálatakor, célszerű még kedvezőbb illeszkedést elérni, hogy az egyes célterületek elérésének valószínűségét még pontosabban tudjuk meghatározni. Ennek érdekében érdemes használni az exponenciális ellenállási tényezőkben a Box-Cox [2] transzformációt, amely a regresszió reziduáljait egységesíti (homoszkedasztikussá teszi), a normál eloszláshoz közelítve alakítja. Az e_i hibákról nemcsak azt szokták feltételezni, hogy várható értékük 0, hanem azt is, hogy szórásuk a kialakított csoportokban megegyezik. Ez az úgynevezett *homoszkedasztikus* eset. Ha ugyanis a mérési hibák x változó mentén változnak (*heteroszkedasztikus* eset), a fellépő nagy eltérések (azok négyzetei) aránytalanul eltorzítják a szélsőértékek helyét, ezzel a paraméterek értékét, így pedig a regressziós vagy más modellek eredményei nem konzisztensek a valósággal. Amikor a homoszkedasztikus feltétel teljesül, a regressziós egyenes vagy hipersík minden pontján azonos szórású reziduálisok találhatók (5. képlet).

$$\mathrm{var}(\varepsilon_i) = \sigma^2 \quad \forall \quad i \in N^+ \qquad (5)$$

A Box-Cox transzformáció az értékeket megváltoztatja, de a köztük lévő sorrendet nem. A Box-Cox ellenállási tényező felhasználására jó példát nyújt Willigers, Floor és van Wee [32] tanulmánya.

Ingram [20] mutatta ki, hogy a valós adatokkal összehasonlítva az egyes transzformált ellenállási tényezők értékei az origótól távolodva túlságosan gyorsan csökkennek. Éppen ezért javasolta a módosított gaussi ellenállási tényezőt, amely az origóhoz közel lassú csökkenést mutat, és a csökkenés mértéke kisebb az exponenciális és a négyzetes ellenállási tényezőknél tapasztalhatónál. A gaussi ellenállási tényező a függvény simító jellege (konvex-konkáv alakja) miatt válik alkalmassá a tapasztalati eredmények alapján a térbeli jelenségek megismerésére és például a népesség mozgásának vizsgálatára (6. képlet) [14].

$$f(d_{ij}) = 100 * e^{\frac{-d^2}{u}} \qquad (6)$$

A valószínűségszámításban és a statisztikában a log-logisztikus eloszlás (a közgazdaságtanban Fisk-eloszlás) egy folytonos, nem negatív változó eloszlási valószínűségét mutatja. Olyan területeken használják, ahol a változó valószínűsége kezdetben magas, majd fokozatosan csökken. A logisztikus eloszlás olyan véletlenszerű változó valószínűségi eloszlása, amely logaritmusának logisztikus eloszlása van. A log-logisztikus modellek a logisztikus eloszlást veszik alapul. A log-logisztikus eloszlás a várható érték körül szimmetrikus, viszont a lognormálistól nagyobb varianciával jellemezhető (mivel a várható értékre számított) (7. képlet).

$$f(d_{ij}) = 1 + e^{a + b * \ln d} \qquad (7)$$

1.3. Saját potenciál

A potenciálmodellekkel kapcsolatos szakirodalom már régóta foglalkozik a saját potenciál fogalmával [11, 3]. Ennek jelentősége, hogy a vizsgált térben a helyfüggő potenciál mértéke a tér adott pontjában nem csupán attól függ, hogy tőle milyen távolságra, mekkora tömegek helyezkednek el, hanem attól is, hogy az adott pont mekkora erőteret képes maga körül gerjeszteni. A potenciálvizsgálatokban érdemes különválasztanunk továbbá a belső és a külső potenciált is [23], amely elválasztás a szorosan vett vizsgálati terület és az azt kívülről befolyásoló tér erejének megkülönböztetéséből fakad. Adott pont teljes potenciálját tehát végső soron három tényező: a saját, a belső és a külső potenciál összegzéséből számítjuk.

Elérhetőségi vizsgálatokban is fontos a saját potenciál figyelembevétele. Egy térség saját potenciáljának kiszámításakor ugyanis azt tételezzük fel, hogy nem csupán az egyik területegységből a másikba történő szállítás jelenthet elérhetőségjavító tényezőt, hanem az egyes térségeken/településeken belüli is. Vagyis megállapíthatjuk, hogy egy-egy terméket/szolgáltatást nem szükséges másik térségbe szállítani, ha azt az adott térségen belül is értékesíthetjük. A saját

potenciál szerepének figyelmen kívül hagyása például települési szintű vizsgálat esetén járhatna félrevezető eredménnyel. Könnyen belátható ugyanis, hogy ilyen esetben az agglomerációk, településegyüttesek központi településeinek elérhetősége minden esetben alacsonyabb lenne, mint az agglomeráció további településeié.

A saját potenciál meghatározásánál – más potenciálvizsgálatokhoz hasonlóan – általában az adott térség területéből indulunk ki (lehetőleg nem a közigazgatási, hanem a belterületet figyelembe véve). Az általánosan használt eljárások szerint a területet körnek tekintve kiszámítjuk az egyes térséghez tartozó sugarat, amelyet arányosnak tekintünk az egyes településeken belüli közúti távolságokkal, így azt saját távolságnak is nevezzük. A légvonalbeli távolsággal operáló modellekben ezt a távolságot használjuk, míg a hálózati távolságot alkalmazókban ezt a távolságot valamilyen átlagsebesség/költség stb. segítségével átszámítjuk, s behelyettesítjük a képletbe. A saját potenciál számításával kapcsolatos eljárások között a különbség leginkább annyi, hogy a sugárérték hogyan és milyen szempont szerint van súlyozva [31]. Ezzel a vizsgálatot végző szempontjai alapján jobban kiemelhető, vagy a potenciálfelületbe jobban belesimulóvá tehető egy-egy hatóközpont szerepe.

Tagai [47] összegzéséből tudható továbbá, hogy van olyan kutató, aki a sugár nagyságával megegyező távolságot alkalmaz, mivel az jól közelíti a területen belüli átlagtávolság értékét. A legelterjedtebb alkalmazási mód a sugár harmadával számolt saját potenciál kalkuláció. Ennek magyarázata is a tömegeloszlás valószínűségének meghatározásával áll összefüggésben. Vannak viszont, akik hasonló következtetésekből jutottak más eredményre és a sugár kétharmadát tekintik a leginkább elfogadható önmagától vett hozzávetőleges távolságértékként.

Magunk részéről úgy véljük, a sugár bármilyen módon történő változtatása önkényes, s mint ilyen, nehezen indokolható. Ezért jelen tanulmányban mindig a sugár egészét vesszük figyelembe a saját potenciál számításakor. Természetesen, amennyiben településeken belüli adatokkal is rendelkeznénk, úgy a különböző elképzelések szembesíthetőek lennének a tényekkel, bár itt is igaz lenne, hogy más-más településtípushoz más-más modell állhat a legközelebb.

1.4. Az összpotenciál

Az elérhetőségi vizsgálatokban a vizsgálati teret általában úgy igyekeznek megválasztani, hogy az nagyobb legyen a szűken vett vizsgálati területnél, s így a külső potenciál hatásától eltekintenek. A helyfüggő elérhetőségi potenciál ilyenkor a saját és a belső összegéből számítódik (8. képlet):

$$\sum A_i = SA_i + BA_i \qquad (8)$$

ahol ΣA_i az i térség összes elérhetőségi potenciálja, SA_i a saját, BA_i pedig a belső potenciál. Van olyan megközelítés is, amely a vizsgálati területen kívüli, úgynevezett külső potenciált is figyelembe veszi. A jelen tanulmányban szereplő vizsgálatokban viszont módszertani okokból ezt – a kistérségi szinten – nem tudtuk kiszámítani, így nem vizsgáljuk. Ez a vizsgálat eredményét némileg természetesen befolyásolja, de az alapvető összefüggések feltárását nem lehetetleníti el. Leginkább a perifériákon érezhető ez a hatás.

Munkánkban csak a gravitációs analógián alapuló modellek esetén vizsgáljuk az ellenállási tényező, valamint a valósággal való szembesítés kérdését.

2. KONSTANSOK MEGHATÁROZÁSA AZ ELÉRHETŐSÉGI MODELLEKBEN

Az elérhetőségi szakirodalomban a képletek bemutatásánál gyakran nem térnek ki külön az azokban alkalmazott konstansok kiszámításának módjára, így csak nagy nehézség árán lehet a kutatás eredményét értelmezni, illetve a kutatást rekonstruálni. A következő rész ezért részletesen taglalja a jelzett konstansok mögötti elméleti hátteret, illetve számítási módjukat.

Az elérhetőséget úgy értelmezzük, hogy az egy-egy térbeli hely megközelítésének lehe-

tőségét számszerűsíti az utazásban résztvevő szemszögéből, az ő (háztartás, vállalkozás) lehetőségei és céljai, illetve az elérni kívánt hely által számára nyújtott szolgáltatások, valamint a mozgás térbeli összefüggésrendszere viszonylatában. A definíció egyes összetevőit – megítélésünk szerint – a gravitációs analógián alapuló modellek úgy igyekeznek megfogni, hogy *A* pontból *B* pontba tartó potenciális utazások számát négy tényező határozza meg, úgymint az elérni kívánt cél tömege, az elérni kívánt cél távolsága, a vizsgálati terület térszerkezete és a véletlen szerepe. E tényezők közül három modellezhető, míg az utolsóra ugyan lehet következtetéseket levonni, de alapvetően nehezen jelezhető előre.

Nem lehet azt állítani, hogy a fele olyan távolságban levő pontba tartó utazások száma kétszer annyi, mint az azonos távolságra levő célpontoknál, vagy ehhez hasonlóan a háromszoros tömeggel jellemzett célpontot éppen háromszor annyian keresik fel, mint az azonos tömegű célpontot. A modellezés viszont mégis elvégezhető. Ennek során az utazás potenciális lehetőségét igyekszünk számszerűsíteni. A potenciál kiszámítása az első három tényező függvénye jelen esetben: az elérni kívánt cél tömegéé, a célpont távolságáé és a térszerkezeté. Az előző két tényező valamennyi potenciálmodell sajátja, a konstanst alkalmazó modellekben viszont utóbbit kívánjuk függvényekkel leírni. Az alkalmazott függvényekkel (exponenciális, Box-Cox transzformációval módosított exponenciális függvény, Gauss-függvény) a térszerkezet szerepe különböző módon jut érvényre a területek potenciál-értékeiben, a földrajzi távolságokra más-más érzékenységgel épülnek be a modelljeinkbe. Az ellenállási tényezőkben szereplő matematikai függvények konstansait az adott vizsgálati térben megnyilvánuló elérési távolság gyakoriságok alapján határozzuk meg [28 p. 184].

Térjünk át a konkrét számításra. A potenciál képletében szereplő első tag a saját potenciál, míg a többi a belső potenciál hozzájárulása az összpotenciálhoz. A képlet a tetszőleges területi szinten – például település, kistérség, megye, régió – értelmezhető. Vizsgáljuk meg a fenti képlet szerkezetét, és határozzuk meg a β konstans értékét!

A helyfüggő potenciál értéke a tér egy *j* pontjában, illetve egy *j* tértartományban (9. képlet) (előzményként lásd a 1., 4. és 8. képleteket):

$$A_i = W_i \cdot e^{-\beta \cdot c_{ii}} + \sum_{i \neq j} W_j \cdot e^{-\beta \cdot c_{ij}} = \frac{W_i}{e^{\beta \cdot c_{ii}}} + \sum_{i \neq j} \frac{W_j}{e^{\beta \cdot c_{ij}}} \quad (9)$$

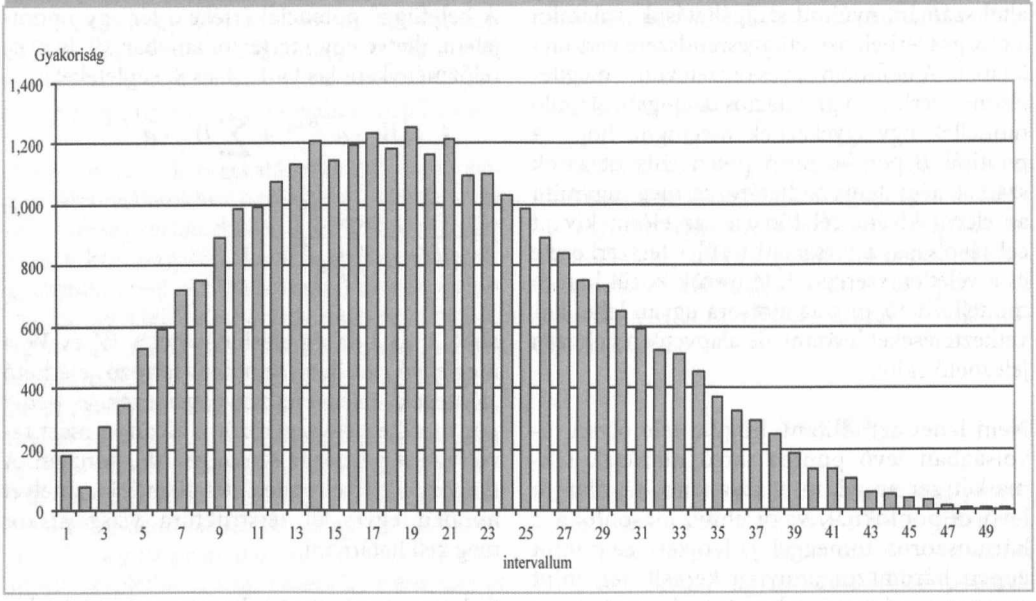
ahol A_i az *i* térség elérhetősége, a W_i és W_j a megfelelő területi szinthez tartozó elérhető „tömegek", jelen esetben népességek, c_{ij} pedig *i* és *j* területi egység közötti, közúton mért távolság megtételéhez szükséges idő, percben. A β a vizsgált térelrendeződés állandója, amelyet minden egyes új térstruktúra vizsgálatakor meg kell határozni.

Érdemes megjegyezni, hogy a potenciál jelen definíciója lineáris szuperpozíciót feltételez a különböző tagok között, azaz az egyes hatások között nincsen interakció, nem erősítik, gyengítik egymást, hanem egyszerűen összeadódnak. Analógiákat keresve ilyen a gravitációs, az elektromos vagy a mágneses tér is, de például a húrelméletből ismert interferenciatagokkal ez a definíció nem számol.

A 174 kistérség esetén tekintsük az összes szóba jöhető párhoz tartozó közúton számított elérési időket! Az adatokat egy 174*174-es mátrixban helyezhetjük el. Az elérési időben (perc) kapott adatainkat sorba rendezhetjük. Soroljuk az értékeinket intervallumokba, törekedve arra, hogy egyetlen intervallumba se jusson nagyon kevés előfordulás, de ne legyen kevés intervallum sem, mert ez megakadályozná az értékek eloszlásának vizsgálatát. Vizsgálatunkban – egyenlő osztályközökkel – ötven intervallumba soroltuk az elérési időket.

Tekintsünk egy időintervallumokat tartalmazó Φ halmazt, amely az összes kistérség közötti időpárokat tartalmazza percekben. $\forall \chi \in \Phi : \chi \in (0;429{,}17)$. A 429,17 perc a 174*174-es mátrix legnagyobb eleme, vagyis ez a két

1. ábra: Elérhetőségi idő gyakoriságok



kistérségközpont közötti legnagyobb távolság közúton, percben mérve. Jelen vizsgálatunkban elméleti elérési időkkel számoltunk, vagyis az elérési időket csak a közút típusának megfelelő sebességhatár befolyásolta, a forgalom és más tényezők nem.

Osszuk fel az intervallumunkat ötven egyenlő részre. Az *i*-edik intervallum az (i*8,58; (i+1)*8,58)) időket tartalmazza, ahol i=1, 2, ….,50, azaz a 429 perces maximális „kistérségközi" távolság 50 egyenlő részre osztása 8,58 perces intervallumokat eredményez. Nézzük meg, hogy hány elemünk kerül a Φ halmazból az 1., 2., … 50. intervallumba!

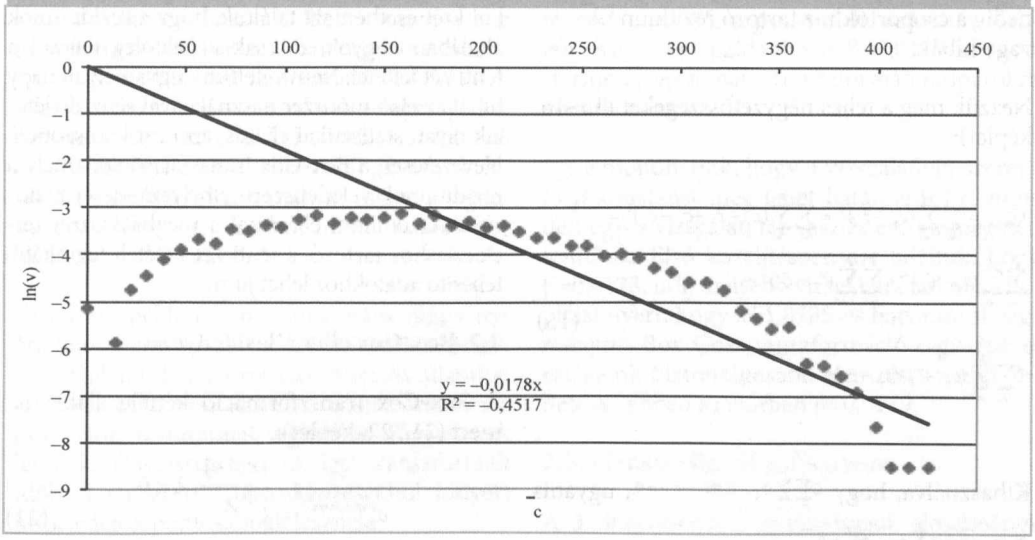
Függvényszerű kapcsolatot keresünk az időintervallumok gyakorisága, és az átlagidők között (1. ábra). Azért van függvényre szükség, hogy ezzel modellezni tudjuk a távolságok növekedésével az utazási gyakoriságokat, amely lényegében jelen esetben az utazás valószínűségét jelenti. A cél ugyan elméletileg az lenne, hogy a gyakoriságokhoz a legjobban illeszkedő függvényt találjuk meg, mert ez adhatná a „valósághoz" legjobban illeszkedő potenciálmodellt. Viszont – mint a fizikai analógián alapuló modellek esetében sok esetben megfigyelhető – az emberi viselkedés (jelen esetben az utazás) modellekkel csak igen nehezen leírható, s egyáltalán nem biztos, hogy a legjobb illeszkedésű modell adja a legjobb eredményt. Sőt, lehet olyan helyzet is, amikor az időintervallumok gyakoriságára az adott modell meglehetősen gyengén illeszkedik, az ez alapján számított konstanst felhasználó modell viszont a legjobb eredményt adja.

A polinomiális közelítés lenne első látásra a kézenfekvő választás, azonban az eredményeink interpretálása nehézségekbe ütközne. Az alkalmazása azért lenne indokolt, mert a gyakoriságok ingadozást mutatnak. Ez természetesen mintánként változhatna. Emellett problémát jelenthet az is, hogy nehéz lenne értelmezni a távolságok növekedésével a gyakoriságok nagyságát. Ez talán az exponenciális függvény esetében a legkézenfekvőbb, hiszen itt azt mondhatjuk, hogy a távolságok növekedésével az intervallum gyakoriságok nagysága exponenciálisan csökken.

2.1. Exponenciális ellenállási tényező

Nézzük is meg első megközelítésben ezért azt a verziót, amikor az egyes intervallumokba eső kistérségközi elérési idők gyakorisága és az in-

2. ábra: A gyakoriság természetes alapú logaritmusa az átlagidők függvényében



tervallumközepek percben kifejezett értéke között exponenciális kapcsolatot keresünk:

$$v_i \approx e^{-\bar{c}_i} \tag{10}$$

azaz (10. képlet), az egyes intervallumokba eső kistérség-közi elérési idők gyakorisága és az intervallumközepek percben kifejezett értékének exponenciális hatványa feltételezésünk szerint arányos egymással. A β konstans teremti meg az egzakt összefüggést az átlagidők és gyakoriságok között (11. képlet):

$$v_1 = e^{-\beta \bar{c}_1} \tag{11}$$

ahol v a gyakoriságok, $\bar{c}$ az átlagidők. Így minden egyes hasonló vizsgálat során ellenőrizni kell a fenti exponenciális kapcsolat meglétét, és ki kell számolni a konkrét kapcsolatot teremtő konstans értékét is.

A fenti képlet egy regressziós kapcsolatra utal, és éppen azt a β-t keressük, amely összességében a legjobban megközelíti az egyenleteket. Az egyenletet átrendezve a

$$\ln v_i = -\beta c_i \tag{12}$$

összefüggést kapjuk (12. képlet).

A gyakoriság természetes alapú logaritmusát az átlagidők függvényében ábrázolva (a gyakoriságokat normálva) lineáris regresszióval dönthetünk β értékéről. Vizsgálatunkban megköveteltük azt a normálási kritériumot, hogy az illesztett egyenesünk átmenjen az origón, azaz a nulla átlagidőhöz tartozó normált gyakoriság 1 legyen. Számításainkból β=0,0178, 45,17%-os megbízhatósággal.

A fent leírt módszert az első, közelítő megoldásnak tekintettük. Az ismertetett metódus során ugyanis nem vettük figyelembe az elérési idők alapján képzett csoportokra bontások után létrejöhető statisztikai hibákat. Ugyanis a különböző kistérségpárok közötti eljutási idők csoportokba sorolása esetén csak a csoportok közötti külső szórásokkal, különbségekkel foglalkoztunk. Tekintsük a következőket:
Legyen c_{ij} (jelen esetben ez nem i és j terület közötti utazási idő!) az i-edik sokaságból (intervallumból) származó j-edik érték. (i=1, 2, 3, …, 50; j=1, 2, …, pi). Ekkor Φ tetszőleges halmazeleme felírható az alábbi alakban:

$$c_{ij} = \bar{c}_{i.} + e_{ij} \tag{13}$$

ahol $\bar{c}_i$ az i-edik csoport átlaga, azaz (13. képlet):

$$\bar{c}_{i.} = \frac{1}{p_i} \sum_{j=1}^{p_i} c_{ij} \text{ , } e_{ij}\text{-k} \qquad (14)$$

pedig a csoportokhoz tartozó reziduumok vagy hibák.

Nézzük meg a teljes négyzetösszegeket (15–16. képlet):

$$Q^2_{teljes} = \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{p_i}(c_{ij} - \bar{c}_{..})^2 = \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{p_i}(c_{ij} - \bar{c}_{i.} + \bar{c}_{i.} - \bar{c}_{..})^2 =$$

$$\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{p_i}(c_{ij} - \bar{c}_{i.})^2 + \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{p_i}(\bar{c}_{i.} - \bar{c}_{..})^2 + \qquad (15)$$

$$2\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{p_i}(c_{ij} - \bar{c}_{i.})(\bar{c}_{i.} - \bar{c}_{..})$$

Kihasználva, hogy $2\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{p_i}(c_{ij} - \bar{c}_{i.})(\bar{c}_{i.} - \bar{c}_{..}) = 0$, ugyanis $\sum_{j=1}^{p_i}(c_{ij} - \bar{c}_{i.}) = \sum_{j=1}^{p_i} c_{ij} - p_i\bar{c}_{i.} = 0$

Tehát $Q^2_{teljes} = Q^2_{belső} + Q^2_{külső}$. (16).

Ahol (17–19. képlet):

$$Q^2_{belső} = \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{p_i}(c_{ij} - \bar{c}_{i.})^2 \qquad (17)$$

$$Q^2_{külső} = \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{p_i}(\bar{c}_{i.} - \bar{c}_{..})^2 \text{ , illetve} \qquad (18)$$

$$\bar{c}_{..} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{p_i} c_{ij} \qquad (19)$$

Ez a szórására is teljesül:

$$\sigma^2_{teljes} = \sigma^2_{belső} + \sigma^2_{külső} \qquad (20)$$

ahol: $\sigma^2_{belső}$ a kialakított csoportokon belüli szórások négyzete, $\sigma^2_{külső}$ a csoportok közötti, külső szórások négyzete.

Tehát a jelenség leírása abban a formában, ahogy az első részben tettük, azaz a külső szórásokkal és a csoportok közötti változókkal csak akkor pontos, ha a fentebb bevezetett $c_{ij}=\bar{c}_i+e_{ij}$ összefüggésben szereplő e_{ij}-kre teljesül, hogy:

1. várható értékük minden csoportra zérus,
2. a csoportokra nézve egyforma szórásúak, azaz homoszkedasztikusak.

Ha ezek nem teljesülnek, akkor a kapott eredmények az osztályokba sorolásoktól függően mások lesznek, alkalmatlanok arra, hogy a valóságról alkossunk képet. A fenti, kistérségekre vonatkozó konkrét esetben azt találtuk, hogy a reziduumok általában nagyok, és csak közelítőleg teljesül a fenti két feltétel. Nem vétettünk ugyan olyan nagy hibát az első módszer használatával sem, de létezik olyan statisztikai eljárás, ami ezt kiküszöböli. Nevezetesen a Box-Cox transzformáció, amely a reziduumok véletlenszerű elhelyezkedését biztosítja. Az említett eljárással a meghatározott téreloszláshoz tartozó, a fenti két feltételt leginkább teljesítő adatokhoz lehet jutni.

2.2. Box-Cox ellenállási tényező

A Box-Cox transzformáció kétféle alakja ismert (21., 22. képlet):

$$c_{ij}^{transzformált} = \begin{cases} \dfrac{c_{ij}^{\lambda} - 1}{\lambda}, \lambda \neq 0 \\ \ln(c_{ij}), \lambda = 0 \end{cases} \qquad (21)$$

$$c_{ij}^{transzformált} = c_{ij}^{\lambda} \qquad (22)$$

Az átalakítás megköveteli, hogy $C_{ij}>0$, amely feltétel a percekben mért elérési időkre teljesül.

Lényegében a $\lambda>0$ megkötéssel elérhetjük mindkét esetben, hogy a transzformációnk reláció-invariáns legyen, azaz ez a transzformáció az értékeket megváltoztatja, de a közöttük lévő sorrendet nem. Mindkét definíció hasonló eredményre vezet. Válasszuk az utóbbit! Tehát keressük azt a λ értéket, amelyre a leginkább teljesül az adott vizsgálat során a különbségek véletlenszerű eloszlása. Vizsgálatainkban a SAS 8.2-es verziószámú szoftvere volt segítségünkre, ezen belül is a transreg eljárás (proc transreg). Ez a program az összes szóba jöhető λ értékre nagyon kicsi osztályközökkel kiszámolja a transzformált időinket, és ezekhez az időkhöz tartozó loglikelihood függvényt. A maximum likelihood becslés lényegében egy pontbecslés, ahol azokat a paramétereket tekintjük becslésnek, amelyekre a megfigyelésvektor együttes eloszlásfüggvénye maximális. A loglikelihood függvény (23. képlet):

$$\log L(c_{ij}, f_k, \lambda) = F(c_{ij}, \lambda) \cdot F(f_k, \lambda) \quad (23)$$

A maximum likelihood becslés előnye, hogy aszimptotikusan hatásos, illetve amennyiben nem adható meg zárt alakban, úgy az numerikus maximalizálással felderíthető (esetünkben is ez a helyzet). Más szavakkal a sokasági paramétert azzal az értékkel becsüljük, amelyik paraméter értékre a likelihood függvény felveszi maximumát, azaz annak az esélye a legnagyobb, hogy a megvalósult mintát kapjuk egy mintavétel alkalmával.

Kistérségi példánkban a maximális függvényértékhez tartozó λ-ra λ=1,07085 érték adódott. Így megkaptuk azt a transzformációs állandót, amellyel az elérési időinket transzformálva a csoportok reziduumai leginkább függetlenek lesznek. Összességében az így transzformált időkkel elvégzett csoportképzésekből kinyert információk pontosabbak lesznek.

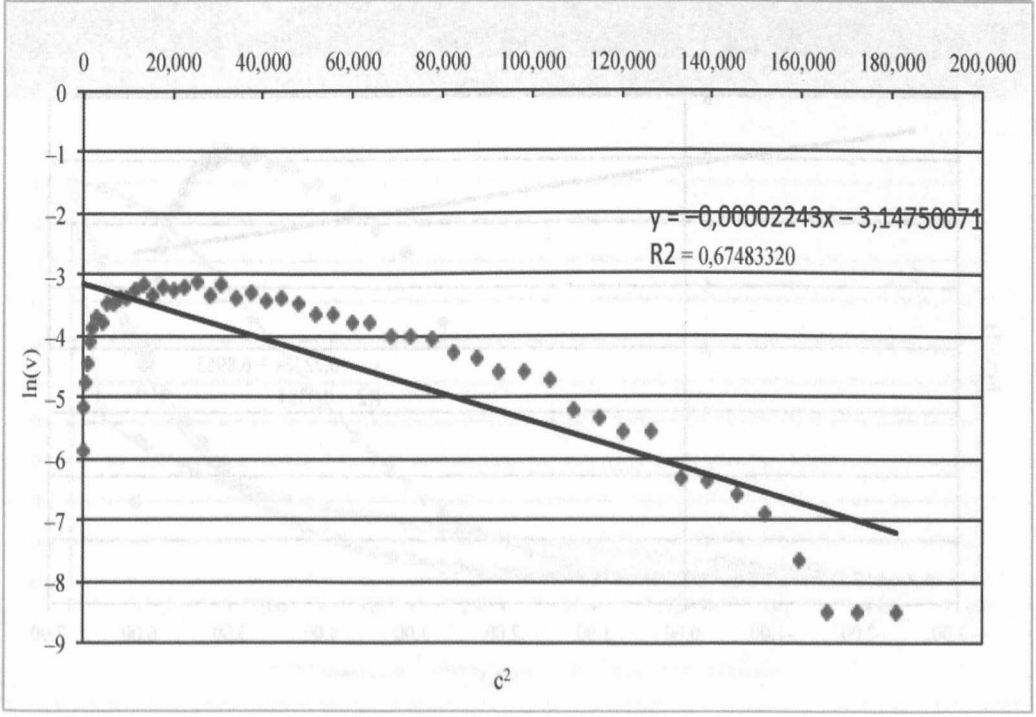
Transzformált változóink esetén az ötven intervallum határait is hasonlóképpen transzformálva ugyanolyan exponenciális görbét kapunk. Újra meghatározhattuk csoportjaink átlagidejét, és regresszióval dönthettünk β értékéről az előző, exponenciális számítás alapján. Kistérségi példánkban β=0,0119 adódott (természetesen már a transzformált időpárokra vonatkozóan).

Így elmondhatjuk, hogy a vizsgálatban szereplő β konstanst meg lehet határozni. Ezt minden egyes vizsgálat, téreloszlás esetén meg kell tennünk. Első közelítésben azt találtuk, hogy β=0,0178, míg mélyebb vizsgálatokkal megállapítást nyert, hogy λ=1,0785-es hatvánnyal végrehajtott Box-Cox transzformáció segítségével értékeink biztonságosabb elemzést tesznek lehetővé. Ebben az esetben β=0,0119.

2.3. Gaussi ellenállási tényező

A 3. ábra szerint a gyakoriságok eloszlásának vizsgálata esetén azzal a feltételezéssel élhetünk, hogy a gyakoriságok és az átlagos elérési idők között az alábbi összefüggés áll fenn (24. képlet):

3. ábra: A gyakoriságok logaritmusa az intervallumok átlagidő-négyzeteinek függvényében



$$v \approx w * e^{\frac{-c_i^2}{u}} \Rightarrow \quad (24)$$

$$\ln(v) \approx \ln(w) + \frac{1}{u}(-c_i^2)$$

ahol v a gyakoriságok, c az átlagidők w és u konstansok. Cél a meglévő adatokra leginkább illeszkedő konstansok kiszámítása. Ennek érdekében a kistérségi központok közötti elérési idők alapján nyert ötven intervallumba tartozó elemek gyakoriságainak logaritmusát az intervallumok átlagidő-négyzeteinek függvényében ábrázoltuk.

Ebből 0,67-es pontossággal: w= 0,04295936, u=44583,1476. A Gauss modell illeszkedése jobb, mint az exponenciális esetben.

2.4. Log-logisztikus ellenállási tényező

Ebben az esetben a gyakoriságok és az átlagidők között az alábbi összefüggést prognosztizáljuk (25. képlet):

$$v \approx 1 + e^{a+b\ln c_i} \Rightarrow \quad (25)$$

$$\ln(v-1) \approx a + b\ln c_i$$

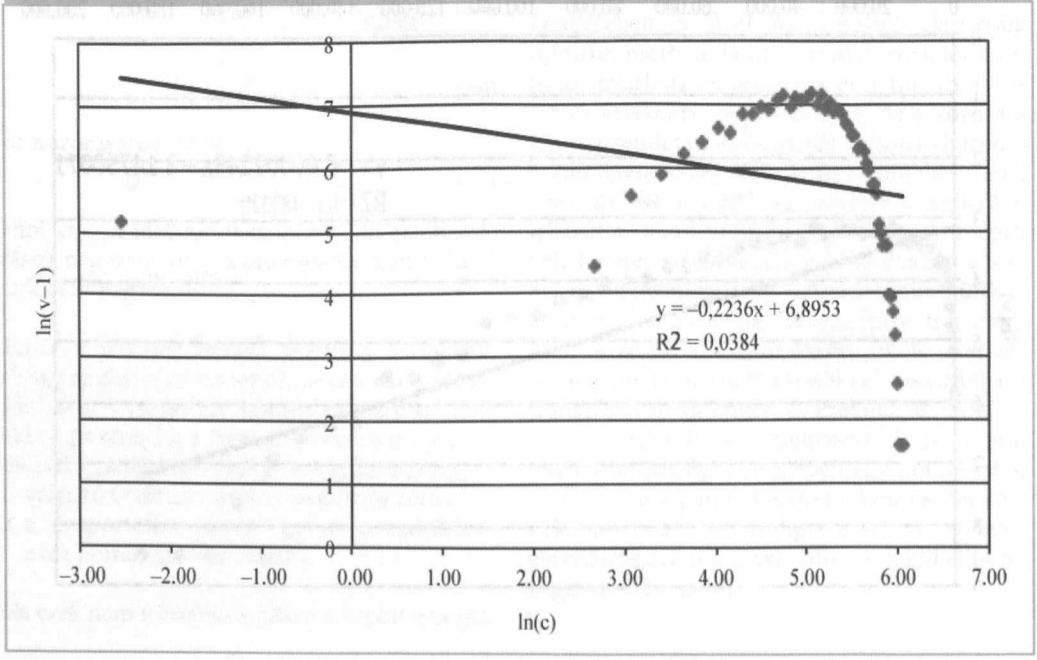
ahol v a gyakoriságok, c az átlagidők a és b konstansok.

Ebből: b= –0,2236, a= 6,8953.

Megjegyzendő, hogy az R^2 értéke ebben az esetben a legalacsonyabb, viszont a módszer – mint később látható lesz – mégis jó eredményt hozhat.

Az egyes ellenállási tényezők összehasonlítása érdekében a fentebb bemutatott számításokat újra elvégeztük. A gaussi és a log-logisztikus modell átszámítására azért volt szükség, hogy illeszkedjen a többihez, azaz c=0 esetén a gyakoriság 1 lehessen (vagy 100%). (Ezen két számítás alapján az R^2-ek nagysága csökken, így az ezek alapján megkapott értékeket a továbbiakban nem használtuk, csak a 5. ábrán mutatjuk be.)

4. ábra: A gyakoriságok és az átlagidők közötti kapcsolat log-logisztikus esetben



Összevetve az egyes ellenállási tényezőket, megvizsgálhatók a közöttük lévő különbségek. A különböző modellek használatával a távolságok, a percekben mérhető elérési idők más módokon vannak beépítve a modellekbe. Láthatóan a gaussi modell a közepes távolságok esetén, a log-logisztikus modell inkább a nagyon kicsi és a nagyon nagy, míg az exponenciális modell a kisebb távolságokra érzékenyebb. Ezért elméletileg a településen, kistérségen belüli vizsgálatok esetében a log-logisztikus, az országos vizsgálatoknál az exponenciális, az európai léptékűnél a gaussi, míg a globális szintűnél szintén log-logisztikus alkalmazása ajánlható. Ettől még – mint a későbbiekben látható lesz – nem biztos, hogy mindig ezek a típusok hozzák a legjobb eredményt a jelzett területi szinteken.

A kérdés gyakorlati tesztelésével foglalkozik tanulmányunk következő része.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Bewley, R. – Fiebig, D. G. (1988): A flexible logistic growth model with applications to telecommunications. *International Journal of Forecasting*. 4 (2) 177–192.

[2] Box, G. E. P.–Cox, D. R. (1964): An analysis of transformations. *Journal of Royal Statistical Society, Series B*, 26 (2) 211–246.

[3] Bruinsma, F.R.–Rietveld, P. (1998): The Accessibility of European Cities: Theoretical Framework and Comparison of Approaches. *Environment and Planning A* 30 (3) 499–521.

[4] Brunton, P.J.–Richardson, A.J. (1998): A Cautionary Note on Zonal Aggregation and Accessibility. *Paper presented at the 77th Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington, DC.

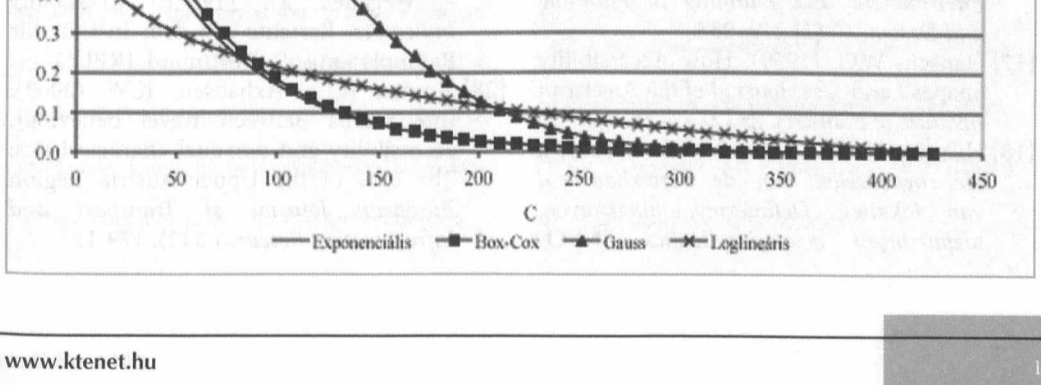
[5] Calvo, P.–Pueyo Campos, A.–Jover Yuste, J.M. (1992): Potenciales demográficos de España. *Atlas Nacional de España*. Tomo 14-b. Madrid, Istituto Geográfico Nacional

[6] Capineri, C. (1996): From Networks to Regional Development: Representations of Italian Regional Disparities. *Paper Presented at the Nectar Euroconference*, Mons, Belgium, 24–28 September 1996

[7] Dusek, T. (2001): A területi mozgóátlag. *Területi Statisztika* 41 (3) 215–229.

[8] El-Geneidy, A. M. – Levinson, D. M.

5. ábra: Kapcsolat a gravitációs analógián alapuló modellek ellenállási tényezői között



(2006): *Access to Destinations: Development of Accessibility Measures.* Department of Civil Engineering University of Minnesota, Minneapolis.

[9] ESPON (2007): *Update of Selected Potential Accessibility Indicators. Final Report.* Luxembourg.

[10] Fotheringham, A. S. – Brunsdon, C. – Charlton, M. (2000): *Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis.* London, Sage

[11] Frost, M.E.–Spence, N.A. (1995) The Rediscovery of Accessibility and Economic Potential: The Critical Issue of Self-potential. *Environment and Planning A.* 27 (11) 1833–1848.

[12] Geertman, S.C.M.,– van Eck, J.R.R., (1995): GIS and models of accessibility potential: an application in planning. International Journal of Geographical Information Systems 9 (1) 67–80.

[13] Geurs, KT – van Wee, B. (2004): Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography* 12 (2) 127–140.

[14] Grasland, C.–Mathian, H.–Vincent, J. (2000): Multiscalar analysis and map generalisation of discrete social phenomena: Statistical problems and political consequences. *Statistical Journal of the United Nations Economic Commission for Europe* , 17 (2)157–188.

[15] Gutierrez, J. (2001): Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid–Barcelona–French border. *Journal of Transport Geography* 9 (4) 229–242

[16] Guy, C. M. (1983): The assessment of access to local shopping opportunities: a comparison of accessibility measures. *Environment and Planning B: Planning and Design.* 10 (2) 219–238.

[17] Hansen, W.G. (1959): How Accessibility Shapes Land-Use. *Journal of the American Institute of Planners.* 25 (2) 73–76.

[18] Hilbers, H. D. – Veroen, E. J. (1993): *Het beoordelen van de bereikbaarheid van lokaties. Definiëring, maatstaven, toepassingen beleidsimplicaties.* INRO-VVG 1993–09, TNO Inro, Delft

[19] Hull, D.L. (1963): A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land Economics* 39 (1) 81–90.

[20] Ingram, D. R. (1971): The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form. *Regional Studies* 5 (2) 101–105.

[21] Joseph, A.E. – Bantock, P.R. (1982): Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: a method and case study. *Social Science and Medicine* 16 (1): 85–90.

[22] Martín, J.C. – Gutiérrez, J. – Román, C. (2004): Data Envelopment Análisis (DEA) Index to measure the accessibility impacts of new infrastructure investments: the case of the High-Speed Train Corridor Madrid-Barcelona-French border. *Regional Studies* 38 (6) 697–712.

[23] Nemes Nagy, J. (szerk.) (2005): *Regionális elemzési módszerek.* Regionális Tudományi Tanulmányok 11. ELTE Regionális Földrajzi Tanszék–MTA–ELTE Regionális Tudományi Kutatócsoport, Budapest

[24] Papa, E. – Coppola, P. (2012): Gravity-Based Accessibility measures for Integrated Transport-land Use Planning (GraBAM) In: Hull,A. – Silva, C. – Bertolini, L. (Eds.) *Accessibility Instruments for Planning Practice.* pp. 117-124. COST Office.

[25] Reggiani, A. – Bucci, P. – Russo, G. (2011): Accessibility and Impedance Forms: Empirical Applications to the German Commuting Network. International *Regional Science Review* 34 (2): 230–252.

[26] Scheurer, J. – Curtis, C. (2007): *Accessibility Measures: Overview and Practical Applications.* Department of Urban and Regional Planning, Curtin University, Perth.

[27] Schürmann, C. – Spiekermann, K. – Wegener, M. (1997): *Accessibility Indicators.* Berichte aus dem Institüt für Raumplanung 39, Dortmund, IRPUD

[28] Simma, A. – Axhausen, K.W. (2003): Interactions between travel behaviour, accessibility and personal characteristics: The case of the Upper Austria Region *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 3 (2): 179-197

[29] Simma, A. – Vrtic, M. – Axhausen, K. W (2001): *Interactions of travel behaviour, accessibility and personal characteristics: The Case of Upper Austria, presentation*, European Transport Conference, Cambridge, September 2001.
[30] Smith, D.M.–Gibb, R.A. (1993): The Regional Impact of the Channel Tunnel. A Return to Potential Anaysis. *Geoforum* 24 (2) 183–192.
[31] Tagai, G. (2007): A potenciálmodell erényei és korlátai a társadalomkutatásban *Tér és Társadalom* 21 (1) 145–158.
[32] Willigers, J. – Floor, H. – van Wee, B. (2007): Accessibility indicators for locational choice of offices: An application to the intraregional distributive effects of high-speed rail in the Netherlands. *Environment Planning. A* 39 (9) 2086–2098.

Reachability models based on gravity analogy: theory and practice

The types of reachability models which are applied most often are based on gravity analogy. In these models, researchers use various different types of resistance factors but it is rare that a reason is given why the exact type has been chosen to use in the research in question. Another problem that arises in connection with these types of analyses is that in many cases, the authors don't describe how they determine the concrete constants used for their calculations. In these cases, the results can only be accepted with restrictions, because the research is not reproducible to the readers. Finally, we would like to draw attention to a further important problem: namely that the results of these models are rarely confronted with real (e.g. traffic based) data - this way it is not clear from the calculations what would happen if the analyser were to apply a different model. In this paper, we have attempted to collect the models and resistance factors which are used in most cases, and to illuminate the possibilities and limitations of their usage through specific Hungarian examples.

ERREICBARKEITSMODELLE AUF DEM BASIS VON DER GRAVITATIONS-ANALOGIE: THEORIE UND PRAXIS

Die meistverwendeten Typen der Erreichbarkeitsmodelle basieren sich auf der Gravitations-analogie. Bei diesen Modellen verwenden die Forscher Widerstandsbeiwerte unterschiedlicher Art, aber sie geben nur selten eine tiefergehende Begründung für die Wahl eines gegebenen Typs für die konkrete Forschung. So sind die Ergebnisse nur begrenzt akzeptierbar, weil sie für den Leser nicht reproduzierbar sind. Schlieβlich ist es auch ein wichtiges Problem, daβdie Ergebnisse der einzelnen Modelle nur selten den realen (z.B.Verkehrs-)Daten gegenübergestellt werden. So stellt es sich von den Berechnungen nicht heraus, was würde bei der Anwendung eines anderes Modells geschehen. In der Studie haben wir es versucht, die meistverwendeten Modellen und Widerstandsbeiwerte zu sammeln und mit konkreten Beispielen aus Ungarn die Möglichkeiten und Grenzen ihrer Verwendbarkeit darzustellen.

A közúti közlekedés forgalmi folyamatainak komplex analízise

A publikáció olyan komplex modellezési módszert mutat be, amely egyszerre vizsgálja a makroszkopikus elven működő nagyméretű felszíni hálózati modellt és az ebben a környezetben működő 3D-s dinamikus gépjárműmodellt, amely érdekes és egyben izgalmas szemléletmódot, valamint új vizsgálati módszert jelent.

Péter Tamás – kutatóprofesszor, Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutató Központ, e-mail: peter.tamas@mail.bme.hu,
Szauter Ferenc – egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutató Központ, szauter@sze.hu,
Bokor József – egyetemi tanár, BME Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék, bokor@sztaki.hu.

1. BEVEZETŐ

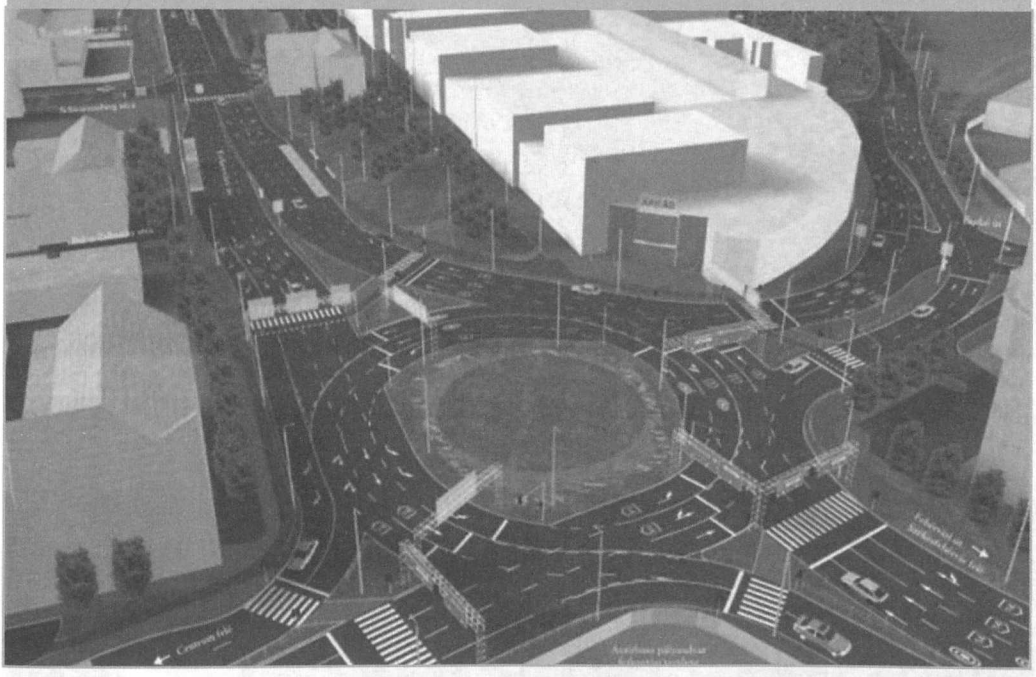
A kutatás komplex modellt vizsgál a valós közúti járműfolyamatok leírására. Ennek során a tetszőleges méretű és topológiájú közúti hálózat speciális matematikai modellezési technikáját használjuk fel. Megadjuk a járműsűrűség állapottérben a komplex rendszer működését leíró nemlineáris differenciálegyenlet-rendszert, amely a pozitív rendszerek osztályába tartozó makroszkopikus közúti közlekedési modell. A szimuláció a PannonTraffic Engineer szoftver alkalmazásával történik, amely szoftvercsalád a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok komplex modellezésére és analízisére kifejlesztett eszköz [1], [2] és [14].

Kiemelendő, hogy a valós közúti trajektóriákon történő járműmozgás és a forgalmi események számos olyan összetett dinamikai folyamatot eredményeznek, ill. helyzetet idéznek elő, amelyek a kutatás jelentőségét kiemelik és az általunk tárgyalt módon modellezhetők. Ilyen például a járműgeometria kérdéseinek elemzése a körgeometriában való haladásnál. Ez esetben a nagyméretű hálózati modell egy részhálózati eleme az a körforgalmi elem is *1. ábra*, amelyen valamely trajektória választáskor áthalad a jármű. A *2. ábra* a Győrben megépült körforgalomban szemlélteti a tehergépjárművek és autóbuszok okozta legkritikusabb, valós konfliktusokat. Ezek tehát már a valós trajektórián fellépő járműdinamikai folyamatok körébe tartoznak. A *2. és a 3. ábrán* pl. jól látható, hogy a tehergépjárművek ívben haladásakor az üldözőgörbe a szomszédos forgalmi sávok területeire is kiterjed, ezért erre a tehergépjárművek, autóbuszok és a közlekedő partnerek dinamikai folyamatainak vizsgálatainál különös figyelmet kell fordítani.

Ugyanez állapítható meg a hossz- és függőleges járműdinamikára gyakorolt hatásokkal kapcsolatban is. A felszíni közlekedés tehát egy rendkívül komplex dinamikus rendszer és ennek korszerű vizsgálata komplex módszereket igényel!

Ma már elvégezhető a hálózati folyamatok és a hálózatokon közlekedő járművek egységes rendszerű vizsgálata. E célból a hálózatok dinamikájának tárgyalására a pozitív rendszerek elméletén alapuló vizsgálati módszertant javasolunk, ahol a modell – lényegét tekintve – makroszkopikus modell. A pozitív rendszerek irányíthatóságának és megfigyelhetőségének feltételei nem vezethetők le egyértelműen az általános rendszereknél megismert mód-

1. ábra: Győrben megépült körforgalmi csomópont szimulációja



szerekből, Luenberger (1979). A probléma különösen igaz, ha nemcsak az állapotokra, de még a beavatkozó jelre is nem negatív értékkészletet követelünk meg. Ezért a közúti folyamatok tisztán pozitív rendszerként történő leírása irányítástechnikai szempontból sem triviális feladat. Az irányítási feladat ebben az esetben azt jelenti, hogy úgy kell egy állapotból egy másik állapotba irányítani a rendszert, hogy az állapotátmenet közben is érvényes, hogy nem negatív értékeket vehetnek fel az állapotok [7] és [20].

2. AZ ALKALMAZOTT DINAMIKUS HÁLÓZATI MODELL

A kutatásainkban kiindulásul a szűkített hálózati forgalmi modellt alkalmazzuk [3], [4], [9] és [10], amely egy tartományban elhelyezkedő „n" szektorból álló x állapotvektorral jellemzett belső hálózati elemet tartalmaz. A modellhez „m" darab külső szektor is tartozik, amelyek közvetlen kapcsolatokkal rendelkeznek valamely belső szektorral, ill. szektorokkal. Ez utóbbiak s állapotvektorát mérés alapján ismertnek tekintjük. Ennél a modellnél a kapcsolati hipermátrixot alkotó mátrixok közül, csak a $\boldsymbol{K}_{11}$ és $\boldsymbol{K}_{12}$ mátrixok játszanak szerepet, mert általuk képviselve van minden átadás, amely a belső szektorokra vonatkozik.

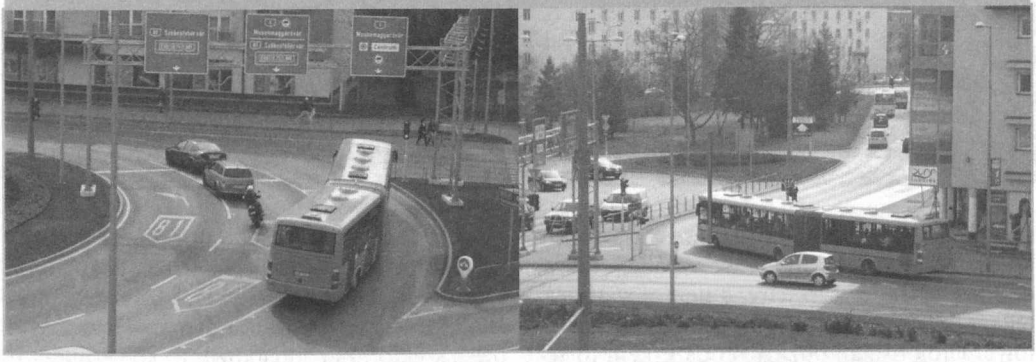
$$\dot{x} = \langle L \rangle^{-1} [K_{11}(x,s)x + K_{12}(x,s)s] \qquad (1)$$

Ahol: $x \in \Re^n$, $\dot{x} \in \Re^n$, $s \in \Re^m$, $L = \mathrm{diag}\{l_1, \ldots, l_n\}$, l_i a főátlóban a belső szakaszok hossza („$l_i > 0$, i=1,2,…,n), $K_{11} \in \Re^{nxn}$, $K_{12} \in \Re^{nxm}$.

A gyakorlatban fellépő késleltetések, amelyek nagy részben a reakció időből (*észlelés, döntés, cselekvés:* 0,6…0,7 s időtartam) és működtetésétől a hatás kialakulásáig eltelt időből (*értéke:* 0,15…0,3 s) származtatható időveszteségek figyelembevétele, a valóságot pontosabban leíró matematikai modellt eredményeznek. Ez esetben feltesszük, hogy az S(x) és E(x) belső automatizmusok x szerint, az $u_{i,j}(t)$ forgalomirányítási lámpa függvények pedig t szerint folytonosan differenciálható függvények. Ez a modellezésnél különösebb megszorítás nélkül teljesíthető, Péter, T. (2012.1).

2. ábra: A Győrben megépült valós körforgalmnál a gépjárművek okozta konfliktusok

3. ábra: Győrben megépült körforgalmi valós, csuklós autóbusz okozta konfliktusok



3. A SEBESSÉGFOLYAMATOK ANALÍZISE

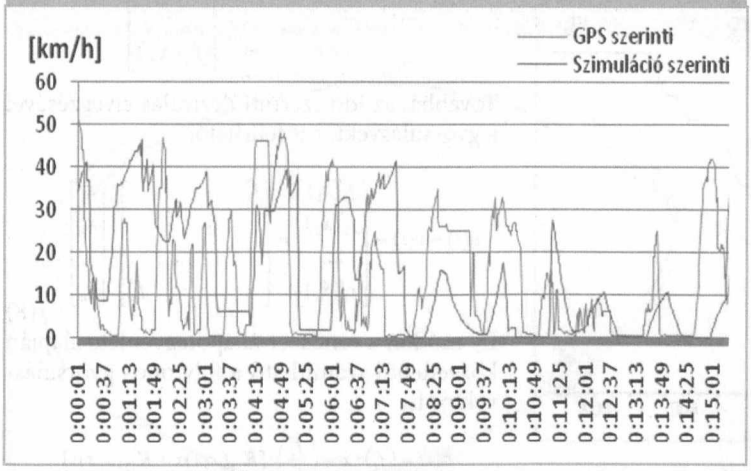
Modell-feltételezés, hogy $\forall x_i$, ($x_i \in [0,1]$, i=1,2,…,n) állapotjellemzőhöz hozzárendelhető a $v_i \geq 0$ sebesség érték is, egy x_i szerint folytonosan differenciálható f_i függvény alkalmazásával:

$$v_i = f_i(x_i(t)) \qquad (2)$$

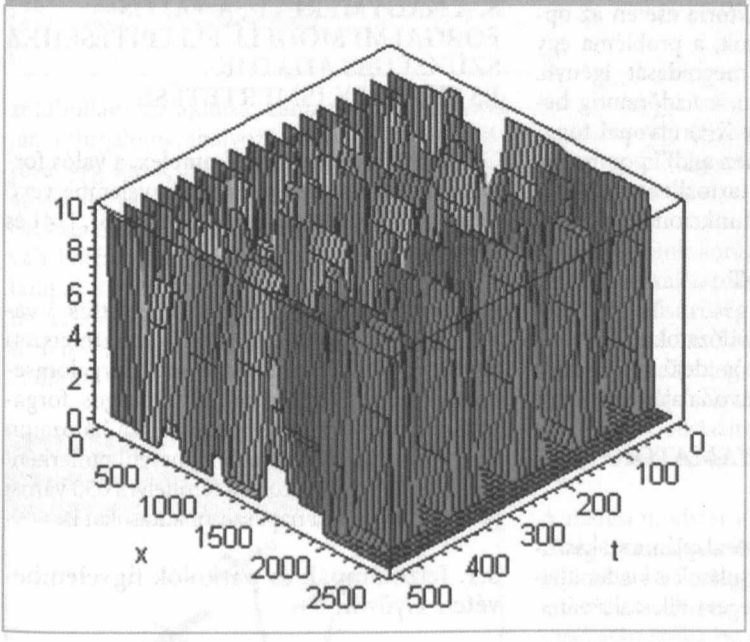
A makroszkopikus hálózati modellből az egyedi sebességfolyamatok kinyerésével és egy vezető-jármű modell felhasználásával vizsgálni lehet az egyes járművek motorteljesítmény-igényét és károsanyag-kibocsátását is. A sebességfolyamatok alkalmasak modellvalidálásra is. A modell validálása Budapesten történt a Petőfi híd és Nyugati térig terjedő útvonalon [8], [15], [16] és [17], lámpás kereszteződéseknél aktuális lámpabeállítási adatok mellett és a helyszínen elvégzett forgalomszámlálási adatok alapján. A vizsgált útvonal, a különböző szimulációs időpontokban bejárásra került GPS készülékkel felszerelt gépjárművekkel is, és a járműves mérés során rögzítettük a mért sebességprofilokat is. A szimuláció és a járműves mérés során kinyert sebesség-idő diagramok összehasonlítása természetesen megmutatta, hogy az idődiagramokat egy sztochasztikus folyamat egy-egy realizációjának kell tekinteni és valószínűségelméleti, ill. statisztikai analízis útján kell azokat vizsgálni *4. ábra.*

Nagyszámú, nemparaméteres statisztikai analízissel, ún. homogenitás vizsgálattal megállapítást nyert, hogy a sebességprofiloknál a mért és szimulációval kapott két-két minta 95%-os szinten homogénnek tekinthető. A sebesség-adatokból az adott jármű motorteljesítmény-igényére is hasonló eredményt kaptunk.

4. ábra: A szimulációból kinyert és a GPS készülékkel mért sebességprofilok



5. ábra: Egy kiegyenesített X trajektóriához és t időponthoz tartozó V(t,X) függvény



A modell validálása során, így megállapítható volt az alkalmazhatóságával kapcsolatban, hogy a modell lehetővé teszi olyan egyedi sebességfolyamatok kinyerését, amelyek a valóságnak megfelelnek [8].

A modellből a fentiek alapján közvetlenül kinyerhetők a sebességfolyamatok a hálózat tetszőleges trajektóriáin is. Ekkor a hálózat egy tetszőleges „A" pontjából t_0 időpontban elindulunk a hálózat „B" pontjába egy megválasztott trajektória mentén. A továbbiakban ezen az útvonalon vizsgáljuk a járműdinamikai hatásokat.

A kijelölt trajektória mentén kiszámolható a haladás szempontjából fontos X(t) út-idő függvény is és a hozzá tartozó T - célba érési idő is. Az állapotegyenlet által kiszámítható a kiegyenesített X trajektóriához és t időponthoz tartozó $V(t,X)$ kétváltozós sebességfüggvény *5. ábra.*

Az X(t) út-idő függvényt kiszámíthatjuk a meghatározott V(t,X) kétváltozós sebességfüggvény ismeretében *6. ábra,* az alábbi integrálegyenletet megoldásával:

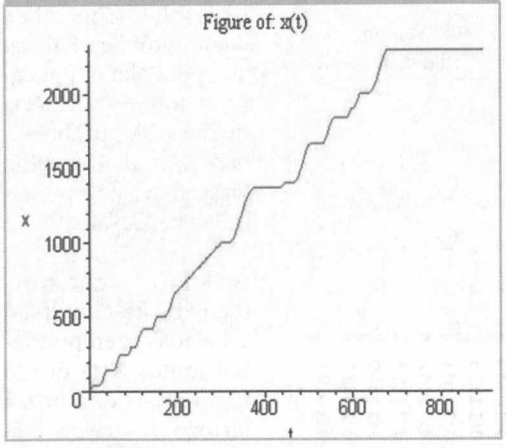
$$x(t) = \int_{t_0}^{t} V(\tau, x(\tau))\, d\tau \qquad (3)$$

A feladat az alábbi elsőrendű nemlineáris differenciálegyenlet megoldását igényli, az $X(t_0)=x_0$ kezdeti feltétel mellett:

$$\frac{dX(t)}{dt} = V(t, X(t)) - V(t_0, X(t_0))$$
$$x(t_0) = x_0 \qquad (4)$$

A megoldás numerikus módszer alkalmazásával a rendelkezésünkre áll, pl. *6. ábra:*

6. ábra: Út-idő diagram



A t_1 célbaérési időponttól X(t) már nem növekszik, tehát pl. a célba érési idő $T=t_1-t_0$.

Megjegyzés: Ha több trajektória esetén az optimális célba érést vizsgáljuk, a probléma egy variációszámítási feladat megoldását igényli. Minden trajektória mentén, a t időpontig befutott X hosszúságú út egy X(t) útvonal-függvényt eredményez, amelyhez a „B" pontba érkezéskor egy T eljutási idő tartozik és ez a leképezés szolgáltatja a J valós funkcionált:

$$J: X(t) \rightarrow T \qquad (5)$$

A nagyméretű közlekedési hálózatokat leíró modell tehát alkalmazható valós idejű, a forgalom alakulást figyelembe vevő útvonalajánláshoz is.

4. A GYORSULÁSFOLYAMATOK ANALÍZISE

A sebességfolyamatok ismerete alapján, a szakaszokon fellépő hosszirányú gyorsulások is kiszámíthatók a forgalmi modell tetszőleges i-dik szakaszán:

$$\dot{v}_i(t) = a(t) = \frac{df_i(x_i(t))}{dx_i} \cdot \dot{x}_i(t) = f_i' \cdot \dot{x}_i \qquad (6)$$

(i=1,2,...,n).

Ekkor, a teljes belső tartományon a sebességvektor:

$$v(t) = f(x(t)) = \begin{bmatrix} f_1(x_1) \\ f_2(x_2) \\ .... \\ f_n(x_n) \end{bmatrix} \qquad (7)$$

Továbbá, az idő szerinti deriválás elvégzésével a gyorsulásvektor is felírható:

$$a(t) = \dot{v}(t) = \begin{bmatrix} f_1'(\dot{x}_1) \\ f_2'(\dot{x}_2) \\ .... \\ f_n'(\dot{x}_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1' & & & \\ & f_2' & & \\ & & ... & \\ & & & f_n' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ ... \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} \qquad (8)$$

Ily módon a rendszer állapotegyenlete alapján közvetlenül számítható a folytonos gyorsulásvektor is:

$$a(t) = \langle f_i' \rangle \cdot \dot{x} = \left\langle \frac{f_i'}{l_i} \right\rangle \cdot [K_{11}(x,s)x + K_{12}(x,s)s] \qquad (9)$$

Ahol: $a \in \Re^n$, $\langle f_i' \rangle = diag\{f_1', f_2', ..., f_n'\}$.

5. A NAGYMÉRETŰ, A VALÓS FORGALMI MODELL FELÉPÍTÉSÉHEZ SZÜKSÉGES ADATOK ÉS MÉRÉSEK ISMERTETÉSE

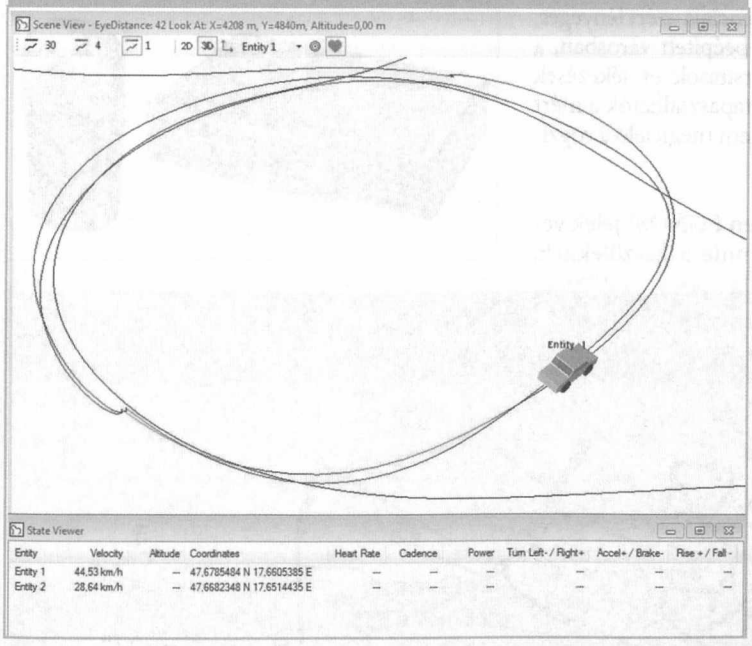
Győr város esetében, egy komplex, a valós forgalmi helyzetet széles körben figyelembe vevő szimulációs modellt hoztunk létre [13], [14] és [18].

A modell felépítésénél figyelembe vettük a város által 2012. évben elvégzett keresztmetszeti forgalomszámlálás adatait, a saját forgalomsebesség mérési adatainkat, a valóságos forgalomirányítási lámpák programjait, a hálózaton fellépő disztribúciókat, a nagyméretű pufferként működő, több mint 20 000 férőhelyes 650 városi parkoló helyet és a napi szezonalitásokat is.

5.1. Jelzőlámpák és parkolók figyelembevétele Győrött

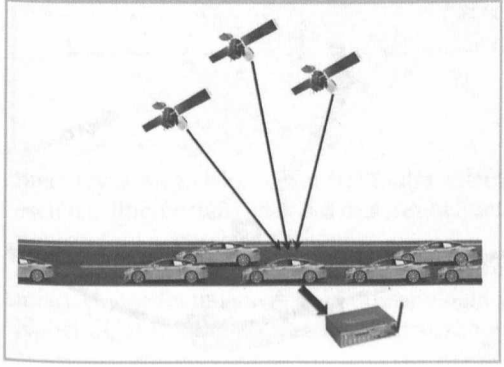
A forgalmat irányító jelzőlámpák fázisterveit a Magyar Közút Zrt. Győri Igazgatósága és Győr város önkormányzata bocsátotta a rendelkezésünkre. A jelzőlámpás csomópontokban a lámpabeállítások meghatározásakor különös tekintettel kell lenni a mikroszkopikus és makroszkopikus forgalmi jellemzőkre is. Az ún.

7. ábra: TrackView alkalmazásban a körgeometriájú csomópont felmérésének 3D-s megjelenítése



zöldhullám kialakítása számos ismert előnnyel jár, a forgalomszabályozó hatásától, a zaj, a károsanyag-kibocsátás csökkentésén át az üzemanyag-fogyasztás és a forgalomban töltött idő csökkenéséig [19]. Az utóbbi években divatossá vált körforgalom építések során néhány jelzőlámpás csomópontot is átalakítottak körgeometriás csomóponttá. Egy ilyen csomóponton történő mozgás szoftveres felmérése látható a *7. ábrán.*

8. ábra: GPS vevő készülékkel felszerelt jármű mérőrendszer



A városban, több mint 60 csomópontban található jelzőlámpás forgalomszabályozás. Ezek között található egy-egy innovatív, forgalomfüggő szabályozást alkalmazó jelzőcsoport is, ahol a szenzorok érzékelik az érkező járművet és ennek megfelelően kapcsolnak.

5.2. A mérésnél alkalmazott módszerek és eszközök Győrött

A jelzőlámpák pozícióinak felmérését a GPS-es vevőkészülékkel ellátott mérőjárművel bejárt útvonalakon végeztük el, kiegészítve ezt internetes adatbázisok (utcai panorámaképek) adataival. A jelzőlámpák programjainak felmérését videofelvétel utólagos feldolgozása, illetve helyszíni mérések útján végeztük el.

Szimulációink során felhasználtuk az input és output útszakaszok járműsűrűség függvényeit is. A járműsűrűség függvény mérését legegyszerűbb módon kamerás képfeldolgozás útján határozhatjuk meg, amennyiben megfelelő rálátás, fény- és időjárási viszonyok biztosíthatók a felvételek elkészítéséhez. **Jelen kutatás során újszerű mérési módszert dolgoztunk ki.**

A mérési módszer azon alapul, hogy a járműsűrűség ismert összefüggések alkalmazásával [5] és [6] várható sebességgé számítható át és viszont. A sebesség mérésére, rögzítésére és kiértékelésére meghatároztuk a legalkalmasabb GPS vevők típusát. A mérési útvonalak bejárása GPS készülékkel felszerelt gépjárművel történt, jól illeszkedve így a forgalom dinamikájához. Az alkalmazott GPS vevőkkel szemben megfogalmazott alapkövetelmény volt, hogy a mintavételezés frekvenciája minimum 1 Hz legyen, valamilyen lokális DGPS rendszerrel és SiRF chipsettel vagy ezzel ekviva-

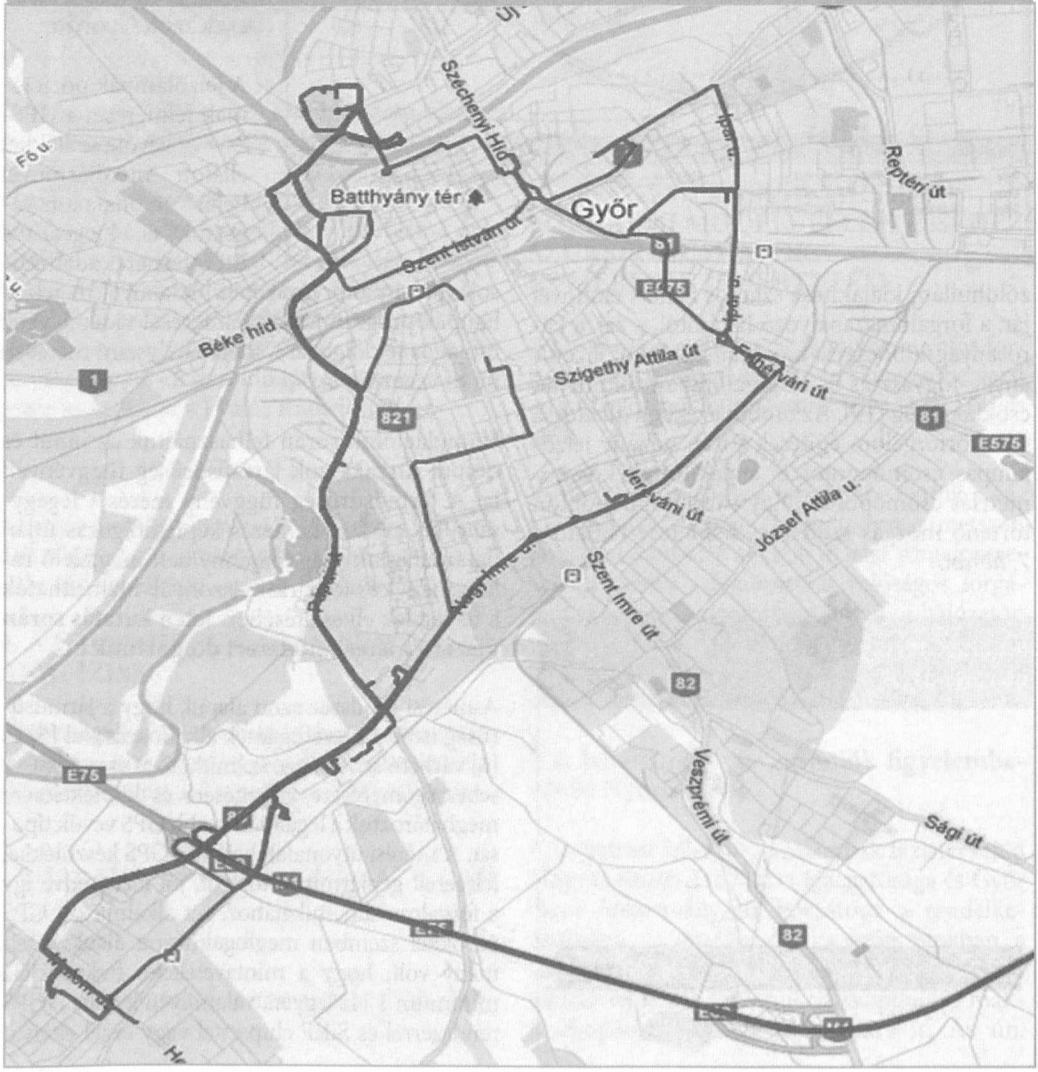
lens technikát biztosító alrendszerekkel legyen felszerelve.

A mintavételezés fenti frekvenciája azért lényeges, mert a sűrű utcahálózattal beépített városban, a gyakori irányváltások, gyorsítások és fékezések miatt szignifikáns eltérések tapasztalhatók a mért és valós értékek között, ha nem megfelelő a rögzített jelsűrűség.

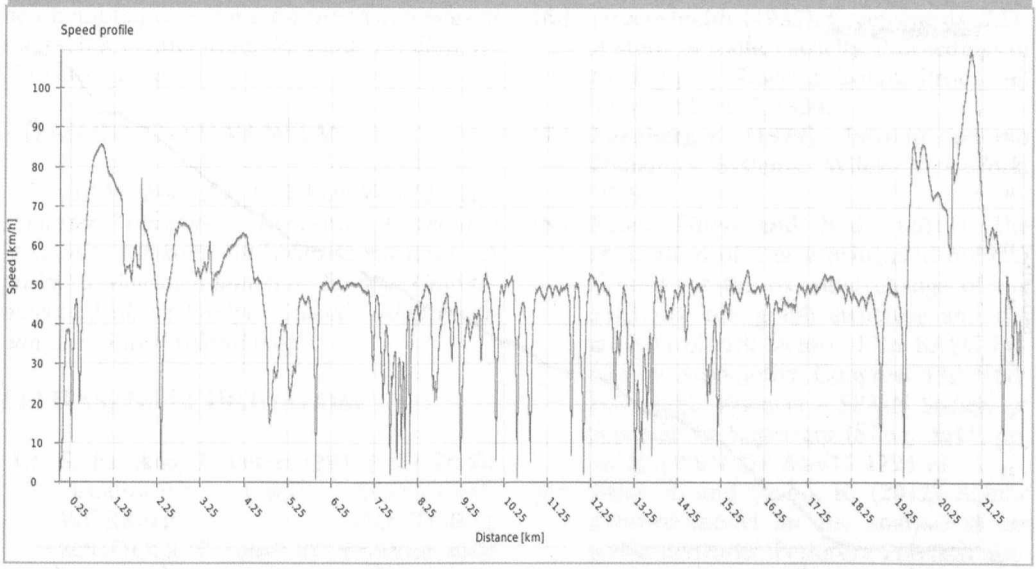
Lokális DGPS (jelen esetben EGNOS) jelek vételére alkalmasnak kell lennie a készüléknek,

9. ábra: Racelogic VBOX II (balra) és Garmin Etrex Vista H (jobbra)

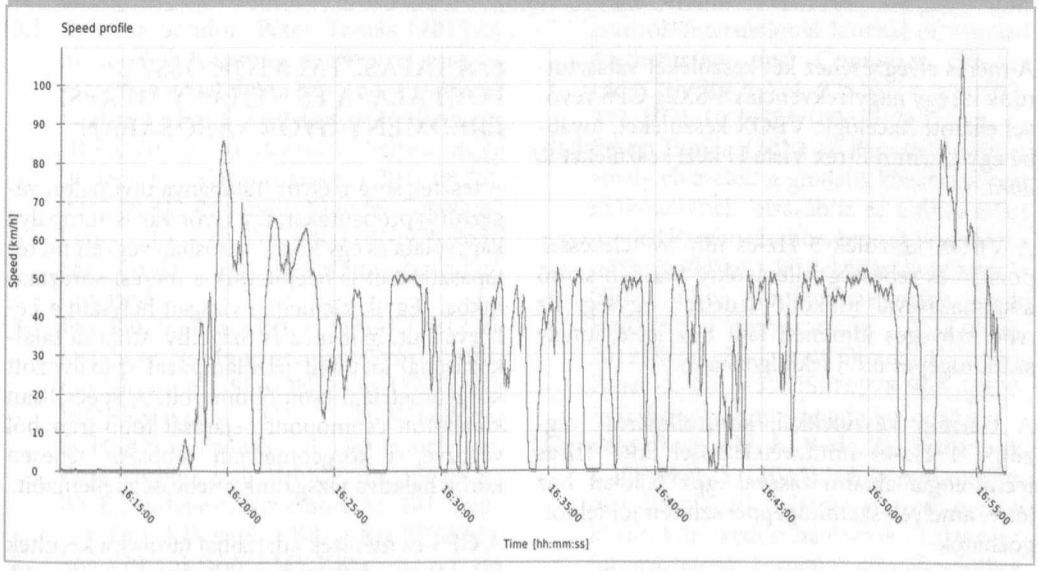
10. ábra: GPS-es méréssel bejárt útvonalak Győr városában



11. ábra: A 004-es számú útvonalon mért sebesség értékek a távolság függvényében

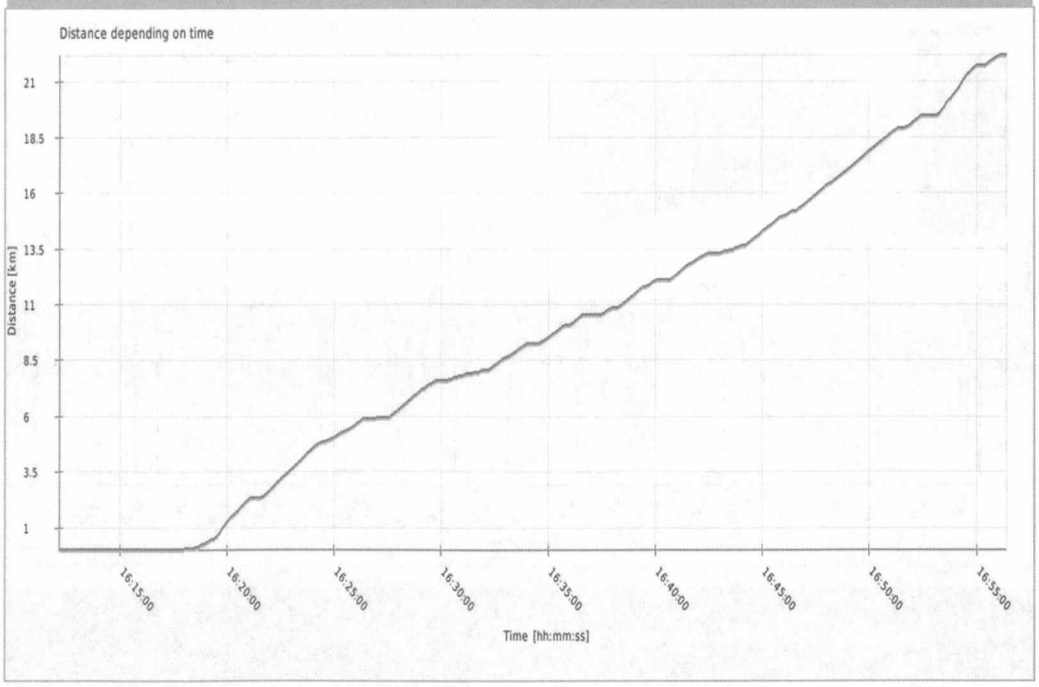


12. ábra: A 004-es számú útvonalon mért sebesség értékek az idő függvényében



mert így a megfelelő számú műholdra rálátás esetén a differenciális jelek 1-3 méteres helyzetpontosságot képesek biztosítani.
SiRF chipsettel ellátott készülék a városi mérés miatt elengedhetetlen. A SiRF technológia a Nobel-díjjal is jutalmazott lézerspektroszkópia elvén alapul és Kálmán-szűrőt alkalmaz, amely segítségével a visszavert, polarizálódott, továbbá interferenciát szenvedő elektromágneses hullámokból képes visszaállítani az eredeti jelet és stabil koordinátákat szolgáltatni.

14. ábra: A 004-es számú útvonalon megtett távolság az idő függvényében



A mérés elvégzéséhez két készüléket választottunk ki, egy nagyfrekvenciás S-SX2g GPS vevővel ellátott Racelogic VBOX készüléket, továbbá egy Garmin Etrex Vista H kézi készüléket *9. ábra*.

A VBOX készülék 5 Hz-es mintavételezéssel, pozíció és sebesség jellemzőkre Kálmán-szűrő alkalmazásával működő fedélzeti egység. Ez .vbo szöveges kimeneti fájlt hoz létre, amely számítógépes úton feldolgozható.

A Garmin készülékkel, kontrollmérést végzünk, 1 Hz-es mintavételezéssel SiRF III-as technológia alkalmazásával .gpx fájlokat hoz létre, amelyek számítógéppel szintén jól feldolgozhatók.

A mérésekre jellemző, hogy Győr város sűrűn beépített belvárosi környezet ellenére is jellemzően 6-10 műhold egyidejű vétele volt lehetséges. A mérések útvonalát gondos tervezés előzte meg, amely során a szimuláció szempontjából kritikus útvonalak prioritásait határoztuk meg.

6. A TAPASZTALATOK ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS NÉHÁNY MÉRÉSI EREDMÉNY GYŐR VÁROSÁBAN

A tesztek során, Győr-Tatabánya útvonalon végeztünk próbautakat, így Győr város autópálya kapcsolata és egy közeli városban végzett mérés tapasztalatait is beépítettük a mérési sorozatainkba. Egyik kiemelten vizsgált helyszín a Fehérvári út, Ipar utca és Szigethy Attila út találkozásánál kiépített jelzőlámpával szabályozott körgeometriájú csomópont volt. A speciálisan kialakított csomópont bejárását több irányból végezve, a körgeometrián többször teljesen körbe haladva vizsgáltuk a sebesség jellemzőit.

A GPS-es mérések adatfájljai tárolásra kerültek [3], [4] az adatbázisban, *10. ábra*, *11. ábra* *12. ábra és 13. ábra*. A rendszerünk további feldolgozás eredményeként a GPS koordináták alapján a megfelelő útszakaszokhoz hozzárendelte a területen végzett sebességmérés eredményeit, így a mérés során érintett valamennyi útszakaszra egyedi sebességfüggvényt kaptunk [11],

[12] és [19]. Az azonos időszakban elvégzett mérések jól fedik egymást. Több, ismételt mérés is szerepel az adatbázisban. A következőkben bemutatjuk egy mérési útvonalon végzett méréseink eredményeit, *10. ábra, 11. ábra 12. ábra és 13. ábra.*

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0012: „Smarter Transport" - Kooperatív közlekedési rendszerek infokommunikációs támogatása - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1.] **S. Fazekas, T. Peter: (2012)** 3D Traffic visualization FIRST SCIENTIFIC WORKSHOP OF DOCTORAL SCHOOLS Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, BME (Budapest, April 25, 2012) pp. 1-8. Doi: KJK2012-1-K4, ISBN 978-963-313-062-9

[2.] **Fazekas Sándor, Péter Tamás (2012.1)** 3D modellt alkalmazó szoftverrel a nagyméretű hálózatokon, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia (IFFK-2012). Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31. Budapest: Óbudai Egyetem, Paper 13. *pp. 87-90.*(ISBN:978-963-88875-3-5) http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/

[3.] **Fazekas Sándor, Péter Tamás (2012.2)** Database system to support Győr's traffic modelization, SECOND SCIENTIFIC WORKSHOP OF DOCTORAL SCHOOLS Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, BME (Budapest, November 22, 2012) pp. 1-7. Doi: KJK2012-2-K4, ISBN 978-963-313-070-4, Kiadó: BME KSK

[4.] **Fazekas, S., Péter T. (2013)** Design of Győr's traffic database, Third Scientific Workshop of Faculty Doctoral Schools, Budapest, Budapest, May 28, 2013 pp. 1-7. Doi: KJK2013-1-K4, ISBN 978-963-313-080-3, Kiadó: BME KSK

[5.] **Greenberg (1959):** Greenberg, H.: "An Analysis of Traffic Flow", Operations Research, Vol.7, pp.79-85, 1959.

[6.] **Greenshields (1935):** Greenshields, B.D.: A study of traffic capacity. Proceedings of the highway Research Board, Proc. Vol. 14. pp. 448-477. 1934.

[7.] **Luenberger (1979)** Introduction to Dynamics Systems, Wiley, New York, 1979

[8.] **Peter, Fülep and Bede (2011)** The application of a new principled optimal control for the dynamic change of the road network graph structure and the analysis of risk factors, 13th EAEC European Automotive Congress 13th-16th June 2011. Valencia – SPAIN Society of Automotive Engineers (STA), 2011. pp. 26-36. (ISBN:978-84-615-1794-7)

[9.] **Péter, T. and Szabó, K. (2012)** A new network model for the analysis of air traffic networks. Periodica Polytechnica-Transportation Engineeering 40/1 (2012) 39–45 DOI: 10.3311/pp.tr.2012-1.07

[10.] **Péter, T. (2012.1)** Modeling nonlinear road traffic networks for junction control, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science (AMCS), 2012, Vol. 22, No. 3. pp. 723-732. DOI: 10.2478/v1006-012-0054-1

[11.] **Péter Tamás (2012.2)** Paradigmaváltás, amely elvezetett a globális közúti hálózat működésének leírásához és a dinamikus modell létrehozásához, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia (IFFK-2012). Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31. Budapest: Óbudai Egyetem, Paper 3. *pp. 3-19.*(ISBN:978-963-88875-3-5) http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/

[12.] **Péter, T., Stróbl, A., Bede, Zs., Kalincsák, I., Fazekas, S. (2013)** Infokommunikációs technológiák fejlesztése a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok közlekedési folyamatainak komplex modellezéséhez, a valós közlekedési folyamatok vizsgálatára és az optimális irányítására. Közlekedéstudományi Konferencia, Győr, 2013. március 21-22. (pp.55-81) Kiadó: Széchenyi István Egyetem, Közlekedési Tanszék. ISBN szám: 978-615-5298-09-7.

[13.] **Tamas Peter, Jozsef Bokor and Andras Strobl (2013)** Model for the analysis of traffic networks and traffic modelling of Győr, pp **167-172**. Doi: 0023, IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications (ACATTA 2013) which is to be held in Istanbul, Turkey, 16-17 September 2013. http://www.acatta13.itu.edu.tr/

[14.] **Stróbl, A., Péter, T. (2013).** Traffic modeling of Győr in project Smarter Transport, Third Scientific Workshop of faculty doctoral schools, *Budapest, May 28, 2013* pp. 1-7. Doi: KJK2013-1-K7, ISBN 978-963-313-080-3, Kiadó: BME KSK

[15.] **Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2010)** The Extraction of Unique Velocity Processes from a Macro Model PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 38:(1-2) pp. 114-121. (2010)

[16.] **Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2011.1)** The development of large traffic network model, PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 39:(1-2) pp. 3-5. (2011)

[17.] **Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2011.2)** The mathematical modeling of Reversible Lane System PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 39:(1-2) pp. 7-10. (2011)

[18.] **Zsuzsanna Bede, Tamás Péter and Ferenc Szauter (2013)** Variable network model pp **173-177**. Doi: 0026, IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications (ACATTA 2013) which is to be held in Istanbul, Turkey, 16-17 September 2013. http://www.acatta13.itu.edu.tr/

[19.] **Stróbl András, Péter Tamás, Fazekas Sándor (2012)** Stratégiai zajtérkép készítése makroszkopikus közúti közlekedési modellt alkalmazó szoftverrel, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia (IFFK-2012). Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31. Budapest: Óbudai Egyetem, Paper 11. *pp. 71-75.*(ISBN:978-963-88875-3-5) http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/

[20.] **Varga I. and Bokor J. (2007)** New Approach in Urban Traffic Control Systems, Periodica Polytechnica ser. Transp. Eng., Budapest, Hungary, 2007, Vol. 35. No 1-2. pp. 3-13

A complex analysis of the procedures of road traffic

The overground traffic network is a large-scale dynamic system. With the approach introduced in this paper, a unified system analysis of network procedures as well as the procedures of vehicle dynamics taking place on these networks can be effected. This is an innovative and complex examination method which examines both the large-scale overground network model that is based on macroscopic principles and the 3D vehicle model suitable for the calculation of stochastic dynamic loadings, at the same time.

Eine komplexe Analyse der Verkehrsvorgänge im Straßenverkehr

Das oberirdische Verkehrsnetzwerk ist ein großes dynamisches System. Mit der hier beschriebenen Betrachtungsweise es kann eine Analyse der Vorgänge in diesem Netz, sowie der hier stattfindenden fahrzeugdynamischen Vorgänge erfolgen. Das ist eine neue und komplexe Untersuchungsmethode, mit dem das auf Grund von makroskopischem Prinzip funktionierende, großmaßstäbige Modell des oberirdischen Netzes und das für die Berechnung der stochastischen dynamischen Belastungen geeignete 3-D Kraftfahrzeugmodell gleichzeitig untersucht werden können.

A közúti forgalom becslésére felhasználható mérési adatok és együttes alkalmazhatóságuk

A korszerű technikák alkalmazása, a forgalmi adatok pontosabb becslése, számítása egyaránt döntő jelentőségű a tervezésben és a gyakorlatban. Minden olyan módszer, amely segít a valós helyzetek, adatok meghatározásában hozzásegít az eredményesebb munkavégzéshez.

Dr. Bécsi Tamás – **Dr. Tettamanti Tamás** – **Dr. Varga István**
egyetemi adjunktus, egyetemi adjunktus, egyetemi docens
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék
e-mail: becsi.tamas@mail.bme.hu, tettamanti@mail.bme.hu, ivarga@mail.bme.hu

1. BEVEZETŐ

Cikkünk témáját az elmúlt évtizedek rohamos információtechnológiai fejlődése indukálta. A közelmúltban számtalan új technológia látott napvilágot, amelyek egy része ráadásul még csak fejlődése kezdeti szakaszában jár. A mobiltelefon (a felnőtt lakosság körében gyakorlatilag 100%-os penetrációjú), a népszerű és ingyenes okostelefon-alkalmazások, a korszerű flottamenedzsment rendszerek (magáncégek autói és közösségi járművek egyaránt) és még sok egyéb technológia mind-mind hozzájárulhatnak egy magas színvonalú és költséghatékony szolgáltatás megteremtéséhez.

A közúti közlekedés forgalomtechnikai paramétereinek megfelelő ismerete döntő fontosságú a színvonalas utazási szolgáltatások biztosításához akár egyéni, akár közösségi közlekedésről legyen szó. A jellemző forgalmi adatok ismerete jó alapot adhat a városi autóbusz-vonalak menetrendjének tervezéséhez vagy a közúti csomópontok jelzőlámpás szabályozásához. A valós idejű forgalmi információk pedig további távlatokat nyitnak meg, amelyek skálája igen széles: az egyéni útvonaltervezéstől az energiahatékony járműirányításon át a teljes közlekedési hálózat optimális irányításáig. A különféle szenzoradatok azonban önmagukban nem szolgáltatnak teljes koherens információt a forgalom állapotáról, azaz csupán ezen adatok külön-külön való értelmezése nem adja meg a hálózatot jellemző forgalomnagyság, forgalomsűrűség, utazási idő vagy célforgalmi információkat. Ahhoz, hogy egy hálózat forgalmi állapotát minél jobban megismerjük, a legkézenfekvőbb megoldás a hálózat teljes körű „lefedése" szenzorokkal. Ez azonban csak teoretikus feltételezés, miután a szenzorok telepítése és karbantartása ekkora méretben rendkívül költségigényes feladat lenne. Ennek megfelelően szükséges valamilyen költséghatékony megoldás keresése, hogy a ritkán telepített, illetve a heterogén formában rendelkezésre álló adatok felhasználásával jó becslést kapjunk a forgalom állapotáról. Természetesen egy ilyen algoritmusnak rengeteg problémával kell megküzdenie, mint például a különböző szemantikájú adatok, a térben és időben máshogy megjelenő adatok, illetve az adatkimaradások problémájával. Mindezeket figyelembe véve, cikkünk célja a korszerű mérési adatok vizsgálata együttes felhasználhatóságuk szempontjából. Alapgondolatunk szerint a vegyes szenzortechnológiákból származó információk megfelelő fúziójával jobb és hatékonyabb közlekedési rendszerek és szolgáltatások alakíthatók ki – szemben az egyedi mérési technológián alapuló megközelítéssel.

2. MÉRÉSI TECHNOLÓGIÁK ÉS JELLEMZŐIK

A közúti közlekedésben alkalmazott vagy alkalmazható mérőrendszerek köre gyakorlatilag

két főcsoportra bontható: hagyományos és alternatív technológiákra. A hagyományos módszerek alatt a kifejezetten közúti forgalmi paraméterek méréséhez tervezett és a gyakorlatban alkalmazott szenzorokat értjük: hurokdetektor, pontszerű mágnesdetektor, kamera, stb. Az alternatív szenzorként pedig azokat a technológiákat azonosítjuk, amelyeket alapvetően nem forgalomtechnikai mérésekhez fejlesztettek, ugyanakkor mégis ilyen jellegű – másodlagos – információkkal rendelkeznek: flottamenedzsment rendszerekből származó adatok, mobiltelefon cellainformációs adatok, mobiltelefon GPS adatok stb. A következőkben a különböző szenzortechnológiák tulajdonságait vizsgáljuk.

2.1. Hagyományos közúti méréstechnika

A klasszikus közúti szenzorokat célzottan forgalomtechnikai paraméterek megbízható mérésére tervezik. Ezek alapvetően keresztmetszeti mérések elvégzésére használhatók a közúti úthálózaton [11]. Ennek megfelelően időbeli paraméterek képzésére alkalmasak: időbeli foglaltság a detektor fölött, követési időköz, forgalomnagyság és időbeli átlagsebesség. Az utóbbit egy detektor esetén csak becsülni lehet egy átlagos járműhossz felhasználásával. Amennyiben egymás után több detektort helyezünk el az úton (tipikusan az autópályákon), természetesen lehetőség nyílik az időbeli átlagsebesség sokkal pontosabb meghatározására. Bár a kamerás képfelismerési technológia nagyon fejlett, általában ezen eszközök is csupán virtuális hurokdetektorokkal operálnak. Annyi előnyük viszont van, hogy így tetszőleges számú és méretű hurkokat lehet segítségükkel „lerakni" a mérendő területen. Ezáltal olyan térbeli paraméterek képzésére is alkalmasak, mint a térbeli foglaltság vagy a járműsűrűség.

Általánosságban elmondható, hogy a hagyományos szenzorokkal – megfelelő kalibrálás és simítás mellett – megbízható pontosságú mérőrendszerek alakíthatók ki, amelyekben gyakorlatilag folyamatos mérések folynak. Hátrányuk ugyanakkor a magas telepítési és karbantartási költség, aminek következtében nagyszámú mérési hely (pl. egy egész városi hálózat fontosabb útszakaszait lefedő rendszer) kialakítása nem életszerű. További korlátot jelent a mérések pontszerű jellege. Azaz ilyen szenzorokkal nagyobb térbeli kiterjedésű mérések nem megvalósíthatók, pl. közvetlen honnan-hová utazási információk vagy utazási idők.

2.2. Alternatív közúti mérési technológiák

Az elmúlt évek információtechnológiai fejlődése robbanásszerűen kinyitotta az alternatív szenzorok alkalmazásának lehetőségét. Mára mérhetetlen mennyiségű olyan historikus vagy valós idejű adatbázis létezik, amelyeket ugyan nem közvetlenül a közúti forgalom mérése céljából állítottak/állítanak elő, de jellegükből adódóan mégis hordoznak ilyen többletinformációkat. Jóllehet ezen adatok nagy része még nem áll rendelkezésre (általában piaci vagy szervezési okokból kifolyólag), elérhetőségük esetén jelentős potenciált jelentenének közlekedésszervezési vagy szolgáltatási szempontból. Éppen ezért érdemes azokat behatóbb vizsgálatnak alávetni, hiszen a közeljövőben már számíthatunk ezen adatok elérhetőségére.

Az egyik leggyakoribb ilyen adattípus a flottamenedzsment rendszerek által rögzített GPS alapú járműtrajektória információ, amely a járművek valós idejű monitorozását teszi lehetővé. Az FCD (Floating Car Data) rendszerekben egy fedélzeti egység valós időben szolgáltat adatokat a jármű aktuális sebességéről, pozíciójáról, illetve egyéb, az üzemeltető számára fontos jellemzőkről, például az üzemanyag-fogyasztásról. Ezen adatok segítségével utazási idők, honnan-hová információk, sőt útvonaladatok is megbízhatóan becsülhetők. FCD információkat nap mint nap számtalan rendszerben gyűjtenek. A flottamenedzsment rendszereknek számos felhasználói köre van mind a magán-, mind a közszférában. A magáncégek közül jellemzően az áruszállítóknál és a taxiknál találkozhatunk ezekkel a rendszerekkel. Egy példa erre a Berlinben megvalósított rendszer [5], ahol a forgalomirányító központ valós idejű taxi GPS adatokat kap (járművenként kevesebb, mint 2 perces mintavételi idővel). A közösségi közlekedés esetében hazai példákkal is találkozhatunk. Ilyen többek között a Budapesten épp aktuálisan kiépülő FUTÁR rendszer. A külföldi alkalmazások közül pedig érdemes megemlíteni még a Londonban

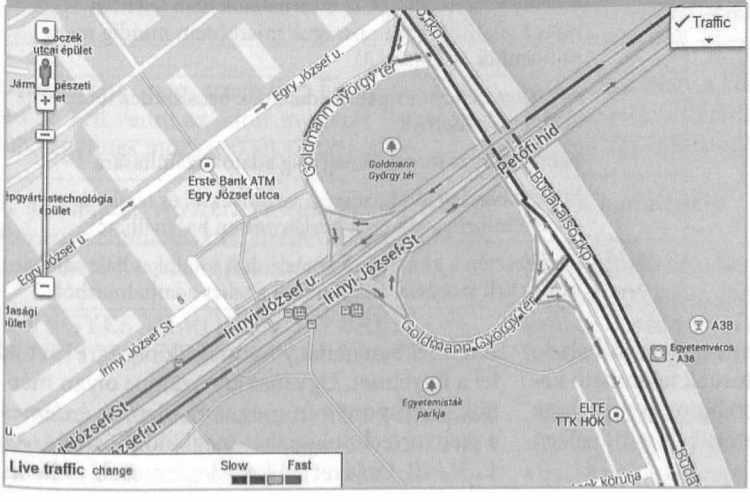
működő rendszert, ahol magánfelhasználók is követhetik a különböző járművekről beérkező adatokat [18].

A témában a másik komoly potenciált az FMD (Floating Mobile Data) információk jelentik, amelyek az utazó mobiltelefonok pozícióadatait használják fel. Az FMD két csoportra bontható: a kliens-oldali és a szerver-oldali információgyűjtésre. Az előbbi esetében az okostelefonon futó applikációk segítségével nyerhető ki GPS pozícióadat. Az ilyen applikációk persze cserébe forgalmi információkkal látják el a felhasználót. Ismert példa erre a Google Map alkalmazás Traffic funkciója. Itt az adatok forrása részben flottakezelő cégektől, részben pedig a magánemberek okostelefonjai által szolgáltatott GPS adatokból tevődik össze. Ez a szolgáltatás egy térképre kirajzolva nem pontos sebességeket, hanem csupán színkóddal kifejezett forgalmi kategóriákat ad meg az egyes útszakaszokra vonatkozóan (1. ábra).

Az FMD információk beszerzésének másik lehetősége a szerver-oldali technológiák alkalmazása. Ez esetben is az utazó mobiltelefonok megfigyeléséről van szó, de kizárólag a telefonoperátor oldaláról. Ha egy mobiltelefon mozog, úgy az különböző típusú jelzéseket generálhat a rádiófrekvencia alapú telekommunikáció működésének megfelelően. Ezek az események akár helyfüggő szolgáltatások kiszolgáló adataiként is szolgálhatnak [8]. E téma számos kutatási iránya mellett, kiemelkedő terület a rádiótelefon-hálózati adatok közúti közlekedésben való alkalmazhatósága. A hálózati adatok legnagyobb előnyét a számossága jelenti, hiszen gyakorlatilag mindenki rendelkezik mobiltelefonnal. Az összes, utazók által generált eseményt a telekommunikációs rendszert üzemeltető operátor a bázisállomásokon keresztül automatikusan érzékeli. Ezáltal a mobiltelefonok gyakorlatilag olyan detektorokként is felfoghatók, amelyek nem igényelnek addicionális infrastruktúrabővítést. Az ilyen adatok feldolgozása ugyanakkor megfelelő algoritmusok meglétét igényli [17]. A szerver-oldali FMD legfőbb előnye, hogy gyakorlatilag a közlekedési hálózat teljes körű mérésére alkalmas (pl. célforgalmi mátrix becslése). Ezen kívül a sebességbecslés pusztán a rádiótelefon-hálózati adatok felhasználásával (GPS adatok nélkül) is megvalósítható [9].

Egy további, hasonlóképpen rádiófrekvenciás technológia a – néhány városban már üzemelő – Bluetooth alapú érzékelés [14]. A rendszer az úton elhaladó járművekben található vezeték nélküli eszközök (pl. mobiltelefon vagy kihangosító) egyedi azonosítói (MAC-cím) alapján képes megbecsülni a forgalmi paramétereket.

1. ábra: Pillanatkép a Google Map-ből



2.3. A különböző mérési technológiák jellemzői

Látható, hogy a klaszszikus technológiák mellett egyre több hatékony, alternatív megoldás áll rendelkezésre a közvetlenül mérhető forgalmi paraméterek, ill. az abból származtatható paraméterek – különös tekintettel a célforgalmi mátrix és az utazási idők – monitorozására. Ugyanakkor csupán a mért sebességértékekből nem lehet

1. táblázat: A hagyományos, keresztmetszeti szenzorok jellemzői

Keresztmetszeti szenzorok jellemzői	
Mérhető és számítható paraméterek	forgalomnagyság
	időbeli foglaltság
	sebesség
	követési időköz
Mintavételi idő	gyakorlatilag tetszőleges
Műszaki előnyök	megbízható pontosságú mérés
	folyamatos rendelkezésre állás
Hátrány	költséges telepítés és üzemeltetés
	a költségek miatt nem alkalmas teljes hálózatok lefedésére
	nem alkalmas nagyobb térbeli kiterjedésű mérésekhez (OD-mátrix, utazási idők, útvonalak)
	gyakori meghibásodás

2. táblázat: Az FCD és kliens-oldali FMD szenzorok jellemzői

FCD és kliens-oldali FMD szenzorok jellemzői	
Mérhető és számítható paraméterek	pozíció időbélyeggel
	pillanatnyi sebesség
	utazási idő
	útvonal
	honnan-hová információ
Mintavételi idő	nagyon változó, rendszerfüggő
Műszaki előnyök	megbízható pontosságú mérés
	nincs telepítési és üzemeltetési költség (általában szolgáltatás formájában megvásárolható adatok)
Hátrány	a rendelkezésre álló FCD információk nem feltétlen reprezentatívak a számosságuk miatt (nem mindig megy mindenhol FCD jármű)
	egy teljes hálózat forgalmi adatainak becsléséhez több flotta adatai is kellhetnek
	nem alkalmas forgalomnagyság adatok számítására
	buszsávban haladó közösségi járművektől és taxiktól érkező információk csak korlátozottan használhatók
	FMD esetén a különböző közlekedési módokat használókat utólag kell szűréssel elkülöníteni a teljes adathalmazból

egyértelműen következtetni az úton áthaladó forgalomnagyságra. A pontosnak tekinthető keresztmetszeti mérésekből pedig nem vagy csak hozzávetőlegesen becsülhetők hálózati jellegű forgalmi adatok.

A fentiekben néhány fontos különbségre hívtuk fel a figyelmet. Ugyanakkor számos olyan mérnöki szempont van még, ami alapján érdemes a szenzortechnológiákat megkülönböztetni. Az 1., 2. és 3. táblázat azokat a legfontosabb jellem-

3. táblázat: A szerver-oldali FMD szenzorok jellemzői

Szerver-oldali FMD szenzorok jellemzői	
Mérhető és számítható paraméterek	pozíció (cellaazonosító időbélyeggel)
	utazási idő
	útvonal
	honnan-hová információ
Mintavételi idő	gyakorlatilag tetszőleges
Műszaki előnyök	a rendelkezésre álló FMD információk igen reprezentatívak a számosságuk miatt (gyakorlatilag minden egyedül utazónak van mobiltelefonja)
	egy teljes közlekedési hálózat OD-mátrixának megbízható becslésére alkalmas
	nincs telepítési és üzemeltetési költség (általában szolgáltatás formájában megvásárolható adatok)
Hátrány	az útvonal információ csak becsülhető
	az utazási idő bizonytalan rövidebb útvonalon a pontatlanabb helymeghatározás miatt (a cellaváltás helye szór), de hosszabb útvonalon csökken a hiba
	városon kívüli környezetben csak durvább becslésre alkalmas a cellák nagyobb mérete miatt
	a különböző közlekedési módokat használókat utólag kell szűréssel elkülöníteni a teljes adathalmazból

4. táblázat: Forgalmi adatok osztályozása

Mérés	Esemény alapú	Aggregált
Keresztmetszeti	Pillanatnyi sebesség, foglaltság, követési időköz	időbeli átlagsebesség, forgalomnagyság, átlagos követési időköz
Térbeli	utazási idő, átlagsebesség, pozíció időbélyeggel, trajektória	térbeli átlagsebesség, forgalomsűrűség, célforgalmi mátrix, átlagos utazási idő

zőket gyűjti össze, amelyeket feltétlenül figyelembe kell venni az adott módszer (vagy akár több együttes módszer) alkalmazásakor.

A 4. táblázat egyszerű áttekintést ad a fenti szenzortechnológiák segítségével mérhető vagy becsülhető forgalmi adatokról.

3. VEGYES MÉRŐRENDSZEREK EGYÜTTES FELHASZNÁLÁSA

Az előző fejezetben rámutattunk a különböző szenzorok sokféleségére, előnyeire és hátrányaira. A vegyes technikák alkalmazásának alapgondolata, hogy a különböző adatok megfelelő fúziójával jobb eredményhez juthatunk, mint csupán egy-egy módszert használva.

3.1. Az adatfúzió

Az adatfúzió nem konkrét technika, hanem egy olyan alapfeladat, ahol különböző információkat kell közös nevezőre hozni. Mitchell [12] így határozza meg az adatfúzió definícióját:

„Elmélet, technikák és eszközök arra a célra, hogy különböző szenzor-, származtatott adatokat közös reprezentációs formára hoz-

zunk. Az adatfúzió során az a célunk, hogy növeljük az információ minőségét, hogy az számunkra releváns szempontból jobb legyen, mintha az adott forrásokat külön-külön használnánk."

Természetesen az adatfúzió használata nem minden esetben indokolt. Amennyiben létezne minden szempontból tökéletes információforrás, nyilvánvalóan nem lenne szükség a technika alkalmazására. Az adatfúziós megoldások használata általánosságban a következő előnyökkel járhat [1][7]:

Megbízhatóság, robusztusság, redundancia
Az olyan rendszert, amely csak egy bemeneti forrásra támaszkodik, nem lehet robusztusnak nevezni, miután az egyetlen bemenet meghibásodása esetén a teljes rendszer működésképtelenné válhat. Ennek megfelelően a több adatforrásra támaszkodó rendszer, – amely így redundáns adatforrást használ – sokkal hibatűrőbb.

Pontosság
A több forrásból gyűjtött adatok kombinálásából pontosabb információt lehet kinyerni. Ezzel párhuzamosan a több szenzorból érkező adatok a mérési hiba javítására is felhasználhatóak.

Teljesség, lefedettség
Több adatforrás segítségével jobban le lehet fedni a teljes eseményteret. Ez főleg térben és időben kiterjedt mérések esetén igaz, illetve többféle tulajdonság együttes mérése esetén.

Költséghatékonyság
Főleg közlekedési hálózatoknál, ahol a teljes szenzorozottság túlságosan költséges lenne, az adatfúziós technikák alkalmazása kifejezett előnyt jelenthet. Ráadásul egy adott mérőeszköz esetében is olcsóbb lehet több, kevés paramétert alkalmazó szenzort alkalmazni, mint egy, teljes lefedést biztosító mérőeszközt.

Adatábrázolás, értelmezés
A szakértői, ill. döntéshozói rendszerek esetében az információ komplexitása megakadályozhatja a helyes döntést. Az adatfúzió segítségével az információt a döntés szempontjából legjobb alakban lehet megjeleníteni.

Időbeliség
Több szenzor adatát felhasználva Időben folyamatosabb információhoz juthatunk.

Szenzorkonfiguráció alapján az adatfúziót alapvetően három csoportra oszthatjuk, amelyek értelemszerűen a legtöbbször valamely hibrid architektúrában jelennek meg:

Kiegészítő
Kiegészítő szenzorkonfigurációról akkor beszélünk, ha a telepített adatforrások ugyanazon jelenséget más, egymást nem lefedő aspektusból vagy más méréstartományban mérik. Ekkor egyik szenzor sem képes a többi feladatát kiváltani.

Kompetitív
Kompetitív konfiguráció esetén a szenzorok részben vagy teljesen ugyanazt a jelenséget mérik, és így elvileg ugyanazt az eredményt kell szolgáltatniuk. Ez a konfiguráció a mérési hibák kiszűrésére alkalmas.

Kooperatív
Kooperatív szenzorkonfiguráció esetén olyan információra vagyunk kíváncsiak, amelyiket egyetlen szenzor sem tud önmagában mérni, ám a szenzorok adataiból valamilyen algoritmussal előállítható.

Az adatfúziós rendszerek megvalósítás szempontjából szintén háromféle alapkialakítással bírhatnak [13].

Centralizált
A centralizált rendszerek esetében a mérések egy központi feldolgozó egységbe futnak be. Minden feldolgozás és kiértékelés ebben az egységben történik.

Decentralizált
Decentralizált feldolgozás esetén több különálló fúziós modul állítja elő a szenzorok adataiból a számára érdekes információt. Ebben az esetben nem minden egységnek van szüksége minden szenzor adatra, illetve a teljes állapottérre.

Elosztott
Az elosztott rendszerek esetében az egy vagy több feldolgozó egység nem közvetlenül a szenzorokkal áll kapcsolatban, hanem valamely előfeldolgozó egységgel.

Az adatfúzió célja a közúti közlekedésben:
A külön-külön elszigetelten működő mérési, információs és szabályozási rendszerek önmagukban nem képesek maximális hatékonyságot elérni, miután nem áll rendelkezésükre teljes kép a forgalom állapotáról. Egy egységesített adatfeldolgozás azonban a valóságnak jobban megfelelő állapotleírást szolgáltathat, amelynek eredménye-

képp minden alrendszer optimális működésre bírható. Az adatfúzió tehát a közúti közlekedés minden intelligens részrendszerét szolgálhatja. Ezek a rendszerek alapvetően mérő, becslő, információs, előrebecslő vagy irányító funkciókat láthatnak el [14]:

Mérő rendszerek

Alapvetően az adatfúziós technikák arra adnak lehetőséget, hogy a különböző szintaktikával és szemantikával rendelkező adatokat egységes platformra gyűjtsük ki. Ugyanakkor – ennek továbbgondolásaként – megfelelő becslő és adatkiegészítő algoritmusok a hálózat azon részeinek forgalmi állapotát is képesek felfedni, ahonnan semmilyen pillanatnyi szenzorinformáció nem érkezik.

Információs rendszerek

Az utas- és vezetőtájékoztatás a 21. században már elvárás a közlekedés szereplői részére. A korszerű navigációs rendszerek már rendelkeznek közlekedés- és útinformációkkal. Természetesen ezen a területen is kifejezetten előny a teljes hálózati állapot ismerete.

Becslés és előrejelzés

Az automatikus forgalomirányítási feladatok elvégzéséhez elengedhetetlen a hálózat állapotának ismerete. Ennél is jobb eredményt lehet azonban elérni, ha nem csak a hálózat jelenlegi állapotát ismerjük, hanem a jövőbeli állapotra is megbízható becslést tudunk adni.

Hálózati szintű forgalomirányítás

Az utazók tájékoztatása, a navigáció hatékonyságának fokozása, illetve az incidens detektálás mellett a forgalmi adatok adatfúziós feldolgozásának egyik csúcskimenete a hálózati szintű forgalomirányítás alapjául szolgáló adatok előállítása. Ebben az esetben az ismert volumenek és célforgalmi mátrixok ismeretében lehet optimális hálózati forgalomlefolyást elérni.

Természetesen ezek a rendszerek nem minden esetben függetlenek egymástól. Sőt legtöbb esetben az éles határokat sem lehet meghúzni köztük, mivel gyakran egymás funkcióit támogatják vagy egészítik ki.

3.2. Adatfúziós módszerek a közúti közlekedésben

A közelmúltban számos adatfúziós technikát ismertető publikáció látott napvilágot. A teljesség igénye nélkül az alábbiakban megemlítünk ezek közül néhány fontosabb eredményt.

A kutatásokban a forgalom állapotbecslésére leggyakrabban alkalmazott adat-összeolvasztási technika a Kalman-szűrő [21][20], ill. különböző változatai (például a kiterjesztett Kalman-szűrő) alkalmazása. A közúti közlekedés területén való alkalmazhatóságát először Szeto és Gazis ismerte fel és publikálta 1972-ben [15]. Az ilyen jellegű kutatások azt a feltételezést alkalmazzák, hogy a legtöbb analitikus forgalmi modell felírható állapottér alakban. Egy ilyen eredményt ismertetnek Chu és társai [4], amely jól mutatja, hogy az adatfúzió feltételeinek már a több hurokdetektort alkalmazó mérések is megfelelnek. Ugyanakkor egyes kutatások heterogén adatforrást alkalmaznak a becslés javításához. Herrera és Bayen [6] a klasszikus keresztmetszeti mérést kombinálja mozgó szenzor adatokkal, ami gyakorlatilag néhány kiválasztott jármű trajektóriájának GPS alapú követését jelenti. Ebben az esetben a mozgó járművek adataival (a megmaradási egyenlet és a makroszkopikus modell segítségével) felírható az adott hely forgalomsűrűsége, és forgalomnagysága, amely már azonos reprezentációjú a keresztmetszeti mérésekkel. Így közös becslésnek lehet őket alávetni Kalman-szűrő alkalmazásával.

A különböző digitális szűrők alkalmazásának legnagyobb előnye, hogy kis számítási igény mellett, iteratív módon képesek becslést végezni. A rendelkezésre álló számítási kapacitás drasztikus növekedése azonban más, korábban valós időben nem lefuttatható megoldások alkalmazását is lehetővé tette. Így kerültek előtérbe az optimalizálás alapú technikák. A cél ebben az esetben a megfelelő célfüggvény felírása valamely forgalmi jellemzőre, például utazási időre. A korlátozó feltételeket az adatok, illetve forgalmi modellek szolgáltatják. A módszert alkalmazva Böker és Lunze [2] a keresztmetszeti és a járműméréseket, illetve a forgalmi modellt kombinálja. Ezek felírásával a korlátok adottak, és egy lineáris programozási feladat megoldásával az utazási idő minimum-maximum becslését lehet elvégezni.

A forgalmi paraméterek becslésének egy másik kis számítási igényt jelentő módja a különböző interpolációs technikák alkalmazása. Ezek leg-

inkább a képfeldolgozásból ismert konvolúciós szűrési módszerekhez hasonlíthatók. Treiber és Helbing [19] interpolációs technika alkalmazásával készített egy simító konvolúciós szűrőt, amely alkalmas a térben nem állandó pontszerű (FCD) méréseket fix mérőpontok (hurokdetektor) adataival fuzionálni.

Az előző technikák alapvetően a mérési adatok és az alkalmazott forgalommodell közötti konzisztenciára épülnek. Az adatfúziós eljárás során megfelelően súlyozva a méréseket és a modellt, egy kielégítő egyensúly állítható fel a kettő között. Egy ettől eltérő módszert javasol [14] az ún. adat-adat konzisztencia alkalmazásával. A technika lényege, hogy csak egyszerű (lineáris) modelleket használva kettő vagy több mérési adatot egymással kalibrál. Tipikus példa erre a hurokdetektorok zajos sebességmérésének pontosítása a kvázi hibamentes FCD alapú utazási idővel, autópályán.

4. ADATFÚZIÓS MÓDSZERTAN A VÁROSI KÖZÚTI KÖZLEKEDÉSBEN

Ma már az adatfúzió a közlekedéstudomány egyik legaktívabban kutatott területe köszönhetően az információtechnológia óriási fejlődésének. A publikált technikák ugyanakkor javarészt az autópályák állapotának rekonstruálására irányulnak, keresztmetszeti (hurokdetektor) mérések, illetve FCD/FMD alkalmazásával. A kutatások keveset foglalkoznak a mobiltelefon-hálózatok cellainformációiban rejlő lehetőségek kiaknázásával. További nyitott terület egy integrált – minden szenzormérést felhasználó – adatfúziós keretmodell kialakítása teljes városi hálózat állapotbecslésére. Így elmondható, hogy ez a terület még rendkívül sok lehetőséget rejt magában. Ennek megfelelően a következőkben városi, integrált, adatfúziós keretmodell egy lehetséges módszertanát ismertetjük. A kutatást többek között a „Smarter Transport" projekt (TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0012) indukálta, amelynek egyik fő célkitűzése, egy vegyes mérőrendszereken alapuló forgalmi adatgyűjtő technológia fejlesztése.

4.1. A városi hálózat problematikája

Amennyiben városi úthálózaton szeretnénk adatfúziós módszertant alkalmazni, számos nehézséggel szembesülünk, amelyek a városi közlekedés sajátosságaiból adódnak. Az egyik alapvető probléma az úthálózat bonyolultsága, amelynek következményeképpen a szerver oldali FMD szenzorok adataiból sokkal pontatlanabb az útvonalak reprodukálása, mint ugyanez autópályán. Ennek fő oka, hogy a mobiltelefon-hálózati cellák több lehetséges útvonalat is takarhatnak egyszerre [17].

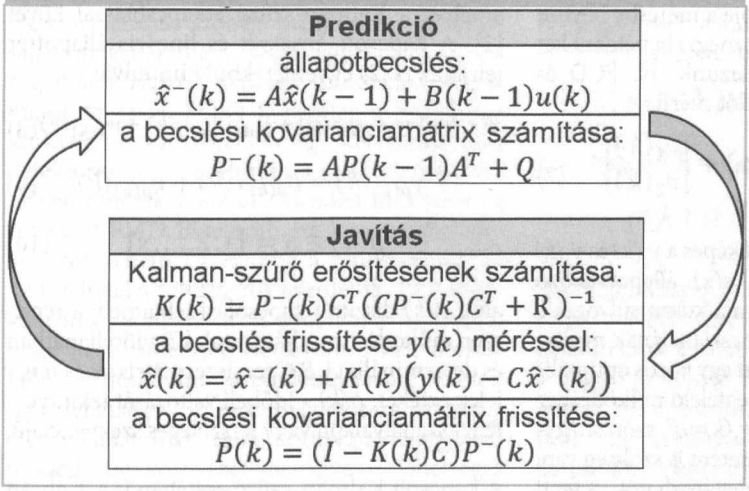
Másik nehézség a jelzőlámpás forgalomirányítás hatása, amely modellezési szempontból „durva" beavatkozás a forgalomáramlási folyamatokba. Az autópályák forgalmát jól megfogható makroszkopikus (folyadékáramlási) modellek írják le. A városi hálózat modelljei ugyanakkor elnagyoltak, vagy – amennyiben részletes mikroszkopikus leírások – gyakorlati alkalmazhatóságukat megkérdőjelezi a rengeteg, szükséges mérés és számítás.

További probléma, hogy a jellemzően rendelkezésre álló sokféle szenzorból csak a hurokdetektorok alkalmazhatók közvetlenül pontos forgalomnagyság-mérésre. A szerver-oldali FMD adatok honnan-hová információi csak elnagyoltabb becsléshez alkalmazhatók (pl. aggregált forgalmi adatok zónából zónába).
A fentiekből kifolyólag egy olyan egyszerű megközelítést kerestünk, amely bonyolult modellektől mentesen, egyszerűen csak az úthálózat egyes szakaszaira vonatkozóan igyekszik megbízható becslést szolgáltatni vegyes szenzortechnológiák fúziójával. Mivel az FCD/FMD mérések jól reprezentálják egy útszakasz megtételéhez szükséges átlagos utazási időt – és azt akár hurokdetektoros mérésekből empirikus úton is becsülhetjük – az integrált adatfúziós keretmodellünk keresett paramétere az utazási idő.

4.2. Kalman-szűrő alapú adatfúzió

Az adatfúziós módszertanunk a közlekedésmérnöki gyakorlatban is sokat alkalmazott Kalman-szűrő technikára épül, amely egy rekurzív megoldás a diszkrét adatok lineáris szűrési problémájára [21]. A módszerrel hatékonyan becsülhető a dinamikai rendszerek állapota még akkor is, ha a modellezett rendszer pontos természete nem ismert.

2. ábra: A Kalman-szűrő kétfázisos algoritmusa [21]



A Kalman-szűrő algoritmusának lényege, hogy egy meglévő állapot becsléséből kiszámítja a következő állapot becslését, és – figyelembe véve a következő helyzetben fellépő mérési eredményt – javítja a becslést. Ezen kívül rendszerkovarianciát becsül, amit a mérés felhasználásával szintén pontosít. A működés ennek megfelelően két fázisból áll: a predikció és a javítás. Jelölje az állapotvektor k időpontra vonatkozó előzetes (*a priori*) becslését $\hat{x}^-(k)$, ugyanennek utólagos (*a posteriori*) becslését pedig $\hat{x}^+(k)$. A bevezetett becslési értékek felhasználásával meghatározható a becslés előzetes és utólagos hibája, amelyekből pedig felírható mind az *a priori*, mind az *a posteriori* becslés kovariancia mátrixa ($P(k)$ és $P(k)$, amelyek a becslési hibák négyzetének várható értékét reprezentálják). A két lépéses becslési algoritmust a 2. ábra szemlélteti.

A lineáris Kalman-szűrő alkalmazásának feltétele a rendszer állapottérben történő felírása. A diszkrét, mintavételezett, időinvariáns folyamat állapotát az alábbi lineáris differenciaegyenlettel írhatjuk le:

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + w(k) \quad (1)$$

ahol $x(k) \in R^n$ az állapotvektor, $u(k) \in R^m$ a szabályozó bemenet, $w(k)$ az állapotzaj, $A \in R^{nxn}$ és $B \in R^{nxm}$ együttható mátrixok és $k=1,2,...$ pedig diszkrét lépésköz. Az $x(k+1)$ az állapot megváltozását írja le a $[kT,(k+1)T]$ időintervallumban, ahol a T mintavételi idő. A rendszer mérési egyenlete általánosan:

$$y(k) = Cx(k) + v(k) \quad (2)$$

ahol $y(k) \in R^p$ a méréseket tartalmazó vektor, $v(k)$ a mérési zaj, $c \in R^{pxn}$ és a mérési együttható mátrix. A szűrő alkalmazásának feltétele, hogy $w(k)$ és $v(k)$ zajok nulla középértékű, Gauss-eloszlással jellemezhető sztochasztikus jelek, azaz $E\{w(k)\}=0$ és $E\{v(k)\}=0$. Továbbá szükséges a zajokra vonatkozó kovarianciamátrixok ismerete:

$$Q = E\{w(k)w(k)^T\} \quad (3)$$

$$R = E\{v(k)v(k)^T\} \quad (4)$$

Az eddig bemutatott Kalman-szűrő közvetlenül alkalmazható adatfúzióra. A fúzió feltétele csupán az, hogy a különböző mérési zajok között nem lehet korreláció.

Amennyiben feltételezzük, hogy több szenzormérés is folyamatosan rendelkezésre áll, a fenti módszer a következő állapottér modellel írható fel egy városi útszakasz átlagos utazási idejének becslésére:

$$x(k+1) = x(k) + w(k) \quad (5)$$

$$y(k) = Cx(k) + v(k) \quad (6)$$

Az (5)-ös egyenlet a rendszer dinamikát írja le az ún. véletlen bolyongási modellel (random walk model), azaz A=1 és B=1. Ennek oka, hogy nem ismerjük az utazási idő változásának természetét, így véletlenszerű folyamatnak tekintjük. Mivel a példában csak egy darab útszakasz

utazási idejét keressük, $x(k)$ és $w(k)$ változók skalármennyiségek. A mérési egyenletet jelentő $y(k)$ ugyanakkor már egy egyenletrendszert ír le. $y(k)$ mérési vektor dimenziója a mérésbe bevont szenzorok számával egyezik meg. Ha például két különböző szenzort feltételezünk (pl. FCD és FMD), amelyek az utazási időt mérik:

$$\begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} v_1(k) \\ v_2(k) \end{bmatrix} \quad (7)$$

A Kalman-szűrő közvetlenül képes a $y_1(k)$ és $y_2(k)$ méréseket felhasználni az $x(k)$ állapotváltozó becslésére. A módszer automatikusan súlyozza a méréseket a hozzátartozó kovarianciának megfelelően, majd fuzionálja azokat egy közös optimális állapotbecslést alkotva. A megfelelő működéshez természetesen $v_1(k)=\sigma_1^2$ és $v_2(k)=\sigma_2^2$ szórásnégyzetek minél pontosabb ismeretére is szükség van. Ezek empirikus úton jól meghatározhatók. A fenti példa esetén az FCD és FMD mérések jellemző szórásából számíthatók.

4.3. Adatfúzió kapcsolt Kalman-szűrővel

Az előző fejezetben ismertetett adatfúziós technika hatékonyan és könnyen alkalmazható, amennyiben a mérések periodikus időintervallumonként és szinkronban előállíthatók. Ez a feltétel azonban még nagy forgalmú városi útszakaszokon sem egyértelműen áll fenn, nem beszélve a csúcsórán kívül eső időszakokról. A probléma áthidalására az ún. kapcsolt állapottér elméletét (switched system) alkalmazhatjuk [9]. A kapcsolt leírás lényege, hogy egy adott rendszert több (véges számú) állapottér reprezentációval írunk le, amelyek gyakorlatilag különböző működési módokat jelentenek. Ezen túlmenően, az eltérő működési módokhoz külön-külön Kalman-szűrő is tervezhető. Az ily módon leírt rendszer külső események hatására vált egyik működési módból a másikba, amelyet a Kalman-szűrő átkapcsolással követ [2]. A kapcsolt, diszkrét és lineáris állapottér leírás az (1-2) egyenletekből kiindulva:

$$x(k+1) = A_{\rho(k)}x(k) + B_{\rho(k)}u_{\rho(k)}(k) + w_{\rho(k)}(k) \quad (8)$$

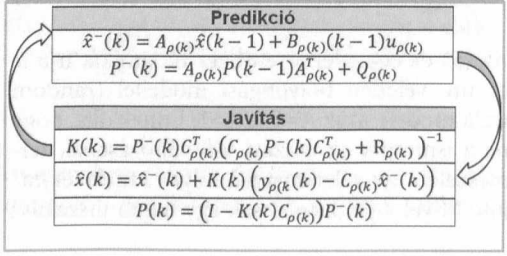
$$y_{\rho(k)}(k) = C_{\rho(k)}x(k) + v_{\rho(k)}(k) \quad (9)$$

$$\rho(k) \in S = \{1, 2, \ldots, s\} \quad (10)$$

ahol $\rho(k)$ diszkrét kapcsolási jel, amely a rendszer működési módjára utal kT időpillanatban és determinálja A,B,C rendszermátrixok és u,w,v jelek értékét. $\rho(k)$ – időbeli változását tekintve – lehet szabályalapú vagy tetszőleges szekvenciájú.

A kapcsolt Kalman-szűrő esetében is a 2. ábrán látható algoritmus kerül felhasználásra, csak mindig az adott $\rho(k)$ rendszermódra vonatkozóan. A szűrő a közbenső $\hat{x}^-(k)$ és $P(k)$értékeket alkalmazza akkor is, ha az aktuális mód eltérő az előzőtől: $\rho(k)\neq\rho(k-1)$. A módosított becslési algoritmust a 3. ábra szemlélteti.

3. ábra: A kapcsolt Kalman-szűrő kétfázisos algoritmusa



4.4. Városi útszakaszok utazási idejének adatfúziós becslése

A kapcsolt Kalman-szűrő alkalmazásával könnyen orvosolható a közúti közlekedés mérőeszközeire jellemző heterogenitási probléma. Az időben változó számú szenzorhalmaz teljes mértékben kezelhetővé válik, ugyanakkor a Kalman-szűrő adatfúziós előnye is kiaknázható. A következő módszertani leírás ezeket a kedvező lehetőségeket kihasználva igyekszik tetszőleges városi útszakaszok utazásiidő-becslésének adatfúziós módszertanát felállítani.

A kapcsolt Kalman-szűrő alkalmazásának feltétele a rendszer megfigyelhetősége, azaz:

$$rang\begin{bmatrix} C_{\rho(k)} \\ C_{\rho(k)}A_{\rho(k)} \\ \vdots \\ C_{\rho(k)}A^{n-1}_{\rho(k)} \end{bmatrix} = n \quad (11)$$

Ha nincs egyetlenegy elérhető mérés sem az adott ciklusban, a fenti feltétel természetesen

nem teljesül. A mi esetünkben azonban már egy darab szenzor esetén is biztosított a (11)-es feltétel. Figyelembe véve a rendelkezésre álló szenzormérések időbeli megjelenési gyakoriságát megállapítható, hogy egyedül a térben rögzített eszközök képesek mindenkor folyamatos mérésre. Ebből kifolyólag a becsléshez szükségünk van legalább egy keresztmetszeti detektorra, ami egyébiránt a gyakorlatban sok helyen rendelkezésre áll. Minden más szenzor (pl. FCD, FMD, Bluetooth, stb.) potenciális eszközként vehető figyelembe a rendszerben, de nem feltétel a folyamatos jelenlétük. Ez a megközelítés azonban azt a problémát hordozza, hogy keresztmetszeti detektorból kell utazási időt mérnünk, ami közvetlenül természetesen nem lehetséges. Ennek megoldására szimulációs eljárást hívhatunk segítségül. Megfelelő modellezési környezetben ugyanis lehetséges az adott útszakasz utazási idejének meghatározása minden jellemző forgalomnagyságra. Ez történhet függvény-hozzárendeléssel *(T=f(Q))* vagy akár egyszerűen a forgalmi tartományok figyelembe vételével (pl. *T* átlagos utazási idő 0-200 jármű/h, 200-400 jármű/h stb. esetén). Ezáltal a szimulációs eszközzel „lemért" utazási idők közvetlenül – a valós detektor forgalomnagyságoknak megfelelően – adaptálhatók mérési eredményként.

A módszerben alkalmazható kapcsolt rendszer az (5-6) egyenletekből kiindulva:

$$x(k+1) = x(k) + w(k) \quad (12)$$

$$y_{\rho(k)}(k) = C_{\rho(k)}x(k) + v_{\rho(k)}(k) \quad (13)$$

$$\rho(k) \in S = \{1,2,3,4\} \quad (14)$$

ahol $x(k)$ állapotváltozó tehát az útszakasz átlagos utazási idejét jelenti. $\rho(k)$ a kapcsolási jel, ami csak a mérési egyenletre hat. S halmaz a négy különböző mérési kombinációt tartalmazza, amelyeket az 5. táblázatban szemléltetünk - az egyszerűség kedvéért összesen három különböző szenzort feltételezve (hurokdetektor, FCD, FMD).

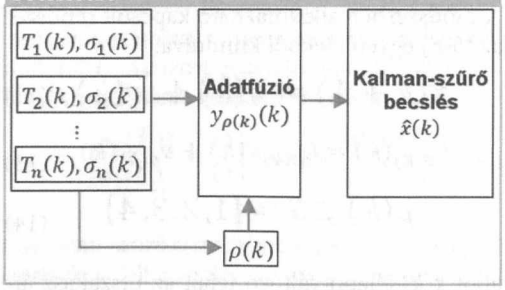
$y_{\rho(k)}(k)$ mérési vektorban a három különböző mérőeszköz által előállított utazásiidő-mérések kombinációi találhatók. Érdemes megfigyelni, hogy $C_{\rho(k)}$ első elemének értéke mindig 1. Ez utal a folyamatos detektoros mérésre, és ez az, ami biztosítja a (11)-es feltétel teljesülését. $C_{\rho(k)}$ második és harmadik eleme 0 vagy 1 értéket is felvehet attól függően, hogy az adott mérési periódusban érkezett-e FCD és/vagy FMD mérés. A kapcsolt Kalman-szűrő tehát az 5. táblázatnak megfelelően váltakozik a $\rho(k)$ jel függvényében, ami természetesen ismert érték.

A $v_{\rho(k)}(k)$ mérési zajról kell még szót ejteni, mivel annak ismerete elengedhetetlen a megfelelő becsléshez. Ezek előzetesen jól meghatározhatók a mérések jellemző szórásából. Fontos kiemelni, hogy $v_{\rho(k)}(k)$

5. táblázat: A különböző mérési konfigurációk

$\rho(k)$	$y_{\rho(k)}(k)$	$C_{\rho(k)}$	$v_{\rho(k)}(k)$
1	$\begin{bmatrix} T_1^{hurok} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
2	$\begin{bmatrix} T_1^{hurok} \\ T_2^{FCD} \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 \\ \sigma_2^2 \\ 0 \end{bmatrix}$
3	$\begin{bmatrix} T_1^{hurok} \\ 0 \\ T_3^{FMD} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 \\ 0 \\ \sigma_3^2 \end{bmatrix}$
4	$\begin{bmatrix} T_1^{hurok} \\ T_2^{FCD} \\ T_3^{FMD} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 \\ \sigma_2^2 \\ \sigma_3^2 \end{bmatrix}$

4. ábra: Az adatfúziós eljárás blokksémája városi útszakasz átlagos utazási idejének becslésére



időben változó, hiszen egy adott mérőeszköz szórása is változhat időben, pl. az FCD alapú utazási idő, amennyiben interpoláció eredménye. A keresztmetszeti detektor esetén az előzetes szimulációs eljárások kiértékelésekor jutunk szórásértékekhez. Az FCD/FMD által mért utazási idők esetén pedig akár folyamatosan az adott méréshez kapcsolódóan is változhat a szórás. A bemutatott rendszerben a keresztmetszeti detektorok által kalkulált utazási időnek a legnagyobb a szórása a három szenzor közül. A potenciálisan megjelenő FCD/FMD mérések sokkal kisebb mérési zajjal terheltek, így nagyban hozzájárulnak a becslés pontosságához. Ennek egyenes következményeképpen, a forgalmasabb nappali időszakokban várhatóan az adatbecslés nagyobb megbízhatóságú lesz. A kevésbé forgalmas napszakokban pedig pontatlanabb lehet a becslés. Ugyanakkor ilyen időszakokban statikus adatbázis alapján is lehet utazási időt számolni, hiszen a forgalmi hatás nem jelentős.

A fent ismertetett adatfúziós becslési eljárást a 4. ábra szemlélteti.

4.5. Az adatfúzió kiegészítése hálózati forgalombecsléssel

Az előző fejezetben ismertetett módszertannal előállítható információk az utazók tájékoztatása szempontjából nagyon előnyösnek bizonyulnának. Ugyanakkor ezek a becslési adatok további haszonnal alkalmazhatók, hiszen jellegükből adódóan akár egy egész hálózatot lefedő információhalmazt is jelenthetnek. Éppen ezért makroszkopikus forgalombecslés finomítására is felhasználhatjuk őket. Mint azt már korábban publikáltuk [17], a forgalmi ráterhelés javítható az utazásiidő-adatokkal. Amennyiben rendelkezésünkre áll egy (pl. korábbi statisztikák alapján) előre meghatározott vagy akár valós időben (mobilcella adatok alapján) becsült *O-D* mátrix, klasszikus forgalmi ráterhelést [20] végezhetünk. A ráterhelés gyakorlatilag egy forgalmi modellt képez, megbecsülve a hálózat útvonalainak forgalmát. Ez az eljárás javítható tovább az adatfúziós eljárásból nyert utazási idők bevonásával. Ezáltal egyfajta dinamikus forgalmi ráterhelést lehet végezni figyelembe véve a valós idejű forgalmi adatokat.

A módszer lényege, hogy az érintett útszakaszok teljesítményfüggvénye (t_a) bekorlátozható a mért átlagos utazási időkkel [17]. Ez azt jelenti, hogy a ráterhelés optimalizálási feladatában megfogalmazott peremfeltételeket kiegészíthetjük a következő korlátozással:

$$t_a^m(1-\Delta_a) \le t_a \le t_a^m(1+\Delta_a) \quad (15)$$

ahol t_a^m az a élre (útszakaszra) vonatkozó, mért átlagos utazási idő. Δ_a pedig egy bizonytalansági tényező, amely empirikusan kalibrálható például a mérésre jellemző szórás alapján.

4.6. Gyakorlati alkalmazási problémák

Az előző fejezetekben sok szó esett a különböző mérési lehetőségek kiaknázásáról. Ugyanakkor röviden szeretnénk kiemelni néhány fontos problémát, amelyeket egy gyakorlati alkalmazás során figyelembe kell venni.

A szerver-oldali mobiltelefon mérések esetén a térbeli pontatlanság okozza a legnagyobb bizonytalanságot. A cellaváltási jelzések ugyanis nem teljesen determinisztikusak, így akár több száz méteres szórása is lehet az esemény bekövetkezési pontjának. Éppen ezért az ilyen méréseket csak hosszabb útvonalak esetén érdemes használni, ahol ez a szórás az út hosszához viszonyítva már jelentősen csökken.

Általában véve az FMD mérések másik nagy problematikája pedig az, hogy nem ismerjük az adott utazási módot. Így jelentős előszűrésre van szükség, hogy például a gyalogosokat az autósoktól megkülönböztessük.

Az FCD adatok esetén biztosak lehetünk benne, hogy járműforgalmi információról van szó, ám itt is tekintettel kell lenni a járművek sajátosságaira, pl. taxik és buszok buszsávban közlekedhetnek a hálózat egyes részein, nagyobb járművek lassabb sebességgel közlekednek, az áruszállító járművek pedig gyakran leállnak az út szélére néhány perces rakodáshoz stb.

Mindezeket figyelembe véve tehát megállapítható, hogy a fentebb ismertetett módszertan esetleges megvalósítása még számtalan feladatot vonna maga után. Ugyanakkor a felmerülő problémák mérnöki szempontból kezelhetőek.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben áttekintettük a közúti közlekedésben alkalmazott mérési technológiákat, és a különböző tulajdonságaik szerint csoportosítottuk azokat. Igyekeztünk néhány, már publikált adatfúziós technikát is megemlíteni. Majd kifejezetten a városi környezetre koncentrálva egy vegyes mérőrendszereken alapuló forgalmi adatgyűjtő technológia metodológiai alapjait ismertettük. Az adatfúziós eljárás módszertanát a kapcsolt Kalman-szűrő technikára alapozva építettük fel, amely lehetővé teszi a nagyon heterogén tulajdonságú mérőrendszerek adatainak hatékony felhasználását. Az eljárás ráadásul egy további alkalmazási lehetőséget rejt magában, hiszen akár valós idejű makroszkopikus forgalommodellezés javításához is alkalmazhatóak az adatfúzióval nyert adatok.

A jövőbeni céljaink között szerepel a publikált módszertan szimulációkkal és valós adatokkal történő alátámasztása. A kutatás Győrhöz kapcsolódik, így a módszertan validálásához a győri úthálózaton – különböző szenzorokkal – mért adatokat tervezzük felhasználni.

Külön érdekes, hasznos lehetne még – az éppen Budapesten kiépülő – rendszámfelismerő kamerarendszerből származó utazásiidő-adatok fuzionálása is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak a TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0012: „Smarter Transport" - Kooperatív közlekedési rendszerek infokommunikációs támogatásáért. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A munka tartalma kapcsolódik az EITKIC_12-1-2012-0001 projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. Az EITKIC_12-1-2012-0001 projekt a Magyar Kormány támogatásával a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség kezelésében a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap finanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1.] Bachmann, C.: Multi-Sensor Data Fusion for Traffic Speed and Travel Time Estimation, MSc Thesis, Toronto, 2011

[2.] Böker, G., Lunze, J.: Stability and performance of switching Kalman filters, International Journal of Control, vol. 75 (16/17), pp. 1269-1281, 2002

[3.] Claudel, C. G., Bayen, A. M.: Guaranteed bounds for traffic flow parameters estimation using mixed lagrangian-eulerian sensing. Proceedings of the 46th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Allerton, IL, 2008

[4.] Chu, L., Oh, J., Recker, W.: Adaptive kalman filter based freeway travel time estimation, 84th TRB Annual Meeting, Washington, 2005

[5.] Gühnemann, A., Schäfer, R. P., Thiessenhusen, K. U., Wagner, P.: Monitoring Traffic and Emissions by Floating Car Data, ITS Working Paper ITS-WP-04-07, Institute of Transport Studies, University of Sydney, 2004

[6.] Herrera, J. C., Bayen, A. M.: Traffic flow reconstruction using mobile sensors and loop detector data, 87th TRB Annual Meeting, 2007

[7.] Klein, L. A., Mills, M. K., Gibson, D. R. P.: Traffic Detector Handbook: Third Edition, Federal Highway Administration Turner-Fairbank Highway Research Center, 2006

[8.] Küpper, A.: Location-based Services. John Wiley & Sons, 2005. ISBN 978-0470-09231-6.

[9.] Liberzon, D.: Switching Systems and

Control, Birkhäuser, Boston, 2003
[10.] Ludvig, Á., Tettamanti, T., Varga, I.: Travel time estimation in urban road traffic networks based on radio signaling data. In: 14th International Conference on Modern Information Technology in the Innovation Processes of Industrial Enterprises, MITIP, Budapest, 2012.10.24-2012.10.26. pp. 514-527. ISBN: 978-963-311-373-8
[11.] Luspay T., Tettamanti T., Varga I.: Forgalomirányítás, Közúti járműforgalom modellezése és irányítása, ISBN 978-963-279-665-9, Typotex Kiadó Budapest, 2011
[12.] Mitchell, H. B.: Multi-sensor data fusion: An introduction, New York, Springer, 2007.
[13.] Ng, G. W.: Intelligent systems - fusion, tracking and control, Philadelphia: Research Studies Press Ltd., 2003
[14.] Qing, O.: Fusing Heterogeneous Traffic Data: Parsimonious Approaches using Data-Data Consistency, PhD Thesis, Delft University of Technology, 2011
[15.] Szeto, M. W. – Gazis D. C.: Application of Kalman Filtering to the Surveillance and Control of Traffic Systems, Transportation Science, Vol. 6, No. 4, pp. 419-439., 1972
[16.] Swarco Traffic Systems Gmbh. BLIDS flyer. http://www.swarco.com/en/content/download/8058/101437/file/DRIVE-ON-1-2011_1.pdf, Sep. 2011.
[17.] Tettamanti T., Varga I., Gáspár P.: Közúti forgalombecslés mobiltelefon-hálózati események alapján városi környezetben, Közlekedéstudományi Szemle, LXIII. évfolyam, 4. szám, pp. 10-18.
[18.] Transport for London website: Developers' Area http://www.tfl.gov.uk/businessandpartners/syndication/16492.aspx
[19.] Treiber, M., Helbing, D.: Reconstructing the spatio-temporal traffic dynamics from stationary detector data, Cooper@tive Tr@nsport@tion Dyn@mics, 1:3.1-3.24, 2002
[20.] Wardrop, J. G.: Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proceedings of the Institute of Civil Engineers, 1-2(9):325–378, 1952.
[21.] Welch, G., Bishop, G.: An Introduction to the Kalman Filter, University of North Carolina at Chapel Hill, TR95-041, 1995

THE MEASUREMENT DATA USED TO ESTIMATE ROAD TRAFFIC AND THEIR COLLECTIVE APPLICABILITY

The central thematic of the paper was induced by the rapid development of information technology in recent decades. Numerous new technologies have surfaced in recent years - many of which are still in the infancy of their evolution. Mobile phones (which have practically reached 100% penetration in the over 18s population), free and popular smartphone applications, contemporary fleet management systems (vehicles of private companies as well as public transport) and further different technologies all contribute to the creation of a high-level and cost-efficient service system.

DIE FÜR DIE SCHÄTZUNG DES STRASSENVERKEHRS VERWENDBAREN MESSDDATEN UND IHRE GEMEINSAME ANWENDUNG

Das Thema des Artikels wurde durch die stürmische Entwicklung der Informationstechnologie in den letzten Jahrzehnten induziert. In der jüngsten Vergangenheit sind zahlreiche solche Technologien bekannt geworden, von denen einige sogar noch in der Anfangsphase ihrer Entwicklung sind. Das Mobiltelephon (mit einer praktisch hundertprozentigen Penetration in der Bevölkerung im Erwachsenen-alter), die beliebten und kostenlosen Smartphone-Lösungen, die modernen Flottenmanagement-Systeme (sowohl für Privatbetriebe als auch für öffentliche Fahrzeuge) und zahlreiche andere Technologien können zur Sicherung einer hochwertigen und kosteneffektiven Dienstleistung beitragen.

A vasúti áruszállítás problémái a mai selyemúton

Az Európa és Kelet-Ázsia közötti áruszállítás nagy része jelenleg hajókkal zajlik. A szállítási idők csökkentése érdekében felmerült az igény alternatív megoldások keresésére, amelyek közül a cikk a vasúti áruszállítás lehetőségeit vizsgálja.

Bánfi Miklós Gábor – **Török Ádám**
tudományos segédmunkatárs adjunktus
BME Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék
e-mail: banfimiklos@kku.bme.hu; atorok@kgazd.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Az Európai Unió és Ázsia közötti áruszállítást illetően elsősorban a két legnagyobb kereskedelmi partnert, Kínát és Oroszországot (1. táblázat) vizsgáltuk meg. Oroszországból főként vasúton, hajón és csővezetéken érkezik áru Európába, míg Kínából szinte kizárólag hajón [1][2]. Ezt természetesen indokolja a nagy távolság és a hajók nagy kapacitása (10000 TEU[1]/hajó), azonban a szállítási idő így hosszú (45-55 nap). A szállítási idő hosszabbodása megnöveli a szállítási időpont pontosságának abszolút hibáját is, ami a napjainkban alkalmazott just-in-time, green- és lean-logisztikai [3] rendszerekben termelési veszteséget okozhat.

Kína gazdaságföldrajzára jellemző, hogy a keleti országrészeken (Kína területének 28,6%-a)

1. táblázat: 2012-es kereskedelmi forgalom az Európai Unió és Kína, illetve Oroszország között [1][2]

Import				
	millió €	helyezés[2]	százalék[3]	átlagos éves növekedés[4]
Kína	289,902	1	16,2	4
Oroszország	212,882	2	11,9	4,6
Export				
	millió €	helyezés[2]	százalék[3]	átlagos éves növekedés[4]
Kína	143,833	2	8,5	16,4
Oroszország	123,016	4	7,3	4
Összes				
	millió €	helyezés[2]	százalék[3]	mérleg
Kína	433,735	2	12,5	-146,069
Oroszország	335,898	3	9,7	-89,865

1 TEU: twenty-foot equivalent unit – 20 lábas konténer befogadóképességének megfelelő szállítási egység, kb. 12 tonna és/vagy 34 m^3
2 Az Európai Unió kereskedelmi partnereinek sorrendje az importált/exportált termékek összértékének sorrendjében.
3 EU összes = 100%
4 A 2008 és 2012 közötti változás éves átlaga

1. ábra: A 004-es számú útvonalon megtett távolság az idő függvényében

él a lakosság több mint kétharmada (71,2%) és ezek az országrészek adják a gazdasági kibocsátás négyötödét (80,1%). A felzárkóztatás érdekében a törvényhozók nagyszabású fejlesztésekbe kezdtek Kína nyugati tartományaiban [4]. Ez viszont új lehetőségek feltárását indokolja a Kína és Európa közti áruszállítási folyamatokban, ugyanis Kína nyugati feléről a Csendes-óceánig, majd onnan hajóval Európába szállítani az árut költségesebb és időigényesebb, mint egyből a szárazföldi útvonalakat igénybe venni.

Ezen tényezők miatt indult Európai Uniós támogatással (Seventh Framework Program – FP7) a NEAR[2] (Network of European - Asian Rail Research Capacities) elnevezésű projekt is, amelynek elsődleges célja az EU és Kelet-Ázsia közötti vasúti áruszállítás lehetőségeinek elemzése és akciótervek kidolgozása.

A projekt több lehetséges útvonalat is vizsgál (1. ábra), azonban mindegyik esetén felmerülnek a vasút térnyerését nehezítő tényezők, amelyek többsége a vasúti közlekedés jelenlegi helyzetéből fakad.

Fizikai-technológiai jellegű akadályozó tényező a vasúti infrastruktúra rossz állapota, illetve az, hogy a vizsgált folyosókon összesen 8200 kilométernyi pálya hiányzik. A gördülőállomány ugyancsak rossz állapotú; mind a vasúti kocsik, mind a mozdonyok felújításra, cserére szorulnak. Ezen felül az érintett országokban nem egységesek a vasúti rendszerek, átjárhatósági problémák merülnek fel, amelyet tovább súlyosbít, hogy a határállomások (és az ehhez tartozó logisztikai központok, átrakóhelyek) kis áteresztő kapacitással rendelkeznek.

További problémát jelent az egyes országok eltérő előírásainak kezelése. Az országhatárokon csak bonyolult engedélyeztetési eljárások után lehet átjárni. Hiányzik az ún. bizalmi elv is a szomszédos vasúttársaságok között: pl. egy határon való átkelés esetén mindkét határállomáson elvégzik a járművek műszaki kocsivizsgálatát, fékpróbát, nem fogadják el a másik vasúttársaság azonos tevékenységét. Az emiatt elnyúló határállomási várakozási időt tovább növeli, hogy az érintett országokban nincs egységes tehervonati menetrend, illetve a hálózaton érvényben levő korlátozások miatt nem mindig használhatják a vonatok a legrövidebb utakat az országon való átkeléshez.

A vasúti fuvarozás költségeit növelik az egyes országok által kivetett extra adó- és vámkötelezettségek, amelyek az átmenő forgalmat terhelik, illetve a legtöbb ország megköveteli a járművek mérlegelését is, amely további idő- és költségráfordítást jelent. Jelenleg Kínából az EU-ba nagyjából

háromszor annyi áru jön, mint ellentétes irányba, így további megoldandó problémát jelent az üres kocsik visszajuttatása.

2. METODIKA

A továbbiakban összehasonlítjuk a Kelet-Ázsia és Európa közti áruszállítás különböző megoldásait. Ehhez az alábbi paramétereket vettük figyelembe:

- Szállítási távolság: a közlekedésben sajnos a legritkábban alkalmazhatjuk a két pont közötti legrövidebb utat tényleges távolságként. Ennek oka, hogy a járművek csak az adott közlekedési alágazatnak megfelelő hálózatot használhatják. További problémát jelent a távolságok meghatározásánál, hogy a Föld geoid alakú, így a hagyományos (euklideszi) geometria távolságszámítási módszerei is csak korlátozottan használhatók [5]. Esetünkben a jármű által ténylegesen bejárt utat fogjuk szállítási távolság alatt érteni, bár tervezésnél, modellezésnél az előbb említettek miatt ezt a legnehezebb kivitelezni.
- Szállítási idő: szállítási idő alatt az áru feladásától, azaz a feladó telephelyen a járműre/konténerbe való berakásától, a leadóhelyen való kirakásig eltelt időt értjük. Egyes áruszállítási folyamatoknál megjelenhetnek addicionális időértékek, amelyek a szállítás szervezéséből adódnak – ezeket nem tekintjük a szállítási idő részének.
- Átlagos szállítási sebesség: a szállítási távolság és a szállítási idő hányadosa.
- Átlagosan elszállítható árumennyiség: a forgalom lebonyolításának szempontjából egy alapegységnek számító jármű által elszállítható árumennyiség. Ezen alapegység a közúti közlekedésben az egy tehergépjármű, vasúti közlekedésben az egy vonat, vízi közlekedésben az egy hajó, légi közlekedésben pedig az egy repülőgép.

3. EREDMÉNYEK

A legnagyobb problémát a különböző vasúti rendszerek közti átjárhatóság biztosítása (interoperabilitás) jelenti, ezért ezt a modellszámítások előtt bővebben is elemezzük.

Míg Európában és Kínában vasutak a normál (1435 mm)nyomtávolságúak, addig Oroszországban (illetve a volt Szovjetunióban) széles nyomtávot alkalmaznak (1520/1524 mm). A nyomtávváltás miatt három különféle technológiát alkalmaznak, amelyek mindegyike többlet költség- és időráfordítást jelent a vasúttársaságok (így közvetve a szállíttató) számára:

- a kocsik forgóvázainak cseréje,
- a különleges, nyomtávváltásra alkalmas forgóvázak használata,
- az áru (konténer) másik kocsira történő átrakása.

Szintén nem egységes a vasúti járművek összekapcsolására szolgáló csatlások (kocsikapcsoló szerkezetek) kialakítása sem. Európában a hagyományos csavarkapcsos rendszert alkalmazzák, amelynél a szerelvények össze- és szétkapcsolása is manuálisan történik, illetve a kapocs teherbírása 850 kN[5]. Az előírás Európában csak közepesen hosszú (3000-4000 tonnás) tehervonatok közlekedését teszi lehetővé [6]. Ezzel szemben Oroszországban (illetve a volt szovjet tagköztársaságokban) SA3 (maximum teherbírás 5-6000 tonna), Kínában pedig AAR (maximum teherbírás 32000 tonna) típusú félautomatikus központi ütköző- és vonókészüléket alkalmaznak. A különböző kapcsolókészülékkel felszerelt járművek között mindig egy – a két oldalán különböző kapcsolókészülékkel felszerelt – közbenső kocsit kell alkalmazni.

A vasútvillamosítási rendszerek is eltérőek: Kínában 25 kV (50 Hz) váltóárammal, Oroszországban (illetve a volt szovjet tagköztársaságokban) általában 3 kV egyenárammal villamosítottak a vonalak. Európa ilyen szempontból sem egységes, mivel az említett két rendszeren kívül a 15 kV ($16\ ^2/_3$ Hz) váltóáramú rendszert is használják. Az egyenáramú rendszerek hátránya, hogy hosszú vezetéken jelentős az energiaveszteség, illetve a mozdony által kifejthető legnagyobb teljesítmény is korlátos – emiatt Oroszországban sok helyen inkább a többszekciós és/vagy szinkronban üzemeltetett dízelmozdonyokkal vontatják a hosszú tehervonatokat. Bár a dízelmozdonyok teljesítménye nem éri el a váltóárammal táplált villanymozdonyokét, ez a megoldás előnnyel is járhat: a felsővezeték nélküli üzem ugyanis lehetővé teszi emeletes konténervonatok közlekedését, mint Amerikában és Ausztráliában. A villamos űrszelvényben – bármilyen alacsony rakszintű kocsit is alkalmazunk – nem fér el két egymásra helyezett konténer.

5 2006/861/EK: A Bizottság határozata (2006. július 28.) a transzeurópai hagyományos vasúti rendszer járművek – teherkocsik alrendszerére vonatkozó átjárhatósági műszaki előírásról

További interoperabilitási problémát jelent a biztonsági és infokommunikációs rendszerek különbözősége. Bár a vonatbefolyásolás terén elindultak kedvező folyamatok (ETCS – CTCS[6]), az egyes vasutak a vonatközlekedés lebonyolítására és operatív forgalomirányításra továbbra is a saját rendszereiket használják, amelyek közt az adatáramlás nehézkes, nincs egységes protokollformátum. Sokszor a jogosultsági szintek sem egyértelműen lehatároltak [7], így az ügyfél sem tudja figyelemmel követni az áru útját. Ezt tovább bonyolítja az országonként eltérő vasúti szabályozás is, amely nem csak az ügyfél-vasúttársaság kommunikációt nehezíti, hanem további akadályokat gördít az átjárhatóság elé.

Az interoperabilitási problémák kezelése elsősorban a határállomásokon történik, ahol a különböző rendszerek találkoznak. A különböző nyomtávok találkozásánál nagy időveszteséggel kell számolni, bármelyik módszerrel (forgóvázcsere vagy átrakás) oldják meg a váltást. A különböző villamosítási és vonatbefolyásolási rendszerek határán általában mozdonycsere történik (ez többáramnemű vagy dízelmozdonyokkal, illetve több vonatbefolyásolási rendszerrel felszerelt járművekkel kiváltható). Nagyobb probléma, hogy a vasúti vezetői engedélyek nem csak típusra, hanem pályaszakaszra is vonatkoznak, így a határállomásokon általában személyzetváltás is történik.

A 2. táblázat egy tipikus áruszállítási példán mutatja be a Kína (Peking) és Európa (Ruhr-vidék) közti vasúti szállítás nehézségeit [8].

A példában logisztikai szolgáltató vállalat szervezésével vasúton szerettek volna egy konténernyi árut eljuttatni Pekingből a Ruhr-vidékre. Az áru eljutási ideje összesen 45 nap volt (ha az előkészítő műveleteket nem vesszük ide, akkor 38 nap). A kínai belföldi szállítás 6 napot vett igénybe (2200 km Pe-

2. táblázat: Esettanulmány egy áruszállítási folyamatról

Dátum	Szervezési művelet	Áruszállítási művelet	Megjegyzés
április 6.	Áruszállítás bejelentése a fuvarszervezőnek		
április 9.	Vámnyilatkozatok beérkezése és továbbküldése a fuvarszervezőnek		
április 10.	Vámnyilatkozatok verifikálása és átvétel szervezése	Áru átvétele	
április 11.	Eredeti fuvarokmányok beérkezése a fuvarszervezőhöz		
április 12.	Export nyilatkozat készítése		
április 13.	Export nyilatkozat elkészülte	A vonat elindulása	
április 19.		Megérkezés Manzhouliba	kínai-orosz határ
április 24.		Elindulás Zabajkalszkból	kínai-orosz határ
május 5.		Megérkezés Brestbe	fehérorosz-lengyel határ
május 9.		Elindulás Malaszewiczeből	fehérorosz-lengyel határ
május 15.		Megérkezés Duisburgba	
május 16.	Import vámnyilatkozatok kitöltése		
május 17.	Nemzeti ünnep Németországban		
május 18.	Import vámnyilatkozatok elkészülte		
május 21.		Kiszállítás	

6 Az Európa fő vasúti folyosóin bevezetendő ETCS (European Train Control System – Egységes Európai Vonatbefolyásoló Rendszer) és a Kína főbb vonalain kiépített CTCS (Chinese Train Control System – Kínai Vonatbefolyásoló Rendszer) gyakorlatilag megegyezik.

3. táblázat: Az áruszállítás során fellépő tevékenységek időtartamai

Tevékenység	Időtartam [nap]	Az össz-eljutási idő százalékában [%]	Technológiai időszükséglet [nap]
Tényleges áruszállítás	23	51,1	23
Adminisztrációs tevékenység	9	20	3-4
Határállomási (technológiából adódó) várakozás	4	8,9	3-4
Egyéb várakozás	9	20	0
Összesen	45	100	29-31

4. táblázat: Alágazatok mérőszámainak összehasonlítása azonos feladási (Peking) és leadási (Duisburg) hely között

	Vasút	Vízi (tengeri)	Légi
Szállítási távolság	11 300 km	19 500 km + 1 200 km vasúton	8 500 km
Szállítási idő	45 nap	60 nap	0,5 nap
Átlagos szállítási sebesség	10,5 km/h	14,4 km/h	708 km/h
Átlagosan elszállítható árumennyiség	3-4 000 tonna	akár 100 000 tonna	maximum 250 tonna

king és Manzhouli között), ez kifejezetten lassúnak számít. A kínai-orosz határon az átrakás mellett a vámvizsgálatra is kellett várni, ez két napot késett, emiatt lett 5 napos a várakozás. Az Oroszországon és Fehéroroszországon keresztül[7] vezető 7800 km-es utat az áru viszonylag gyorsan, 11 nap alatt tette meg Brestig. A fehérorosz-lengyel határon vámvizsgálat és átrakás után sajnos Malaszewicében a heti kétszer járó tehervonati menetvonalat törölték, ez újabb 3 nap késést jelentett. Bár május 15-én megérkezett az áru Duisburgba, a telepre a kiszállítás csak 21-én történt meg, ugyanis a vámpapírok 16-ára készültek el, 17-e nemzeti ünnep, 21-ére a cég pedig újabb konténert várt (ezt hajóval hozták Európába). A vasúttársaság pedig mindenképpen össze akarta vonni a két konténer kiszállítását. A megérkezett konténeren látható rongálódások voltak, amelyek a szállítás közben keletkeztek.

Az esettanulmányból látható (3. táblázat), hogy nagyjából 9 nappal bármilyen fejlesztés nélkül csökkenteni lehetne az eljutási időt. Az adminisztrációs tevékenységek (egységes szolgáltatásként kezelt áruszállítás) idejének csökkentésével további 5-6 nap nyerhető. Minimális (főként informatikai és kommunikációs rendszerekre irányuló) fejlesztéssel tehát az eljutási idő akár 33%-kal csökkenthető lenne.

A többi közlekedési alágazattal történő összehasonlítást a 4. táblázat mutatja.

A táblázat alapján látható, hogy a szállítási távolságot tekintve a vízi szállítás van a legnagyobb hátrányban, hiszen a hajók csak az ázsiai kontinens megkerülésével, az Indiai-óceánon keresztül juthatnak el Európába. Szintén jól látszik, hogy repülővel csak kisebb árumennyiségek szállítása lehetséges, bár az nagyon rövid idő alatt. Emiatt csak a nagy értéksűrűségű áruk szállítása gazdaságos légi közlekedéssel. A vasút hátránya a vízi közlekedéssel szemben nagyrészt abból adódik, hogy az elszállítható kisebb árumennyiséget nem tudja jelentős időmegtakarítással eljuttatni Ázsiából Európába, a már említett sok felesleges

7 A két ország vasúti szabályozása és technológiája lényegében megegyezik, nem szükséges külön kezelni azokat.

várakozás miatt, és az átlagos szállítási sebessége még kisebb is, mint a hajóké.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében megállapítható: ahhoz, hogy a vasúti közlekedés részarányát a hajózással szemben növelni tudjuk az Európai Unió és Kelet-Ázsia közötti áruszállításban, mindenképpen csökkenteni szükséges a vasúti árufuvarozás költségeit és egyúttal növelni az áltagos szállítási sebességét. Csak így tud versenyezni a sokkal nagyobb árumennyiség mozgatására képes hajókkal, és lehet kihasználni a rövidebb szállítási távolság nyújtotta lehetőségeket. Ehhez elsősorban az interoperabilitáson kell javítani az árufuvarozás minden szintjén. Alapfolyamati szinten egységesíteni kell az ezeken a viszonylatokon közlekedő vasúti járművek kocsikapcsolását, gyorsítani kell a nyomtávok közötti átjárást (az átrakási idők csökkentésével). A közlekedésirányítás szintjén fontos lenne az egész viszonylathálózatra vonatkozó nagytávolságú tehervonati menetrend kialakítása, ezáltal a gördülőállomány és a vonatszemélyzet munkaidejének hatékonyabb felhasználása. A közlekedésinformatika szintjén egységes (de legalábbis egymással kommunikációképes rendszerekből álló) informatikai rendszer kidolgozása javasolt, amely az igények kezelésétől az operatív forgalomirányításig átfogóan kezeli az egész folyamatot. Ugyanez vonatkozik a menedzsment szintjére is: fontos, hogy egységes szolgáltatásként kezeljük az egész áruszállítási folyamatot, ezzel segítvén a fuvaroztató és fuvarozó közötti információ- és költségmegosztást. További segítséget nyújthat újszerű infokommunikációs technológiák bevonása az ajtótól-ajtóig (door-to-door) történő szállítás támogatására. Mindez azonban csak az érintett országok jelenlegi jogi környezetének átalakításával, technológiai fejlesztésekkel és az adminisztratív akadályok felszámolásával jöhet létre.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik az Európai Unió 7-es keretprogramja által támogatott „*NEAR2*" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projektek megvalósítását a Magyar Tudományos Akadémia Bólyai János kutatói ösztöndíja támogatja. A szerzők külön köszönetet mondanak Prof. dr. doc. Gintautas Bureikának, a Vilniusi Gediminas Műszaki Egyetem Vasúti Járművek Tanszékvezetőjének önzetlen segítségéért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] European Union, Trade in goods with Russia - report of the EC Directorate-General for Trade, 2013. november 7.

[2] European Union, Trade in goods with China - report of the EC Directorate-General for Trade, 2013. november 7.

[3] Antal Norbert, Bakos András, Sztrapkovics Balázs, Takács András, and Bóna Krisztián, "Lean elvek alkalmazása a logisztikai folyamatok hatékonyságának növelése érdekében, avagy 'egyre kevesebből egyre többet,'" *Közlekedéstudományi Szle.*, vol. 60, no. 5, pp. 38–42, 2010.

[4] D. S. Goodman, "The campaign to 'Open up the West': national, provincial-level and local perspectives," *China Q.*, vol. 178, pp. 317–334, 2004.

[5] G. Giannopoulos, G. Aifadopoulou, and A. Torok, "Port Choice Model for the Transshipment of Containers in Eastern Mediterranean," presented at the Transportation Research Board 87th Annual Meeting, 2008.

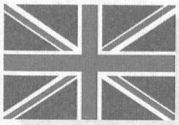
[6] EU BIZOTTSÁG HATÁROZATA az átjárhatósági műszaki előírásról szóló 2006/861/EK, 2008/163/EK, 2008/164/EK, 2008/217/EK, 2008/231/EK, 2008/232/EK, 2008/284/EK, 2011/229/EU, 2011/274/EU, 2011/275/EU, 2011/291/EU és 2011/314/EU határozat módosításáról (2012. július 23.).

[7] Z. Bokor, "Applying controlling management methods in transport I-II," *Transp. Sci. Rev.*, vol. 10, 1999.

[8] Near2 WG 2 Operation and System Performance - presentation of N. Ivanova, Near2 1st Workshop, Vilnius, 2014. február 4.

E számunk lektorai

Dr. Bokor Zoltán
Prof. Dr. Holló Péter
Hunyadi Dóra
Dr. Kálmán László
Dr. Tóth János
Dr. Várlaki Péter



The problems of railroad transportation of goods on today's Silk Route

Nowadays goods are transported by ships between Europe and Eastern Asia. To decrease the shipping time, demand raised to explore alternatives. Our aim is to examine the potential of rail freight transportation with the support of the NEAR2 project sponsored by the European Union's Seventh Framework Programme. The characteristics of rail freight transportation will be demonstrated through a case study and compared to the parameters of shipping and aviation.

Die Probleme des Schienengüterverkehrs auf der heutigen Seidenstraße

Der Güterverkehr zwischen Europa und Ostasien wird heutzutage größtenteils per Schiff abgewickelt. Im Interesse der Verkürzung der Transportzeiten es wurde der Anspruch für die Suche nach Alternativlösungen erhoben. In dem Artikel es wurden die Möglichkeiten von einer diesen Alternativlösungen, von dem Schienengüterverkehr mit Hilfe des durch das EU-Rahmenprogramm FP7 finanzierten NEAR2-Projekts untersucht. Es werden die Merkmale des Schienengüterverkehrs durch eine Fallstudie geschildert und mit den Parametern des Wasser- und Lufttransports verglichen.

Megrendelőszelvény[1]

Alulírott .....

megrendelem a Közlekedéstudományi Szemlét a következő hónaptól az alábbiak szerint:

A megrendelő neve:

.....

címe (ahová a lapot kéri): .....

.....

telefonszám: .....

fax: .....

e-mail: .....

Az előfizetési díjat az alábbiak szerint fizetheti be*:

❑ **Rózsaszín postai átutalási csekken az alábbi címre:**
Közlekedéstudományi Egyesület,
1066 Budapest, Teréz krt. 38.

❑ **Banki átutalással (név és cím feltüntetésével) az alábbi bankszámlaszámra.**
Számlaszám: 10200823-22212474

A megrendelés időtartama:*
2015. évre előfizetési díj: 8280 Ft ❑ példányban
egyéni KTE tagoknak tagdíjjal:
5140 Ft ❑ példányban
nyugdíjas és diák KTE tagnak tagdíjjal:
4640 Ft ❑ példányban

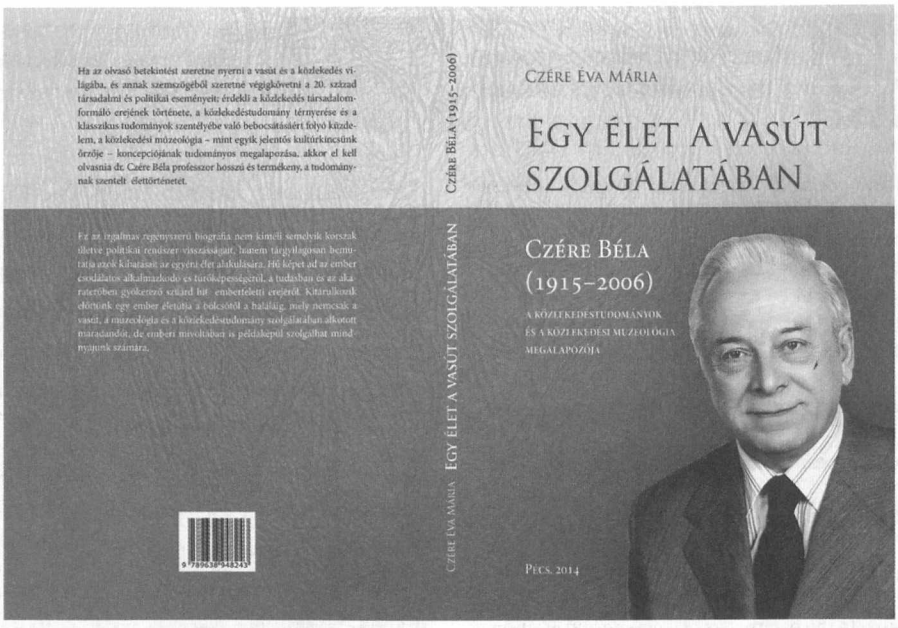
Az előfizetési díjról számlát kérek*:
❑ Igen ❑ Nem
***A megfelelőt kérjük beikszelni!**

Számlázási név:
.....
Számlázási cím:
.....
.....

Tudomásul veszem, hogy az első lapszám kézbesítésére az előfizetési díj befizetését követően kerül sor.

.....
aláírás

1 Visszaküldhető e-mailben a szemle@ktenet.hu címre, faxon a 06-1-353-2005 számra, vagy a 1066 Budapest Teréz krt. 38. II. em. 235. postacímre



Jó lenne megtudni, vajon mit szólna Dr. Czére Béla professzor, volt múzeumi főigazgató és még számos hivatalos és közéleti cím birtokosa a róla szóló könyv áttanulmányozása után? Sajnos erre érthető okokból már nem kerülhet sor, de személy szerint, – akit talán jól ismertem, kiváló munka és emberi kapcsolatban voltam vele és nagy ívű múzeumi munkájának szerény folytatója is lehettem – vállalom, hogy megelégedéssel nyugtázná az életművét bemutató kötetet.

Külön öröm lenne számára, hogy az igényes kiállítású, sok érdekességet, kordokumentumot tartalmazó, szinte a teljesség igényét kielégítő mű szerzője leánya dr. Czére Éva.

A mai korban új közlekedési tárgyú könyvek ritkán jelennek meg, különösen jellemző ez a közlekedésben egykor tevékenykedő tudósok, tanárok és magas beosztású vezetők életútját, munkásságát tartalmazókra.

Az „Egy élet a vasút szolgálatában" címen megjelent könyv olyan korokat és életpályát mutat be Dr. Czére Béla munkáinak összegezésével, amely a jelenkor fiatal, közlekedési szakembereinek betekintést ad azokba az időkbe, amelyek történelmi távlatokban sok tanulsággal szolgálhatnak. Elég e vonatkozásban az 1968-as közlekedéspolitikai koncepciót vagy a Közlekedési Múzeum filiáléinak létrejöttét említeni.

A bibliográfia teljessége a mai kutatók számára lehet hasznos eszköz új munkáik megalapozásához.

Dr. Czére Béla közéleti tevékenysége indokolttá és szükségessé teszi, hogy az életműre felhívjuk a figyelmet, hiszen mint a Közlekedéstudományi Egyesület alapító tagja, sokirányú választott tisztségviselője, a Közlekedéstudományi Szemle főszerkesztője munkásságával nagymértékben hozzájárult, hogy ma van mire támaszkodnunk, van mit folytatnunk, hiszen személyes szellemi hagyatéka gondozási kötelezettséget, alapot jelent számunkra a napi munkában.

Az itt is többször hangsúlyozott életmű – a szó szoros értelmében – gazdag anyagot adhat a közlekedés tudományterülete, a muzeológia tudománya iránt érdeklődők számára, és egyben lehetőséget teremt, hogy az Olvasó közelebb kerüljön egy – megkockáztatom – „megismételhetetlen személyiség"-hez és korának több fontos és máshol nem fellelhető részletének megismeréséhez.

A kötet egyben méltó megemlékezés arra, hogy 2015-ben lenne Dr. Czére Béla 100 éves.

A szerző a legavatottabb kézzel nyúlt a gazdag élet összegezéséhez, feltárásához, azért a könyvet jó szívvel ajánlom Olvasóinknak, nem fognak csalódni benne.

Dr. Katona András
főszerkesztő

A könyv megrendelhető a Virágmandula Kft. honlapján: www.sinesimposium.hu
Ára: 2950 Ft

Melléklet

Közlekedésbiztonság – Közlekedési környezetvédelem

Dr. Jankó Domokos
Biztonságkutató Mérnöki Iroda
e-mail: roadsafety@chello.hu

Kedvezőtlen tendenciák Budapest közúti baleseti helyzetében (2013)

A baleseti helyzettel sohasem lehet elég sokszor foglalkozni, sajnos a téma aktualitása állandó. A jól feldolgozott és friss adatokra támaszkodó tanulmány szerencsére nem csak kedvezőtlen adatokat, elemzéseket mutat be. Különösen figyelemreméltóak a javaslatok, amelyek foganatosítása szerkesztőbizottságunk által is ajánlott.

1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedésbiztonsági hosszú távú hazai célkitűzéseit a Magyar Közlekedéspolitika 2003-2015 című szakanyag, rövid távú feladatait pedig a Közúti Közlekedésbiztonsági Akcióprogram 2011-2013. tartalmazza [1], [2]. Az említett programok átfogó stratégiákat, általános módszereket és céladatokat tartalmaznak, de nem foglalkoznak külön a részterületekkel (pl. Budapest, nagyobb települések, külsőségi útszakaszok, autópályák), s az ezeken alkalmazandó gyakorlati eljárásokkal, sőt a konkréten elérendő részcélokkal sem.

A cikkben elsősorban az országos önkormányzati úthálózat egy fontos részével, nevezetesen Budapest baleseti helyzetével foglalkozunk, a teljesség igénye nélkül. Budapestre nincs meghatározott baleseti/sérülési „céladat", így annak teljesülését sem tudjuk értékelni. Célunk az, hogy felhívjuk a figyelmet az elmúlt három évben tapasztalható néhány kedvezőtlen jelenségre.

2. AZ ELEMZÉSHEZ HASZNÁLT SÉRÜLÉSI ÉS BALESETI ADATOK

A fő célkitűzés a hazai és az EU közlekedésbiztonsági programokban elsősorban a közúti közlekedési balesetek során halálosan megsérültek számának csökkentése. Ezen adat minimalizálása mutatja az általános biztonsági helyzet javulását. Ugyanakkor egyre inkább terjed az a nézet, miszerint nemcsak a halálos, de a súlyos sérülések elkerülése is a biztonságnövelő tevékenységek alapvető feladata. A „Vision zero" elv [3], [4] szerint ***„etikailag elfogadhatatlan, hogy a közúton történő közlekedés közben valaki halálosan vagy súlyosan megsérülhet"***. A súlyosan sérültek számának csökkentésére jelenleg még nincs közlekedésbiztonsági céladat az EU-ban, de egyik hazai koncepcióban vagy programban sem.

A „Vision zero" elvnek megfelelően a budapesti adatok áttekintésénél, nemcsak a halálos, hanem a súlyos sérülések számát is megjelenítettük. A baleseti adatok értékelésénél pedig a halálos és súlyos kimenetelű események együttes száma (rövid jelölése: H+S) volt a vizsgálat tárgya.
Definíció szerint a közúti közlekedésben „meghaltként" szerepel, aki a baleset következtében a baleset helyszínén, illetve 30 napon belül elhunyt. A KSH a súlyos sérülés definícióját 2011-ben módosította, jelenleg a kiadványokban a következő definíció szerepel [5]:
„ *Súlyos sérülés: olyan sérülés, amit valaki baleset során szenved el, és amely:*

a) a sérüléstől számított hét napon belül 48 órát meghaladó kórházi ápolást tesz szükségessé, vagy
b) csonttörést okoz, kivéve az ujj-, lábujj- és orrtörést, vagy
c) olyan vágott sebekkel jár, amelyek súlyos érzést vagy ideg-, izom-, illetve ínsérülést okoznak, vagy
d) belső szervek sérülését okozza, vagy
e) másod- vagy harmadfokú égési sérüléseket vagy a testfelület több mint 5%-át érintő égési sérülést okoz."

Az egyes EU országokban a „súlyos" sérülés definíciója különböző, így a nemzetközi összehasonlítás, egységes értékelés nehézséget jelent. Az EU-ban jelenleg folyamatban van a „súlyos sérülés" egységes definíciójának meghatározása és elfogadása [6]. A súlyos sérülés tervezett egységes definíciójával kapcsolatos szakmai észrevételeket foglalja össze a [7] publikáció. Az elemzésnél a hazai gyakorlatban elfogadott és jelenleg is használt sérülési kategóriát használtuk.

3. HALÁLOSAN ÉS SÚLYOSAN MEGSÉRÜLTEK SZÁMA BUDAPESTEN

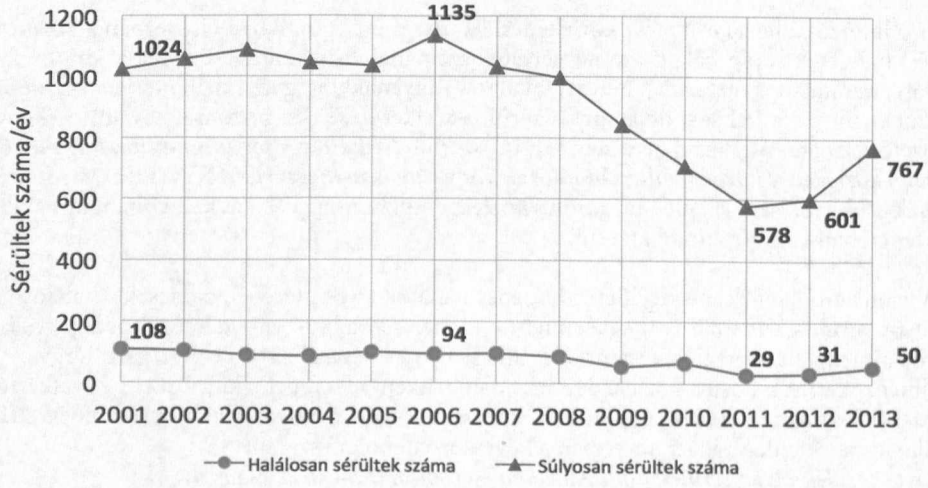
A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatállományából kiválogatott adatokat az 1. ábra mutatja. A leválogatás feltételei:

település: Budapest 1-23 kerülete
baleset helye: lakott területen.

A KSH kiadványaiban az 1. ábrán láthatóaktól kismértékben eltérő adatokat találunk, amelynek oka, hogy a kiadványban a Budapesten, de az adatlap megjelölése szerint lakott területen kívül történt baleseteket is figyelembe veszik. Ebből az elemzésből ezeket az adatokat kihagytuk.

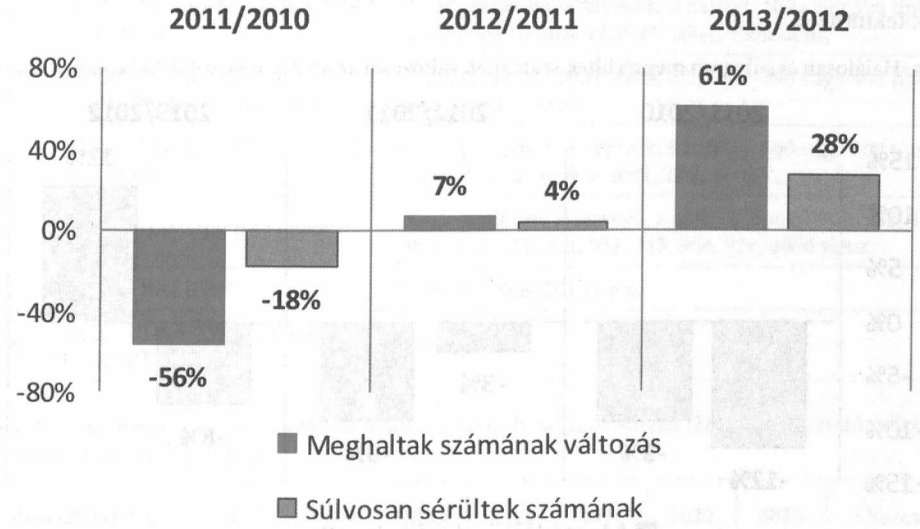
A 2001 – 2013. évek közötti idősorokon három időszak különböztethető meg. 2001-2006 között állandó volt, illetve csekély mértékben növekedett a közlekedési balesetek következtében halálosan és súlyosan sérültek száma Budapesten. 2006-ban 94 fő vesztette életét és 1135 fő sérült meg súlyosan Budapesten közúti közlekedési balesetek következtében. Ezt követően 2011-ig folyamatosan és jelentősen csökkent a sérültek száma 2011-ig. (2011-ben 29 fő halt meg és 578 fő sérült súlyosan). Ettől az évtől kezdve azonban megfordult a trend és az utolsó két évben – a korábbi időszakhoz képest - jelentős növekedésnek, más szóval a budapesti baleseti helyzet kedvezőtlen változásának lehetünk tanúi.

1. ábra: Meghaltak és súlyosan megsérültek száma Budapesten (2001-2013)



A 2. ábrán a sérültek számának egyik évről a másikra történő változását ábrázoltuk. A 2010. évi adathoz képest a 2011. évi sérültek száma a halálos sérülés esetén 56%-kal volt kisebb, a súlyos sérültek száma pedig 18%-kal, ami egyértelműen jelentős csökkenés. 2012-ben azonban már csekély növekedés (+7% és +4%) figyelhető meg, ami tulajdonképpen még nem számottevő. A 2013. évi növekedés azonban már figyelemre méltó, 61%-os a halálos sérülések esetén és 28%-os a súlyosan sérülteknél. Figyelembe kell venni azonban azt is, hogy statisztikai értelemben kis gyakoriságokról van szó, a gyakorlatban előforduló relatíve kis növekedések vagy csökkenések is nagy %-os változásokat mutathatnak. Adott esetben inkább a tendencia megváltozása figyelmeztető.

2. ábra: Halálosan és súlyosan megsérültek számának változásai Budapesten



4. HALÁLOSAN ÉS SÚLYOSAN MEGSÉRÜLTEK SZÁMA AZ ORSZÁGOS KÖZÚTHÁLÓZAT KÜLSŐSÉGI SZAKASZAIN

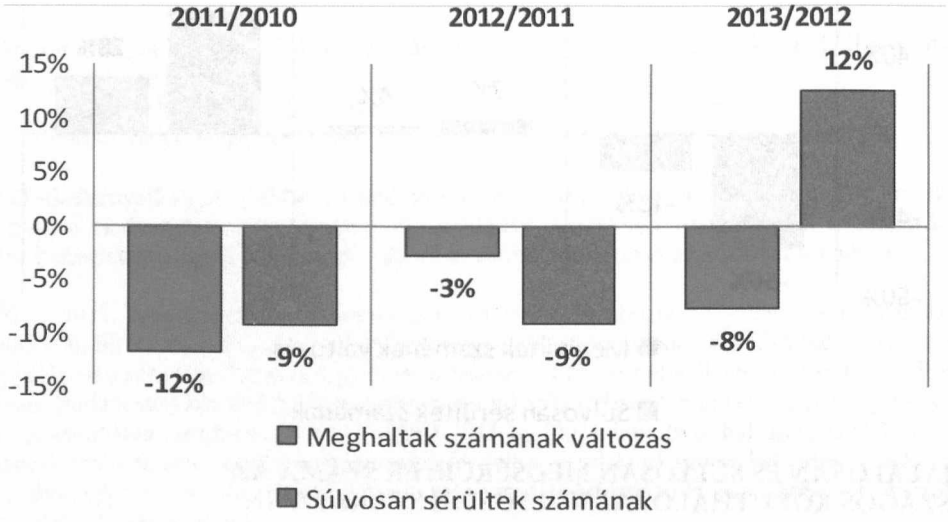
Az 1. és 2. ábrán a Budapesten történt balesetek során halálosan és súlyosan megsérült személyek számát mutattuk be. Kiválasztottunk egy másik – jól körülhatárolható – úthálózatot, abból a célból, hogy az itt keletkezett sérülési adatok idősorait összehasonlítsuk a budapesti idősorokkal, és megfigyeljük az általánosan érvényesülő tendenciákat. Ez az úthálózat az országos közutak külsőségi szakaszaiból áll, és a főbb geometriai, forgalomtechnikai jellemzőit tekintve lényegesen eltér a budapesti úthálózattól. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Az országos közúthálózat külsőségi útszakaszain történt balesetek során halálosan és súlyosan megsérült személyek száma a 2001 - 2013. évek között

	Országos közúthálózat külsőségi útszakaszain	
Évek	Meghaltak száma (fő)	Súlyosan sérültek száma (fő)
2001	651	2944
2004	788	3456
2010	442	2122
2011	389	1922
2012	378	1744
2013	349	1960

A 2001. és 2004. évek közötti időszakban növekedés tapasztalható mindkét sérülési kategóriában. 2004 után azonban a meghaltak számában folyamatos és jelentős csökkenés figyelhető meg egészen 2013-ig. A súlyos sérültek száma szintén jelentősen csökkent, de csak 2012-ig. 2013-ban azonban a súlyosan sérültek száma növekedett. A 3. ábra az országos közúthálózat külsőségi szakaszain meghaltak, súlyosan megsérültek számadatainak változásait mutatja. 2013-ban 8%-kal kevesebben haltak meg, mint 2012-ben, vagyis a budapesti adatokban megjelenő tendencia ezen a területen nem mutatható ki. A súlyosan megsérültek számát jellemző csökkenő tendencia azonban megtört ezen az úthálózaton is, mivel 12%-kal többen sérültek meg súlyosan 2013-ban, mint egy évvel korábban. A 2. és 3. ábra adatainak összevetéséből megállapítható, hogy a vizsgált kétféle úthálózaton – a súlyosan sérültek adatait tekintve – eltérő tendenciák uralkodnak, bár a súlyosan sérültek 12%-os növekedése az országos közutak külsőségi szakaszain 2013-ban már kedvezőtlen jelnek tekinthető.

3. ábra: Halálosan és súlyosan megsérültek számának változásai az országos közutak külsőségi szakaszain



5. A KÖZÚTI BALESETEK „FAJTÁI"

A továbbiakban az elemzésekhez egy származtatott mutatót használunk, amelyet baleset „fajtának" neveztünk. Ehhez hasonló volt a KSH által használt „baleset természete" mutató, amelyet azonban 2011. év után már nem adnak közre. A 2. táblázatban megnevezett mutató előnye, hogy a „védtelen közlekedők" baleseteit külön megnevezi, ez korábban a „baleset természete" mutatóban nem így volt. A balesetek „fajtája" mutatót a baleseti helyzet általános jellemzésére használjuk, és meghatározzuk, hogy az 1. és 2. ábra adataival jellemzett kedvezőtlen fordulatot milyen „fajtájú" balesetek idézték elő Budapesten.

A 3. táblázat a 2007 – 2013. évek közötti időszakban Budapesten történt halálos és súlyos kimenetelű balesetek összegét tartalmazza, a balesetek „fajtája" szerinti bontásban. Az utolsó oszlopban a hét év alatt történt (H+S) balesetek összege szerepel. Az összes (H+S) baleset száma Budapesten 5584 volt. A leggyakoribb baleset „fajta" a gyalogos (GYAL) baleset, az összes eset 39%-a. Ezt követi a tipikus városi forgalmi baleset, az egymás útját keresztező járművek ütközése (KERE), az összes eset 14%-a. Közel azonos gyakoriságúak a kerékpárosok és segédmotoros kerékpárok részvételével történt balesetek, az összes halálos és súlyos kimenetelű események 9%- a.

2. táblázat. Az elemzéshez használt baleset „fajtája" mutató származtatása

Kód	*Megnevezés*	*Származtatás*
GYAL	GYALOGOS BALESET	A balesetben gyalogos okozó vagy résztvevő vagy sérült van (akkor is ha nem sérült)
KERP	KERÉKPÁROS BALESET	A balesetben kerékpáros okozó vagy résztvevő vagy sérült van (akkor is ha nem sérült)
SMKP	SEGÉDMKP BALESET	A balesetben segédmotorkerékpáros okozó vagy résztvevő vagy sérült van (akkor is ha nem sérült)
UTOL	GÉPJÁRMŰVEK UTOLÉRÉSES BALESETE	Csak gépjármű résztvevők, a baleset 100 vagy 300 típus-csoportba tartozik és 2003, 2004, 2005 típus,
SZEM	SZEMBE HALADÓ GÉPJÁRMŰVEK BALESETE	Csak gépjármű résztvevők, a baleset 200 vagy 400 típus-csoportba tartozik
KERE	KERESZTEZŐ GÉPJÁRMŰVEK BALESETE	Csak gépjármű résztvevők, a baleset 500 vagy 600 típus-csoportba tartozik + 2001, 2002 típus
EGYJ	EGYJÁRMŰVES BALESET	Csak gépjármű résztvevő, a baleset típusa: 901, 902, 914, 911, 912, 921, 903, 931, 913, 904, 910, 2006 típus
EBAL	EGYÉB BALESET	906, 907, 908, 2010 típus
KÖVA	KÖZÚTI-VASÚTI JÁRMŰVEK ÜTKÖZÉSE	905 típus

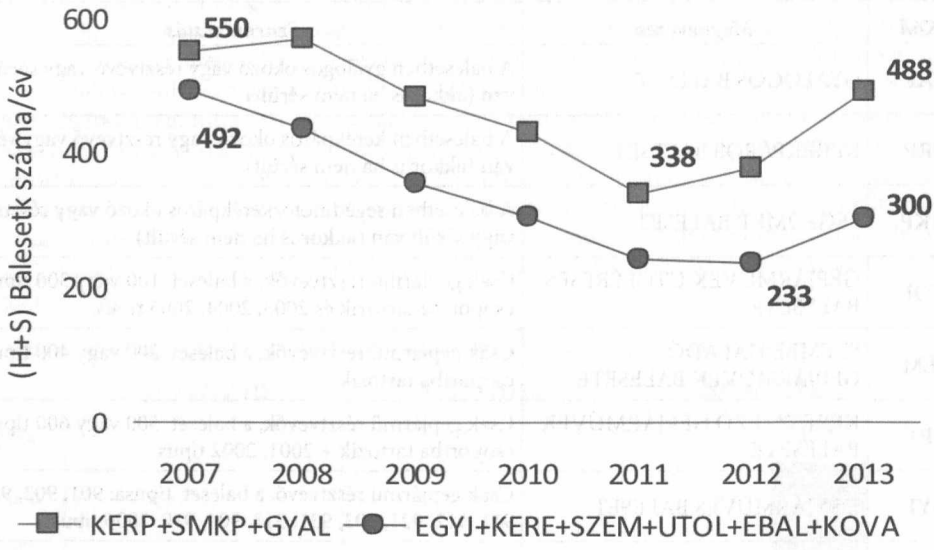
3. táblázat Budapesten („lakott területen belül") történt halálos és súlyos (H+S) kimenetelű balesetek fajta szerint, 2007-2013 években.

Balesetek fajtája	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Összesen
GYAL	406	407	318	285	214	229	306	2165
KERE	165	159	120	98	71	69	82	764
SMKP	86	96	92	68	58	65	71	536
KERP	58	65	72	74	66	80	111	526
SZEM	121	92	70	71	45	61	56	516
UTOL	95	82	68	65	60	43	83	496
EGYJ	86	84	82	64	49	46	59	470
KÖVA	2	1	1		1			5
EBAL	23	16	13	6	14	14	20	106
Összesen	1042	1002	836	731	578	607	788	5584

A 4. ábrán a Budapesten („lakott területen belül") történt halálos és súlyos kimenetelű balesetek összegének alakulását ábrázoltuk a védtelen közlekedők (gyalogosok, kerékpárosok, segédmotor kerékpárosok) és a gépjármű balesetek bontásban[1]. Megállapítható, hogy a védtelen közlekedők halálos és súlyos baleseteinek száma 2011 után már jelentősen növekedett, míg az ugyanilyen kimenetelű gépjármű balesetek száma csak 2012. év után kezd emelkedni.

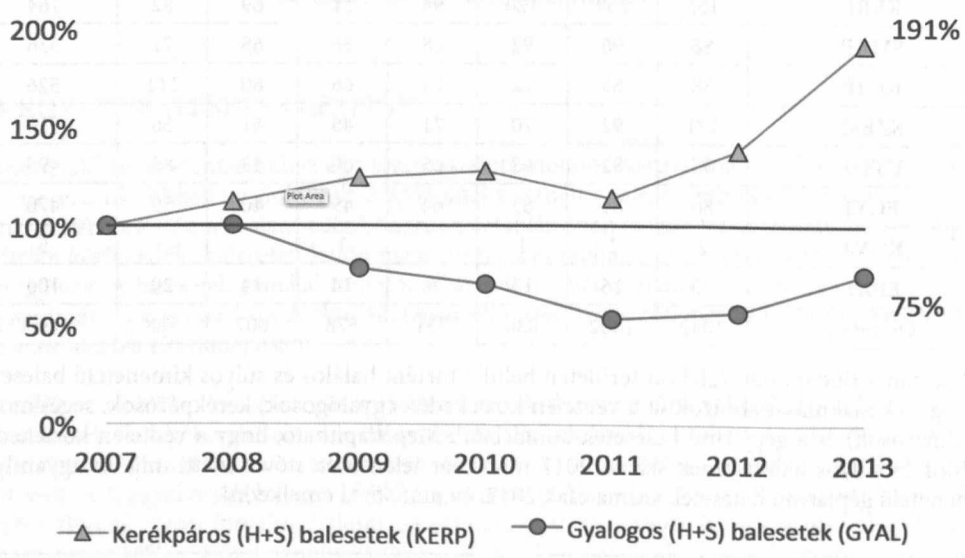
1 Egyes elemzéseknél a védtelen ("sebezhető") közlekedők között szokás figyelembe venni a motorkerékpárosokat is, ebben az osztályozásban azonban a motorkerékpáros baleseteket a gépjármű balesetek fajtái közé soroltuk.

4. ábra: Gépjármű (H+S) balesetek és az ún. védtelenek (H+S) balesetei Budapesten



A 3. táblázat adatai mutatják, hogy a kerékpáros és gyalogos balesetek száma Budapesten 2011 után növekedett, ezért érdemes ezt a kétféle balesetfajta adatát külön is ábrázolni. (5. ábra). Az 5. ábra mutatja, hogy a halálos és súlyos kimenetelű gyalogos balesetek száma 2011-ig 53%-kal csökkent a 2007. évi bázishoz viszonyítva és csak 2012-ben kezdett emelkedni a bázis 75%-áig. A halálos és súlyos kimenetelű kerékpáros balesetek számai kedvezőtlenebb helyzetet mutatnak. 2013-ban közel kétszer több, kerékpárosok részvételével történt (H+S) baleset fordult elő a budapesti közúti közlekedésben, mint 2007-ben. (191%).

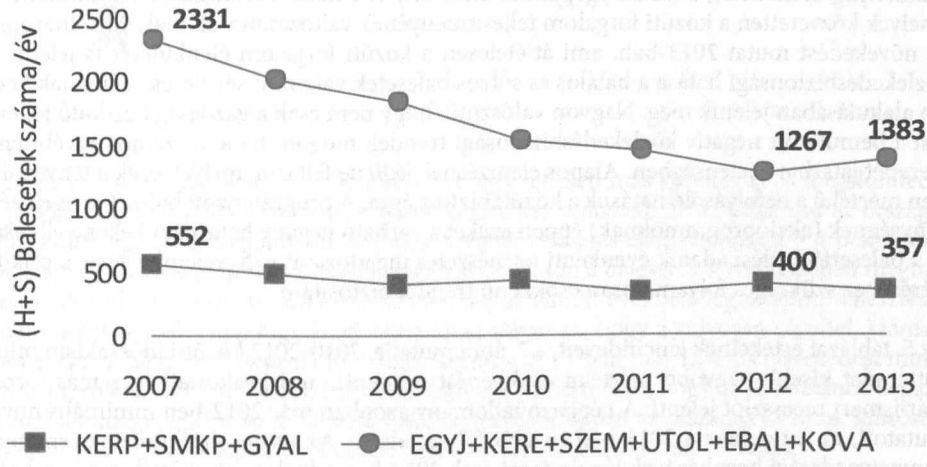
5. ábra: Budapesten a kerékpáros és gyalogos (H+S) balesetek számának változásai (2007. évi adat= 100%)



6. HALÁLOS ÉS SÚLYOS KIMENETELŰ BALESETEK ÖSSZEGE AZ ORSZÁGOS KÖZÚTHÁLÓZAT KÜLSŐSÉGI ÚTSZAKASZAIN

A 4. ábrán a halálos és súlyos kimenetelű balesetek számának összegét ábrázoltuk a védtelen közlekedők, valamint a gépjármű balesetek szerint. A 6. ábrán a kontroll területnek választott országos közúthálózat külsőségi útszakaszainak hasonló baleseteit ábrázoltuk. Megállapítható, hogy ezen a területen a gépjármű-balesetek száma 2007. évet követően 2012-ig folyamatosan csökkent, és csak ezután 2013-ban növekedett, a korábbi év adatához képest mindössze 9%-kal. A védtelen közlekedők baleseteinek száma 2007 után 2012-re 552 balesetről 400 balesetre csökkent és szemben a gépjármű balesetekkel, 2013-ban nem növekedett, hanem 11%-kal tovább csökkent.

6. ábra: Gépjármű (H+S) balesetek és az ún. védtelenek (H+S) balesetei az országos közúthálózat külsőségi szakaszain



7. A HALÁLOS ÉS SÚLYOS BALESETEKKEL ÖSSZEFÜGGŐ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A 4. táblázatban a 4. és 6. ábrán bemutatott eredményeket foglaltuk össze. A 4. táblázatban használt „fordulat éve" kifejezés azt az évet jelenti, amelyben a korábbi jelentős javulás megszűnt, és a baleseti számok ismételten növekedni kezdtek. Egyedül az országos közút külsőségi szakaszain, a védtelenek baleseteinél nincs „fordulat", a balesetek száma 2013-ban is tovább csökkent. Budapesten ugyanezen fajtájú baleseteknél 2011-ben volt a fordulat, és 2013-ra 30%-os növekedés figyelhető meg.

4. táblázat: A halálos és súlyos balesetek idősorában kialakult „fordulatok" és a változás %-a

	Halálos + súlyos kimenetelű balesetek	
	Gépjármű balesetek	**Védtelenek balesetei**
Budapesten	Fordulat éve: 2012 2013-ban: **+ 29%**	Fordulat éve: 2011 2013-ban: **+ 30%**
Országos közút külsőség	Fordulat éve: 2012 2013-ban: **+ 9%**	2013-ban: **- 11%**

8. A KÖZÚTI BIZTONSÁGOT BEFOLYÁSOLÓ NÉHÁNY HÁTTÉRADAT ALAKULÁSA (2011-2013)

A közúti közlekedést, ezen belül a közúti közlekedés biztonságát, számos külső és belső körülmény, társadalmi és gazdasági folyamat befolyásolja, hol előnyösen, hol hátrányosan. Aprólékos részletes elemzés volna szükséges ahhoz, hogy a halálos és súlyos kimenetelű balesetek számában tapasztalt kedvezőtlen tendenciára megtaláljuk a magyarázatot. Erre az elemzésre – a munkaigényesség ellenére – azonban feltétlenül szükség van a közeljövőben, ennek eredményeit kell – többek között – a következő évek akcióprogramjaihoz felhasználni. A gazdasági folyamatok változásainak hatásaira figyelmeztet a [2.] program is. Az egyes háttértényezők közlekedésbiztonságra gyakorolt hatásait említi a [8] publikáció. A [9] publikáció összefüggést mutat be a GDP változása és a közúti balesetek számának alakulása között.

A cikkben a részletes értékelések előtt előzetesen három – már rendelkezésre álló –gazdasági folyamatokat jellemző tényező adatait gyűjtöttük össze a KSH kiadványaiból (5. táblázat). Ezek: az üzemanyag-értékesítés, a személygépjármű állomány és a hazai beruházások teljesítmény értékei amelyek közvetetten a közúti forgalom teljesítményének változásaira utalnak. Mindhárom tényező növekedést mutat 2013-ban, ami áttételesen a közúti forgalom élénkülését is jelenti. Ennek közlekedésbiztonsági hatása a halálos és súlyos balesetek valamint sérülések számának kedvezőtlen alakulásában jelenik meg. Nagyon valószínű, hogy nem csak a gazdaság kezdődő fellendülése van a bemutatott negatív közlekedésbiztonsági trendek mögött, hanem számos egyéb tényező is szerepet játszhat e jelenségben. Alapos elemzésnek kellene feltárni, melyek ezek a tényezők és milyen mértékű a befolyásoló hatásuk a közúti biztonságra. A programozott baleset-megelőzési tevékenységnek (akcióprogramoknak) éppen ezeket a várható negatív hatásokat kellene ellensúlyozni és a baleseti/sérülési adatok évenkénti természetes ingadozását is figyelembe véve, a célkitűzések eléréséhez szükséges folyamatosan csökkenő trendet biztosítani.

Az 5. táblázat értékeinek láncindexeit, a 7. ábra mutatja. 2010-2012 közötti időszakban mindegyik háttéradat kisebb-nagyobb mértékű csökkenést mutatott, ami gyakorlatilag a más forrásokból már ismert recessziót jelenti. A gépjárműállomány azonban már 2012-ben minimális növekedést mutatott, ez a tendencia 2013-ban tovább folytatódott. Az összes értékesített üzemanyag és a nemzetgazdasági beruházások láncindexei csak 2013-ban adnak pozitív értéket, a korábbi három évben számított negatív adatok után. Különösen figyelemre méltó a beruházások (kerekítve) 8%-os növekedése, ami egyértelműen a hazai gazdaság javuló állapotára és egyben a közúti forgalom teljesítmény lassú növekedésére utal.

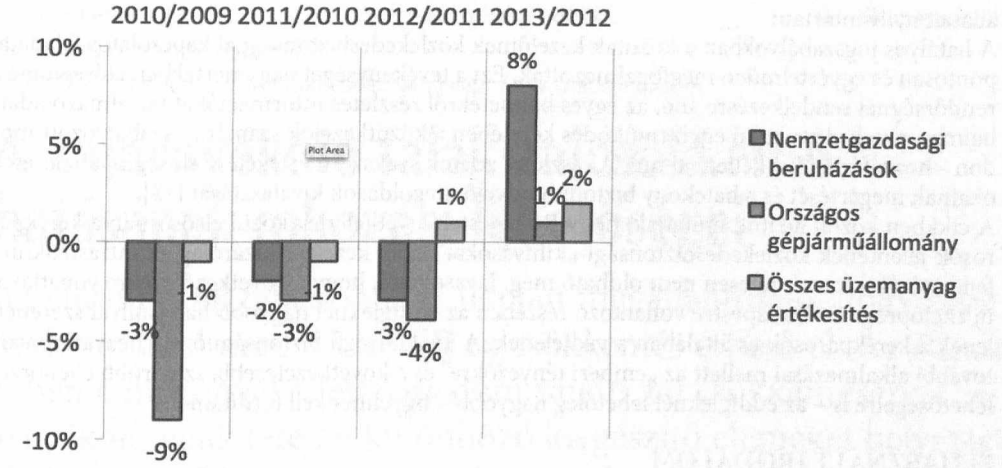
5. táblázat: Gazdasági háttéradatok 2009-2013.

Háttér adat	Dimenzió	2009	2010	2011	2012	2013
Üzemanyag eladás összesen	millió liter	3267,7	2959,1	2880,2	2752,4	2779,2
Személygépjármű állomány (országos)	millió db.	3, 013	2, 984	2, 967	2, 986	3, 040
Beruházások teljesítménye (nemzetgazdaságban összesen)	folyó áron millió Ft.	4 504 220	4 373 218	4 299 482	4 167 689	4 522 665

9. MEGÁLLAPÍTÁSOK

– A budapesti közúti balesetek során halálosan, illetve súlyosan megsérültek számának idősora azt mutatja, hogy a 2006 - 2011 közötti időszakban a főváros közúti biztonsági helyzete folyamatosan javult. Ez a tendencia 2011. év után már nem folytatódott, és mindkét mutató számértéke az ezt követő két évben növekedett, ami egyértelműen a főváros romló közúti biztonsági helyzetére utal (1., 2. ábra).

7. ábra: Nemzetgazdasági háttéradatok láncindexei



- A budapesti sérülési adatokat „szembe állítottuk" egy teljesen más kiépítéssel és forgalomtechnikai jellemzőkkel rendelkező úthálózat hasonló sérülési adataival. Ez az úthálózat az országos közutak külsőségi útszakaszaiból áll. Minden további részletes elemzés nélkül – a bemutatott adatok alapján - is megállapítható, hogy ezen az úthálózaton a balesetek következtében meghaltak száma 2013-ban is tovább csökkent, feltehetően az elmúlt években végrehajtott fejlesztések eredményeként is [10], [11]. Figyelmet érdemel azonban az, hogy a súlyosan sérültek száma a korábbi években tapasztalt folyamatos csökkenés után 2013-ban már 12%-os növekedést mutatott ezen a területen is (1. táblázat). Ez utóbbi tény azt valószínűsíti, hogy az az általános negatív hatás, ami a budapesti adatoknál kimutatható, megjelenik ugyan az országos közutak külsőségi szakaszain is, de egy éves késéssel és csak a súlyosan sérültek számában (3. ábra).
- Budapesten az ún. védtelen közlekedőkkel történt halálos és súlyos kimenetelű balesetek összege 2011. évet követően 44%-os növekedést mutat, ami egyértelműen figyelmeztető (4. ábra). A védtelen közlekedők között a kerékpárosok baleseti helyzetének javítása külön figyelmet igényel az elkövetkező évek baleset-megelőzési tevékenységében (5. ábra). Az országos közúthálózat külsőségi szakaszain a védtelen közlekedők biztonsági helyzete javult 2013-ban. Remélhetőleg ez a tendencia tartós marad (6. ábra).
- A hazai gazdasági folyamatokra jellemző néhány kiválasztott háttéradat alakulása közvetve arra utal, hogy a közúti közlekedési teljesítmények is növekednek és, – ha nem is teljes mértékben – ennek negatív hatása tükröződik, többek között a Budapesten kialakult kedvezőtlen tendenciákban.

10. JAVASLATOK

- Objektív és szakszerű elemzés végrehajtása javasolt a Közúti Közlekedésbiztonsági Akcióprogramban megnevezett beavatkozási területek akcióinak eredményességéről. Javasolható továbbá, hogy a 2014-2015. évekre vonatkozó új Közlekedésbiztonsági Programban külön rész foglalkozzon Budapest és az önkormányzati utak baleset-megelőzési feladataival, tervezett akcióival és a céladatokkal. Számos külföldi nagyvárosnak (fővárosnak) önálló közlekedésbiztonsági programja van, ezek mintául szolgálhatnak egy önálló budapesti programhoz [12].
- Fontos és időben már nem halasztható feladat a hazai baleseti adatgyűjtési rendszer fejlesztése és felkészítése a súlyosan sérültek adatainak pontosítására, az EU-ban elfogadott új definíció

hazai bevezetésére és az ehhez szükséges rendőrségi és kórházi adatbázisok kialakítására. EU direktívák szerint 2014. a felkészülés éve és 2015-ben már ily módon kell a súlyosan sérültek adatait nyilvántartani.

- A hatályos jogszabályokban a közutak kezelőinek közlekedésbiztonsággal kapcsolatos feladatai pontosan és egyértelműen megfogalmazottak. Ezt a tevékenységet nagymértékben elősegítené a rendőrségnél rendelkezésre álló, az egyes balesetekről részletes információkat tartalmazó adathalmaz, amelyet szakmai együttműködés keretében a közútkezelők számára - szabályozott módon - hozzáférhetővé kellene tenni. A részletes adatok szakszerű értékelése elősegíti a balesetek okainak megértését és a hatékony biztonságnövelő megoldások kiválasztását [13].
- A cikkben közölt adatok mutatják, hogy Budapesten a védtelenek közül elsősorban a kerékpárosok jelentenek közlekedésbiztonsági „kihívásokat", ezek kezelése kizárólag az infrastruktúra fejlesztésével természetesen nem oldható meg. Javasolható, hogy a következő évekre vonatkozó új akcióprogram Budapestre vonatkozó részében az eddigieknél nagyobb hangsúllyal szerepeljenek a kerékpárosok és általában a védtelenek. A kis költségű biztonságnövelő beavatkozások további alkalmazásai mellett az „emberi tényezőkre" és a következetesebb, szigorúbb ellenőrzés lehetőségeire is – az eddigieknél lehetőleg nagyobb – figyelmet kell fordítani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Magyar Közlekedéspolitika 2003-2015. Magyar Közlöny, 36/2004

[2] Közúti Közlekedésbiztonsági Akcióprogram 2011-2013. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Belügyminisztérium, 2011.

[3] Tingvall C., Haworth N: Vision Zero - An ethical approach to safety and mobility Paper presented to the 6th ITE International Conference Road Safety & Traffic Enforcement: Beyond 2000, Melbourne, 6 - 7 September 1999.

[4] Whitelegg, J., Haq, G.: Vision Zero: Adopting a Target of Zero for Road Traffic Fatalities and Serious Injuries. SEI, Stockholm Environment Institute. 2006.

[5] Közlekedési balesetek 2012. Kiadvány. www.ksh.hu

[6] En route to a European strategy for serious injuries on the roads. www.etsc.eu

[7 Prof. Dr. Holló P., Kiss Diana S.: Fókuszban a súlyos sérülések, Közlekedéstudományi Szemle, LXIV. évf., 4. sz., 2014. április. 57.-64. old.

[8] Dr. habil Holló Péter: A közúti biztonság javulásának néhány háttértényezője. Közlekedéstudományi Szemle, LX. évf., 4. sz., 2010. szeptember, 31.-34. old.

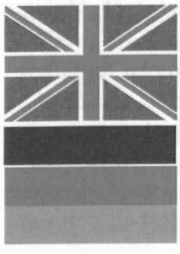
[9] Jankó D.: Közúti baleseti mutatók Magyarországon a közlekedés- biztonsági programok időszakában, Közlekedéstudományi Szemle, 2012. október. 14 -23. oldal

[10] Nagy, Z.:Közlekedésbiztonságot javító fejlesztések az országos közúthálózaton. Előadás az új Széchenyi Tervről. Nemzeti Fejlesztési Ügynökség. 2011

[11] Mocsári, T.:Recent developments in Hungary. 4th CEE Road Safety Round Table 3rd 4th October 2011. Budapest

[12] Verkehrssicherheitsprogramm WIEN 2005. IN ZUKUNFT:WIEN Herausgeber: Magistrat der Stadt Wien. 2005. September.

[13] Hóz, E.:Kerékpáros balesetek mélyelemzése a rendőrségi kisjelentések felhasználásával. Kerékpárosok biztonsága kerékpáros létesítménnyel vagy anélkül. Forgalmász Napok. Sopron 2013 június 12-13.



UNFAVOURABLE TENDENCIES IN RELATION TO BUDAPEST ROAD TRAFFIC ACCIDENTS

UNGÜNSTIGE TENDENZEN IN DER SICHERHEIT DES STRASSENVERKEHRS IN BUDAPEST (2013)

Bite Pálné dr. Pálffy Mária – **Nagy Dániel Szilveszter** – **Bite Pál Zoltán**
okl.villamosmérnök, okl. gépészmérnök okl. villamosmérnök
okl. környezetvédelmi szakmérnök
VIBROCOMP Kft, email: info@vibrocomp.hu honlap: www.vibrocomp.com

A zajárnyékoló falak zajcsökkentő hatásának fokozási lehetőségei

Az elmúlt évek tapasztalatai alapján megállapítható, hogy zajárnyékoló fallal max. 13-15 dB zajcsökkentés érhető el. Az elmúlt évben a megnövekedett forgalom miatti zaj csökkentésére a zajárnyékoló falak tetején különböző kiegészítő elemeket helyeztek el. A megfelelő elem kiválasztása az adott geometriai, geodéziai viszonyok függvényében történhet. A zajárnyékoló falak akusztikai hatékonyságának növelése érdekében több vizsgálatot végeztek. A vizsgálatok eredményeit mutatja be a cikk.

1. KORÁBBI TAPASZTALATOK

1978-ban végezték az első modellkísérleteket a különböző formai kialakítású, különböző lezárással rendelkező zajárnyékoló falakkal elérhető beiktatási veszteség nagyságára vonatkozólag.

Az első ilyen jellegű mérést Torontóban végezték [1], amikor egy 4 m magas, közút menti zajárnyékoló falat 75 cm széles vízszintes „sapkával" láttak el, és az így kialakult T profilú zajárnyékoló fal hatását az eredeti hangelnyelő, illetve egy részében visszaverő típusú falhoz viszonyították. A T profilú fal átlagosan 1,0-1,5 dB-lel nagyobb beiktatási veszteséget eredményezett, míg az elnyelő és visszaverő típusú „sapka" nélküli fal akusztikai hatása a fal mögött közel megegyezett.

Hasonló modellkísérleteket végeztek a berlini egyetemen is [2]. Vizsgálták az elnyelő anyagmagasság csillapításra gyakorolt hatását is, és megállapították, hogy a beiktatási veszteség gyakorlatilag független a bevonatréteg magasságától, azaz javulást csak a felső él elnyelő hatása eredményez. A modellkísérletekben a vastag zajárnyékoló fal a vékonyhoz viszonyítva átlagosan 5 dB beiktatási veszteségnövekedést hozott. A vastag fal felső lapjának elnyelő anyaggal történő bevonása nagyobb frekvenciákon (400 Hz fölött) további 5 dB javulást adott.

A modellkísérletek eredményeit először egy japán cég (Nitto Boseki Co Ltd) hasznosította [3]. A zajárnyékoló fal tetejére helyezett elnyelő „turbánnal" a távolságtól függően 1-3 dB-es beiktatási veszteségjavítást értek el.

Olaszországban a TUBOSIDER cég fejlesztett ki fal tetejére szerelhető hangelnyelő „csövet". Vizsgálataik eredménye az alábbiakban összegezhető [4].

A kísérleteket vasúti közlekedés mellett végezték. A vágánytengelytől 2 m-re egy teljesen elnyelő típusú 1 m magas zajárnyékoló falat telepítettek, majd erre a falra egy 40 cm átmérőjű TUBOSIDER

1. kép: Vasúthoz közeli „kisfal" tetején Tubosider cső (Pisa környéke)

reduktorcsövet helyeztek (lásd 1. kép). A közelebbi vágánytól 25 m távolságban, 3,5 m magas mérési pontban a két típusú zajárnyékoló fal beiktatási veszteségének különbsége 2-4 dB volt. (A közelebbi vágányon haladó vonatok esetén 4 dB, míg a távolabbi vonatok esetén 2 dB).

A KTI Rt-ben 1996-1997. évben foglalkoztunk a zajárnyékoló falra szerelt reduktor zajcsökkentő hatásával. Egyrészt helyszíni „laboratóriumi", másrészt tényleges helyszínen felszerelt cső hatását vizsgáltuk [6].

A laboratóriumi vizsgálat során az alábbi

1. 8 m hosszú, 3 m magas Schober 4. típusú zajárnyékoló fal tetejére szerelt 6 m hosszú, 0,4 m magas azonos szerkezetű falelem,
2. 8 m hosszú, 3 m magas Schober 4. típusú zajárnyékoló fal tetejére szerelt 6 m hosszú, 0,4 m átmérőjű TUBOSIDER reduktorcső

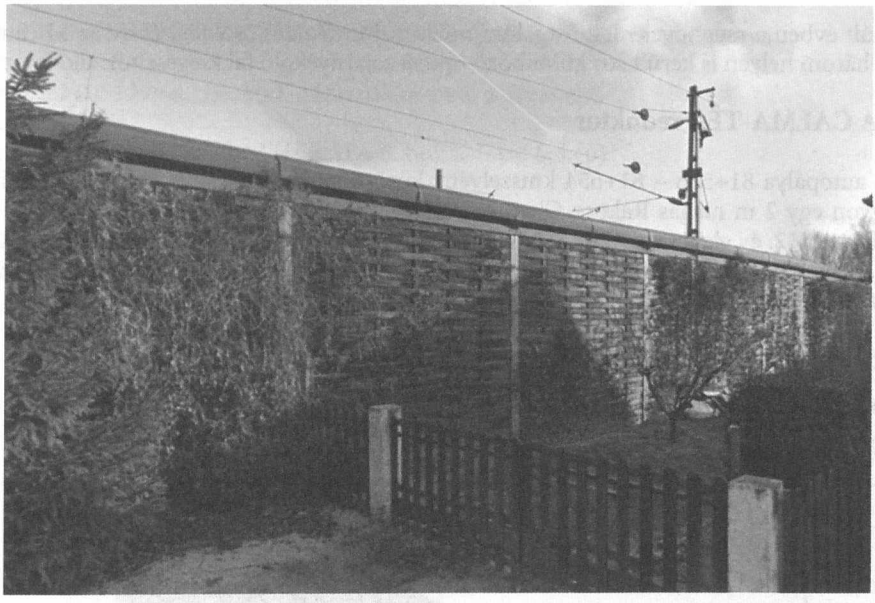
falszerkezeteket összehasonlítva megállapítottuk, hogy a beiktatási veszteség különbsége az adott elrendezésben 4 dB, ami azt jelenti, hogy a reduktorcsővel ellátott fallal, a forráshoz közeli elhelyezés mellett magasabb zajcsökkentést lehet elérni, mint az ugyanolyan magas egyenes fallal.

A helyszíni vizsgálatot a Budapest–Hegyeshalom vasútvonal mellett, Tata–Tóvároskert megállóhelyen végeztük. A 774+33 - 784+81 pályaszelvények közötti szakaszra Schober típusú teljesen elnyelő, 3 - 4,5 m magas zajárnyékoló fal épült. A zajárnyékoló fal magasságának csökkentése és a zajszint minél alacsonyabb értékének biztosítása érdekében a zajárnyékoló fal magasságának növelése helyett a kritikus szakaszra 4,5 m magas, a zajárnyékoló fal tetejére 207 m hosszú TUBOSIDER típusú hangelnyelő reduktor került elhelyezésre (lásd 2. kép).

A reduktor felszerelése előtt és után helyszíni méréseket végeztünk az épületek vasút felőli homlokzata előtt 2 m-rel, a földszinti és az emeleti ablak magasságában.

A vizsgáltok során megállapítottuk, hogy a cső hatására a földszinten 5,2 dB-lel, míg az 1. emeleten 7,7 dB-lel csökkent a zajterhelés.

2. kép: Tubosider csővel ellátott zajárnyékoló fal Tata – Tóváros kerten



3. AZ ELMÚLT ÉVEK FEJLESZTÉSEINEK EREDMÉNYE

3.1. Külföldi tapasztalatok

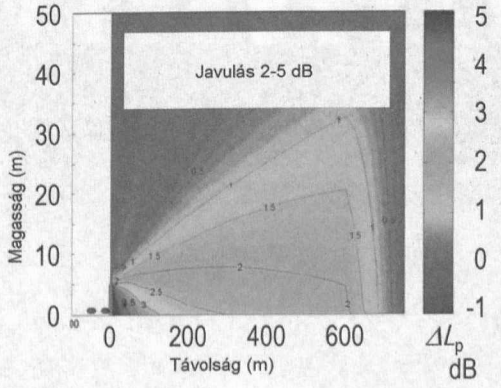
Egy osztrák vizsgálat [7] szerint a szélső vasúti vágánytengelytől 5 m-re elhelyezett
- 2,05 m magas zajárnyékoló fal
- 1,55 m magas egyenes falra helyezett 0,5 m magas hangelnyelő „turbán"

zajcsillapító hatását vizsgálták és hasonlították össze.

A vizsgálat eredménye:
25-100 m távolságban, 0-2,5 m magasságban a reduktor hatása 0,6-4,3 dB.

A német Müller BBM kutatói a vizsgálatok során egy hangelnyelő „turbán" hatását vizsgálták [8].
A vizsgálat eredménye:

1. ábra: Egy 5 m magas zajárnyékoló fal tetejére helyezett „turbán" hatása [8]



3.2. Hazai eredmények

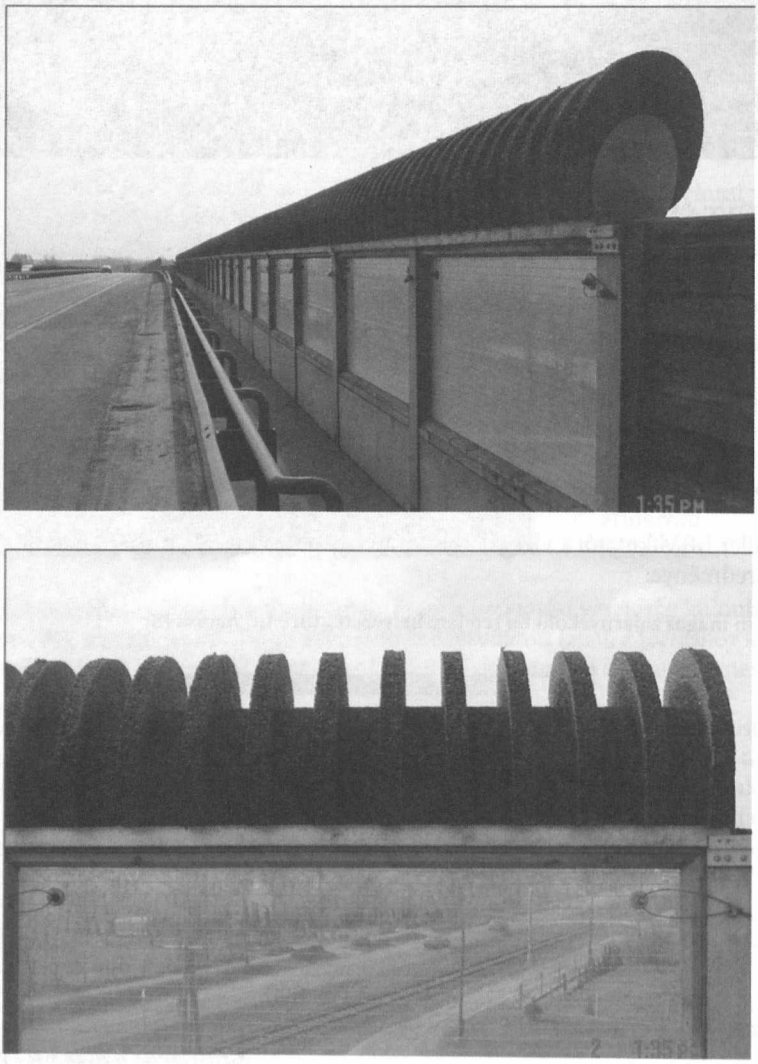
Az elmúlt évben a megnövekedett forgalom miatti zajnövekedés csökkentésére az M5 autópálya mellett három helyen is került sor különböző típusú zajárnyékoló fal kiegészítők alkalmazására.

3.2.1. A CALMA-TEC reduktor

Az M5 autópálya 81+588 – 81+654 kmszelvény közötti szakaszán (jobb oldal) egy vasút feletti műtárgyon egy 2 m magas Rákosy Glass ragasztott üveg zajárnyékoló falat építettek 2011-ben. Erre a falra 2012. év elején egy CALMA TEC PIN típ. reduktort helyeztek. A vizsgálatok során az MSZ 13-121-2 sz. szabvány szerint megmértük a reduktor nélkül, illetve a reduktor felszerelése után (lásd 3-4. kép).

Az eredmény: a reduktor beiktatási veszteségre gyakorolt hatása 3,8 dB.

3-4. kép: CALMA TEC reduktor az M5 autópályán



3.2.2. DAK tip. 0,5 méter magas reduktorernyő

Az M5 autópálya bal oldalon a 71+894 – 72+194 kmszelvény közötti szakaszon a

– 71+894 – 72+052 kmsz. között DAKusztik normál acélpaneles
és a (lásd 5. kép)
72+052 – 72+194 kmsz. között THERAFA 6. típusú (lásd 6. kép)

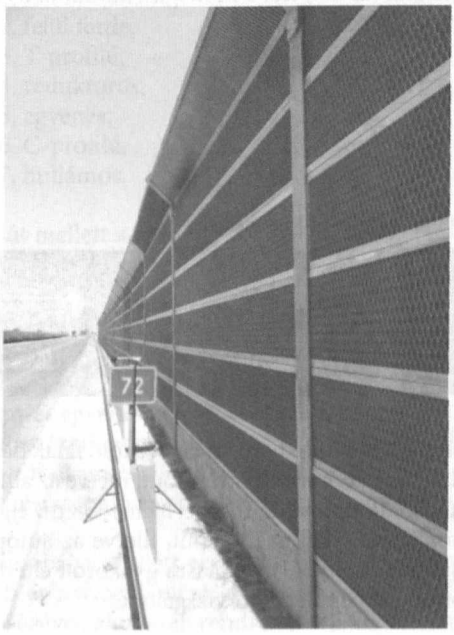
zajárnyékoló falra helyeztek 0,5 m magas DAK tip. reduktorernyőt.
A vizsgálat eredménye

1. táblázat: Mérési eredmények DAK ernyővel

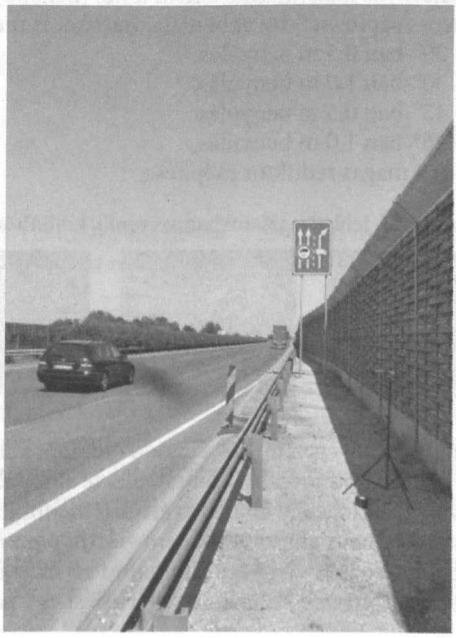
A vizsgálat tárgya	Beiktatási veszteség reduktor ernyő nélkül [dB]	Beiktatási veszteség reduktorernyővel [dB]
M5 autópálya, B72 j. zajárnyékoló fal fafonatos	14,6	17,7
M5 autópálya, B72 j. zajárnyékoló fal acélpaneles	14,8	18

Megállapítottuk került, hogy az ernyő beiktatási veszteségre gyakorolt hatása: 3,1- 3,2 dB.

5. kép: DAKusztik normál acélpaneles zajárnyékoló fal ernyővel



6. kép: THERAFA 6. típusú zajárnyékoló fal ernyővel



4. SZÁMÍTÓGÉPES MODELLEZÉS A KÜLÖNBÖZŐ FORMAI KIALAKÍTÁSÚ FALAK ZAJCSILLAPÍTÁSÁNAK SZEMLÉLTETÉSÉRE

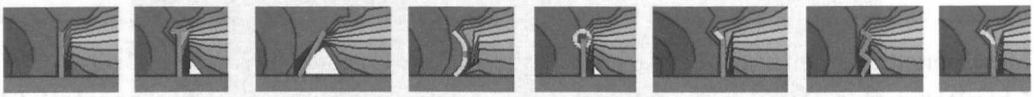
A korábbi vizsgálati eredmények kisminta kísérletek, illetve helyszíni vizsgálatok alapján jöttek létre. A mai technika mellett számítógépes modellezéssel, a megfelelő pontosságú programok segítségével is hasonló vizsgálatokat végezhetünk. A SoundPLAN 7.1. számítógépes program segítségével vizsgáltuk a különböző falkialakítások zajcsökkentő hatását főút és autópálya esetén. Külön vizsgáltuk az elnyelő, illetve visszaverő felülettel rendelkező falak hatását.

4.1. Különböző kialakítású falak vizsgálata

A vizsgálatok során az alábbi falkialakításokat mértük:

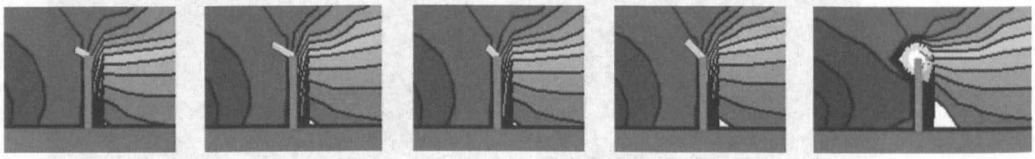
I. 3 m-es effektív magasságú zajárnyékoló falak:
- egyenes zajárnyékoló fal
- T profilú fal (félméteres benyúlással)
- 30°-ban döntött fal
- C keresztmetszetű zajárnyékoló fal
- 0,5 m magas „reduktor" a 2,5 m magas falon
- 2,5 m egyenes, rajta 45°-ban 0,71 m fal
- Hullám formájú zajárnyékoló fal
- 2,1 m magas falon hajlított elemek

2. ábra: Az I. jelű vizsgálatokban szereplő, különböző zajárnyékoló falkialakítások



II. Zajernyős kialakítások: a felül ferde (behajló) falaknál (az alaptest 3 m magas, különböző zajernyős ráépítéssel) további kialakításokat is megvizsgáltunk:
- 30°-ban 0,5 m benyúlás,
- 30°-ban 1,0 m benyúlás,
- 45°-ban 0,5 m benyúlás,
- 45°-ban 1,0 m benyúlás,
- 0,5 magas reduktor ráépítése.

3. ábra: A II. jelű vizsgálatokban szereplő, különböző zajárnyékoló falkialakítások



Számításokat végeztünk a védendő oldalon, különböző távolságokban a zajárnyékoló falak hatásáról. Itt egy adott forgalmú főutat, illetve autópályát vettünk zajforrásként. A főút, illetve az autópálya zajemissziója egy általános érték (LAeqn(25 m)=66 dB nappalra, LAeqe(25 m)=58 dB éjjelre), a számítás nem abszolút, hanem relatív összehasonlításra alkalmas. A főút, illetve az autópálya megkülönböztetés lényege a forgalmi sávok szélességéből eredő árnyékolásra gyakorolt eltérő hatás szemléltetésére szolgál. A zajterhelést egy háromszintes épület előtt vizsgáltuk.

A falak egymáshoz viszonyított hatásának összehasonlításánál kiindulási értéknek a 3 m magas, egyenes zajárnyékoló fal mögötti zajterhelést tekintettük. A mínusz értékek nagyobb, a plusz értékek kisebb zajcsillapítást eredményeznek (az épület előtti zajterhelés különbségeket vettük figyelembe). A számítás eredményét a 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat: Az épület zajterhelésének összehasonlítása az út tengelyétől 50 m-re

	Fal típusa	ΔL_{Aeq} (dB)					
		Főút mellett			Autópálya mellett		
		1. szint	2. szint	3. szint	1. szint	2. szint	3. szint
I.	Egyenes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	T-profilú	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1
	Döntött	+0,8	+1,2	+1,6	+0,4	+0,6	+0,4
	C-profilú	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
	Reduktoros	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1
	Felül ferde	-0,3	-0,3	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1
	Hullám	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0
	Felül hajlított	-0,3	-0,4	-0,5	-0,1	-0,1	-0,1
II.	30°-os, 0,5 m	-0,6	-0,8	-1,0	-0,7	-0,8	-2,0
	30°-os, 1,0 m	-1,1	-1,4	-1,8	-1,3	-1,5	-2,4
	45°-os, 0,5 m	-0,7	-0,9	-1,1	-0,9	-1,0	-2,1
	45°-os, 1,0 m	-1,3	-1,6	-2,0	-1,7	-2,0	-2,6
	0,5 m reduktor	-0,9	-1,1	-1,3	-1,2	-1,3	-2,2

Az eredmények összehasonlításához elsősorban a felső szint eredményeit használtuk fel, mert ott látványosabbak a különbségek.

Az egységes 3 méter magas zajárnyékoló falak közül mindkét út mellett az alábbi sorrend állítható fel:

1. felül hajlított,
2. felül ferde,
3. T-profilú,
4. reduktoros,
5. egyenes,
6. C-profilú,
7. hullámos.

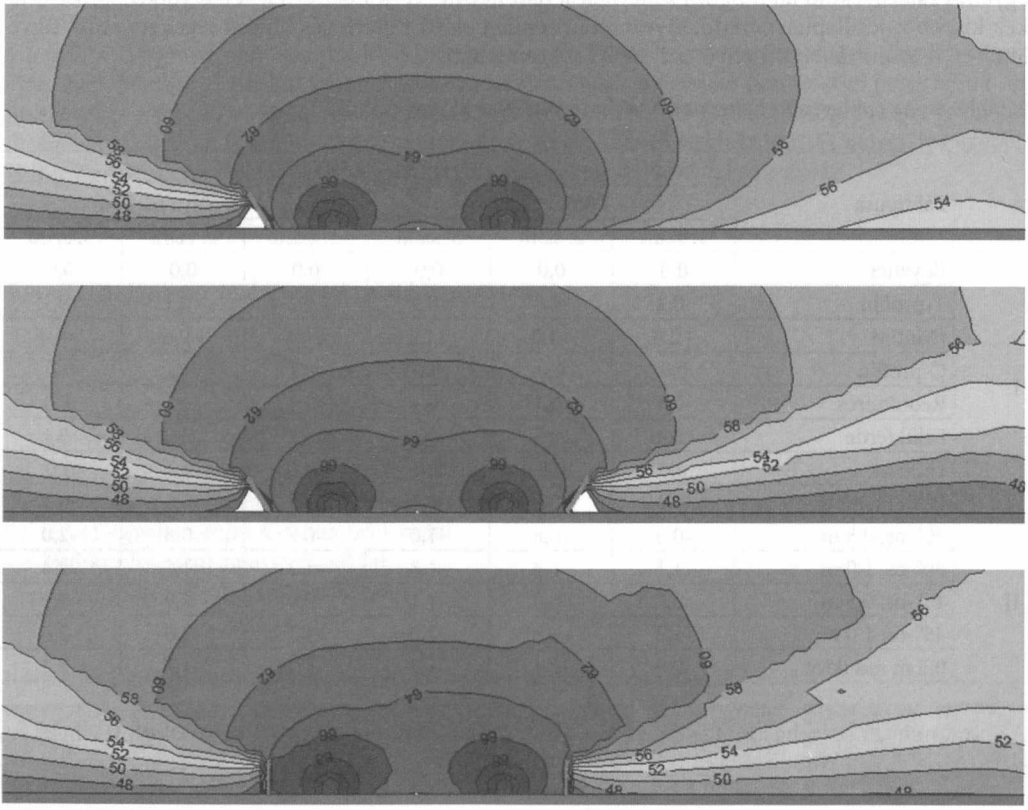
A főút mellett a döntött fal mögötti zajterhelés 1,0-1,5 dB-lel magasabb a többi fal mögötti hangnyomásszintnél, amelyek zajcsökkentése egymáshoz képest maximum 0,5 dB-es különbséget ad.

Az autópálya mögött a nyolc zajárnyékoló fal mögötti zajterhelés már nem mutat ekkora szórást (maximum 0,4 dB), így az megállapítható, hogy közel azonosan védik az épületet.

A 3 m-es egyenes zajárnyékoló falra szerelt ferde elemek közül a dőlésszög változtatás szubjektíve nem érzékelhető változást okoz (45°-os +0,2 dB zajcsökkenést). Viszont a hosszabb, 1,0 m-es elemek a főút mellett 0,8-0,9 dB-lel csökkentik a zajterhelést a 0,5 m-es elemhez képest. A reduktor ráépítés hasonló zajcsillapítást eredményez, mint a 0,5 m-es ráépítés, dőlésszögtől függetlenül.

Az autópálya mellett ezek a különbségek kisebbek, a dőlésszög változtatása 0,1-0,2 dB-t, a hosszabb és rövidebb elem különbsége 0,4-0,5 dB-t okoz, szemben a középső szint zajterhelés-különbségével, ahol ezek rendre 0,3-0,5 dB, illetve 0,7-1,0 dB.

4. ábra: Ugyanolyan magas döntött, ill. egyenes fal építése esetén kialakuló zajszintetek (dB) értékei



A főútnál, a 3,0 m-es egyenes falra ráépített elemek – a különböző kialakításoknak köszönhetően – további 1,0-2,0 dB zajcsökkentést eredményeznek a felső szinteken (az alsó szinten 0,6-1,3 dB, a középsőn 0,8-1,6 dB).
Autópálya esetén a ferde falelemekkel való ráépítéssel az alsó szinten 0,7-1,7 dB, a középső szinten 0,8-1,9 dB, míg a felső szinten 2,0-2,6 dB zajcsökkentés érhető el. A reduktor ráépítés hasonló zajcsillapítást okoz, mint a 45°-os, 0,5 m-es ernyős ráépítés.

4.2. Döntött falak hatása

Külön vizsgálatot végeztünk a döntött zajárnyékoló falak zajcsökkentő hatására a visszaverődéssel érintett oldalán lévő épületeknél, autópálya mellett. Ennél az esetnél kiindulási adatnak a 3 m magas egyenes zajárnyékoló fal zajcsillapítását tekintettük. Külön vizsgáltuk azt az esetet, amikor csak az autópálya egyik, illetve mindkét oldalán van zajvédő fal.

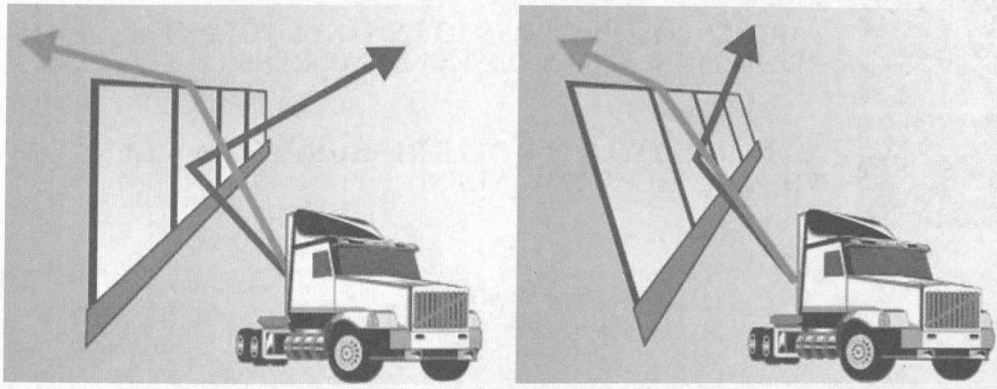
5. ÖSSZEGZÉS

A számítások összehasonlítása, következtetések:

1. A meglévő, megfelelő teherbírású zajárnyékoló falszerkezetek akusztikai hatásossága zajernyős ráépítéssel növelhető. A zajernyős zajárnyékoló fal zajárnyékoló hatása, azonos effektív magasság mellett, nagyobb az egyenes falénál.

2. A 45°-os, 0,5 m hosszú DAKusztik ernyős falkialakítás zajcsillapítás szempontjából azonos hatású a reduktoros ráépítéssel.
Nagyobb zajvédelmet lehet elérni az ernyő 1,0 méterre való meghosszabbításával. Ez a megoldás autópálya mellett további 0,2-0,7 dB, főút mellett további 0,5-1,0 dB zajcsökkentést eredményez a távolabbi épületeknél. A közelebbi épületeknél a hosszabb ernyő alkalmazásával a zajcsillapító hatás 0,6-1,6 dB-lel nagyobb, mint a reduktoros ráépítéssel.
A magasabban fekvő épületek 3. szintjének védelménél a 0,5 m-es zajernyős ráépítés minimálisan (0,3 dB) jobb a reduktoros ráépítésnél.

5. ábra: A visszavert hang szemléltetése egyenes, ill. döntött fal esetén



3. Az egyenes fal és a vele egyforma effektív magasságú felül ferde fal zajcsillapításának összehasonlításából megállapítható, hogy autópálya mellett 0,1-0,2 dB-lel, főút mellett 0,3-0,5 dB-lel kedvezőbb hatású a zajernyős fal a távolabbi épületnél. Ebből következik, hogy egy zajernyős felépítésű fal effektív magassága lehet kisebb egy egyenes falénál. A közelebbi épületnél főút mellett a két fal különbsége tovább nő; a felül ferde fal további 0,4-0,8 dB-lel csökkenti a zajszintet.

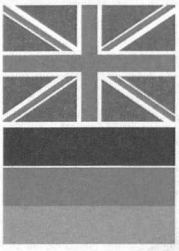
4. A reduktorral, ernyővel elérhető zajcsökkenés növekedést jelentős mértékben befolyásolják a geometriai, a geodéziai viszonyok, ezért minden egyes ráépítés előtt számításokat kell végezni az elérhető zajcsökkenés nagyságának megállapítására.

5. A döntött falak alkalmazása abban az esetben javasolható, ha esztétikai, láthatósági okokból átlátszó fal szükséges. Az átlátszó fal döntésével ugyan a védett oldalon csökken a zajcsillapítás, de a túloldalon a visszaverődés kisebb mértékű lesz.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] May,D.N, Osman,M.M: The performance of sound absorptive, reflective, and T-profile noise barriers in Toronto-Journal of Sound and Vibration. 71.k. 1.sz.
[2] Fiedler,C: Abschirmwände mit absorbierender Ver Kleidung - Modellmessungen zur Verbesserung der Abschirmwirkung von Schallschirmen - Zeitschrift für Lärmbekämpfung. 30.k. 6.sz. 177-181.p. 1983.
[3] Nitto Boseki Co Ltd: Nittobo Noise Reduction System. Inter-Noise ,94. Yokohama-Japán, 1994. aug. 29-31.
[4] Dr.P.Scarano: Sperimentazione fonometrica su barriere basse ravvicinate. Instituto Sperimentale Laboratorio di Acustica Ferrovie dello Stato, Róma, 1996.
[5] MSz 13121-2:92 Zajárnyékoló létesítmények. Helyszíni akusztikai vizsgálat.
[6] Bite Pálné dr: Hatékony zajcsökkentés új formai kialakítású zajárnyékoló

fallal. Közúti- és Mélyépítés Szemle XLVIII. évf. 1998. 11. sz.
[7] Dr. M. Kalivoda: Überprüfung der akustischen Wirkung von Holzbeton Aufsatzelementen an der Bahnstrecke Hallein-Oberalm. Betonwerk Rieder GesmbH 2010.
[8] Dr.-Ing. Thomas Beckenbauer: Möglichkeiten und Grenzen des Schallschutzes im Ausbreitungsweg Müller BBM 2009.
[9] Nagy Dániel Szilveszter, Bite Pálné dr., Bite Pál: Új formai kialakítású zajárnyékoló falak a meglévő falak hatékonyságának javítására. Zajvédelmi Szeminárium, Cegléd, 2013. október 16 – 18.



VARIOUS POSSIBLE WAYS TO ENHANCE THE NOISE REDUCTION IMPACT OF SOUND BARRIERS

MÖGLICHKEITEN FÜR DIE ERHÖHUNG DER WIRKUNG VON LÄRMSCHUTZWÄNDEN

MEGHÍVÓ

A Közlekedéstudományi Egyesület Baranya Megyei Területi Szervezete és a Pécsi Akadémiai Bizottság Közlekedési Munkabizottsága

Új megoldások a közösségi közlekedésben
– fenntarthatóság – integráció – finanszírozás

című forgalomszervezési, mobilitási konferenciájára.

Időpont: 2014. november 6-7.
Helyszín: Laterum Konferencia és Wellness Hotel***/*
7633Pécs, Hajnóczy József utca 37-39.
Telefon: (72) 252 108

A konferencia fővédnöke: Tasó László infrastruktúráért felelős államtitkár

A konferenciára a jelentkezési lap letölthető a KTE honlapjáról
www.ktenet.hu
A jelentkezési lapot kitöltés után kérjük visszaküldeni
a Közlekedéstudományi Egyesület e-mail címére:
rendezveny@ktenet.hu vagy osi.andrea@ktenet.hu

Támogatóink

SIEMENS

KTI
Alapítva - Since 1938

UVATERV

FŐMTERV

STADLER
Stadler Trains Magyarország Kft.

Nemzeti Fejlesztési Minisztérium

HungaroControl
Magyar Légiforgalmi Szolgálat

DÉL-DUNÁNTÚLI KÖZLEKEDÉSI KÖZPONT ZRT.
KAPOS • GEMENC • PANNON

GYSEV
Raaberbahn

ÁLLAMI AUTÓPÁLYA KEZELŐ ZRT.

HUNGRAIL
MAGYAR VASÚTI EGYESÜLET

VOLÁN

VOLÁNBUSZ

Agria Volán Zrt. • Alba Volán Zrt. • Bács Volán Zrt. • Bakony Volán Zrt. • Balaton Volán Zrt. • Borsod Volán Zrt • Gemenc Volán Zrt. • Hajdú Volán Zrt. • Hatvani Volán Zrt. • Jászkun Volán Zrt. • Kapos Volán Zrt. • Kisalföld Volán Zrt. • Körös Volán Zrt. • Kunság Volán Zrt. • Mátra Volán Zrt. • Nógrád Volán Zrt. • Pannon Volán Zrt. • Somló Volán Zrt. • Tisza Volán Zrt. • Vasi Volán Zrt. • Vértes Volán Zrt. • Zala Volán Zrt.