

LXVII. ÉVFOLYAM 1. SZÁM
2017. FEBRUÁR

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVÁ 1951-BEN

Támogatóink 2016-ban



FÜMTERV



STADLER

Stadler Trains Magyarország Kft.



Nemzeti Fejlesztési
Minisztérium



HungaroControl

Magyar Légiforgalmi Szolgálat

EUROASFALT
ÉPÍTŐ ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT.

KÖZLEKEDÉS
FŐVÁROSI TERVEZŐ IRODA KFT.



NEMZETI
ÚTDÍJFIZETÉSI
SZOLGÁLTATÓ ZRT.



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
Mészáros Tibor
Dr. Prileszky István
Szűcs Lajos
Dr. Tánzos Lászlóné
Dr. Tóth János
Dr. Tóth László
Zsolnay Tamás

SZERKESZTŐSÉGI TITKÁR:
Ráczné dr. Kovács Agnes
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 főtítkára

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

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

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

TERJESZTŐ:
Magyar Posta Zrt. Központi Hírlap Iroda
Előfizethető a Közlekedéstudományi Egyesületnél
Egy szám ára: 1380 Ft, Éves előfizetés: 8280 Ft
Egyéni KTE tagnak tagdíjjal: 5140 Ft
Nyugdíjas és diák KTE tagnak tagdíjjal 4640 Ft
ISSN 0023 4362

A Közlekedéstudományi Szemlélt 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.

TARTALOM

Dr. habil. Monigl János

Egyes kérdések az elektronikus díjfizetés bevezetésével kapcsolatban a fővárosban 4

Dr. Péter Tamás – Dr. Csizsár Csaba – Dr. Mándoki Péter

Különböző felszíni közlekedési hálózatok forgalmának együttes modellezése és komplex analízise 16

Apáthy M. Sándor

A menetidőbecslés alkalmazásai 35

Dr. Sárközi György – Roosz Tamás – Pusztai Gábor

A közösségi közlekedési rendszert érintő működtetési és üzemeltetési döntések támogatása az elektronikus jegyrendszerhez kapcsolódó közlekedési adattárház kialakításával 46

Melléklet

Közlekedésbiztonság – Közlekedési környezetvédelem

Prof. Dr. Holló Péter

A közúti közlekedésbiztonság néhány aktuális kérdése 57

Könyvismertető

69

Tisztelt Olvasó!

A Közlekedéstudományi Szemle 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. Reméljük, hogy hamarosan üdvözölhetjük a digitális előfizetőink között.

Egyes kérdések az elektronikus díjfizetés bevezetésével kapcsolatban a fővárosban

A cikk a fővárosi közösségi közlekedés fontos szakmai kérdésével foglalkozik, amikor küszöbön áll a papíralapú díjhordozókról az elektronikus díjhordozókra való átállás. A két fontos témakör: miként lehet az elektronikusan rögzített utazási adatokból utasáramlási adatokat, akár közelítően is megállapítani a kedvezőbb forgalomszervezés és utaskiszolgálás érdekében, továbbá hogy lehet az időalapú díjszabás esetén előzetesen megbecsülni a várható "vonal-, ill. átszállójegy ekvivalens" utazások számát, és ez milyen díjakkal, milyen bevételeket eredményez.

Dr. habil. Monigl János

FŐMTERV Zrt.

e-mail: monigl@fomterv.hu

1. BEVEZETÉS

Az elektronikus díjfizetési rendszer kialakítása magába foglalja a médiumok megválasztását, kiadását, feltöltését, vagy díjtermékek vásárlását, azok használatát a díjlerovó kezeléseknél, az utazási jogosultság ellenőrzését, a műveleti adatok továbbítását, fogadását és feldolgozását, mindezt megfelelő biztonsági környezetben.

A díjtermékek (jegyek, bérletek, azaz az utazási jogosultságok) vásárlása, tárolása és használata szempontjából **két eltérő rendszerkoncepció** jelent meg, amelyek lényegi vonásai a következők:

- **médiualapú megoldás:** a díjtermékek vagy utazásra felhasználható díjösszeg a rendszer által elfogadott médiumra (pl. érintkezésmentes chipkártya, NFC mobil-kártya) kerülnek feltöltésre és a kezelés során az „elfogadás/elutasítás” helyben, a járműveken vagy állomásokon lévő kezelőkészülékek által, a központtól off-line módon történik,

- **szerveralapú megoldás:** a díjterméket vagy utazásra felhasználható díjösszeget a szerverközpontban az utazóhoz kötődő és a rendszer által elfogadott „azonosító médium” (pl. érintkezésmentes chipkártya, NFC mobil-kártya, bankkártya, QR-kódbélyeg) előzetes regisztrálásával létesített technikai számlához kapcsoltan lehet befizetni, és a médiumolvasó kezelése alapján az „elfogadás/elutasítás” a szerveren, a kártyaazonosítót továbbító kommunikáció révén, a válasz figyelembevételével on-line módon történik.

A két rendszerkoncepció közötti lényeges különbség tehát a médiumok és a szerverközpont szerepében mutatkozik: az egyik esetben a médium „díjtermékhordozó”, amely olvasás/írás műveletek során, „helyben” értékváltozáson megy át, míg a másik esetben a médium csupán „utasazonosító”, amely olvasási művelet révén biztosítja a központtal történő kommunikációt, ahol minden tranzakciós körülményt és adatot rögzítenek.

Budapesten a BKK megbízásából egy szerver-alapú megoldás megvalósítása folyik.

Mindkét esetben az elektronikus médiumok (közlekedési kártya, azonosító kártya vagy NFC-képességű mobiltelefon) utazáskori használata során, a kezeléskor képződő „akciós adatok” lehetőséget adnak arra, hogy az összetartozó adatokat felszállási és leszállási helyek szerint rendezve, belőlük **megállóközi vagy körzetközi utasáramokat** képezzünk, amelyek a közlekedési szolgáltatások szervezése, tervezése, de egyáltalán a működtetése szempontjából meghatározó fontosságú alapadatokat jelentenek.

A közösségi közlekedésben különböző típusú díjtermékek (jegyek, bérletek) léteznek, amelyek **területi érvényessége** a hálózatban lehet: *vonali* (egy vonal/viszonylat mentén), relációs (megadott megálló vagy körzetek között) és területi (valamely településen, övezeten belül). Ezen túlmenően minden díjterméknek van **időbeli érvényessége** is: pl. a *vonaljegy*ek esetében a fel-/leszállóhelyek közötti időben, átszállójegyek esetében „x” percen belül, *relációs jegyek* esetében az utazás megkezdésétől „y” óra/nap, *területi jegyek* esetében pl. 15, 30, 60 perc vagy 24, 72, 168 órá, ill. 1, 3, 7 napi jegyek, valamint a *területi bérletek* esetében pl. hónap (30 nap) és év. Ezek – a relációs jegyek/bérletek kivételével – *átalány-díjú termékek*-nek tekinthetők.

A díjtermékek vagy előre meghatározottak (és általában megfizettek), vagy menet közben a felszálláskor és leszálláskor való kezelés során, a megtett út alapulvételeivel, mint *teljesítmény-alapú termékek* jönnek létre, valamint kapnak „értelmet és értéket”, amit vagy a kártyán lévő díjtárcába feltöltött összegből, vagy utólag a kártyabirtokosnak a központban lévő, előre feltöltött számlájáról, vagy a bankszámlájáról egyenlítenek ki.

Általában valamennyi eszközön, állomáson nem lehet a felszálláskori (check-in; CI) és leszálláskori (check-out; CO) utaskezelést is, azaz a „CICO-technológiát” megvalósítani, ezért felemás rendszerek jöhetnek létre; a lezárható gyorsvasúti állomásokon van erre a leginkább mód, és még a helyközi autóbuszok

is adnak erre esélyt, de a nagy forgalmú helyi villamos, autóbusz és trolijárműveken ez már problémás, és a nagyvasúti állomások lezárása sem látszik mindenütt megoldhatónak.

A Budapesten tervezett elektronikus díjfizetési rendszerrel kapcsolatban ezért **két kérdéskör** is említhető, amelyek megoldást, ill. választ kívánnak, nevezetesen:

- tekintettel arra, hogy valamennyi eszközön, állomáson nem lehet a felszálláskori és leszálláskori utaskezelést megoldani és ezzel megfelelő utasáram-adatokat is kapni, hogyan állíthatók elő közelítően a leszálláskori adatok (első sorban a megállóhelyek azonosítása) és a teljes utazásláncok, ha már egy ilyen nagy bekerülési összegű rendszer létezőn?
- az időalapú jegyekre való tervezett átállással kapcsolatban, hogyan becsülhető meg az új rendszerben, különböző időtartamú érvényességű jegyek esetében az eladott, ill. felhasznált „vonaljegy-egyenértékes” jegyek száma, és ez milyen bevétel-változást okoz?

A következő két – a megalapozásukat jelentő adatok körében egymással összefüggő – tanulmányrész ezekre a kérdésekre keres közelítő válaszokat.

2. KÖZLEKEDÉSI UTASÁRAMOK MEGHATÁROZÁSA AZ ELEKTRONIKUS RENDSZER ADATAIBÓL

2.1. Adatelőkészítés

Az előre meghatározott (és fizetett) relációs jegyek esetében utasáramok kiindulási és cél-megállójának ismeretéhez a csupán felszálláskori (CI) kezelés jó közelítéssel elegendő lehet. A „szabad felhasználású” vonaljegyek és területi érvényességű jegyek/bérletek vonatkozásában, a csupán CI-kezelés esetén további, **utólagos „adatnyerési technikák”** alkalmazására van szükség, a leszállás helyének és a teljes utazásláncnak (egyazon helyváltogatási indokhoz tartozó, a kiindulási hely és célhely közti részutak egymásutánja) a közelítő meghatározásához.

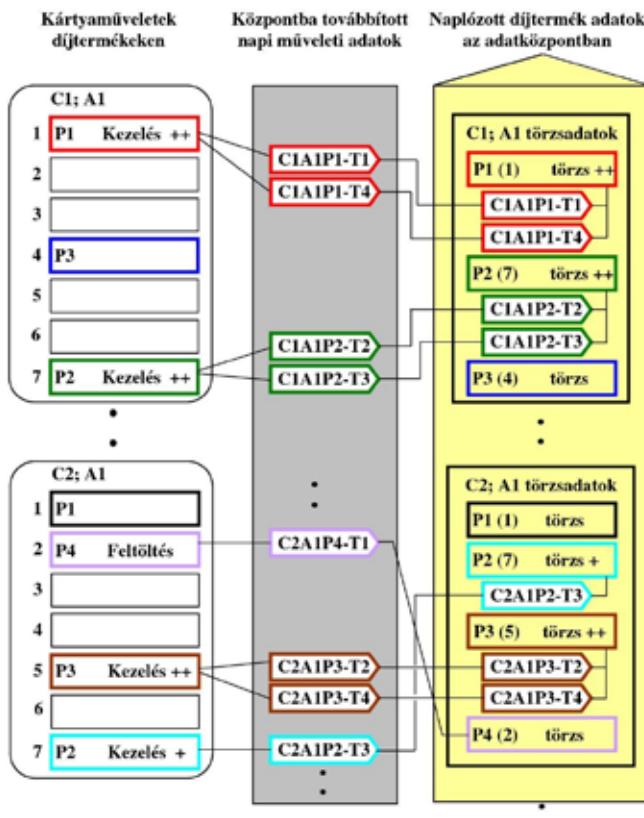
Ezzel összefüggésben meg kell jegyezni, hogy sok esetben a kártyabirtokosok teljes utazásláncai fontosak pl. a viszonylatvezetések tervezéséhez, és nem elegendő az egyes igénybe vett eszközökön a fel- és leszálló megállóhelyek közt megtett **részutak** ismerete.

A Közlekedési Adatközpontban (KAK) naplózott érvényes CI-kezelési (és CICO-kezelési) adatok feldolgozásához a következő fontosabb adatokra van szükség (ld. 1. ábrát is, ahol egy közlekedési kártyaalapú példa szerepel):

- a használt médium/kártya (C) azonosítója
- a kártyán lévő közlekedési alkalmazás (A) azonosítója (a kártyán több alkalmazás esetén)
- az alkalmazáshoz tartozó díjtermékek és díjtárca (P) azonosítója
- adott díjtermék kezelési adatai (szolgáltató, felszálló megálló, viszonylat, irány, időpont)

Rendezéssel a kártyán lévő valamennyi díjtermék napi felszállásainak sorszama és időbeli sorrendje előállítható.

1. ábra: A kártyaműveletek napi tranzakciós adatai útja és adatközponti naplózása



Példa: A CI kártya-tulajdonos kártyáján lévő EH-alkalmazási keretben (A1) három díjtermék található a feltöltés sorrendjében (P1: helyközi vasúti bérlet az 1.díjtermékhelyen; P2: díjtárca a 7. helyen; P3: előreváltott autóbusz jegy a 4. helyen)

Adott napon a CI kártyával a következő utazások történtek illetve tranzakciók (T) keletkeztek:

- T1: utazás a lakóhelyről a helyközi vasúti bérlettel (P1) másik (X) településbe
- T2: utazás díjtárcából (P2) X település helyi közlekedésében
- T3: utazás díjtárcából (P2) X település helyi közlekedésében
- T4: visszautazás X településből a helyközi vasúti bérlettel (P1) a lakóhelyre

Előfeldolgozással előállíthatók:

- valamennyi felszálláshoz az időpont alapján a menet/járat azonosító hozzárendelése
- a viszonylatok menetei/járatjai irányonkénti megállóhelyi fel- és leszálló utasszámai.

Az adatok feldolgozásához és elemzéséhez szükség van – a tér-idő vonatkozások szempontjából – a közösségi hálózat digitális topológiai modelljére is, a hálózati kapcsolatok megállapítása céljából.

2.2. Utazási adatnyerési feldolgozás

Az elektronikus rendszer esetén feltételezzük, hogy a közlekedési médiumát mindenkinek kezelnie kell (még az ingyenes utazásra jogosultaknak is) és minden felszállásról keletkezik legalább egy CI-adat (szolgáltató, viszonylat, irány, megállóhely, időpont).

A csak CI-kezelésű utazásoknál minden esetben a **részutak leszálló megállóhelyeinek azonosítására**

van első sorban szükség, ami a tranzakciós központban a kártyákhoz és díjtermékekhez tartozóan naplózott és időbeli sorrendben rendezett felszállási adatokból, célszerűen több lépésben történhet. Ennek alapján aztán ezen részutak „összefűzésével” az utazások is meghatározhatóvá válhatnak, amelyek relációs aggregálása eredményezi a napi utas-, ill. utazási áramokat, mátrixok formájában.

Minden egyes kártya/alkalmazás egyenként kerül vizsgálatra, amelynek díjtermékeihez tartozó minden egyes aznapi felszállási, kezelési adatot feldolgoznak, amire célszerűen az adott napot követő éjszakai órákban kerülhet sor.

A gépi elemzés során a következő **jelölésrendszert** célszerű alkalmazni:

t a napi időtengely ($t=1,2, \dots, i, j, 1440$ perc)

F_i = adott személy valamely felszállási időpontja a nap folyamán ($1 \leq F_i \dots \leq 1440$)

$\min F$ = adott személy első ($s.=1$) felszállásának időpontja (perc) a nap folyamán (pl. 6:00=361)

$T_i = (F_i - \min F)$ = adott személy napi első ($s.=1, T_i=1$) felszállása óta eltelt időtartam (perc)

$s.(T)$ = adott személy valamely felszállásának időrendi sorszáma a nap folyamán,

$$s.(T) = 1, 2, 3, \dots, q, \dots, z \text{ és} \\ s.(T_{i-1}) \leq s.(T) \leq s.(T_{i+1})$$

$D_{s.(T_i), s_{i+1}}$ = időköz adott személy két egymást követő felszállása között (perc)

T_{ij} = időtartam, valamely felszállás (i) és az azt követő felszállások időpontjai (j) között (perc)

$$T_{ij} = T_j - T_i; (j > i);$$

2.3. A részutak leszálló megállóhelyeinek és az utazási részút-láncoknak a meghatározása

Előjáróban megjegyezhető, hogy a csak a felszálláskori CI-kezelést alkalmazó utazásoknál **aktuálisan használt V viszonylatról ismertté nem váló leszállás helye** $V(Me)$, az adatközpontban

rendelkezésre álló napi kezelési adatok és a hálózat ismerete alapján, a **követő W viszonylaton történő felszállás megállóhelyéhez $W(Mf)$ való viszonyítással** – mintegy időben és térben „viszszafelé tekintve” – döntő részt valószínűsíthető.

Tekintettel arra, hogy a leszállás helyének ($V(Me)$) valószínűsítése után (a felszálló megállóhoz ($W(Mf)$) a legközelebbi lehetséges ($V(Mk)$) megálló helyének **távolsága** ($\min Lfk$) alapján lehet csak az adott viszonylaton a napi „s.”-dik felszállás helyétől ($V(Mf)$) eltelt **menetidőt $m(fe)$** számítani, így a leszállás(e) és a következő ($s.+1$)-dik felszállás (f) közti **időköz (Def)** nagyságát is meghatározni, így hogy melyik számítási esettel van dolgunk, csak ezen elővizsgálat után dőlhet el. A felszállás és leszállás közti menetidő ($m(fe)$) vagy a forgalomirányítási adatokból közvetlenül, vagy a megtett hossz (H) és a menetrendi, ill. viszonylati átlagsebességek (S) alapulvételével nyerhető ($m(fe)=Hfe/S$).

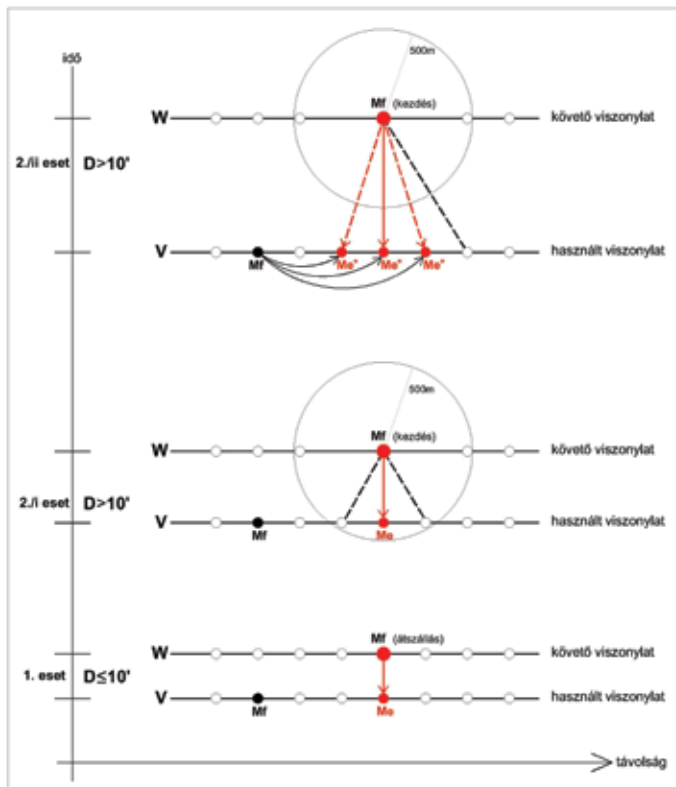
Ennek alapján számítható valamely leszállás és a következő felszállás közti időköz (D), azaz $D_{s.(Me), s.+1(Mf)}$ = időköz adott személy valamely viszonylatról való leszállása ($VM(e)$) és a következő felszállása ($W(Mf)$) időpontja között (perc).

Ezzel kapcsolatban, a **leszálló megállóhely ($V(Me)$) megállapítására** különböző számítási eseteket különböztethetünk meg (ld. 2. ábrát is):

- 0) Adott kártyához/alkalmazáshoz tartozóan a nap folyamán az első felszállás ($s=1$) biztosan valamely „a-b” megállóhelyek közt létrejövő utazás (Uab) kiinduló pontjának (Ma) felszálló megállóhelye ($Mf=Ma$),
- 1) Abban az esetben, ha a továbbiakban valamely viszonylat (V), adott megállóhelyén $V(Mf)$ történő $s=q$ -dik felszállást követően, a következő ($q+1$)-dik felszállás egy másik viszonylat (W) megállóhelyén ($W(Mf)$), a megelőző leszállás időpontjától pl. $D(s, s.+1) \leq 10$ (?) perc időközön belül történik, akkor valószínűsíthető, hogy a „V” viszonylat valamely, ($W(Mf)$)-hez legközelebbi ($Lfk=\min L$) „irányhelyes” megállója $V(Mk)$ volt a szóbanforgó részutnak a leszálló megállója ($V(Me)$), vagyis $Mk=Me$, amely megállóhely **átzálló pontnak** minősül (a térbeli tájékozódáshoz a hálózati topológiai modell ismeretére is szükség van);

- 2) Abban az esetben, ha pl. 10 percnél tovább ($D(s.,s.+1) > 10$) nem történt adott kártyához (díjtermékhez) tartozóan újabb felszállás, akkor valószínűsíthető, hogy az ismeretlen **leszálló megállóhely $V(Me)$** egyúttal egy „a-ból b-be menő utazás” végpontja is ($Me=Mb$) volt, amely leszállóhelynek a valószínűsítése két módon történhet:
- i) ha a következő felszállás (új utazás kezdete) megállóhelye ($W(Mf)$) „közelében” (pl. $L_{fk} < 500$ m) található az előzően használt viszonylat (V) valamely megállóhelye $V(Mk)$, akkor valószínűsíthető, hogy a legközelebbi ($L=\min L$) megállóhely $V(Mk)$ volt a **leszállóhely ($V(Me)$)**; ez egyúttal azt is jelenti, hogy az Ma -ban induló utazás-lánc-végpontja is ($Mk=Mb$) volt;
- ii) ha a legközelebbi felszállás (új utazás kezdete) megállóhelyétől ($W(Mf)$) az előtte használt viszonylat valamely megállóhelye ($V(Mk)$) távolabb van, mint $L \Rightarrow 500$ m, ill. nem állapítható meg egyértelműen a **leszálló megállóhely ($V(Me)$)**, akkor a használt „ V ” viszonylat adott irányban lévő megállóhelyei (Mk) közül, a következő felszálló megállótól ($W(Mf)$) legközelebbi ($\min L_{fk}$ ($1+0,33$) tartományban) „ x ” db megállóban (**$V(Mx=Me^*)$**) történhetett leszállás, az érintett „ x ” megállók leszálló utasszámai (U_e) arányában ($u^* = U / \sum U$); ebben az esetben az Ma -ban kezdődő – esetleg már több átszállással elért – utazás-lánc-végpontok (Mb) is a „ V ” viszonylat leszálló megállóhelyei ($V(Mx)$) közt arányosan valószínűsíthetők ($Me^* = Mx = Mb^*$).

2. ábra: A leszállási megállóhelyek megállapításának esetei



Tekintettel arra, hogy CI-esetben, — kezelés hiányában — nem ismerjük a leszálló utasszámokat (U_e), ezért a leszálló utasszám-arányokat (u^*) az „ellentétes viszonylati irány és napszak” felszálló utasszámai (U_f) alapján adódó arányokkal (f^*) helyettesítve becsülhetjük pl. négy(?) napszakra vonatkozóan, „páronként” a következők szerint:

$$\begin{aligned}
 &u^*(4-9) \sim f^*(15-19); \\
 &u^*(9-15) \sim f^*(9-15); \\
 &u^*(15-19) \sim f^*(4-9); \\
 &u^*(19-24) \sim f^*(19-24)
 \end{aligned}$$

Megjegyzendő, ebben a számítási stádiumban — a megállóhelyi arányok (e^*) alapján való felosztása következtében — törtszámok (U^*) is lehetségesek, amelyek aztán a megállóközi utazásáramok előállítására ($U_{xy} = \sum U_{xy}^*$) során kerülnek összevonásra.

A teljesség kedvéért megemlítendő még, hogy a közelítően meghatározott leszállóhelyek mellett a leszállások időpontját is meg lehet határozni a digitálisan leképezett hálózaton, a szakaszhosszak és az igénybe vett közlekedési eszközök menetrendi vagy átlagsebességei alapján, és így a leszállások, valamint az utazások időbeli lefolyása is elemezhetővé válhat.

A leszállási idők ismerete hozzásegíthet bennünket ahhoz is, hogy az „utazásokat” jelentő részút-láncokat egyértelműbben határozhassuk meg, és az „átszállás” és az „utazáskezdés” között ne mereven a pl. 10 perces ($D(s, s+1) > 10$) időköz alapján döntsünk, hanem figyelembe vehessük a követő viszonylat (W) követési időit is, amelyek adott esetben nagyobbak is lehetnek (pl. 15, 20 perc), mely esetekben hosszabb várakozással, de végül is „átszállás” történik, és nem egy új „utazáskezdésről” van szó.

Természetesen az itt felvázolt „feltétel-paraméterek” az elektronikus rendszer bevezetése után, egy kezdeti időszak adatai alapján pontosítandók (pl. a leszállások és felszállások közti időszakok hosszának eloszlása külön vizsgálatokkal) vagy az átszállási távolságok alakulása a hálózati „átszállási kapcsolati táblák” mentén és a „gócponti hozzárendelések” figyelembevételével, vagy a viszonylatok jellege (pl. radiális, tangenciális, ...) és övezeti helyzete szerint, stb.

A CICO adatok, — ahol mind a felszállás, mind a leszállás megállóhelye ismert — a CI-alkalmazás így becsült leszálló megállóhelyi adatai alapján adódó részutakkal azonos módon kerülhetnek további elemzésre, utazási láncokká való feldolgozásra.

Mindegyik esetben megjegyzendő az utazás útvonala (R), a kiinduló (Ma) és célmegálló (Mb) között — a közbülső részutak viszonylatszámainak és a megtett viszonylatrészek fel- és leszálló megállóhelyeinek, valamint időadatainak megjegyzésével, — aminek alapján a viszonylatok mentén a felszálló utasszámok mellett a leszálló utasszámok is és az utasterhelések is megjeleníthetők.

2.4. Közösségi közlekedési utazási mátrixok meghatározása

Valamennyi kártyahasználati adat feldolgozása és a hozzájuk tartozó egyedi utazási áramok (Uab) összegzése után rendelkezésre állhat a **megállóközi utazási mátrix** ($Fab = \sum Uab$).

Amennyiben körzetszintű mátrixokat (Fij) kívánunk előállítani, akkor az a megállóhelyek körzetéhez rendelő kódja alapján tehető meg ($Fij = Fa(i)b(j)$).

Megjegyezzük, hogy az így nyert **utazási mátrix rétegezhető** a használt díjtermékek jellege alapján pl. jegyes és bérletes utazásokra, vagy a bérletes utazásokon belül a „dolgozó, nyugdíjas, tanuló” bontás is elképzelhető. Amennyiben a 65 éven felülieket kártyakezelésre kötelezik, akkor az ő ingyenes utazásaik is bemutatathatók.

További, **utazási indok** szerinti elemzésre is mód van, amennyiben adott kártyabirtokosok utazásainak napi idő- és megállóhelyi profiljait egy héten belül vagy több héten keresztül összevetjük. Nagy valószínűséggel munkahelyi vagy iskolai utazásokkal van dolgunk, ha a hét napjainak többségében a reggeli felszállások, ill. utazáskezdések párhajánként a délutáni órákban azonos helyen (de ellentétes irányban) vagy a közelben történnek a felszállások.

Tekintettel arra, hogy az elemzés tér-idő koordináta rendszerben történik, mód adódhat a terhelések **időbeli változásának** bemutatására és a különböző utazói csoportok (jegyes és bérletes (dolgozó, nyugdíjas, tanuló) utazások napi időbeli lefolyásának közelítő számítására.

A mátrixok hálózati ráterhelésével mód van a szintetikus úton előállított közösségi közlekedési utazási igénymátrix közelítő kalibrálására.

3. AZ IDŐALAPÚ ELEKTRONIKUS JEGYEKRE VALÓ ÁTTÉRÉS EGYES KÉRDÉSEI A FŐVÁROSBAN

3.1. Az elektronikus díjszedés és az időalapú díjtermékek egyes lényegi sajátosságai

A BKV menetdíjrendszerének átalakítása az elmúlt évtizedekben többször felmerült. Az

elképzelések általában területi-övezeti differenciálásban vélték a megoldást, amelyek azonban – a külsőbb övezetekben lakók körében keletkező, várható társadalmi feszültségek és bevételvesztési veszélyek miatt – eddig mind elháltak.

A jelenleg elképzelt menetdíjrendszer egyik alapvető vonása, hogy **időalapú menetdíj-fizetést** kíván az elektronikus rendszerben megvalósítani. A **díjzabási alapok** tekintetében az elektronikus fizetési rendszer bevezetésekor a jelenlegi, területi/hálózati papíralapon működő, átalányjellegű díjzabás alapjai egy ideig – összehasonlítási alapok céljából – elvileg maradhatnak, de egy „tapasztalási fázis” után a következő **időalapú megoldások** lehetségesek (a végleges megoldás még változhat):

- az **eseti utasok** részére **időalapú „jegyek”** (utazási jogosultságok) kerülhetnek bevezetésre, így a **vonaljegy helyett pl. 1 perces(?) időkorlátos jegy, csupán egy felszállást megengedve** és az átszálló jegy helyett pl. **30 és 60 perces(?) időkorlátos jegy** kerülhet alkalmazásra,
- a **rendszeres utazók számára** is van időalapú megoldási lehetőség, amennyiben a hálózati bérleteket felváltaná a teljesítményarányos differenciálás lehetőségét adó **időalapú, út-db-száma (pl. 60, 90, 120 út) építő havi vagy 30-napos jegy**).

(Megjegyzés: mind az átszállást is lehetővé tevő „eseti jegyek”, mind a „30-napos jegyek” típusánál az „időalapú” egyfajta időkorlátot, az egymást követő felszállások „megengedő időszakát” jelenti, vagyis egy „időkorlátos utazás” az 1. felszállás időpontjától számított pl. 30 percen belül történt felszállások részeit foglalja magába, az utolsó felszállást követő leszállásig).

Mindkét említett díjterméktípusnál az időalapra történő váltásnak – megfelelő szintű és arányú, differenciált díjak alkalmazása esetén – nyertesei is lehetnének, ami akár többletbevételekre is lehetőség adhat.

Meg kell továbbá jegyezni, hogy az időalapú jegyek első sorban a Budapest városhatáron belüli szolgáltatások esetében alkalmazhatók, a város-

határt átlépő szolgáltatások esetén (pl. HÉV-eknél), ha távolságosztályos vagy övezeti díjzabást kívánnak alkalmazni, az időalapú díjfizetés nem éppen a legalkalmasabb módozat.

Az időalapú rendszer bevezetése előtt az **egyik fő kérdés** az, hogyan lehet megbecsülni, hogy a jelenlegi, papírjegyes rendszerben eladott vonal- és átszállójegyek db-száma **hogyan változna az elektronikus, időalapú jegyek (utazási jogosultságok) esetében és hogyan alakulna az ebből várható bevételek mértéke?** Továbbá, **mi lenne a szintén szóba került napi díjplafon alkalmazás hatása?**

Erre a célra háztartásfelvételi adatok, de még inkább magának az elektronikus díjrendszernek az adatai szolgálhatnak oly módon, hogy egy átmeneti időre a jelenlegi „vonali- és átszállójegyes” rendszer kerülne elektronikus formára is leképezésre.

Az „időalapú jegyek időközzeit” (időablakainak) figyelembevételével történő vizsgálat ugyanazon adatbázis felhasználásával készülhet, mint a leszálló megállóhelyek meghatározása, de tekintettel arra, hogy az időalapú jegyek a felszállások közti időszakokon alapulnak, a CI-alkalmazás esetében sincs a leszállóhelyek megállapítására feltétlen szükség.

3.2. A napi utazások időbeliségének vizsgálata az időalapú jegyek számának alakulásáról

A naplózott tranzakciós adatok lehetőséget adnak arra, hogy valamennyi kártyabirtokos személy minden egyes útját a „napi időtengety” (t; perc-alap) mentén külön vizsgáljuk a felszállások időpontja, ill. az egymást követő felszállások közti időközök (D) vonatkozásában. Végezetül e személyekre vonatkozó adatok összegzésével állapíthatók meg az egyes „időablakokba” eső utak arányai, vagyis mennyi lenne, ill. milyen arányú lenne az egyes „időalapú jegyek” felhasználása az egyes „érvenyességi időközöknek” megfelelően.

Ehhez a következő gondolati modell javasolható, amelynek alapjai az alábbiakban, ill. jelölései korábban láthatók (ld. az 1. táblázat „zsugorított napi” példáját):

1. táblázat: Példa egy személy „zsugorított napi” utazásaira

P é l d a: személy napi utazásai							
Felszállás napi sorszáma (s)	1	2	3	4	5	6	7
Felszállási időpont (óra:perc)	6:00	6:07	6:21	6:32	6:58	7:12	7:47
Napi időtengely (Fi; perc)/en	361	368	382	393	419	433	468
Relatív időpont (Ti; perc)	1	8	22	33	59	73	108
Követő időköz ((Dj-1); perc)	0	7	14	11	26	14	35

A 2. fejezetben ismertetett jelölések kiegészítendőek, nevezetesen

$A_{k(h)}$ = átfedő időköz-ablak (k) a megadott határidők (h) szerint

$h = 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 75, 90$ perc

$k = (1) 0-5, (2) 0-10, (3) 0-15, (4) 0-20,$

$(5) 0-30, (6) 0-45, (7) 0-60, (8) 0-90, (9) 0 \rightarrow 90$.

Az utazási adatok alapján a különböző díjtermékekkel (jegy, bérlet) vagy ingyenesen utazó csoportokba sorolható egyes személyek közösségi közlekedési utazásait – az egymást követő felszállások közti időközök (D), ill. az egyes felszállásokat követő utazások közti időtartamok (T) alapján - besoroljuk a megadott határidőpontok (h) szerinti időköz-ablakokba (k) (2.táblázat).

Amennyiben az időköz-ablakba való besorolás feltételét a követő időközök (D) alapján szabnánk meg:

– első besorolás, ahol $(h-1) \leq D_{(j(s-1), j(s))} \leq h$,

– további besorolás, ahol $h > D_{(j(s-14), j(s))}$,

akkor bizonyára hibáznánk a levonandó következtetések szempontjából (2. táblázat).

Mert ilyen egyszerű lenne a dolog? A példában szereplő személy 7 db felszállásánál adódó 6 db, különböző hosszúságú „közvetlen követő időköz” (D) létezik, amelyek 66,7%-a 15 percnél rövidebb és 83,3%-a 30 percnél rövidebb. Az időalapú jegyek aránya is ilyen lenne?

Az időalapú jegyek tekintetében több lehetőség adódik több követő időköz összevonásával (idő-ablakok), aminek több kombinációja is lehetséges, amit a példa számaival is alátámaszthatunk:

– első lehetőség:

- 1.(1'), 2.(8'), és 3.(22') felszállás 30 perces jeggyel,
4. ((33') és 5.(59') felszállás szintén 30 perces jeggyel,
6. (73') és 7.(108') felszállás szintén 30 perces jeggyel,

– második lehetőség:

1. (1') felszállás 1 perces „vonaljeggyel”
2. (8'), 3.(22') és 4.(33') felszállás 30 perces jeggyel,
5. (59') 6. (73') és 7.(108') felszállás 60 perces jeggyel,

2. táblázat: A felszállások közti követő időközök (Dj-1,j) besorolása és eloszlása

Személy sorszáma	Utascsoport	Felszáll. sorszám	Hátralévő felsz.db	Újra felszállás (h) percen belül (db; %)								
				0-5	0-10	0-15	0-20	0-30	0-45	0-60	0-90	0->90
1	Jegyes	1	6		1							
		2	5			1						
		3	4			1						
		4	3					1				
		5	2			1						
		6	1							1		
		7	0									
		Sum↓		0	1	3	0	1	1	0	0	0
		Cum→		0	1	4	4	5	6	6	6	6
		Cum%		0	0,167	0,667	0,667	0,833	1,000	1,000	1,000	1,000

– harmadik lehetőség:

- 1.(1'), 2.(8'), 3.(22'), 4.(33') és 5.(59') felszállás 60 perces jeggyel, 6. (73') és 7.(108') felszállás 30 perces jeggyel.

Ezt a fajta vizsgálatot és besorolást (díjmegállapítást) az elektronikus rendszer létrejötte után, a feltételezések szerint, az adatközpontban (KAK) utólagosan a szerver végzi el, és azt a változatot fogadja el automatikusan, amely az utas számára a legkedvezőbb (értsd: a legkisebb összeget jelenti). Ehhez persze tudni kell, hogy milyen díjszinteket alkalmaznak az egyes időszakos jegyekre vonatkozóan. Saját korábbi javaslatunk szerint például a következők lennének elképzelhetők a belső **egyedi utazásokra szóló időalapú díjak** esetében:

az 1. felszállás (pl. a jelenlegi vonaljegyár (350 Ft) kb. 90%-a) 320 Ft,

a 2. és a további felszállás(ok) 30 percen belül +220 Ft, összesen 540 Ft,

a további felszállás(ok) 60 percen belül +220 Ft, összesen 760 Ft.

Csupán összehasonlításul: ma egy vonaljegy ára 350 Ft, egy metró szakaszjegyé 300 Ft és egy átszállójegyé, kétszeri felszállásra 530 Ft (a metró szakaszjegy – a szolgáltatás színvonalát tekintve – aránytalanul olcsónak tűnik az egyéb eszközökön, rövid útra használandó vonaljegy árához képest). A javaslat szerint a félórás jegy kb. 540, az órás jegy kb. 760 Ft-ba kerülhetne, ami az 1650 Ft-os 24-órás jegy árához képest méltányosnak tekinthető.

Ez az is jelenti, hogy aki havonta tíz alkalommal oda- és visszaútra félórás jegyet vált (10 800 Ft), annak megéri havi bérletet választani 10 500 Ft-ért (de később még inkább egy „60 útra szóló 30-napos jegyet”, amely a havi bérlet árának kb. 85%-át tenné ki).

A felszállások számának figyelése az időintervallumoknak megfelelően, valamint a díjak utólagos megállapítása és levonása a rögzített adatok alapján történhet.

A korábbi példában az első esetben 3 db 30 perces jegy ($540 + 540 + 540 = 1620$ Ft), a második esetben 1 db egyszeri felszállást lehetővé tevő 1/3/5-perces jegy, 1 db 30-perces és 1 db 60-perces jegy ($320 + 540 + 760 = 1620$ Ft) fedné le az utakat, míg a harmadik esetben 1 db 60-perces és 1 db 30-perces jegy ára ($760 + 540 = 1300$ Ft) lenne a kiegyenlítendő díj, ami alapján – az elképzelések szerint, az utas számára a legkedvezőbb összeget, 1300 Ft-ot vonnák le tőle (ezzel összefüggésben érdemes utalni rá, hogy az „utasoknak való kedvezés” bevételvesztéssel jár; ma 7 vonaljegy ára 2450 Ft lenne, ami csak egy elvi összehasonlítási alap lehet, hisz vagy átszálló jegy, vagy napijegy (1650 Ft) vásárlása ma is olcsóbb lenne; ez utóbbi jutányosnak tekinthető, hiszen ára 4,7 db vonaljegy tetz csupán ki).

Ugyancsak a szerver végzi el a „**napi díjplafon**” elérésének vizsgálatát is, ami szerint annak díjelérése esetén csak a napi jegy árának megfelelő összeget számítja fel adott kártyabirtokos személynek és terheli meg vele a számláját.

Amennyiben nincs lehetőség „egyedi ablakozásra” és a lehetséges „jegyhasználati kombinációkat” meghatározni, az összes felszállás időközök szerinti megoszlásának arányait a következő **közelítő módon** lehet becsülni:

– tekintettel arra, hogy különböző „összefüggő ablak-kombinációk” lehetségesek, az egyes felszállások időpontja és a követő összes felszállás időpontja közti különbségeket ($(T_{ij} - T_j - T_i)$) képezve töltjük ki a 3. táblázatot, vagyis

– vesszük a $T_{ij} = T_j - T_i$ növekvő időtartamokat valamely felszállás (i) és a még azt követő felszállások (j) időpontjai között (perc) ($j > i$; ami $7 \times 6 / 2 = 21$ értéket jelent; ld. 3. táblázat) és betesszük őket a 4. táblázat megfelelő időköz-rekeszeibe – amelyek mindig 0 és a h „határ-idő” (perc) között értendők, – tekintettel arra, hogy valamely adott felszálláshoz tartozó „időtartam” része lehet még egy követő hosszabb időköz-láncnak, időablaknak,

3. táblázat: A felszállások és a követő felszállások közti időtartamok (T_{ij}) alakulása

Követő felszállási idő (T _j)		T2=8	T3=22	T4=33	T5=59	T6=73	T7=108
Induló felszállási idő (T _i)	T _{ij} =T _j -T _i						
1. Felszállás	T1= 1	7	21	32	58	72	107
2. Felszállás	T2= 8		14	25	50	64	100
3. Felszállás	T3= 22			11	37	51	86
4. Felszállás	T4= 33				26	40	75
5. Felszállás	T5= 59					14	49
6. Felszállás	T6=73						35
7. Felszállás	T7=108						

- majd az egyes időközökbe eső értékek darabszámát (gyakoriságokat) összegezzük és „normálással” kiszámítjuk a százalékos eloszlásokat (%),
- így a táblázatból leolvashatjuk például, hogy az utazáskombinációk hány %-a esik a 30, vagy 60 perces határ alá, ill. közé,
- ha a jelenlegi vonal- és átszállási jegystatisztikai adatokat a fenti %-os arányok alapján megosztjuk és a várható jegyárakat megadjuk, képesek lehetünk a várható bevételösszegek közelítő becslésére is.

A táblázatból látható, hogy a példában szereplő utazások tekintetében a lehetséges 21 db „követő időköz-tartam” megoszlása milyen arányokat eredményez, nevezetesen, a lehetséges egymást követő időközök láncainak 33,3%-a esik 30 perc alá és 71,4%-a 60 perc alá, továbbá 90,5%-a 90 perc alá. Ez azt jelentheti közelítőleg, hogy 33,3%-a az utazásoknak 30 perces jeggyel, 71,4 - 33,3=38,1%-a 60 perces jeggyel és 90,5 - 71,4= 19,1%-a 90 perces jeggyel len-

ne lefedhető. A felszállások maradék 9,5%-a (a példa alapján) a további napi utazások időbeli lefolyása alapján újabb „láncok” részévé válna.

Az elemzések menete és számítástechnikai környezete tehát a következő lehetne:

- szükséges kettő, a napi időtengelynek megfelelő hosszúságú(1,2 ... 1440 perc) „**mun-kavektor**”, ahol a mintában szereplő minden egyes személyre/kártyára vonatkozóan a napi felszállási időpontokat (F_i és T_i) rögzítik (ezeket a vektorokat minden következő személy hasonló adataival felülírják),
- szükséges egy „**besoroló munkatáblázat**”, ahova minden egyes személy felszállási időpontjait, ill. a követő felszállásokig eltelt időtartamokat (T_{ij}) a megfelelő időközökbe sorolják be (ezt a táblázatot is minden következő személy hasonló adataival felülírják),
- szükséges egy „**összegző táblázat**”, amelybe az egyes személyekre kitöltött besoroló munkatáblázat adatait átmásolják; ez a ku-

4. táblázat: A felszállások közti időtartamok (T_{ij}) besorolása és eloszlása

Személy sorszáma	Utascsoport	Felszáll. sorszám	Hátralévő felsz.db	Újra felszállás (h) percen belül (db;%)								
				0-5	0-10	0-15	0-20	0-30	0-45	0-60	0-90	0->90
1	jegyes	1	6		1							
		2	5			1						
		3	4			1						
		4	3					1				
		5	2			1						
		6	1						1			
		7	0									
		Sum↓		0	1	3	0	1	1	0	0	0
		Cum→		0	1	4	4	5	6	6	6	6
		Cum%		0	0,167	0,667	0,667	0,833	1,000	1,000	1,000	1,000

muláló táblázat mutatja meg a mintában szereplő összes személyre vonatkozóan az időközök eloszlását.

Az elemzések elvégezhetőek a **jegyes**, a **bérletes** és az **ingyenes utazók** csoportjaira, amiből ezen csoportok esetleges eltérései is megállapíthatók lennének a közösségi közlekedési rendszer használatát illetően.

Az időalapú díjtermékekkel kapcsolatban elvégzendő elemzések eredményei alapján közelítő arányokat lehetne tehát becsülni az **időalapú jegyek várható felhasználására** vonatkozóan, és közelítő **bevételszámításokat** is lehetne végezni több menetben, különböző időszaki és díjszintválogatások alkalmazásával, változatlan utasszámokat feltételezve. Ennek keretében lehetne megbecsülni a jegyes utasok közül a napi díjplafont elérők arányát és az ezzel összefüggő bevételalakulásokat.

Az, hogy a különböző díjszintek milyen hatással vannak a különböző közlekedői csoportok utazási keresletére, csatlakozó, a szokásos napi helyváltoztatásokat rögzítő háztartásfelvételeken túli, speciális felvételekre alapozó preferencia vizsgálatok keretében célszerű tisztázni, a specifikus díjszintkereslet-rugalmassági tényezők megállapításával.

Megjegyzendő, hogy az út-darab-számmra (60, 90, 120 útra) építő, **időalapú havijegyek** esetében egy hosszabb időszak (pl. 30 nap) megfigyelésére és elemzésére van szükség. A bérletesek esetében, ha bevezetnék a 30 percen belüli felszállások figyelembevételével adódó „út-db-szám” alapú havijegyeket, pl. a következő formában:

60 útra szóló jegy (pl. a jelenlegi bérlet ár 85%-áért).
90 útra szóló jegy (pl. a jelenlegi bérlet ár 110%-áért),
120 útra szóló jegy (pl. a jelenlegi bérlet ár 125%-áért),

akkor az időbeli megoszlások ezek vizsgálatához is felhasználhatók lennének, amelyekből a helyi bérletesek utazási gyakorisága hasznos támpontul szolgálhatna a különböző út-db-számot biztosító bérletarányokra vonatkozóan, ill. bevételalakulásokra is.

Az időalapú havijegy bevezetése a gyakorlatban oly módon történhetne, hogy az elektronikus kártyaalkalmazás elindítása után, egy átmeneti időszakra (pl. 2 hónapra) a kártyát az utasok a jelenlegi, „hálózati átalányalapú bérletnek” megfelelően használnák, miközben az adatközpont az időalapú rendszer szerint regisztrálná a felszállások időpontjait. Ezek alapján elvégezhető egy vizsgálat, ami minden kártyatulajdonos számára hozzáférhetővé válhatna, hogy hány „30 perces utat” tett meg egy hónapban. Így – és a párhuzamosan elvégzett, üzemeltetői szempontú díjszint- és bevételelemzés alapján megállapított díjak szerint – mindenki megválaszthatná, hogy a következő hónaptól milyen 30 napos jegy (60, 90, 120 útra szóló?) lenne számára a legmegfelelőbb a havi utazási igényeihez. Természetesen a választott db-szám elfogyása után a hőközbeni újrafeltöltés lehetősége (60, 90, 120 útra szóló jeggyel) adott lenne, a 30-napos lejárat újra indulásával.

Az elektronikus díjfizetésre való átálláshoz kapcsolódó díjszabásialap-változással, azaz az időalapú jegyek bevezetésével kapcsolatos bevételkalkulációk eredményei a rendszer megvalósíthatósági tanulmánya keretében készíthető költség-haszon elemzéssel is figyelembe veendő, bár ezt látszólag már túlhaladta az élet.

Meggyőződésünk, hogy az elektronikus díjfizetési rendszer a felvetett kérdések vizsgálatát és további „adatbányásztkodást” is lehetővé tehetne, aminek eredményei szintén a közösségi közlekedés jobb menedzselését szolgálhatnák Budapesten és a régióban, különösen akkor, ha a BKV-nál nem sajtóelvtű, szigetmegoldás jön létre.

(A téma a közlekedés egyik legaktuálisabb kérdését vizsgálja, már-már történelmi "pillanatban", amikor ismerteti azokat a megoldásokat, technikákat, amelyek lehetővé tennék az átjárást a különböző közlekedési módoknál alkalmazandó mobil fizetési eljárások között. Az időszerűséget mi sem bizonyítja jobban, minthogy a Közlekedéstudományi Szemle is több értékes cikknek, tanulmánynak biztosított megjelenési lehetőséget hasonló témákban. E szerény eszközökkel talán oldani lehet azon a félelmen, amit szerzőnk jelez: "ha nem sajtóelvtű, szigetmegoldás jön létre". A főszerk.)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Technológiai Útmutató az ELEKTRA Hungaria közlekedési kártyarendszer követelményeinek alkalmazásához (TRANSMAN) (in: ELEKTRA Hungaria közlekedési elektronikus kártyarendszer továbbfejlesztése – BKSz Kht 2008 február; TRANSMAN-Stratis - Idom - Huntrust - jelentés)
- [2] ELEKTRA Hungaria közlekedési elektronikus kártyarendszer továbbfejlesztése (teljes dokumentáció) – (BKSz Kht 2008 február; TRANSMAN-Stratis-Idom-Huntrust jelentés)
- [3] BKK - Elektronikus jegyrendszer Megvalósíthatósági vizsgálat (Tanulmány, 2011)
- [4] Monigl J.: Szempontok az elektronikus közlekedési díjfizetési rendszerrel kapcsolatban (Városi közlekedés, 2011. (51. évf.) 3-4. sz.)
- [5] Különböző írásbeli és szóbeli információk a megvalósuló BKK rendszerrel kapcsolatban



Some issues related to the introduction of the electronic payment of transport fees in the capital

The design of the electronic toll system includes a choice of media, publishing, uploading, or purchasing fee products; their use in the handling of fee deduction; the control of travel permissions, the transmission, reception and processing of all relevant operational data, and all this, in a suitable and secure environment.

Two different system concepts have emerged regarding the purchase, storage and use of fee products (tickets, season tickets, ie the travel entitlements). Their essential features are as follows:

- **medium-based solution:** the fee products or the sum of fees to be used for travel can be credited to a medium accepted by the system (e.g. a contactless chip card, or NFC mobile card), and the validation (acceptance/rejection) takes place in situ, on the transport vehicles or at the validating machines at the stations, independent from the center in a offline mode.
- **server-based solution:** the fee product or the sum of fees to be used for travel can be paid in the server centre in advance at a technical account established after the pre-registration of an identification medium (contactless chip card, NFC mobile card, bank card, or QR code stamp) connected to the traveler and accepted by the system. The acceptance/rejection happens online on the server, based on the reader handling of the medium through the communication transmitting the card identification, and taking the response into account.



Einige Fragen der Einführung der elektronischen Zahlung von Transportgebühren in der Hauptstadt

Die Gestaltung des elektronischen Zahlungssystems beinhaltet die Auswahl, Ausgabe und Aufladung von Medien oder den Kauf von Gebührenprodukten, ihre Verwendung bei der Abwicklung der Gebührenabzüge, die Kontrolle der Reiseberechtigungen, die Übermittlung, den Empfang und die Verarbeitung der Prozessdaten und das alles in einer geeigneten und sicheren Umgebung.

Es wurden **zwei unterschiedliche Systemkonzepte** zum Kauf, zur Lagerung und Verwendung von Gebührenprodukten (Fahrkarten, Saisonkarten, d.h. Reiseberechtigungen) entwickelt. Ihre wesentlichen Merkmale sind die folgenden:

- **Medien-basierte Lösung:** die Gebührenprodukte oder die Summe der für die Reise zu verwendenden Gebühren werden auf ein vom System akzeptiertes Medium (z. B. eine kontaktlose Chipkarte oder NFC-Mobilfunkkarte) aufgeladen und die Akzeptierung/Ablehnung während der Validierung erfolgt an Ort und Stelle in den Fahrzeugen oder an den Bahnhöfen/Haltestellen im Off-line-Betrieb, vom Zentrum unabhängig
- **Server-basierte Lösung:** Das Gebührenprodukt oder die Summe der für die Reise zu verwendenden Gebühren können im Server-Zentrum, im Voraus an einem nach der Voranmeldung eines vom System akzeptierten Identifikationsmediums (kontaktlose Chipkarte, NFC-Mobilfunkkarte, Bankkarte oder QR-Code-Stempel) hergestellten technischen Konto bezahlt werden, die mit dem Reisenden verbunden ist. Die Akzeptanz /Ablehnung erfolgt online auf dem Server, auf Grund der Bedienung der Medienableseeinheit durch die Kommunikation, die die Kartenidentifikation überträgt, und unter Berücksichtigung der Antwort.

Különböző felszíni közlekedési hálózatok forgalmának együttes modellezése és komplex analízise

A szerzők a járműforgalmi hálózati modellfejlesztéseikre támaszkodva, egzakt hálózati matematikai modellt vizsgálnak a hálózatok uniója alapján. A kiindulási hálózat az a járműforgalmi hálózat, amely magába integrálja a közösségi közlekedés hálózatát is. A munkában először a közúti és a gyalogos hálózat unióját hozták létre, majd a módszert tovább általánosították.

Dr. Péter Tamás* - Dr. Csiszár Csaba - Dr. Mándoki Péter****

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék
e-mail: peter.tamas@mail.bme.hu, csiszar.csaba@mail.bme.hu, mandoki@kku.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Általában gyakori, hogy egy utas, az utazása során komplex trajektórián halad végig. Ez akkor lép fel, amikor az útvonalát többféle forgalmi hálózat rész trajektóriái alkotják. Pl. egy városi forgalomban az igényeinek legjobban megfelelő módon, szabadon váltakoznak az általa alkalmazott kerékpáros, gyalogos, kötöttpályás és közúti járműforgalmi trajektóriák. Természetesen, ez nem csak a városi közlekedésre jellemző! Minden összetett utazás komplex trajektórián történik, amelynél a fentiek kivül, felléphet a vízi és légitforgalmi közlekedés is.

A komplex trajektória megválasztása mindig egy feltételes optimum probléma különböző minőségű megoldása, ami a lehetőségeknek, az utazók céljainak és félelmeinek figyelembevételével történik. A egyes trajektóriáknak, az optimális célba érések modellezése mellett, fontos a szerepük a komplex forgalmi hálózatok terhelés- és megbízhatóság analízisének is.

A különböző dinamikus hálózati forgalmi rendszerek egymással párhuzamosan működ-

nek, elsősorban a saját törvényszerűségeiket és irányításukat követve. Ugyanakkor (a külső környezeti, meteorológiai hatásokon kívül), ezeknek a rendszereknek az állapotjellemzői kölcsönösen hatást gyakorolnak a másik forgalmi rendszerre, mivel befolyásolhatják egymás forgalmi folyamatait is. Mindez involválja (magával hozza, maga után vonja) a különböző dinamikus hálózati forgalmi rendszerek uniójának időszerűségét és szükségszerű vizsgálatát.

Az általunk vizsgált dinamikus hálózatnak és annak bármely trajektóriájának két alapvető jellemzője van: a térkép gráf (geometriai jellemző) és az áramló „anyag” fajtája (dinamikus jellemző). Ha két gráf vagy valamely részgráfjaik azonosak, de eltérő az ezeken áramló „anyag” fajtája, akkor ezeket különböző és diszjunkt dinamikus hálózatoknak tekintjük, pl. gyalogos-kerékpáros úton közösen haladhatnak; vagy hasonlóan a közforgalmú közlekedési sávon a villamosok és az autóbuszok együtt haladnak (pl. Budapest, belső Bartók Béla út). Tehát, minden különböző típusú dinamikus modell saját anyagáramot ír le. Ha más anyagáram is jelen van, akár a szakaszo-

kon, akár keresztező mozgásként, akkor ezek állapotjellemzőit a modell befolyásoló, akadályozó, ill. átadást tiltó függvényei veszik figyelembe.

Az egyesített hálózati gráfot különböző közlekedési módok/eszközök esetén vizsgáljuk, de újdonsága miatt, kiemelten érdekes a megközelítés a gyalogos forgalom szempontjából! A gyalogos forgalmi gráfot a járműforgalmi hálózati modellfejlesztéseinknek megfelelően szintén szektorokra bontjuk, amelyen további beosztási pontokat hoznak létre a közösségi viszonylatok utasforgalmi létesítményei és a gépjárműhálózattal történő metszési pontok, ill. taxi és shared mobility (car-sharing, bike-sharing) állomások.

A közúti és a közösségi közlekedési hálózat használata a nagyméretű makroszkopikus modell működése, ill. törvényszerűsége szerinti történik. A gyalogos közlekedés ezt "futószalagszerűen" használja, az egyesített modellben.

A járműforgalmi hálózati modell egyrészt bizonyos mértékig autonóm, dinamikus, makroszkopikus rendszer a nagy hálózatban, a rá érvényes saját sebesség-sűrűség, irányítási, stb. törvények alapján. Ugyanakkor a gyalogos rendszerrel történő integrálása a működésében új dinamikák és feltételek belépését is eredményezi. Pl. csúcs időszakokban megváltozik a közösségi közlekedés járműveinek megállókban eltöltött időtartama és a járművek dinamikája.

A gyalogos közlekedési hálózati modell több speciális tulajdonsággal is rendelkezik. A gyalogosoknál, a saját útvonalukon történő haladásuknál viszonylag ritkán érvényesülnek a sebesség-sűrűség függvények törvényszerűségei, de torlódási pontoknál ezt is figyelembe kell venni. Általános esetben, sebességük inkább átlagokkal írható le, ill. valószínűségi változóknak tekinthető.

A kifejlesztett hálózati modell alapján meghatározhatók az optimális útvonalak, trajektóriák. Ez átvihető a most tárgyalt komplex hálózati modellre is.

2. A JÁRMŰFORGALMI HÁLÓZATI MODELLFEJLESZTÉSEINKNÉL ALKALMAZOTT MÓDSZER

A hagyományos módszeren alapuló forgalmi szimulációk: I. utazás-felvételi vagy II. klaszszikus forgalomszámlálási módszerekből indulnak ki.

I. Ekkor legtöbbször forgalomkeltés, forgalomszétosztás és forgalommegosztás esetéről beszélhetünk, amelyet honnan-hová mátrixok formájában is ki tudunk fejezni. Ez a felmérési/előrebecslési módszer alapos körültekintést igényel, hiszen reprezentatívnak kell lenni, ugyanakkor a reprezentativitásnak megfelelő számú felmérés elvégzése rendkívül költséges lehet, ezért általában csak valamilyen előre meghatározott szisztéma szerint elvégzett mintavételezésről beszélhetünk. A városi körzetek modellezése során számos modellt ismerünk (Lill-féle utazástörvény, Stouffer-féle hipotézis, Detroit módszer, Fratar módszer, Furness módszer, Voorhees modell, Alkalommodell /Intervening Opportunities Model/, Versengő lehetőségek modellje /Competing Opportunities Model/. Többszörös regressziós modell, Utazási költség-modell, Elektrosztatikus modell, egyéb szintetikus modellek), amelyek nehezen vagy egyáltalán nem mérhető növekedési tényezőkkel, ezért indexekkel, empirikus kitevőkkel stb. operálnak. A modellezés bemenő paraméterei tehát sok esetben csak mértékadóknak tekinthetők, így a szimuláció produktuma is csak az ennek megfelelő szignifikanciával vehető figyelembe.

II. A második típusú modellek csomóponti, illetve keresztmetszeti forgalomszámlálásokon alapulnak, amelyek jól definiált, útiúgyi szabványban is rögzített módszereket alkalmaznak és a közlekedés tervezése során általánosan elfogadottnak tekinthetők. A forgalom számlálása járműfajták szerint történik, amelyeket egységjárműben kifejezve szorzótényezőkkel súlyoznak. A forgalomszámlálás különböző napszakokban, szezonálisan végzendő, és eredményeként napi gépjárműforgalom, mértékadó óraforgalom (MOF), nappali és éjszakai forgalom számítható. Az ilyen jellegű forgalomszámlálásokkal operáló szimulációs soft-

verek előnye, hogy az elfogadható biztonsággal megállapított bemeneti értékekhez a szakma számára jól értelmezhető, megfelelő minőségű eredmények párosulhatnak. A forgalomszámlálásokat alkalmazó rendszerek hátránya ugyanakkor az, hogy a forgalomnagyság, az átlagsebesség és a járműsűrűség közötti összefüggések nem adnak egyértelmű hozzárendelést; így pl. egy adott forgalomnagysághoz több átlagsebesség érték is tartozik. A rendszer tehát határozatlanságokat hordoz, ami abból adódik, hogy a hagyományos keresztmetszeti vagy csomóponti forgalomszámlálás módja információvesztéssel jár.

2.1. Motivációk

A kifejlesztett új megközelítést több olyan alapkérdés motiválta, amelyeket a jelenlegi modellezési technikákban elhanyagolnak, viszont a gazdaságilag jelentős problémákra választ kereső nagyméretű ITS - hálózati modellek alkalmazásakor már nem hanyagolhatunk el és nem kerülhetünk meg. Ez a motiváció fontos a kutatás szempontjából, mert új irányt szab a közlekedés, mint kiemelt iparágakhoz kapcsolódó célzott alap kutatások folytatása területén.

Rá kell mutatnunk arra, hogy a hagyományos modellezési szemlélet alkalmazása sok megválaszolatlan kérdést vet fel és állandóan méretproblémákkal küzd. Természetesen, maga a feladat is összetett: a közlekedési hálózat rendkívül bonyolult, belső automatizmusok, külső környezeti kölcsönhatások, humán tényezők, sokféle szabály, geometriai, adat, szezonális, stb. jellemzi. Minden részhálózat más, sokféle az egyedi szabály, ennek kapcsán, bármely részhálózatot önmagában vizsgálva, csak egy nagyon kis rész az egészből és minden esetben csak a nagy hálózathoz kivett példa lehet! A modellezéskor az egyik legnagyobb kihívást a különböző helyváltoztatási módok egymáshoz illesztése, a mód- és eszközváltási pontok folyamatainak leképezése jelenti. A modellezés során a valóság (objektumok és a fizikai folyamatok jellemzőinek) leképezése egyre pontosabbá válhat a rendelkezésre álló korszerű adatgyűjtési/tárolási technikák alkalmazásának következtében. A részletesebb modellek valósághűbb eredményeket szolgáltatnak.

Ezen a területen a hagyományos modellezés technikában eddig fel nem vetett kérdés, hogy lehet-e ezekből - a példákban - következtetni az egészre, a teljesre? Ha megoldjuk egy résznek az optimalizálását, nincs válasz arra, hogy mi van a komplementerrel, nem tudjuk, hogy nem töltek-e át oda a problémát? Ha csupán szoftveresen algoritmizált modelleket alkalmazunk, ezek nem alkalmasak arra, hogy szélesebb körű egzakt matematikai következtetéseket, ill. eredményeket adjanak! A nagyméretű globális hálózat nem állandó anyagáramú tiszta Euler hálózat, amely további új irányt szab a kutatásoknak. Hagyományos modelleknél probléma a parkolók szerepe is a modellekben (Sándor, Zs. and Csiszár, Cs., 2015), mivel más típusú szereplők, mint az útszakaszok, ún. idegen, 'tároló tulajdonságú' elemek.

A közlekedési folyamatok komplexitása magas szintű automatizáltságot és intelligens közlekedési rendszerek (ITS) alkalmazását követeli meg, amelynek közös alapjai a közlekedési modellek (T. Vadvári and P. Várlaki, 2015). Számos közismert modell létezik. Természetesen minden modellnek vannak előnyei és hátrányai a performancia, adatigény és pontosság tekintetében. Az új járműforgalmi hálózati modellünk makroszkopikus és térkép-gráf invariáns, speciális hipermatrix struktúrával írható le (Péter, T., 2012). A modell fő erőssége a rendkívül bonyolult hálózat uniformizálása és a számítási gyorsaság. Ennek köszönhetően a hálózatok valós idejű szabályozására alkalmazható és különösen a nagyméretű hálózatok modellezésére alkalmas.

Kutatásaink az egyes esetekben külön-külön is vizsgálják a közlekedési folyamatokat a trajektóriák mentén (T. Peter, and M. Basset, 2009) és a tartományokon is (pl. a környezeti kihívásokat mindkét esetben). A forgalmas utak mentén fellépő környezetterhelésre gyorsított számítási-előrejelzési módszereket dolgoztunk ki, és vizsgáljuk az ehhez is kapcsolható ITS irányítást, amelynél IDM csoportok optimális átvezetésének hatékonyságát elemezzük (O. Derbel, T. Péter, H. Zebiri, B. Mourllion and M. Basset, 2012) és (Derbel, Peter, Zebiri, Mourllion and Basset, 2013). A környezetterhelés optimalizálása Lyapunov-függ-

vény alkalmazásával tartományszinten történik. Ez utóbbinál megvalósítható automatikus irányítás elvezet a kooperatív ökoszisztémát ötvöző, integrált közlekedés- és szállítási irányításhoz.

A torlódásokkal kapcsolatos problémák megoldására, gyakran hasznos figyelembe venni az aszimmetrikus forgalmi terhelések fellépést is, amikor a kapacitásnövelés állapotfüggő optimális irányítással valósítható meg. Ezt is figyelembe vesszük a kutatásainkban, különböző területeken MPC elvet alkalmazva, pl. a változtatható irányú sávok működtetésével (Peter, T. Fülep, T. and Bede, Zs., 2011).

2.2. Az alkalmazott új modellparadigmák

P1. A közúti járművek forgalmi folyamatát egy új pulzáló irányított gráf határozza meg. Az úthálózattérképen látható útsávokat szektorokra bontjuk. A teljes úthálózaton létrejövő közlekedési folyamat, a szektorok, mint hálózati elemek sokasága között fellépő dinamikus kooperációk eredménye. A főszereplők a kooperáló szektorok és ők az új gráf csúcsai! Ezek a csúcsok egyúttal állapotjellemzőkkel, dinamikus járműsűrűségekkel is rendelkeznek. A csúcsok közötti élek szintén dinamikusak. Ezek egyszerre szabályozzák az anyagátadás, járműátadás sebességét és mennyiségét is. A dinamikus éleknél az anyagáram-sebesség a kooperáló csúcsok állapotaitól, az azokat körülvevő (segítő/akadályozó) környezettől és időtől is függnék. A dinamikus éleknél az anyagátadás mennyiségét környezettől és időtől függő disztribúciók szabályozzák.

P2. A járműsűrűség állapotjellemző definiálására a szektorok térbeli lefedettségét használjuk, ez matematikailag egzakt fogalom és bármilyen hosszúságú szektor esetében $[0,1]$ intervallumban helyezkedik el. A definíció kiterjeszhető bármilyen alakú parkolóra. Ennek eredményeként a parkolók, mint általánosított szektorok vesznek részt a járműforgalmi folyamatok egységes dinamikus modelljében. Ezek ugyanolyan állapotjellemzővel és anyagátadás-kooperációval bíró dinamikus elemek, mint a hagyományos szektorok. Nagyon fon-

tos következmény: **a bonyolult, nagyméretű közúti hálózatok egységes dinamikus modelljét sikerült egyféle elemek sokaságából felépíteni!**

P3. A vizsgált tartományban elhelyezkedő valós közlekedési hálózati rendszert egy virtuális zárt görbével határoljuk körül. (A tartomány nem feltétlenül egyszeresen összefüggő). A virtuális zárt görbe megnevezés a modellezés fontos tulajdonságát emeli ki! Ily módon, a körülhatárolás következtében nem szűnik meg az a dinamikus kapcsolatrendszer, amely a külső és belső hálózatok között, a vizsgálatunktól függetlenül létezik. A modellben ez azt jelenti, hogy az input szektorok és belső szektorok között, valamint az output szektorok és belső szektorok között ugyanazon típusú dinamikus átadási kapcsolatok valósulnak meg, mint a belső-belső vagy külső-külső szektorok között.

Tehát, az ún. „kapuknál” nem forgalom megadása történik, mint a hagyományos modelleknél.

P4. A belső és külső hálózat szektorai között négyféle kapcsolat van. A teljes hálózat esetében alapvető fontossággal bír a hálózatot definiáló kapcsolati hipermátrix. A teljes (belső és külső) hálózat dinamikus működését a kapcsolati hipermátrix foglalja egy rendszerbe. A kapcsolati hipermátrix megadja bármely szektor esetében, hogy milyen más szektorokkal áll és milyen dinamikus átadási kapcsolatban. A kapcsolati hipermátrixot tartalmazó differenciálegyenlet-rendszer írja le a hálózat minden szektorának a működését, azaz a teljes hálózat működését (Peter, T. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science (AMCS)*, 2012).

P5. A belső és külső hálózat járműforgalmi folyamatait egyszerre leíró univerzális hálózati modellt írunk fel. Módszerünk lényege, hogy egyszerre vizsgáljuk egy tetszőleges belső hálózati szektor összes dinamikus átadási kapcsolatát és egy tetszőleges külső hálózati szektor összes dinamikus átadási kapcsolatát. Az univerzális hálózati modell nemlineáris pozitív differenciálegyenlet-rendszer.

P6. Globális hálózati modellhez jutottunk el oly módon, hogy az univerzális hálózati modell belső hálózatát tartalmazó tartományát addig növeljük, amíg a külső tartomány üres halmazzá nem válik. Ezzel ekvivalens, ha a külső hálózatot tartalmazó tartományt addig növeljük, amíg a belső tartomány üres halmazzá nem válik.

P7. A szűkített hálózati modell esetében, a belső hálózati tartományban "n" db x_1, x_2, \dots, x_n , sűrűségű állapotjellemzővel rendelkező szektor van. A külső tartomány, azt az "m" db s_1, s_2, \dots, s_m , mért sűrűséggel rendelkező szektort foglalja magában, amelyeknek közvetlen input vagy output átadási kapcsolata van valamely belső szektorral. Ez utóbbi modellt alkalmazzuk pl. valós idejű modellezésre és irányításra. Az **univerzális és globális modellek** általános rendszerelméleti tulajdonságok vizsgálatára és megismerésére szolgálnak.

2.3. Az univerzális járműforgalmi hálózat matematikai modellje

Makroszkopikus modellünk, (amely a nagyméretű közúti hálózatokon a közlekedési folyamatokat írja le) a pozitív nemlineáris rendszerek osztályába tartozik. A modell alkalmas nagyméretű közúti közlekedési hálózatok simulációs tesztjére, tervezésére és a forgalmi rendszerek szabályozására (Peter, T. Bokor, J. and Strobl, A., 2013).

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle L \rangle^{-1} & \\ & \langle P \rangle^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_{11}(x,s) & K_{12}(x,s) \\ K_{21}(x,s) & K_{22}(x,s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ s \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ahol:

$x \in \mathbb{R}^n$ a belső szektorok állapotjellemző vektora,
 $s \in \mathbb{R}^m$ a külső szektorok állapotjellemző vektora,
 $\dot{x} \in \mathbb{R}^n$ a belső szektorok állapotjellemző vektorának idő szerinti deriváltja,
 $\dot{s} \in \mathbb{R}^m$ a külső szektorok állapotjellemző vektorának idő szerinti deriváltja,
 $\langle L \rangle$ a belső szektorok és $\langle P \rangle$ a külső szektorok hosszát tartalmazó diagonális mátrixok:

$$\langle L \rangle = \langle l_1, l_2, \dots, l_n \rangle, \langle P \rangle = \langle p_1, p_2, \dots, p_m \rangle,$$

A K kapcsolati hipermátrix részmatrixai:

$$K_{11} \in \mathbb{R}^{n \times n}, K_{12} \in \mathbb{R}^{n \times m}, K_{21} \in \mathbb{R}^{m \times n}, K_{22} \in \mathbb{R}^{m \times m} \text{ és } x \in \mathbb{R}^n, s \in \mathbb{R}^m.$$

Továbbá ezekben a mátrixokban a k_{ij} kapcsolati függvények alkalmazásával vesszük figyelembe az α_{ij} disztribúciót, a β_{ij} kapcsolatot akadályozó, vagy segítő tényezőt, a kapcsolat γ_{ij} intenzitását és a kapcsolatot engedélyező, vagy megszüntető $u_{ij}(t)$ forgalomirányítási lámpajeleket, ahol α_{ij} , β_{ij} , γ_{ij} és $u_{ij}(t)$ dimenzió nélküli értékek.

A k_{ij} elvben az alábbi négy tényező szorzata:

$$k_{ij} = \alpha_{ij} \beta_{ij} \gamma_{ij} u_{ij}(t)$$

oly módon, hogy ha a ($j \rightarrow i$) kapcsolatnál valamelyik tényező nem játszik szerepet (pl. nincs lámpa, nincs szétosztás, stb.) akkor ott ez a tényező értelemszerűen azonosan egyenlő 1-gyel.

Az alkalmazott modelltől függ, hogy α_{ij} , β_{ij} , γ_{ij} konstansok, vagy időtől függő, állapottól függő, ill. időtől és állapottól függő függvények.

Az S és E a ($j \rightarrow i$) kapcsolatnál fellépő belső tiltó automatizmus függvények (szintén dimenzió nélküli értékek), V_{ij} átadási sebesség, amely t időpillanatban a csatlakozó szakaszok állapotától és az i, j szakasznál rendre e_i és e_j környezeti paramétervektoroktól függ.

$V_{ij} = V_{ij}(x_i(t), x_j(t), e_i, e_j)$ és V_{ij} dimenziója [m/s]. Ez alapján, a K_{11} kapcsolati mátrix elemei szintén [m/s] dimenziójú sebességek:

$$v_{ij} = k_{ij} S(x_i(t)) V_{ij}(x_i(t), x_j(t), e_i, e_j) E(x_j(t))$$

Néhány kissé részletesebb, a kooperálással és a modellel kapcsolatos további megjegyzés.

A fenti, tömör módon felírt összefüggésnél a k_{ij} jelentése sokféle:

Lehet külön-külön α_{ij} , β_{ij} , γ_{ij} , $u_{ij}(t)$, vagy ha pl. egyszerre van jelen elosztás és zavarás, (vagy rásegítés) és forgalmi lámpa is, akkor az előbbiekek szorzata, pl.: $k_{ij}(t) = \alpha_{ij} \beta_{ij}$ ill., $k_{ij}(t) = \beta_{ij} \gamma_{ij} u_{ij}(t)$.

Ezek az alábbi tulajdonságokkal bírnak:

- Ha a j -dik szakasz több i szakaszra dolgozik, akkor az egyes i szakaszoknál $0 < \alpha_{ij} < 1$ disztribúciót (elosztási arányt, rátát) alkalmazunk és a hipermátrix j - oszlopában $\sum_{(i)} \alpha_{ij} = 1$ teljesül. (Mivel j dolgozhat külső szakaszokra is.)
- Ha a kapcsolatot zavarják, pl. keresztező járművek, gyalogosok vagy baleset, akkor $0 < \beta_{ij} < 1$ zavarási tényező értéket vesz fel.
- Ha a kapcsolatot segítik, pl. másik irányt keresztező járművek vagy rendőr, akkor $1 < \beta_{ij}$ rásegítési tényező értéket vesz fel.
- Ha egyszerre van jelen elosztás és zavarás, (vagy rásegítés) akkor $\alpha_{ij} \beta_{ij}$ szorzat lép fel.
- Az α_{ij} és β_{ij} rövid időtartamra általában konstans értékek. α_{ij} általános esetben időtől függő $\alpha_{ij} = \alpha_{ij}(t)$, vagy időtől és állapottól függő $\alpha_{ij} = \alpha_{ij}(\underline{x}(t), t)$ függvény. β_{ij} általános esetben szintén időtől függő $\beta_{ij} = \beta_{ij}(t)$, vagy időtől és állapottól függ $\beta_{ij} = \beta_{ij}(\underline{x}(t), t)$.
- A parkoló és útszakasz, valamint párhuzamos sávok kapcsolatát $\gamma_{ij} = \gamma_{ij}(t)$, intenzitás függvényvel adjuk meg, $0 \leq \gamma_{ij}(t)$.
- $0 \leq u_{ij}(t) \leq 1$ kapcsolási függvény az egyes szakaszok átadásánál működő forgalmi lámpák hatását veszi figyelembe. Elméletben az értéke az 1 vagy 0 értékeket veszi fel a lámpa állapota szerint. Később a modellben a valós reakciókésedelem időt is figyelembe véve, t szerint folytonosan differenciálható lámpa függvényeket alkalmazunk.

A kapcsolati mátrix v_{ij} kapcsolati függvényénél figyelembe kell venni minden, a forgalmi rend kialakításánál meghatározott, különböző módon szabályozott kapcsolati jellemzőt pl. jelzőlámpát $u_{ij}(t)$ függvényekkel, lámpa nélküli útszakaszok kapcsolatát, parkoló és útszakaszok kapcsolatát, párhuzamos útszakaszok kapcsolatát stb. Ezen kívül, figyelembe kell venni azt is, hogy a forgalom létrejöttkor fellépnek belső szabályozási automatizmusok is! A modell, a járműsűrűségtől függő belső szabályozásokat vesz figyelembe az $S(x_i(t))$ és $E(x_j(t))$ függvényekkel. A szakaszok állapotjellemzőitől, pillanatnyi kapcsolatuktól és környezeti jellemzőktől függ a v_{ij} átadási sebesség függvény. Látható tehát, hogy v_{ij} -t valóban sok tényező határozza meg.

A modellünkben $0 \leq x_i(t) \leq 1$ normált járműsűrűség állapotjellemzőt használunk ($i=1, \dots, n$). Ez alkalmazható a parkolók esetében is, mivel a már tárgyaltak szerint a parkolók is általánosított szakaszok a modellben.

Az $S(x)$ automatikus belső önszabályozási függvény 1 vagy 0 értékeket vesz fel. A kapcsolat engedélyezett, ha egy felvevő szakasz x sűrűsége kisebb, mint 1, egyébként tiltott.

$$S(x) = \begin{cases} 0 & 1 \leq x \\ 1 & x < 1 \end{cases}$$

Az $E(x)$ automatikus belső önszabályozási függvény 1 vagy 0 értékeket vesz fel. A kapcsolat tiltott, ha egy átadó szakasz x sűrűsége kisebb vagy egyenlő, mint 0, egyébként engedélyezett.

$$E(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 1 & 0 < x \end{cases}$$

Ezek biztosítják a modellben azt, hogy nem vesszünk el járművet onnan ahol nincs (sűrűség nem lép negatív tartományba), és nem adunk át oda, ahol a sűrűség már elérte az 1-et. Ez biztosítja, hogy $\forall x_i \in [0, 1]$.

A $V_{ij}(x_i(t), x_j(t), \underline{e}_i, \underline{e}_j)$, röviden V_{ij} , a j -dik szakaszról i -dik szakaszra történő áthaladás sebessége, amely a modellben figyelembe veszi a csatlakozó szakaszok sűrűségeit és az $\underline{e}_i, \underline{e}_j$ környezeti paramétervektorokat.

A K_{11} és K_{22} fődiagonálisában 0 vagy negatív értékek lépnek fel, minden más elemük nemnegatív értéket vesz fel. A K_{12} és K_{21} minden eleme nemnegatív értéket vesz fel. Tehát ezek a mátrixok Metzler mátrixok, következésképpen az általuk meghatározott teljes kapcsolati rendszert leíró K kapcsolati hipermátrix is Metzler mátrix.

Fentiek alapján a makroszkopikus modellünk, a nagyméretű közúti hálózatokon a közlekedési folyamatok modellezése a pozitív nemlineáris rendszerek osztályába tartozik.

A vizsgált közúti közlekedési folyamatok többségében az állapotok eredeti fizikai jelentése

alján megfelelnek ennek. A klasszikus irodalomban a közúti folyamatok leírása során a legtöbb esetben általános lineáris rendszer egyenleteket állítanak fel, és nem használják ki a folyamat pozitív tulajdonságait. A pozitív rendszerek irányíthatóságának és a megfigyelhetőségének a feltételei nem vezethetők le egyértelműen az általános rendszereknél megismert módszerekből. 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 az 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 (Luenberger (1979), (Caccetta and Rumchev, 2000), (Farina, L. and Rinaldi, S. 2000).

2.4. A szűkített járműforgalmi hálózat matematikai modellje

A cikkünkben, a továbbiakban szűkített hálózati modellt alkalmazunk, amely egy tetszőleges „G” zárt görbével körülhatárolt n szektorból álló belső hálózatból és m db s_1, s_2, \dots, s_m , sűrűségű külső szektorból áll. Ezek közvetlen kapcsolatokkal rendelkeznek valamely belső szektorral, és állapotaikat mérés alapján ismertnek tekintjük. E modellt alkalmazzuk a szoftveres vizsgálatoknál is. A modellnél a kapcsolati hipermátrixot alkotó mátrixok közül, csak a K_{11} és K_{12} mátrixok játszanak szerepet, mert általuk képviselve van minden átadás, amely a belső szektorokra vonatkozik. (A külső-külső kapcsolatokat ekkor nem vizsgáljuk). A modell differenciálegyenlet-rendszere:

$$\dot{x} = \langle L \rangle^{-1} [K_{11}(x,s)x + K_{12}(x,s)s] \quad (2)$$

Ahol: $x \in \mathcal{R}^n$, $\forall x_i \in [0,1]$, ($i=1,2,\dots,n$), $\dot{x} \in \mathcal{R}^n$, $s \in \mathcal{R}^m$, $\forall s_i \in [0,1]$, ($i=1,2,\dots,m$), $L = \text{diag}\{l_1, \dots, l_n\}$, l_i a főátlóban a belső szakaszok hossza ($\forall l_i > 0, i=1,2,\dots,n$), $K_{11} \in \mathcal{R}^{n \times n}$, $K_{12} \in \mathcal{R}^{n \times m}$.

A hálózat működését a K_{11} és K_{12} kapcsolati mátrixok foglalják rendszerbe. A kapcsolati mátrixok egyrészt megadják minden szek-

tor esetében, hogy milyen más szektorokkal állnak kapcsolatban, másrészt a kapcsolati mátrixokat tartalmazó differenciálegyenlet-rendszer írja le a hálózat minden szektorának a dinamikus működését, azaz a szűkített hálózat működését.

3. A KIDÖLGOZOTT JÁRMŰFORGALMI HÁLÓZATI MODELL VALIDÁLÁSA TÖBB TERÜLETEN IS MEGTÖRTÉNT

Az első modell-validálás Budapesten történt, (Peter, T. Fülep, T. and Bede, Zs., 2011) lámpás kereszteződéseknel aktuális lámpabeállítási adatok mellett és a helyszínen elvégzett forgalomszámlálási adatok alapján. A vizsgált útvonal, a különböző szimulációs időpontokban bejárásra került GPS készülékkel felszerelt gépjárművekkel valódi sebességprofil mérésekkel. A szimuláció során nyert sebesség-idő diagramok összehasonlításával a nagyszámú méréssel, nemparaméteres statisztikai analízissel, ún. homogenitás vizsgálattal megállapítást nyert, hogy a sebességprofiloknál a mért és szimulációval kapott két-két mintahalmaz 95%-os szinten homogénnek tekinthető.

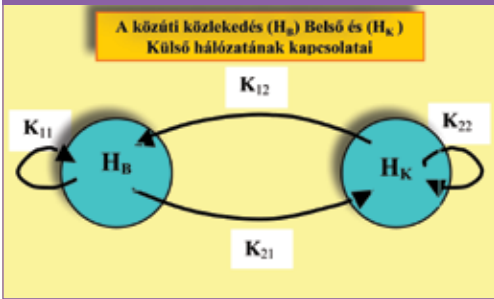
A modell validálása során, így megállapítható volt az alkalmazhatóságával kapcsolatban, hogy a modell lehetővé teszi olyan egyedi sebességfolyamatok kinyerését, amelyek a valóságnak megfelelnek.

Egy másik modell validálása Győr város-mag esetében, a következők szerint történt. A modellünk az egyik legnagyobb forgalmat lebonyolító út, a Szent István út (1. sz. főút) és környéke területét foglalta magában. A hálózatot jellemző fő adatok: 228 db útszakasz, 9 db jelzőlámpával irányított csomópont, 38 db egyéb csomópont, 18 input szakasz és 15 output szakasz. A forgalmat irányító jelzőlámpák fázisterveit a Magyar Közút Zrt. Győri Igazgatósága és Győr város Önkormányzata bocsátotta a rendelkezésünkre. A modell adatoknál támaszkodtunk a város által 2012. évben elvégzett keresztmetszeti forgalom-mérésekre. A modellünk esetében, 63 db keresztmetszeti mérési adatot vettünk figyelembe a vizsgálatoknál és a validálásnál. A szimuláció

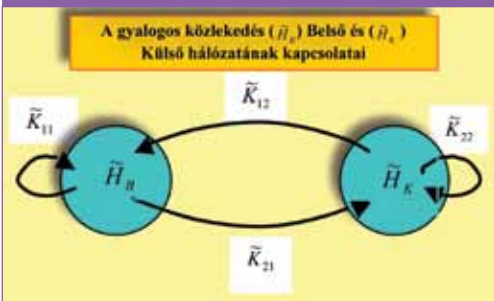
24 h-s időtartamra vonatkozó futtatási ideje 2 perc 14 másodperc. A validálást követően a mért és modell alapján számított, óránkénti keresztmetszeti forgalom közötti korrelációs együttható $r_{xy}=0.9925$ értéket adott, amely a gyakorlatban már 100%-os korrelációnak tekinthető (Peter, T. Fazekas S., 2014).

4. A JÁRMŰFORGALOMI ÉS A GYALOGOS KÖZLEKEDÉS HÁLÓZATI MODELLEK UNIÓJA

1. ábra: Közúti közlekedés esetén, a belső és külső hálózatok kapcsolatai



2. ábra: Gyalogos közlekedés esetén, a belső és külső hálózatok kapcsolatai

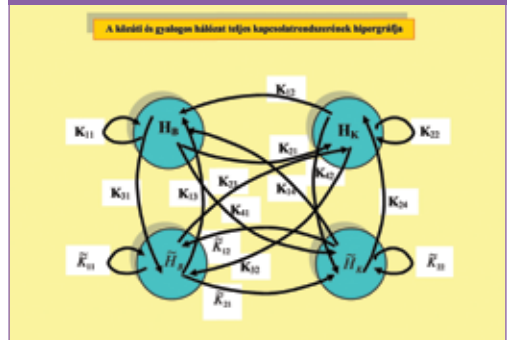


Az általunk kidolgozott és eddig alkalmazott közúti közlekedés forgalmi modell elsősorban a járműfolyamatokat vizsgálta. Ez a modell egy tetszőleges hálózati kiterjedéssel bíró makroszkopikus modell.

Bemutatjuk, hogy a modell megfelelő megfontolásokkal kiterjeszhető a gyalogos közlekedés hálózati modellezésére és a hálózaton közlekedő gyalogosok mozgásának, sebességfolyamatainak analizésére is.

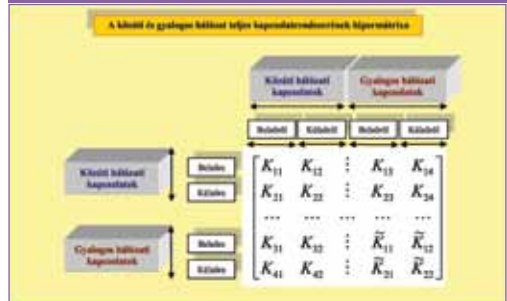
Mindenképpen kiemelendő, hogy, bár szerkezeti felépítésükben azonos a gyalogosforgalmi hálózati modell és a közúti közlekedés forgalmi modell, de önmagukban e két modell diszjunkt hálózatot alkotnak.

3. ábra: Közúti és gyalogos közlekedés hiperhálózati teljes kapcsolatrendszere



A járműforgalom és a gyalogos közlekedés hálózati modellek uniójának teljes kapcsolatrendszerét leíró kapcsolati hipermátrix:

4. ábra: Közúti és gyalogos közlekedés teljes kapcsolatrendszerét leíró hipermátrix



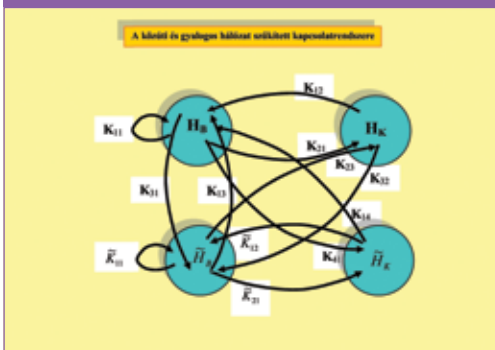
A két hálózat uniójánál, a matematikai modellezésnél az alábbi hipermátrixot alkalmazzuk a differenciálegyenlet-rendszerben:

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \vdots & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & \vdots & K_{23} & K_{24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{31} & K_{32} & \vdots & \tilde{K}_{11} & \tilde{K}_{12} \\ K_{41} & K_{42} & \vdots & \tilde{K}_{21} & \tilde{K}_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

A modellezés során egy zárt tartományt vizsgálunk (ún. szűkített modellt alkalmazunk) és a peremeken megjelenő forgalmat mérési eredmények alapján vesszük figyelembe, ezért az összes külső-külső kapcsolatot, pl. K_{22} , \tilde{K}_{22} nem kell vizsgálnunk.

A két modell egyesítése azt eredményezi, hogy a két hálózat egymással is szoros dinamikus kapcsolatokat alakít ki, és a meglévők kiegészülnek új kereszt belső-belső, külső-belső és belső-külső kapcsolatokkal.

5. ábra: Közúti és gyalogos közlekedés hiperhálózat szűkített kapcsolatrendszere



A járműforgalom és a gyalogos közlekedés hálózati modellek uniójának szűkített kapcsolatrendszerét leíró kapcsolati hipermátrix az alábbi:

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \vdots & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & 0 & \vdots & K_{23} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{31} & K_{32} & \vdots & \tilde{K}_{11} & \tilde{K}_{12} \\ K_{41} & 0 & \vdots & \tilde{K}_{21} & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

4.1. Néhány megjegyzés, a hálózati modellek uniójával kapcsolatban

I. Matematikailag zárt az egyesítés művelete, mert ugyanazt a makroszkopikus megközelítést alkalmazzuk a gyalogos forgalomra, mint a közúti járműforgalomra. Mindkét dinamikus hálózat matematikai modellje a

pozitív nemlineáris rendszer-osztályba tartozó Euler-modell. (Ezt a rendszer-osztály tulajdonságot az új hálózat bármely részhálózatainak uniója is megőrzi.)

További általánosítás, hogy lehetséges a több, fizikailag különböző, de a fentiek szerint matematikailag azonos hálózati modell uniója is. Mivel ezek diszjunktak, elvégezhetjük az alaphálózatok bővítését praktikus sorozatszerűen is, és a mindenkor alaphálózatot a bővített-re cseréljük.

A modell konstrukciójának szerkezeti felépítése: az új kapcsolati hipermátrix fődiagonálisának bal felső sarkában az alaphálózat és a jobb alsó sarkában a hozzáadott hálózatot reprezentáló szubmátrix helyezkedik el (mindkettő teljes belső-belső, input és output kapcsolataikkal). Az új kapcsolati hipermátrix mellék-diagonálisának jobb felső sarkában, az új hálózatból az alaphálózat felé irányuló rá szállítási kapcsolatok beírása történik. A bal alsó sarkában pedig, az alaphálózatból, az új hálózat felé irányuló rá szállítási kapcsolatokat jelöljük.

Tehát, matematikailag/technikailag a bővítés mindig a mellék-diagonális kitöltését jelenti, amely a két hálózat között fellépő kapcsolatrendszert veszi figyelembe.

Azokat a változásokat, hogy a közúti modell jellemzői, milyen módosításokkal vihetők át ezekre az új hálózatrészekre, a kapcsolati mátrixok elemeinél kell megadni, ill., definiálni.

A közforgalmú közlekedési hálózattal kapcsolatos unió az autóbusz-trolibusz közlekedés esetén egyszerűbben kezelhető, mint a gyalogos hálózattal és a kerékpáros hálózattal kapcsolatos unió. Jól kezelhető a villamos, metró, hév és a vasút makroszkopikus áramlásnak modellezése is, az anyagáram állomásonkénti, menetrend szerinti megállítással, a közlekedés jelzőlámpás irányításának módozatával. A modell validálását sebességfolyamatok, ill., eljutási idők vizsgálatával lehet elvégezni.

II. Ugyanakkor, az uniónak fontos sajátossága, hogy az fizikailag két különböző hálózat dinamikus kapcsolata/kooperációja útján jött létre.

Megállapíthatjuk továbbá, hogy az egyes hálózatok megőrzik a belső autonómiájukat, ugyanakkor magas szintű kooperációban állnak egymással.

III. A gyalogos forgalmi hálózatnak két fajta peremkapcsolata van, egyrészt a **külső gyalogos hálózati** kapcsolatokból származó inputok és outputok, másrészt az unió által, a közúti hálózati elemkapcsolatokból származó inputok és outputok.

A modellezésnél alapvetően a közterületeken érdemes maradni. Az egyes gyalogos szakaszok inputjait praktikusán célszerű egyesíteni, pl. olyan esetekben, amikor ugyanarra a gyalogos szakaszra több különböző lakásból vagy a tartományon kívüli szakaszról lépnek gyalogosok, - mivel azok együtt növelik a továbbiakban az adott gyalogos szakasz sűrűségét.

IV. A közúti hálózat input, output kapcsolatai nem változnak az unió által, azok változatlanul járműforgalmi áramlatot kapnak és adnak át. **A járműforgalmi hálózatnál viszont jelentősen befolyásolhatja az időkésedelmet** a gyalogos sűrűség \underline{x} állapotjellemző vektorra, amely a gyalogos átkelőhelyeknél, továbbá a közösségi járműveknél a le- és felszállóhelyeknél eltöltött időtartamoknál jelentkezik, és amelyeket a $\beta_{ij}(\underline{x})$ gyalogos állapotfüggő akadályozó tényezők vesznek figyelembe a modellben. Az egyes túlterhelési esetekben a járművek megváltozott gyorsítási képességei miatt fellépő sebességsökkenések a sebességsűrűség törvénynél lépnek fel, az ott szintén megjelenő gyalogos állapotjellemző vektor figyelembevételével $V(\underline{x}, \underline{x}, \underline{e})$.

A járműforgalmi modellbe beépül a szakaszok közötti átadás akadályozása. Bármely két szakasz közötti átadásnál figyelembe veendő, hogy ott nincs kijelölt gyalogátkelőhely, kijelölt gyalogátkelőhely van jelzőlámpás irányítás nélkül, ill., kijelölt gyalogátkelőhely jelzőlámpás irányítással működik (Földes, D. and Csiszár, Cs., 2015).

A megállóhelyi időtartamok több tényezőzötől is függenek, pl. a menetrend, az utasszám nagysága markánsan hat (Sándor, Zs. and Csiszár,

Cs., 2013). A modellezésnél meg kell különböztetni, a közforgalmú közlekedési hálózat modellezését és a dedikált úthálózaton közlekedő autóbusz-trolibusz közlekedés modellezését, de ezek együtt jól kezelhetők. Ez utóbbiaknál, az utasforgalmat is figyelembe vevő sebesség-sűrűség függvényeket és a menetrendet is figyelembe vevő lámpaprogramokat kell alkalmazni. Anyagáram és sebességfolyamat analízisének tudjuk kezelni, a villamos, metró, hév és a vasút makroszkopikus áramlásnak modellezését is, ahol már döntően a lámpa programok beállítását kell megfelelően alkalmazni.

V. Mindkét hálózat közös tulajdonsága, hogy minden elágazásnál (állapot és időtől függő) anyagáram disztribúció jön létre. Ez a tulajdonság kamerával rögzíthető és mérhető. **A makroszkopikus modellezésnél a disztribúciókon keresztül érvényesülnek az utazók személyes elvárásai és preferenciái is!**

A járműforgalmi modellünkben tehát szabadon dönthetünk, ill. választhatunk, hogy benne van-e az autóbusz-trolibusz tömegközlekedés modellezése is, ill. ezeket autonóm (saját pályákon közlekedő) hálózatként kezeljük, vesszük figyelembe. Befolyásolja a paramétereiket, ha kijelölt autóbusszavok is vannak a hálózaton. A kötőpályás felszíni és szint alatti tömegközlekedési formák modellezése viszont autonóm hálózatokon történik. Tehát, ezek is az unió műveléssel csatlakozhatnak az eredeti hálózatokhoz. Az utasforgalmi létesítmények szerepénél először azokat a jellemzőket célszerű kiemelni, amelyek a makromodellezés szempontjából azonosak, pl. csatlakozási pontok "kapuk" a járműforgalmi, ill. a közösségi közlekedési rendszerre történő be- és kilépésnél. Ezek tényleges „anyagmennyiség változást” csak a gyalogos hálózaton idéznek elő, a járműforgalmi hálózatot csupán befolyásolják. A specialitásokat az átadásoknál és befolyásolási módozatoknál lehet figyelembe venni. A mozgólépcsőket, mozgójárdákat, lifteket, stb. viszont célszerű bent tartani a gyalogosforgalmi hálózatban. Ezeket egy jól definiált sebességgel és kapacitáskorlátozással, ugyanúgy haladnak a gyalogosok, mint a járdán.

A további kutatásoknál – a kapcsolattípusok matematikai leírására – a jármű-utas átadás-

ra az előbb említett kapcsolati mátrixban, az egyes esetekre mintapéldákat célszerű elkészíteni és ezeket tovább lehet elemezni.

Gyakorlati szempontból a disztribúció jelentése az, hogy egy pontból tetszőleges, „n” számú elágazás esetén, adott „t” időpillanatban mekkora annak a valószínűsége, hogy valaki valamely i ($1 \leq i \leq n$) irányban halad tovább? A makroszkopikus modell esetében, ezzel lehet megadni, hogy „t” időpontban az egyes irányokba mekkora a várható anyagátadás mennyisége. A kamerás megfigyeléssel a hálózati gráf tetszőleges csúcspontjában, 24 h-ban folyamatosan detektálható a disztribúció, és a modellezésnél ezekre tudunk támaszkodni, figyelembe véve a napi, napszakai, szezonális utazási szokások változását is. A gyalogos forgalom disztribúciója elsősorban a „t” időtől függ, de a járműforgalom is meghatározó lehet, ezért az x járműsűrűség állapotától is függhet: $\alpha_{ij}(t, x)$, kisebb mértékben és általában extrém tömegközlekedési helyzetekben az x gyalogos sűrűség állapotjellemzőtől is függhet még: $\alpha_{ij}(t, x, \tilde{x})$.

VI. Egy másik/kedvezőbb közlekedésirányítás, pl. ugyanazon napszakban megváltoztathatja a disztribúciókat is.

Nagyon fontos és érdekes kérdés az, hogyan definiáljuk az optimális közlekedésirányítást? Az utazó szempontjából az az optimális közlekedésirányítás, amely a legrövidebb idő alatt, vagy adott időtartamon belül a legkedvezőbb költség mellett juttatja őt célba. Természetesen lehetnek még kényelmi igények is, pl. minimális átszállás, vagy adott pontok, ill. területek érintésének igénye. Ebben a formában ez egy multikritériumos optimális irányítási probléma, amely esetünkben a diszjunkt hálózati felépítés miatt jól particionálható. A komplex hálózat tervezést és irányítását kell ennek megfelelően megtervezni úgy, hogy az utazó, a maximális kooperációban legyen érdekelt! (Természetesen dönthet másként, de jusson el hozzá az információ is, hogy ezzel mit veszít. Ez viszont már átnyúlik a mikroszkopikus irányítás körébe.)

Tehát, nagyon érdekes kérdés, hogy hogyan definiáljuk a közlekedésirányítást. Lényeg, az

is, hogy az utazók mennyire tartják be a szabályokat, azaz mennyire sikerül az irányítási célok elérése. (Az **Utazó** gyűjtőfogalom; lehet az egyéni gépjárművezető, kerékpáros, közforgalmú közlekedési utas, gyalogos stb.; továbbá, egy személy ezeket a „szerepköröket” változtathatja is egy helyváltoztatási láncban.) A klasszikus „hard” közlekedésirányítás mellett (amikor az utazók döntő többségében betartják a szabályokat) bevezethető az ún. „soft” irányítás is (angolul kifejezőbb a guidance szó), ekkor inkább befolyásolásnak tekinthető a tájékoztatás, ugyanis vagy elfogadja az utazó az iránymutatást, vagy nem (az elfogadási ráta vizsgálata is messzire vezet).

VII. A szakaszlemek közötti anyagátadási folyamatokat szaggatják a közúti lámpák és akadályozzák/segítik állapotfüggő átadási tényezők, az átadási sebességeket befolyásolják az állapot és környezetfüggő tényezők.

A járműsűrűségnél a szakaszokra és parkolóokra kidolgozott egzakt térbeli lefedettség fogalmat alkalmazhatjuk a gyalogosforgalomnál is, viszont a gyalogossűrűség ezen a területen egy új vizsgálat lesz! Valószínű, hogy a sűrűség számításánál a gyalogosszám mellett figyelembe kell venni a gyalogos sebességét (a lassú haladás kisebb foglaltsággal jár, mint a sietés vagy futás) és a járdák kapacitásánál a párhuzamos haladást, a szembehaladásnál fellepő foglaltságot és kapacitást értékeket. (Ezt később szintén érdemes vizsgálat tárgyává tenni.)

Tudomásunk szerint nincs az irodalomban a gyalogos mozgásokra felállított sebesség-sűrűség törvény. Mivel, a makroszkopikus megközelítés lényege a diszkrét elemekből összetevődő „anyagáramlás” vizsgálata a járműfolyamatoknál, semmi nem mond annak ellent, hogy kiterjesszük a sebesség-sűrűség törvényt a gyalogosforgalmi esetre is, figyelembe véve ennek a fizikai folyamatnak a sajátosságait! Az biztos, hogy szélső esetekben ugyanaz a törvény ebben az esetben is. Ha nincs a járdán gyalogos, akkor maximális gyalogos sebességgel lehet közlekedni rajta, ha teljesen bedugul a járda, akkor állnak, vagy nagyon kis sebességgel mennek előre a gyalogosok. A modellezésnél a sztochasztikus kapcsolatra regresszió-analízist szükséges elvégezni, és a mérésekkel összevetve validálni kell

a modellt. A \tilde{V} gyalogos sebességnél két változót mindenképpen szükséges figyelembe venni, az \tilde{x} gyalogos sűrűség állapotjellemzőt és az \underline{e} környezeti paraméter vektort (eső, jeges, rossz, meredek, járda, stb.), $\tilde{V}_{ij}(\tilde{x}, \underline{e})$.

VIII. A "rendszerirányítást" az "utazói befo-lyásolás" vonatkozásában két hálózat unióján történő áthaladások (sebesség/idő, v. költség, v. környezetterhelés) optimalizálásával lehet vizsgálni. A gyalogosoknak a hálózaton kiválasztott pontpárok között történő áthaladás-analízise vegyes trajektóriákon „utazói áramlatokban gondolkodva” (gyalogos útszakaszok és közösségi járművek vegyes használatával) történik, a kiválasztott pontpárok meghatározására stratégiákat célszerű megadni.

Az irányítási stratégiát, úgynevezett modell prediktív MPC alapú irányításként célszerű megfogalmazni a valós időnél nagyságrendekkel gyorsabb modellszámítás mellett, - amelyre képes a matematikai modellünk.

Az utazás vegyes trajektóriákon történik (amelyen váltakoznak a gyalogos és járműves közlekedések). Minden trajektória elemi részei a szakaszok. Gyalogos szakaszon történő mozgást követhet gyalogos szakasz vagy járműves szakasz. Járműves szakaszon történő mozgást követhet járműves vagy gyalogos szakasz. Két járműves szakasz kapcsolódásakor a második szakaszon haladhat ugyanaz a jármű (ekkor nincs átszállás, marad a járművön a gyalogos), vagy haladhat másik jármű (ekkor van átszállás). Az egyes járműfajták közötti átszállás gyalogos szakaszon, ill. szakaszokon történő mozgás közbeiktatásával valósul meg. Az átszállási gyalogos szakaszok egészen rövidnek lehetnek (pl., ha ugyanazon megállóból/pe-ronról történik a továbbutazás, vagy ha pl. a kerékpáros felszáll a kerékpárjával a hév-re). Bizonyos járműves mozgások közötti átszállások bár fizikailag lehetségesek, mégsem fordulnak elő a gyakorlatban (pl. saját kerékpárról átszállás közösségi kerékpárra). *Fentiek alapján az optimalizási célnak legjobban az olyan integrált kritériumok felelnek meg, mint pl. a minimális utazási költség, a minimális energiafelhasználás, a legrövidebb utazási idő tervezése és ezek kombinációja.*

*A legrövidebb utazási idő tervezése esetében **első lépésként**, a hálózati unió, valamint meghatározott forgalomirányítás mellett törté-nik a modellezés. Az indulás tervezett időpilanatát figyelembe véve, a hálózat tetszőlegesen kiválasztott pontpárja esetén, a közöttük al-ternatívákat jelentő vegyes trajektóriákon, ki-számíthatók külön – külön az utazási idők. Az optimális trajektória ez alapján kiválasztható. (Ez ebben a formában még egy útvonalajánlás.)*

*A stratégia **második lépése** szerint a forgalomirá-nyítást optimaljuk oly módon, hogy az irányítás a legrövidebb utazási idők minimumát érje el.*

Ez az optimális irányítás szekvenciális, adott időintervallumonként folyamatosan ismétlődik.

*A stratégia **harmadik lépéseként** az irányítás tovább általánosítható oly módon, hogy meg-határozzuk a tartományban az utazók közleke-dési igényeit, figyelembe véve az aktuális célfor-galmi mátrixot, amely kifejezi a hálózat egyes régiói közötti fogalmakat.*

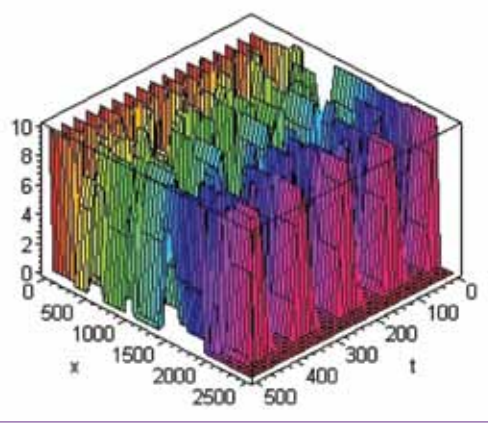
Ekkor az optimális irányítás célja biztosítani a régiók közötti trajektóriákon a legrövidebb utazási idők összegének a minimumát. (A cél-függvénynél a legrövidebb utazási időket cél-szerű súlyozni az utas számokkal is, - a többség igényét jobban figyelembe véve.)

5. VEGYES TRAJEKTÓRIÁKON TÖR-TÉNŐ MOZGÁSOK EGYÜTTES SE-BESSÉGFOLYAMATAINAK ANALÍ-ZISE, OPTIMÁLIS UTAZÁSI IDŐK TERVEZÉSE

A hálózatok uniójának modelljéből közvetle-nül kinyerhetők a sebességfolyamatok az egye-sített hálózat tetszőleges trajektóriáin. Ekkor az egyesített hálózat egy tetszőleges „A” pont-jából t_0 időpontban elindulunk a hálózat egy másik „B” pontjába egy megválasztott vegyes (pl. gyalogos és tömegközlekedési hálózati sza-kaszokat tartalmazó) trajektória mentén.

Ekkor, az állapotegyenlet által kiszámítható a kiegyenesített vegyes trajektória mentén az „X” trajektóriához és „t” időponthoz tartozó $V(t,X)$ kétváltozós sebesség függvény 6. ábra.

6. ábra. egy kiegyenesített X trajektóriához és t időponthoz tartozó V(t,X) függvény



A keresett út-idő függvény a következő integrálegyenletet elégíti ki:

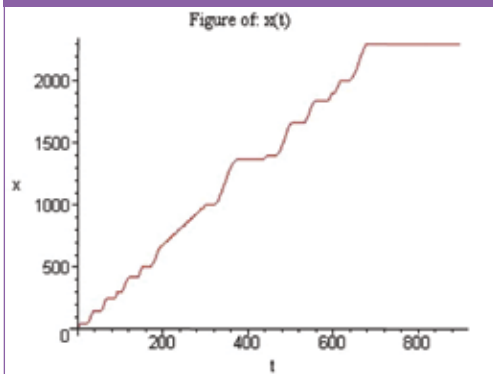
$$x(t) = \int_{t_0}^t v(\tau, x(\tau)) d\tau \quad (5)$$

A számítás eredményét, a (6) elsőrendű nemlineáris differenciálegyenlethez tartozó $X(t_0)=x_0$ kezdeti érték probléma megoldása adja:

$$\frac{dX(t)}{dt} = V(t, X(t)) - V(t_0, X(t_0)) \quad (6)$$

A megoldás numerikus módszer alkalmazásával a rendelkezésünkre áll, pl. 7. ábra:

7. 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 variációs számítási feladat megoldását igényli (T. Peter, and M. Basset, 2009). 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:

$$J: X(t) \rightarrow T \quad (7)$$

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

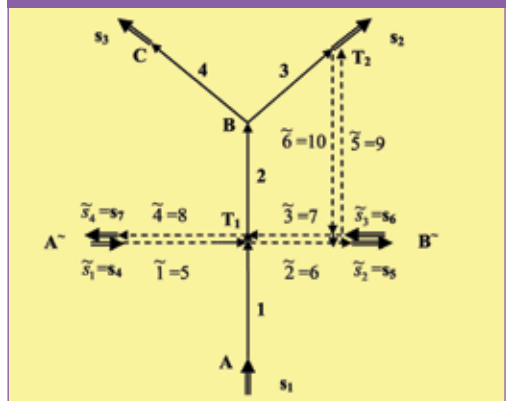
6. MINTAPÉLDA A JÁRMŰFORGALMI ÉS A GYALOGOS KÖZLEKEDÉS HÁLÓZATI MODELLEK UNIÓJÁRA

6.1. A mintamodellem ismertetése (8. ábra)

A folytonos vonal a közúti hálózatot, a szaggatott vonal a gyalogos hálózatot jelöli. A mind-egyikhez kapcsolódó input és output kapcsolatokat a kettősvonalú nyíl jelöli.

A hullámos jellel jelölt szakaszszámozások, pontok és input-outputok, a gyalogos forgalomra vonatkoznak. A jel nélküli, normál szakaszszámozások, pontok és input-outputok a közúti forgalomra vonatkoznak. A T_1 és T_2 a gyalogos forgalom és a közúti forgalom közötti átszállók (transzitok).

8. ábra: Egyszerű példa a közúti és gyalogos közlekedési hálózati kapcsolatrendszerre



A két hálózat kapcsolatát az alábbi jellemzi:

Közúti forgalom befolyásolását figyelhetjük meg:

Az 1 - 2 közötti közúti forgalmat akadályozza a kijelölt „zebrás” kereszteződésen áthaladó 2~ és 4~ gyalogos szakasz forgalma, amelyet a gyalogos sűrűséggel veszünk figyelembe.

A gyalogos forgalomnál fellépő disztribúciók:

- 3~ → 4~ re és 3~ → 2 re.
- 1~ → 2~ re és 1~ → 2 re.
- 6~ → 3~ ra és 6~ → s~2 re.
- 2~ → 5~ ra és 2~ → s~2 re.
- s~3 → 5~ ra és s~3 → 3~ ra.

Közúti forgalomnál fellépő disztribúciók:

- 2 → 3 ra és 2 → 4 re.
- 3 → s2 re és 3 → 6~ ra.

6.2. A mintamodell computer-algebrai, matematikai modellje

A járműforgalom és a gyalogos közlekedés hálózat uniójának elemzése. Tekintsük át a már tárgyalt teljes kapcsolatrendszer leíró kapcsolati hipermátrixot (9. ábra).

A mintamodellnél az alábbi részmatrixok zérusmatrixok,

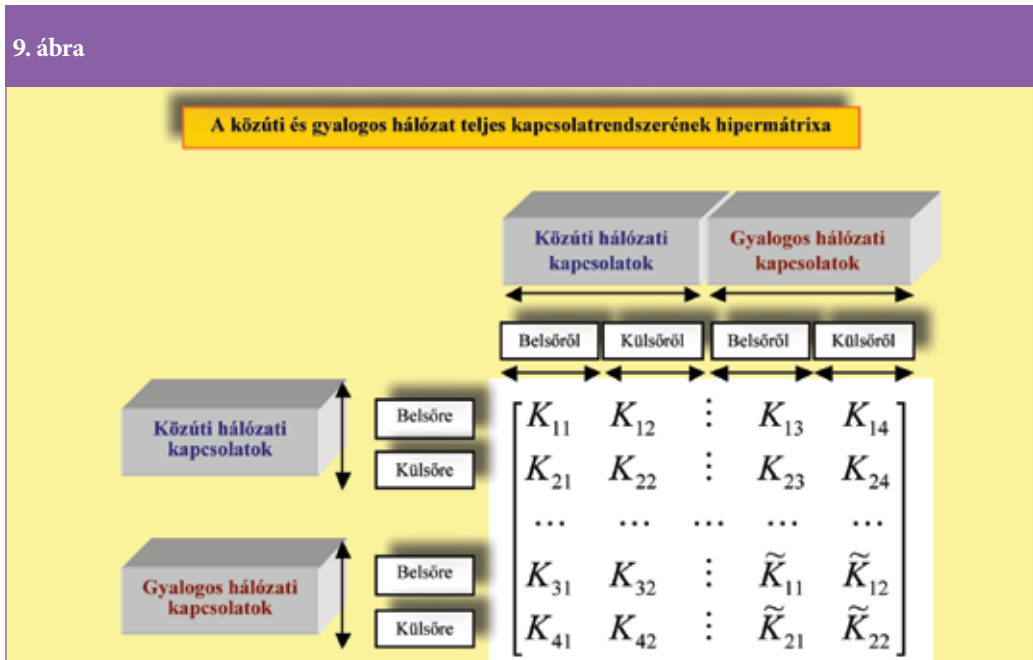
- mivel saját hálózatokon belül nincsenek külső-külső kapcsolatok: $K_{22} = 0, K_{22}^{\sim} = 0$
- mivel nem indul kapcsolat külső gyalogos-hálózatról közúti hálózatra: $K_{14} = 0, K_{24} = 0$
- mivel nem indul kapcsolat külső közúti hálózatról gyalogos hálózatra: $K_{32} = 0, K_{42} = 0$
- mivel nem indul belső közúti hálózatról kapcsolat külső gyalogos hálózatra: $K_{41} = 0$.

Fentiek alapján, a kapcsolati hipermátrix alábbi részmatrixai írják le a hálózati unió kapcsolatrendszerét:

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \vdots & K_{13} & 0 \\ K_{21} & 0 & \vdots & K_{23} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{31} & 0 & \vdots & \tilde{K}_{11} & \tilde{K}_{12} \\ K_{41} & 0 & \vdots & \tilde{K}_{21} & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

A (2) differenciálegyenlet-rendszer alapján bemutatott szűkített hálózati modellt felhasználva, a részmatrixok konstrukcióját MAPLE MODELL elkészítésével végeztük el. Az alábbi összefüggésekben alkalmazott jelölések jelentése megtalálható a 2.2 és 2.3 alfejezetben, az univerzális járműforgalmi hálózat matematikai modelljének leírásánál.

9. ábra



A közúti hálózati modell leírásához az alábbi mátrixokat határoztuk meg:

$$K_{11}: \begin{bmatrix} -\beta_{2,1} S(x_2) V(x_2, x_1) E(x_1) & 0 & 0 & 0 \\ \beta_{2,1} S(x_2) V(x_2, x_1) E(x_1) & -\alpha_{3,2} S(x_3) V(x_3, x_2) E(x_2) - (1 - \alpha_{3,2}) S(x_4) V(x_4, x_2) E(x_2) & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{3,2} S(x_3) V(x_3, x_2) E(x_2) & -\beta_{outp,2,3} S(x_2) V(x_2, x_3) E(x_3) & 0 \\ 0 & (1 - \alpha_{3,2}) S(x_4) V(x_4, x_2) E(x_2) & 0 & -S(x_3) V(x_3, x_4) E(x_4) \end{bmatrix}$$

A minta modellnél, a gyalogosok közúti forgalmat lassító befolyásolása a T_1 pontnál található gyalog-átkelőhelynél jelentkezik a modellben, a gyalogos sűrűséget figyelembe vevő $\beta_{2,1}(x_{2,1}, x_{2,4})$ függvény által.

$$K_{12}: \begin{bmatrix} \beta_{inp,1,1} S(x_1) V(x_1, s_1) E(s_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

A gyalogos hálózati forgalmi modell leírásához a következő mátrixokat használtuk:

$$\tilde{K}_{11}: \begin{bmatrix} -\beta_{2,1} S(x_2) V(x_2, x_1) E(x_1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \beta_{2,1} S(x_2) V(x_2, x_1) E(x_1) & -\alpha_{4,2} S(x_4) V(x_4, x_2) E(x_2) - \alpha_{outp,2,2} S(x_2) V(x_2, x_2) E(x_2) & 0 & 0 & 0 & \alpha_{2,6} S(x_2) V(x_2, x_6) E(x_6) \\ 0 & 0 & -\alpha_{4,3} S(x_4) V(x_4, x_3) E(x_3) & 0 & 0 & (1 - \alpha_{2,6}) S(x_3) V(x_3, x_6) E(x_6) \\ 0 & 0 & \alpha_{4,3} S(x_4) V(x_4, x_3) E(x_3) & -S(x_4) V(x_4, x_6) E(x_6) & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{4,2} S(x_4) V(x_4, x_2) E(x_2) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\alpha_{2,6} S(x_2) V(x_2, x_6) E(x_6) - (1 - \alpha_{2,6}) S(x_3) V(x_3, x_6) E(x_6) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{K}_{12}: \begin{bmatrix} S(x_1) V(x_1, s_1) E(s_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{inp,3,3} S(x_3) V(x_3, s_3) E(s_3) \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \alpha_{inp,3,3}) S(x_5) V(x_5, s_3) E(s_3) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

A gyalogos forgalomból járművekre átadásra kerülő mennyiségek, – pl. T_1 ponton az 1~ és 3~ szakaszokról –, értelemszerűen csak a gyalogos forgalom sűrűségét csökkentik, viszont a járműsűrűséget nem növelik. Hasonlóan, a T_2 ponton leszállók sem csökkentik a járműsűrűséget, de a gyalogos sűrűséget növelik a 6~ szakaszon. Az 5~ szakasz esetében azt látjuk, hogy erről külső közúti hálózati szakaszra történik a gyalogos áramlás.

Ugyanakkor, a járműveken elhelyezkedő gyalogosok (ekkor 'átmenetileg' utasok) időszakisosan kikerülnek a gyalogos forgalomból, így módon, helyzetük a közúti forgalomban található parkolók szerepével azonos. Annyiban speciális, hogy ők mozgó „parkolóhelyeken” tartózkodnak utazás közben.

A T_1 ponton felszálló gyalogos forgalmat és hasonlóan, a T_2 ponton le- és felszálló gyalogosforgalmat a menetrendhez igazodó és azt követő $\gamma_i(t)$ intenzitás függvényekkel lehet szabályozni.

7. A PROBLÉMA ÁLTALÁNOSÍTÁSA

A probléma általánosítása a felszíni közlekedési hálózatok esetében "n" db különböző típusú diszjunkt közlekedési hálózati rendszer uniójának meghatározását jelenti. Ez egy olyan összeépített rendszermodell eredményez, amely a valóságban is meglévő kooperációkat veszi figyelembe. Az általános megközelítési mód már jól szemléltethető $n=4$ különböző típusú diszjunkt közlekedési hálózati problémán is.

Legyenek pl., az egyes hálózati típusok az alábbiak:

- H_K : Közúti hálózat
- H_G : Gyalogos hálózat
- H_P : Kötöttpályás hálózat
- H_B : Kerékpáros hálózat

Ez alapján, az eddig figyelembe vett közúti járműfolyamatok és a gyalogos folyamatok mellett figyelembe vesszük a kötöttpályás hálózati folyamatokat és a kerékpáros hálózatok folyamatait is.

A különböző diszjunkt közlekedési hálózati rendszerek uniójának képzésénél a gyakorlatban alkalmazott modelltípusoknál bonyolultabb eset (a többféle kapcsolatot megengedő eset) is fellép, mert ekkor mindegyik hálózati típushoz tartozik belső hálózat, (amelynek állapotjellemzőit vizsgáljuk) és külső hálózat is (amely ehhez az input és output folyamatokat generálja).

Az egyesített hálózat (az unió) kapcsolati hipermátrixa a fő diagonálisban (színezett mátrixok) a különböző rész hálózatok kapcsolati hipermátrixait tartalmazza.

A matematikai modell a fő diagonálison kívül „ $n^2 - n$ ” kapcsolati hipermátrixot is tartalmaz. Ekkor, elvben bármely hálózat belső hálózati eleme dolgozhat egy másik hálózat belső és külső hálózati elemére is. (pl. a 10. ábrán, a H_G Belső hálózat dolgozik H_P Külső hálózatra és H_B Belső hálózatra is. Hasonlóan, bármely hálózat külső hálózati eleme dolgozhat akár egyszerre is bármely másik hálózatok belső és

10. ábra: Az unió kapcsolati hipermátrixa, 4 különböző típusú diszjunkt közlekedési hálózat esetén

		H_K		H_G		H_P		H_B	
		Belső	Külső	Belső	Külső	Belső	Külső	Belső	Külső
H_K	Belső								
	Külső								
H_G	Belső								
	Külső								
H_P	Belső								
	Külső								
H_B	Belső								
	Külső								

külső hálózati elemeire is. pl. a 10. ábrán a H_B . Külső hálózat dolgozik H_G Belső hálózatra és H_P Belső hálózatra is.) Ezek a hipermátrix fő diagonálisán kívüli kapcsolatok.

A valóságban az egyes hálózati rendszerek fizikai tulajdonságai azok, amelyek elvben lehetővé teszik vagy kizárják a lehetséges keresztkapcsolatokat. A keresztkapcsolatokhoz fűződő tulajdonságokat mutatjuk be az alábbi, egyszerűbb szerkezetet jelentő négy különböző típusú globális diszjunkt közlekedési hálózat esetén (11. ábra).

A globális diszjunkt közlekedési hálózati rendszerek uniójának képzése az egyszerűbb eset, mert ekkor mindegyik hálózati típushoz csak belső hálózat tartozik (amelynek állapotjellemzőit a teljes Föld felszínén vizsgáljuk) és a külső hálózatok üres hálózatok.

A kapcsolati hipermátrix részmátrixaihoz fűződő tulajdonságok:

$K_{K,G}$: gyalogos forgalomból árad utast a közúti forgalomba, de a közúti forgalom járműsűrűségét ez nem növeli meg,

$K_{G,K}$: a közúti forgalomból árad utast a gyalogos forgalomba, de a közúti forgalom járműsűrűségét ez nem csökkenti le,

$K_{P,G}$: gyalogos forgalomból árad utast a kötöttpályás forgalomba, de a kötöttpályás forgalom járműsűrűségét ez nem növeli meg,

$K_{G,P}$: a kötöttpályás forgalomból árad utast a gyalogos forgalomba, de a kötöttpályás forgalom járműsűrűségét ez nem csökkenti le,

0: a kötöttpályás forgalom nem ad át járművet a közúti forgalomba,

$K_{P,K}$: a közúti forgalom átadhat járművet a kötöttpályás forgalomba, de a kötöttpályás forga-

lom járműsűrűségét ez nem növeli (pl. vasúton közúti járműszállítás történik),

0: a közúti forgalom nem ad át járművet a kerékpáros forgalomba,

$K_{K,B}$: a kerékpáros forgalom átadhat járművet a közúti forgalomba. Két eset létezik: 1) effektíven részt vesz a forgalomban és növeli a sűrűséget, 2) járműre rakják, és nem növeli a sűrűséget. A kerékpáros hálózati sűrűség mindkét esetben csökken,

$K_{B,G}$: a gyalogos forgalomból árad utast a kerékpáros forgalomba. A gyalogos sűrűség csökken, a parkoló kerékpárok köréből növekszik a kerékpáros sűrűség,

$K_{G,B}$: a kerékpáros forgalomból árad utast a gyalogos forgalomba. A parkoló kerékpárok sűrűsége növekszik, és a gyalogos forgalom sűrűsége is,

0: a kötöttpályás forgalom nem ad át járművet a kerékpáros forgalomba,

$K_{P,B}$: a kerékpáros forgalomból átadásra kerül jármű a kötöttpályásra oly módon, hogy a kötöttpályás sűrűsége nem növekszik meg (pl. vasúton kerékpárszállítás történik). A kerékpáros forgalom sűrűsége ezzel csökken.

8. KONKLÚZIÓ

A modellek unióját végrehajtva, bemutattunk egy új, saját fejlesztésű makroszkopikus matematikai modellt. A modell a matematikai kutatások terén is rendkívül új és modern területhez tartozik, mivel a nemlineáris pozitív rendszerosztályban helyezkedik el. A speciális hipermátrix struktúra definiálja a hálózati elemek kooperációját és a kapcsolatokat leíró differenciálegyenlet rendszert. Ezen modell kitűnő lehetőséget biztosít a Lyapunov függvény-

11. ábra: Az unió kapcsolati hipermátrixa, 4 különböző típusú globális diszjunkt közlekedési hálózat esetén

	H_K	H_G	H_P	H_B
H_K		$K_{K,G}$	0	$K_{K,B}$
H_G	$K_{G,K}$		$K_{G,P}$	$K_{G,B}$
H_P	$K_{P,K}$	$K_{P,G}$		$K_{P,B}$
H_B	0	$K_{B,G}$	0	

módszer alkalmazásaira a tartományszintű nemlineáris irányítások különböző területein is. Kiemelendők az alkalmazási lehetőségek a nagyváros tartományszintű irányításaira. Kiválóak a modell képességei a trajektória menti mozgások optimalására és a forgalomorientált környezeti szennyezések csökkentésére is. A modell kifejezetten alkalmas az átszállási/eszközváltási folyamatok leírására, amely a helyváltoztatási láncok kritikus eleme.

A nagyméretű bonyolult közlekedési hálózatokon lejátszódó folyamatok működésének feltárása és jobb megismerése elvezetett bennünket egy új elvű modellezéshez és flexibilis optimális irányítási módszerek bevezetéséhez. A hálózat különböző tartományain fellépő különböző állapotok alapján, rugalmasan változhat az irányítás célja is. A hálózati ITS egy olyan variábilis hálózat, amely működése során egyszerre értékeli a forgalomhoz tartozó közvetlen igények optimális kielégítését, pl. optimális célba érést, a környezetterhelést, a biztonságot és az energiatakarékos működést. A városi forgalmi modellek létrehozására irányuló projektek a toródásokat és a környezeti terhelések csökkentését egyaránt szolgálják (Lakatos I., 2007), (Lakatos I., Hajdu F., 2014).

A kutatásokhoz kapcsolódó további szoftverfejlesztés, eszközt kíván biztosítani a nagyméretű intelligens közúti hálózatok esetén a valós idejű ipari irányítási feladatok ellátására. Kiemelendő, hogy minden esetben, az okos város - smart city (Csiszár, Cs. and Földes, D., 2015) forgalmi rendszertervének elkészítése az elsődleges irányítást az ITS hálózat megvalósításához. Rendkívül pozitív a fellépő szinergia és az eredmények további hasznosításának lehetősége. Új, gyorsított vizsgálati módszerek születhetnek a trajektórák menti komplex mozgások (helyváltoztatási láncok), a környezetterhelés és a biztonság-analízisére.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Caccetta and Rumchev, (2000) A survey of reachability and controllability for positive linear systems,' *Annals of Operations Research*, vol. 98, pp 101-122, 2000.

- [2] Csiszár, Cs. and Földes, D. (2015) *Analysis and Modelling Methods of Urban Integrated Information System of Transportation*. Smart Cities Symposium, 24-25 June 2015. Prague, Czech Republic, pp. 1-10 DOI:10.1109/SCSP.2015.7181574, ISBN: 978-1-4673-6727-1
- [3] Farina, L. and Rinaldi, S, (2000) *Positive Linear Systems Theory and Applications*. John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Földes, D. and Csiszár, Cs. (2015) *Route Plan Evaluation Method for Personalized Passenger Information Service*, *Transport Volume 30 (3)*: 273-285 (Special Issue on Smart and Sustainable Transport) DOI: 10.3846/16484142.2015.1086889
- [5] Lakatos I. (2007) *Effect of valve timing on exhaust emission*, 8th International Conference on Heat Engines and Environmental Protection, BME, Department of Energy Engineering, (ISBN:978 963 420 907 2) Balatonfüred, 2007.05.28-30. pp. 207-214.
- [6] Lakatos I., Hajdu F. (2014) *Examination of the effect of sensor properties on the secondary battery model in simulation environment ACTA TECHNICA JAURINENSIS (ISSN: 1789-6932) (eISSN: 2064-5228) 7: (1) pp. 71-86. (2014).*
- [7] Luenberger (1979) *Introduction to Dynamics Systems*, Wiley, New York, 1979
- [8] Oussama Derbel, Tamás Péter, Hossni Zebiri, Benjamin Mourllion and Michel Basset (2012) *Modified Intelligent Driver Model*, *Peridoica Polytechnica-Transportation Engineering 40/2 (2012) 53-60. doi: 10.3311/pp.tr.2012-2.02 web: http://www.pp.bme.hu/ tr ISSN 1587-3811 (online version); ISSN 0303-7800 (paper version)*
- [9] Oussama Derbel, Peter Tamas, Hossni Zebiri, Benjamin Mourllion and Michel Basset (2013) *Modified Intelligent Driver Model for driver safety and traffic stability improvement*, 7.IFAC Symposium Tokyo 2013 szept. 4-7.

- <http://www.sice.or.jp/IFAC-AAC2013/details.html> Organized by: International Federation of Automatic Control, Technical Committee on Automotive Control (IFAC-TC7.1) pp, 734-739 132-ik anyag. Doi: SaB2.3
- [10] Peter, T. and Basset, M. (2009) Application of new traffic models for determine optimal trajectories, pp. 89-94. Sessions 1 Automation and Mechatronics. (1-C-1 Sistem Modelling and Control). Oct.21-Oct.23, INTERNATIONAL FORUM ON STRATEGIC TECHNOLOGIES (IFOST 2009) HoChiMinh City University of Technology, Vietnam.
- [11] Peter, T. Fülep, T. and Bede, Zs. (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)
- [12] Péter, T. (2012) 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
- [13] Peter, T. Bokor, J. and Strobl, A (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] Péter, T. and Fazekas, S. (2014) Determination of vehicle density of inputs and outputs and model validation for the analysis of network traffic processes. Periodica Polytechnica, Transportation Engineering Vol. 42.. No 1. 2014. pp. 53-61.
- [15] Sándor, Zs. and Csiszár, Cs. (2015) Role of Integrated Parking Information System in Traffic Management, Periodica Polytechnica Civil Engineering. Volume 59 (3): 327-336 DOI:10.3311/PPci.7361
- [16] Sándor, Zs. and Csiszár, Cs. (2013) Kétségi események elemzése helyi autóbusz közlekedésben, "Innováció és fenntartható felszíni közlekedés" konferencia, Budapest, 2013. augusztus 28-30. Paper 6
- [17] T. Vadvári and P. Várlaki (2015) Identification of Supply Chains Based on Input-Output Data Period. Polytech. Transp. Eng., Vol. 43, No. 3 (2015), pp. 162-167. DOI: 10.3311/PPtr.7931 Online published: 28-04-2015



The combined modeling and complex analysis of the traffic flow of various surface transport networks

Based on our traffic network model development, further exact network mathematical models can be created based on a union of networks. The starting grid is a vehicle traffic network that, in our case, integrates the network of public transport as well. During the work process, first we establish the union of the road and pedestrian networks, which will be followed by the examination the possibility of generalization and the expansion of complex networks.



Die kombinierte Modellierung und komplexe Analyse des Verkehrsflusses von verschiedenen Flächentransportnetzwerken

Auf der Basis von unseren Entwicklungen an Verkehrsnetzmodellen sowie einer exakten Netzvereinigung es kann ein weiteres exaktes mathematisches Netzwerkmodell erstellt werden. Das Ausgangsnetz ist ein Fahrzeugverkehrsnetz, das in unserem Fall auch das Netz des öffentlichen Verkehrs integriert. Während des Arbeitsprozesses erstellen wir zunächst die Vereinigung des Straßen- und Fußgängeretzes, es folgt danach die Untersuchung der Erweiterung von komplexen Netzwerken und die Möglichkeiten der Verallgemeinerung.

A menetidőbecslés alkalmazásai

A cikk a magyar közlekedési szakirodalomban egy újszerű területtel foglalkozik, – gyalogos mozgások időigénye a környezeti és egyéni paraméterektől függően –, amelynek felhasználási köre egyre inkább bővül. A személyhez rendelt mobileszközök fokozódó elterjedésével előtérbe kerülnek azon eljárások, amelyek segítségével egy-egy felhasználó gyaloglási teljesítményére lehet becslést adni a környezeti paraméterek és az egyéni preferenciák alapján. További előnyként jelentkezik az egyedülálló szakirodalmi hivatkozási lista.

Apáthy M. Sándor

e-mail: sandor.m.apathy@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A digitális korban az emberek egyre inkább tervezetten élnek mindennapjaikat. Nem kivétel ez alól a szabadidejük sem, amit egyre inkább "hatékonyan" kívánnak eltölteni, ám kevés időt szánának annak megtervezésére. Az okostelefonok életünk részévé válnak, a tevékenységeinket megkönnyítik a mobilalkalmazások. A helyváltoztatással kapcsolatos alkalmazások esetén kulcsszerepet tölt be a menetidőbecslő eljárás pontossága, illetve előrejelző képessége. Az optimális útvonalat kereső algoritmusokat olyan gráfon értelmezzük, amelynek csúcsai a meglátogatható lokációk halmaza, míg élei a lokációkat összekötő útszakaszok. Az élköltések jellemzően az útszakasz megtételéhez szükséges időt jelölik, amelynek becslését (Estimated Time of Arrival, röviden ETA) sokan és több speciális területen kísérelték meg. A tanulmányban ezen élköltéseknek a minél precízebb becslését célul kitűző eljárásokat, illetve azok alkalmazási területeit mutatom be.

2. MENETIDŐBECSLŐ ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

2.1. Turizmus

Már az ókori Római Birodalom hadviselésében is nagy hangsúlyt fektettek a várható menetidő becslésére: "A római légió katonáinak 24 mérföldet kell megenniük 5 óra alatt

a standard katonai lépést alkalmazva", olvashatjuk Vegetius *De Re Militari* c. művében [15]. A túrautakra vonatkozó modern menetidőbecslést leggyakrabban William Naismith, skót hegymászó 1892-ben meghatározott ökölszabályától eredeztetik [1], amely szerint 1 óra alatt 3 mérföldet (4827,9 méter) tud megtenni egy "átlagos" kondícióval bíró személy, "tipikus" terepviszonyok mellett és "normál" körülményeket feltételezve (hőmérséklet, páratartalom, szél, stb.), míg minden 2000 láb (632 méter) emelkedő további 1 órát vesz igénybe. A gyakorlatban tehát a sík terepen és emelkedőn való mozgás ekvivalenciáját mondja ki, vagyis 1 egység emelkedő 7,92 egység sík terepen megtett távolsággal egyenlő idő alatt teljesíthető (ezt szokás 1:8 szabályként is emlegetni). Negatív meredekségű lejtőkön sajnos a szakirodalomban sok helyen a vízszintes felszínre vonatkozó becsléssel élnek a kutatók, például Scarf [13] vagy Verriest [48].

Mills [49] állítása szerint a Naismith-szabály Colin MacLaurin skót matematikustól származik az 1740-es évekből, aki megállapította, hogy a taposómalomban dolgozó férfiak 30 fokos lejtőn tartósan nagyjából 1 láb/sec (31,6 cm/sec) sebességgel haladnak felfelé, vagyis óránként kicsivel több, mint 1800 láb (568,8 méter) emelkedőt tesznek meg (vertikális irányban). Akárhonnan is eredeztethető a fenti menetidőbecslés, úgy tűnik, mindenképpen Skóciát illeti az érdem.

Az idők folyamán megannyi módosítási javaslat született:

- Aitken [3] feltevése szerint úton és ösvényen elfogadható a Naismith-szabály, de minden egyéb felületen 20%-kal gyengébben teljesít a túrázó.
- Langmuir [2] Naismith becslését ambíciózusnak tartotta, és 4 km/h sebességet feltételezett sík terepen (± 5 fok eltérés esetén), továbbá minden 300 m-en csökkenünk a becsült menetidőt enyhe lejtőn (5-12 fok között), és növeljük 10 perccel minden 300 m-en meredek lejtőn (12 foknál nagyobb). A Langmuir által javasolt függvény idő becslésére a következők szerint alakul: $T = a \times \Delta H + b \times \Delta V_a + c \times \Delta V_{dm} + d \times \Delta V_d$, ahol ΔH a horizontális elmozdulás, ΔV_a a vertikális emelkedés, ΔV_{dm} a vertikális moderált ereszkedés, és ΔV_d az erős ereszkedés, míg $a=0,72$; $b=6,0$; $c=1,9998$ és $d=-1,9998$.
- Tranter [3] korrekciót javasol az empirikus fittségi szintek és fáradékonyosság függvényében, amit az alapján becsült, hogy a túrázó mennyi idő alatt tud 1 mérföldön 1/2 mérföld emelkedőt megtenni. Javasolja továbbá, hogy rossz talajon vagy nehezebb időjárási körülmények esetén a fittségi skála eredeti értékéhez képest 1-2 szintet csökkentve kaphatunk pontosabb becslést.
- Scarf [16] arra hívja fel a figyelmet, hogy a korrekció nem csak nagyobb meredekségű emelkedő esetén használandó, de meredek lejtőn is, amely szintén igénybe veszi a túrázó képességeit.

- Tobler [4] a gyaloglás sebességét exponenciális függvénnyel becsülte az út meredekségének függvényében. Ennek maximuma kb. 6 km/h kis meredekségű lejtőn, míg a sebesség 0-hoz közelít ± 60 fok esetén, tehát extrém meredekségű emelkedőn vagy lejtőn.
- A különféle becsléseket az 1. ábrán foglalom össze, ahol a becsült sebességet láthatjuk az út meredekségének (fokban mérve) függvényében.

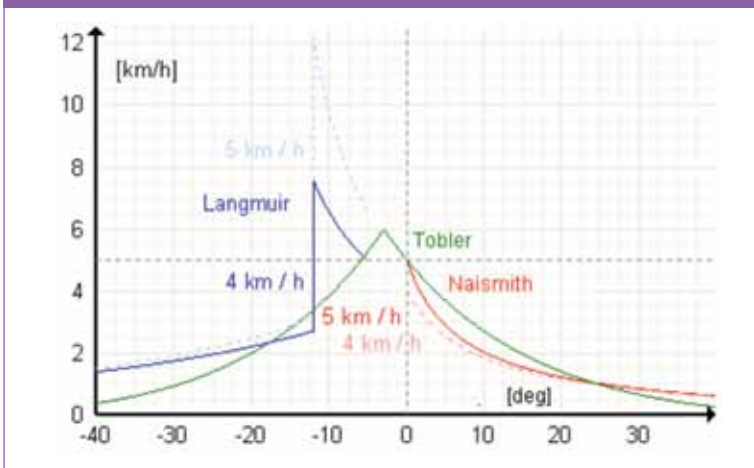
Látható, hogy Tobler eredményei, valamint Naismith-Langmuir görbéje pozitív értékek esetén egybeesik. Sík terepen mindkét módszer nagyjából 5 km/h sebességet becsül, bár Tobler egy nagyon enyhe ($-2,86^\circ$) lejtőn 6 km/h maximum sebességgel számol, míg Langmuirnél -12° -nál éri el a maximum sebességet (7,5 km/h), és ott - nehezen védhetően - hirtelen letörik. Mindazonon túl, hogy a fenti becslések nem vagy csak nehezen veszik számba a terepviszonyokat, a legkritikább esetben veszik figyelembe az időjárási körülményeket, a túrafelszerelés össztömegét, a megtett úttal fokozódó fáradást, a túrázó általános fittségét (kivéve Tranter) és a pillanatnyi/napi állapotát (vagyis azt a teljesítményt, amit magához mérten pillanatnyilag nyújtani képes), ezzel a kritikával élt például Aitken [3], Scarf [13] vagy Fritz és Carver [14].

A személyre szabott túra menetidőbecslésnek igen szűkös a szakirodalma. Pitman et al. [6] polinomiális becsülőfüggvénnyel közelíti a túranaplók menetidejét

szakaszonként olyan változókkal, mint az adott pontig megtett út hossza (%), adott szakaszon az emelkedő mértéke, az adott pontig megtett összes emelkedés és ereszkedés (%). Ezt tovább finomítják a túrázó saját teljesítményét tükröző faktoral.

A turisztikai témájú ajánlórendszerek jó összefoglalóját adja Ricci [8]. Tumas és Ricci [9] már úgy ter-

1. ábra: Becslési eljárások összevetése



vez útvonalat városban, hogy a becsült érkezési időt a közösségi közlekedési eszközök menetrendjéhez hangolja. Az ajánlórendszerek a jövőben tartalom alapú szűréssel (content based filtering) és érkezési időpontokra vonatkozó személyre szabott becslésekből kalkulált elérhetőségi korlátokkal határozzák meg a következő lépésben a felhasználó számára ajánlott látnivalókat, ahogy azt Höpken et al. [22] már 2010-es cikkében előre látta. A fenti tényezőket mind figyelembe véve rangsorolhatjuk a túrázó számára elérhető és a róla kialakult preferencia profil alapján értékes helyszíneket, amelyre jó példa Letchner et al. [11] cikke; erről a 2.3-as szakaszban olvashatunk bővebben.

2.2. Sport és rekreáció

Hrncir et al. [42] cikkükben kerékpárosok számára készítették útvonaltervező algoritmust, amely figyelembe veszi a menetidőt, kerüli a túlzott emelkedőket, és általában figyelembe veszi a kerékpárosok komfortérzetét. Menetidőbecslésre a Naismith-szabály multiplikátorokkal módosított változatát használja, amit költségfüggvényként használ, míg az útvonaltervezésre A* algoritmust alkalmaz. Az A* (A-star) 1968-ban született a Stanford Research Institute-ban, amely a best-first search [58] eljárást használja heurisztikaként minden iterációban, hogy a lehető leghamarabb megtalálja az optimális utat, lásd Hart et al. [59]. Pitman et al. [7] egy későbbi munkájukban kísérletet tesznek korábban ismertetett becslési eredményeik javítására kerékpáros túraadatokon, ahol a legközelebbi szomszéd módszerével próbálják becslésüket finomítani. Eredményeiket összevetik a regressziós modell által becsült eredményekkel, azonban a becslések mind alul maradnak a korábbi eredményekhez képest, egyrészt talán azért, mert a kerékpározók mozgásának modellezése komplexebb feladat (a fizikai paraméterekre vonatkozó adatok nem álltak rendelkezésre), mint a túrázóké, másrészt a rendelkezésre álló túranaplók szűkössége miatt (a feldolgozott 3 túraszakaszon összesen 49 adatsor szerepelt). Ez utóbbi munkájuk jelentősége sokkal inkább abban rejlik, hogy már közösségi adatokat is alapul vevő ajánlórendszerek (Recommendation Systems) irányába mutat a

túrázás területén, amely például a városnézést tervező applikációk terén korábban megjelent.

Pribul és Price [43] tájfutók teljesítményét vizsgálták mindkét nemet és több korcsoportot összevetve 119 versenyzőből álló mintán. A t-teszt eredményei szerint nem tapasztalható szignifikáns eltérés a profi és nem profi futók stratégiája között, így az eredményeik közötti különbség inkább az erőnléti különbségekkel magyarázható. Szintén tájfutók eredményeit vizsgálva Scarf [13] a Naismith-szabályban túrázókra megfogalmazott horizontális és vertikális távolságok megtételéhez szükséges idő ekvivalenciáját akarta futókra is kiterjeszteni (Naismith-nél ez $\alpha=7,92$, vagyis 1 km emelkedő megtételéhez szükséges idő megegyezik 7,92 km sík terepen történő gyaloglás idejével). Modeljében számolva a versenyzők fáradékony-ságával is, log-lineáris modellt illeszt a tájfutók teljesítményét leíró adatsorra, és OLS becsléssel $\alpha=8$ értéket kap a férfi versenyzőkre és $\alpha=9,5$ -öt a nőkre. Norman [44] becslése során ehhez képest $\alpha=4,4$ adódott, míg Kay [10] szintén futók eredményeit vizsgálva $\alpha=11,7$ -es értéket kapott OLS becsléssel, ahol a sebességet a meredekség 4-edfokú polinomjával magyarázta, és figyelembe vette a teljes út hosszát is. A Naismith-féle ekvivalencia paraméter értékének ilyen nagy eltéréseit Norman és Scarf is annak tulajdonítja, hogy a vizsgált utak körülményei nagyjából homogének a vizsgált mintán belül, azonban jelentősen eltérhetnek (pl. a talaj minősége) különböző kutatók mintaadatai között. Minetti [45] megállapítja, hogy $|m| > 0,15$ meredekség értékek esetén nem alkalmazható ugyanaz a modell, mint viszonylag sík terepen, így erre a két szakaszra külön illesztést javasol. Minetti et al. [46] kismintán vizsgálta a tájfutók elméleti sebességhatárait (olyan fiziológiai korlátokra alapozva, mint pl. az oxigénfelvétel), és bár meredek emelkedőkön a megfigyelt sebességhatárok jól közelítették a feltevéseit, meredek lejtőn alatta maradtak a megfigyelések a várakozásoknak. Ezt azzal magyarázza, hogy túl meredek lejtőkön az életosztón tartja vissza a futókat a nagyobb sebességtől. A legkisebb költségű utak keresését néhányan nem az idő minimalizálásával oldották meg, inkább a felhasznált energiát igyekeztek minimalizálni. Rees [47] cikkében például Dijkstra algoritmussal ke-

reste a leginkább “energiahatékony” útvonalat. Változatos felszínű terepen történő két pont közötti útvonal optimalizálásra Kay ad egy Euler-Lagrange-egyenleten alapuló variációs számítási megoldást [18]. Annak ellenére, hogy olyan egyszerűsítési feltétellel élt, miszerint a sportoló sebessége egyedül az út gradiens vektorától függ. Eredményeit drámaian befolyásolja, hogy a gyaloglás vagy futás ütemét becslő függvénye nem közelíti eléggé a tesztadatokat. Hasonlóan optimális útvonalat keres Verries [48] is cikkében, de ő Kay-jel ellentétben nem időt minimalizál, hanem e ráfordított energiát, és optimális irányítási technikával számolja a trajektóriát. A teljesség kedvéért fontos megemlíteni, hogy a szakirodalomban túlnyomó részben az út “költségének” a két pont között megtett út menetidejeként definiálják, bár számos példa szerint inkább a ráfordított energiát tekintik az út költségének [46], [47].

2.3. Közgazdaságtan

A közgazdasági modellek egy jelentős részénél szerepet játszik a távolság vagy idő, mint költség tényező. Ennek jó példája a piacszerkezetekből ismert Hotelling-modell [21], amely az ellátóhelyek optimális elhelyezését írja le. Ennek gyakorlati alkalmazása során használt költségfüggvényekben a becsült menetidő alapján kalkulálnak. Erre jó példa Steif lakáspiac modellje [20]. Fontos szerepet tölt be a menetidőbecslés a logisztika területén is. Asdemir et al. [60] például élelmiszerboltok házhozzállítási szolgáltatásainak árazását modellezi Markov-döntési folyamat alapú eljárással, amely során a kapacitáskorlátok és a házhozzállítási időablakok mellett figyelembe veszik a szállítási időt. Minden új megrendelésnél dinamikusan változnak a házhozzállítási árak úgy, hogy a hátralevő foglalási horizonton állandó maradjon a bolt várható haszna függetlenül attól, hogy milyen házhozzállítási opciót választ a vásárló. Yang et al. [61] a rendelkezésre álló időablakokat is egyenként dinamikusan árazzák attól függően, mennyi az adott útszakaszon a várható (forgalomtól függő) menetidő és a teherautók szabad kapacitása az időszakban.

Az útvonaltervező és menetidőbecslő eljárások egy máshova kevésbé beilleszthető példája

De Choudhury et al. [62] cikke, akik “közösségi kenyérmorzskáknak” (social breadcrumbs) nevezett információk alapján építenek túraútvonalakat. Az interneten (Facebook, Flickr, stb.) megosztott fotók és egyéb bejegyzések gyűjtése és szisztematikus válogatása alapján, összeegyeztetve a felhasználó előre kinyilvánított preferenciáival. Mivel a fotókhoz időbélyegek (timestamp) is tartoznak, így Popescu és Grefenstette [12] korábbi munkája alapján már lehetőség nyílt az egyes helyszínek látogatási idejének, illetve a köztük megtett út menetidejének becslésére is. Hasonlóan közösségi adatokon alapszik Letchner et al. [11] munkája, akik helyi lakosok autós GPS adatai alapján jobb útvonalat javasolnak az átutazóknak, mint amit bármilyen útvonaltervező adott, mert ők egy eddig fel nem használt információt építettek a tervezésbe: a tapasztalatot.

2.4. Környezetvédelem

Az utaktól távol eső területek elérési idejét talán először Fritz és Carver [14] modellezte. Ők teljes Skócia területére elkészített hőterképük segítségével kimutatták a forgalomtól távol eső, nehezen megközelíthető területeket. Munkájuk során Dijkstra-algoritmust alkalmaztak a legrövidebb út meghatározására, és a Naismith-szabály alapján kalkulálták a menetidőket, figyelembe véve az esetleges akadályokat és a talajtípust is. Yang et al. [23] ezt alkalmazzák cikkükben, ahol a nemzeti parkok veszélyeztetett területeit tárják fel menetidőbecslési eljárással, azt vizsgálva mennyire frekvenciáltak az egyes, utaktól távol eső területek. Feltevésük szerint a környezet terheltsége egyenes arányosan nő a terület megközelíthetőségével, így a veszélyeztetett területek folyamatos ellenőrzése különösen fontos. Li et al. [24] azt találta, hogy minél több körút található a kijelölt ösvények között és minél inkább összefüggőek az utak, annál kevésbé terhelik a turisták a környezetet (például azzal, hogy letapossák az aljnövényzetet). Lynn és Brown [25] már sokkal tudatosabb tervezés alapjait teszi le a természetvédelmi területek vezetői számára, és olyan úthálózat kialakítását javasolja, ami minimalizálja a terület terheltségét, ugyanakkor szem előtt tartja a látogatók érdekeit is.

2.5. Régészet

Herzog [26] részletesen tárgyalja az alkalmazható legkisebb költségű hálózatok (Least-cost Networks) modelljeit egy észak-rajna-vesztfáliai területre alkalmazva. Ismerteti, hogy figyelembe véve a középkori terepviszonyokat, a modellek által kalkulált útvonalak mennyiben egyeznek a történelmileg ismert, kialakult utakkal. Másik gyakori alkalmazása a gyűjtőterületek (Site catchment) modellezése, vagyis az egy adott pontból bizonyos költségkereten (pl. idő, energia, stb.) belül elérhető terület. Kienlin et al. [27] például két késő bronzkori település 15 percen belüli gyűjtőterületét becsülték Tobler-görbe alapján kalkulált időkkal. Ullah és Bergin [28] ágens alapú modellel szimulálták spanyol falvak környezetre gyakorolt hatását. A legkisebb költségű utak (Least-cost Paths) kalkulálása során történő felhasználásnak az egyik jó példája Verhagen és Jeneson [29] munkája, akik a limburgi régióban igyekeztek rekonstruálni az ókori római via Belgica utat dombos területen. A témában megjelent tanulmányok közös gyengesége, hogy nem számolnak a terhelésből származó lassulással (kivéve Rademaker et al. [30]), holott ez különösen fontos lenne ott, ahol vizet vagy élelmiszert szállítanak, és csak a legritkébb esetben veszik figyelembe alternatívaként a vízi utakat. A menetidőbecslésen alapuló régészeti kutatások részletes összefoglalóját találjuk Herzog [31] cikkében.

2.6. Kitelepítés tervezés (Emergency Evacuation Modeling)

Wood és Schmidtlein [32] Washington állam lakosságán szimulálták egy esetleges szökőár során alkalmazandó kitelepítési stratégiák eredményességét. Rámutattak, hogy az eredmények nagyon érzékenyek egyrészt az alkalmazott gyalogos menetidőket becsülő függvényekre, másrészt a populáció összetételére, így különösen fontos, hogyan szegmentálják mozgékonyaságuk szerint a teljes lakosságot.

Az elveszett turisták keresése esetén kiemelkedően fontos annak a területnek a minél pontosabb behatárolása, ahova a csoport eljuthatott, hiszen minél kisebb területet kell átkutatni, annál könnyebben, gyorsabban juthatnak ered-

ményre. Magyarai-Sáska és Dombay [17] Tobler-görbén alapuló menetidőbecslést használtak a menetidő egy alsó becslésére, hogy meghatározzák azt a maximális területet, ahol egy elveszett turistát keresni kell. Magyarai-Sáska [41] cikkében ennek továbbgondolásaként Dijkstra-algoritmust használ az útvonaltervezésre, és igyekszik szűkíteni a keresési területet.

2.7. Egészségügy (különös tekintettel a fejlődő országokra)

Gething et al. [33] a ghánai egészségügyi ellátás helyzetét vizsgálva azt találta, hogy a nők 34%-a él a klinikailag kritikusan tartott 2 órás tűrészatháron kívül a legközelebbi ellátó központtól. Menetidőbecslési eljárások segítségével gyökeresen más szempontokat tudnak az egészségügyi infrastruktúra stratégiai tervezése során figyelembe venni. Noor et al. [34] tanulmányukban megmutatták, hogy a kenyai kormány malária, tuberkulózis és HIV elleni védekezésre telepített egészségügyi központjainak lakosság általi elérhetősége jóval túlbecsült (a lakosság 63% van 1 órányi távolságra, szemben a jelentésekben szereplő 82%-kal), így további központok létesítésére tesznek javaslatot a modell eredményeire alapozva.

2.8. Légiirányítás és reptéri optimalizálás

A légiirányítás alapfeladata, hogy a légiforgalmi igényeket és a repülőtéri kapacitásokat összeegyeztesse, miközben minimalizálja a késéseket [54]. Carr et al. [35] olyan algoritmus megalkotását tűzte ki célul, amely a korábban használt érkezési sorrend alapú kiszolgálási elv (First-come-first-served) helyett egyéb légiforgalom-irányítási prioritásokat is figyelembe vesz. Menetidőbecslésen alapuló forgalmi modelljükkel (Estimated Time of Arrival, röviden ETA) jelentősen csökkentették az átlagos késést szinte minden légiforgalmi szegmensben.

Repülőtéri kapu hozzárendelési feladat (Airport Gate Assignment Problem, röviden AGAP) néven ismert a nemzetközi szakirodalomban a járatok kapukhoz rendelése, ahol a cél az utasok kényelmének biztosítása a repülőtéri operáció hatékonyságának magas szinten tartása mellett. Bolat [50] például

kevert egészértékű lineáris programozási feladatként formalizálta a problémát, ahol a kapuk holtidejének tartományát minimalizálta. Maharjan és Matis [51] több-árucikkés bináris hálózati folyamként modellezi a problémát, és a gyalogos összes megtett útját minimalizálja a gépek üzemanyag-fogyasztása mellett. A repéri kapuk optimalizálásáról bővebben Bouras et al. [52] összefoglaló cikkében olvashatunk.

2.9. Lift ütemezés (Elevator scheduling)

Az egyre magasabb felhőkarcolók építése a lifteket tervező mérnököket is egyre nagyobb kihívások elé állítják. A lakók és látogatók zökkenőmentes szállítása érdekében a pontos menetidőbecslésen túl egy sor egyéb körülményt kell figyelembe venni a liftek prioritizálásánál. Ennek jó példája Rong et al. [36] munkája, ahol a szokásos menetidőbecslő eljárásokat kiegészítették a várható megállások időtartamával, és azok átlagos várakozási időre gyakorolt hatását figyelembe véve engedik vagy blokkolják a további megállásokat. Xiong et al. [53] dinamikus programozási technikával optimalizálja a több liftből álló rendszert. Additív modellt alkalmazva egyedi liftek optimalizálására vezeti vissza a problémát.

2.10. Közlekedés

Az intelligens közlekedési rendszerek (Intelligent Transport Systems), már jó ideje mindennapi életünk részét képezik. Céljuk az aktuális forgalmi helyzethez dinamikusan alkalmazkodó automatikus forgalomirányítás kialakítása és üzemeltetése. Sándor és Csiszár cikkükben [19] egy intelligens parkolómenedzsment modellt írnak le, amely dinamikusan képes kezelni a változó körülményeket és a felhasználók igényeit. Jó példa továbbá a maximális haladási sebesség dinamikus szabályozása, vagy alagutakban és hidakon az egy irányba haladó sávok számának dinamikus változtatása ugyanúgy, mint a forgalmi lámpák forgalomtól függő szabályozása (Al-Khateeb et al. [37], Sándor [55], Sándor és Csiszár [56]). A közlekedési lámpáknál történő sorban állás hagyományosan input-output szemléletben modellezték, míg Lighthill és Whitham [65], valamint Richards [66] egymástól függetlenül

megalkották a forgalmi lökeshullám elméletüket (Lighthill–Whitham–Richards shockwave theory), amelyben klasszifikálják a forgalom szereplőit a forgalmi állapotra gyakorolt hatásuk alapján, és az interakcióik alapján jelzik előre a sorban állás várható idejét. A modell egy továbbfejlesztését láthatjuk Logghe és Immers cikkében [67], ahol a különféle csoportok között non-kooperatív interakciókat feltételezve pontosabb becslésekhez jutottak a korábbi eredményeknél.

A közösségi közlekedési eszközök menetrendjének betartása az utazók elégedettségének alapfeltétele. Az esetleges késések minél pontosabb előrejelzése, valamint az azokról történő tájékoztatás szintén javíthatják a felhasználói élményt, ahogy ezt Watkins et al. [68] is megfogalmazza tanulmányukban. Zhou et al. [38] az autóbuszok érkezésének becslését javította a buszon tartózkodó utasok mobil eszközeinek GPS adataival, hogy az autóbuszra várakozókat minél pontosabban tudják tájékoztatni az érkezésekről, valamint a várható késésekről. Vu és Khan [70] munkájában a valós idejű GPS adatok mellett utasszámláló rendszerek, valamint historikus adatokon végzett mintafelismerés (pattern recognition) segítségével pontosítják az előrejelzéseket. Stover és McCormack [69] rámutatnak arra, hogy a menetidők előrejelzésének pontosságát jelentősen lehet javítani, ha az időjárási körülményeket is figyelembe vesszük. Vizsgálataik szerint az eső a legerősebb befolyásoló tényező, és a téli időszakban a legnagyobb annak menetidőre gyakorolt hatása. Sándor és Csiszár [57] cikkében a menetidőbecslés pontosságának javítását a historikus adatok felhasználásával érték el, kihasználva azt az egyszerű megfontolást, hogy az utasforgalmi létesítmények és az aktuális környezeti paraméterek kategorizálhatók. Cathey és Dailey [63] tranzit érkezési és indulási időpontokat jeleznek előre modelljükkel, amely a járművek GPS adatai alapján becsüli a menetidőket Kálmán-filter segítségével. A közlekedésben használt vezeték nélküli kommunikációs eszközök adta lehetőségekről bővebben olvashatunk Rappaport et al. [64] cikkében, amely kitér azok közlekedésbiztonságban betöltött szerepére, valamint a technikai megvalósítás nehézségeire is.

2.11. Infrastruktúra tervezés

A közutak, alagutak és vezetékek tervezésénél szintén kézenfekvő a legkisebb költségű utak (Least-cost Paths) kalkulálására használt algoritmusok alkalmazása. Yu et al. [39] ST (Smart Terrain) algoritmusra az A* algoritmuson alapszik, amit kiegészítettek olyan gyakorlati megfontolásokkal, mint a hidak és alagutak figyelembevétele az autót út tervezésénél. Bár algoritmusuk ezen kiegészítő tereptárgyakról még azt feltételezi, hogy vertikális irányban nem mozgunk, ha áthaladunk rajtuk, ezt leszámítva nagy előrelépést jelentett munkájuk a gyakorlati probléma megoldásában. Bagli et al. [40] villanyvezetékek tervezése során továbbfejlesztett algoritmusra már számos más tényezőt is figyelembe vesz az útvonal tervezésénél, köztük legfontosabb a környezeti hatások minimalizálása.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Remélhetően ezzel a rövid és koránt sem teljes összefoglalóval sikerült betekintést nyújtani a menetidőbecslési eljárások alapuló alkalmazások széles spektrumába, ami jól példázza a téma gyakorlati fontosságát, és néhol rávilágít annak hiányosságaira is. Látható, hogy a GPS eszközök, - valamint a mobilkészülékekbe épített egyéb szenzorok, pl. gyorsulásmérő és interciális navigáció alapuló eszközök - elterjedésével, illetve a mért adatok tömeges feldolgozásával egyre pontosabb előrejelzést adhatunk arra vonatkozóan is, kit, mikor és hol találhatunk, ami egyszerre bravúros és ijesztő. Ugyanakkor az új technológiai vívmányok felhasználásával olyan integrált rendszereket hozhatunk létre, amelyek nagyban hozzájárulnak a közlekedéstervezés pontosításához, lehetőséget nyújtva az előálló szokatlan helyzetekre történő azonnali reakcióra, nagyobb kényelemre és hatékonyságra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] W. Naismith: Notes and queries, [1892] Scottish Mountaineering Club Journal, Vol. 2, p. 133.
- [2] E. Langmuir (1995): Mountaincraft and Leadership, 3rd ed. SportsScotland.
- [3] R. Aitken (1977): Wilderness Areas in Scotland, unpublished Ph.D. Thesis. University of Aberdeen. Aberdeen.
- [4] W. Tobler (1993): Three presentations on geographical analysis and modeling: Non-isotropic geographic modeling speculations on the geometry of geography global spatial analysis, National Center for Geographic Information and Analysis Technical Report, Vol. 93, No. 1, pp. 1–24.
- [5] A. Kay (2012): Route choice in hilly terrain, Geographical Analysis, Vol. 44, No. 2, pp. 87–108. DOI: 10.1111/j.1538-4632.2012.00838.x
- [6] A. Pitman - M. Zanker - J. Gamper - P. Andritsos (2012): Individualized hiking time estimation, in Proceedings of the 23rd International Workshop on Database and Expert Systems Applications, pp. 101-105. doi: 10.1109/DEXA.2012.51
- [7] A. Pitman - J. Bernhart - C. Posch - M. Zambaldi - M. Zanker (2013): Time-of-arrival estimation in mobile tour guides, in Proceedings of the 20th Conference on Information and Communication Technologies in Tourism (ENTER), pp. 7-81. doi: 10.1007/978-3-642-36309-2_7
- [8] F. Ricci (2011): Mobile Recommender Systems, Journal of Information Technology & Tourism, Vol. 12, No. 3, pp. 205-231. doi: 10.3727/109830511X12978702284390
- [9] G. Tumas - F. Ricci (2009): Personalized mobile city transport advisory system, W. Höpken - U. Gretzel - R. Law (eds.): Information and Communication Technologies in Tourism, Springer Vienna, pp. 173–183. doi: 10.1007/978-3-211-93971-0_15
- [10] A. Kay (2012): Pace and Critical Gradient for Hill Runners: An Analysis of Race Records, Journal of Quantitative Analysis in Sports, Vol. 8, No. 4. doi: 10.1515/1559-0410.1456,
- [11] J. Letchner - J. Krumm - E. Horvitz (2006): Trip router with individualized preferences (trip): incorporating personalization into route planning, in Proceedings of the 18th Conference on

- Innovative Applications of Artificial Intelligence, Vol. 2, pp. 1795–1800. doi: 10.1.1.67.194
- [12] A. Popescu - G. Grefenstette (2009): Deducing trip related information from flickr, in Proceedings of the 18th international conference on World wide web (WWW'2009), pp. 1183-1184. doi: 10.1145/1526709.1526919
- [13] P. Scarf (2007): Route choice in mountain navigation, Naismith's rule, and the equivalence of distance and climb, *Journal of Sports Science*, Vol. 25, No. 6, pp. 719-726. doi:10.1080/02640410600874906
- [14] S. Fritz - S. Carver (2000): Modelling remoteness in roadless areas using GIS, In: B.O. Parks - K.M. Clarke - M.P. Crane, (editors): Problems, Prospects and Research Needs, in Proceedings of the 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling (GIS/EM4), No. 157.
- [15] F. V. Renucci (1767): *De Re Militari* Book I: The Selection and Training of New Levies, english translation by John Clarke, p. 390.
- [16] P. Scarf (1998): An empirical basis for Naismith's rule, *Mathematics Today*, Vol. 34, pp. 149-151. doi: 10.1080/02640410400023282
- [17] Zs. Magyari-Sáska - S. Dombay (2012): Determining Minimum Hiking Time using DEM, *Geographia Napocensis Anul*, Vol. 6, Nr. 2, pp. 124-129.
- [18] A. Kay (2012): Route choice in hilly terrain, *Geographical Analysis*, Vol. 44, No. 2, pp. 87–108. DOI: 10.1111/j.1538-4632.2012.00838.x
- [19] Zs. Sándor - Cs. Csiszár (2015): Role of Integrated Parking Information System in Traffic Management, *Periodica Polytechnica - Civil Engineering*, Vol. 59, No. 3, pp. 327-336. doi: 10.3311/PPci.7361
- [20] K. Steif (2004): Creating a Model for Geodemographic representations of Housing Market Activity: A Research Note with possible Public Policy implications, *Middle States Geographer*, Vol 37, pp. 116-121.
- [21] H. Hotelling (1929): Stability in Competition, *Economic Journal*, Vol. 39, pp. 41-57. doi: 10.1007/978-1-4613-8905-7_4
- [22] W. Höpken - M. Fuchs - M. Zanker - T. Beer (2010): Context-based adaptation of mobile applications in tourism, *Information Technology and Tourism*, Vol. 12, No. 2, pp. 175–195. doi: 10.3727/109830510X12887971002783
- [23] M. Yang - F. van Coillie - M. Liu - R. de Wulf - L. Hens - X. Ou (2014): A GIS Approach to Estimating Tourists' Off-road Use in a Mountainous Protected Area of Northwest Yunnan, China, *Mountain Research and Development*, Vol. 34, No. 2, pp. 107-117. doi: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-13-00041.1
- [24] W.J. Li - X.D. Ge - C.Y. Liu (2005): Hiking trails and tourism impact assessment in protected area: Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China, *Environment Monitoring Assessment*, Vol. 108, pp. 279–293. doi:10.1007/s10661-005-4327-0
- [25] N.A. Lynn - R.D. Brown (2003): Effects of recreational use impacts on hiking experiences in natural areas, *Landscape Urban Planning*, Vol. 64, pp. 77–87. doi:10.1016/S0169-2046(02)00202-5
- [26] I. Herzog (2013): The potential and limits of optimal path analysis, in A. Bevan, M. Lake (eds.): *Computational Approaches to Archaeological Spaces*, Walnut Creek, Left Coast Press, pp. 179-211.
- [27] T.L. Kienlin - K. Cappenberg - M.M. Korczyńska (2013): Überlegungen zu den spätbronze- und früheisenzeitlichen Landnutzungsstrategien im mittleren Dunajectal, Klempol. In: G. Kalaitzoglou- G. Lüdorf (Hrsg.), *Petasos, Festschrift für Hans Lohmann. Mittelmeerstudien* Vol. 2, pp. 319-332.
- [28] I.I. Ullah - S.M. Bergin (2012): Modeling the consequences of village site location, in D.White - S. Surface-Evans (eds.): *Least Cost Analysis of Social Landscapes, Archaeological Case Studies*, Salt Lake City, University of Utah Press, pp. 155-173.
- [29] P. Verhagen - K. Jeneson (2012): A Roman puzzle. Trying to find the Via Belgica with GIS, in A. Chrysanthi -

- P. Murrieta-Flores - C. Papadopoulos (eds.): *Thinking Beyond the Tool*, BAR International Series 2344, Oxford, Archaeopress, pp. 123-130.
- [30] K. Rademaker - D.A. Reid - G.R.M. Bromley (2012): *Connecting the dots*, in D. White - S. Surface-Evans (eds.): *Least Cost Analysis of Social Landscapes*, Archaeological Case Studies, Salt Lake City, University of Utah Press, pp. 32-45.
- [31] I. Herzog (2014): *A review of case studies in archaeological least-cost analysis*, *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 25, pp. 223-239. doi:10.11141/ia.34.7
- [32] N.J. Wood - M.C. Schmidlein (2013): *Community variations in population exposure to near-field tsunami hazards as a function of pedestrian travel time to safety*, *Natural Hazards*, Vol. 65, No. 3, pp. 1603-1628. doi: 10.1007/s11069-012-0434-8
- [33] P.W. Gething - F.A. Johnson - F. Frempong-Ainguah - P. Nyarko - A. Baschieri - P. Aboagye - J. Falkingham - Z. Matthews - P.M. Atkinson (2012): *Geographical access to care at birth in Ghana: a barrier to safe motherhood*, *BMC Public Health*, Vol. 12, pp. 991-998. DOI: 10.1186/1471-2458-12-991
- [34] A.M. Noor - A.A. Amin - P.W. Gething - P.M. Atkinson - S.I. Hay - R.W. Snow (2006): *Modelling distances travelled to government health services in Kenya*, *Tropical Medicine & International Health*, Vol. 11, No. 2, pp. 188-196. DOI: 10.1111/j.1365-3156.2005.01555.x
- [35] G.C. Carr - H. Erzberger - F. Neuman (2000): *Fast-time study of airline-influenced arrival sequencing and scheduling*, *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, Vol. 23, No. 3, pp. 526-531. doi: 10.2514/2.4559
- [36] A. Rong - H. Hakonen - R. Lahdelma (2003): *Estimated Time of Arrival (ETA) Based Elevator Group Control Algorithm with More Accurate Estimation*, Turku Centre for Computer Science TUCS Technical Report No 584, ISBN 952-12-1289-6
- [37] K.A.S. Al-Khateeb - J.A.Y. Johari - W.F. Al-Khateeb (2008): *Dynamic Traffic Light Sequence*, *Journal of Computer Science*, Vol. 4, No. 7, pp. 517-524. doi: 10.3844/jcssp.2008.517.524
- [38] P. Zhou - Y. Zheng - M. Li (2012): *How Long to Wait?: Predicting Bus Arrival Time with Mobile Phone based Participatory Sensing*, in *Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*, pp. 379-392. doi: 10.1109/TMC.2013.136
- [39] C. Yu - J. Lee - M.J. Munro-Stasiuk (2003): *Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning*, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 17, No 4, pp. 361-376. DOI:10.1080/1365881031000072645
- [40] S. Bagli - D. Geneletti - F. Orsi (2011): *Routing of power lines through least-cost path analysis and multi-criteria evaluation to minimise environmental impacts*, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 31, pp. 234-239. DOI: 10.1016/j.eiar.2010.10.003
- [41] Zs. Magyari-Sáska (2013): *Efficient Spatial Time-cost Analysis for Search of Lost Tourists*, *Geographia Technica*, No. 1, pp. 47-55.
- [42] J. Hrnčir - Q. Song - P. Zilecky - M. Nemet - M. Jakob (2014): *Bicycle route planning with route choice preferences*, in *Prestigious Applications of Artificial Intelligence*, pp. 1149-1154. DOI: 10.3233/978-1-61499-419-0-1149
- [43] R.F. Pribul - J. Price (2005): *An Investigation into the Race Strategies of Elite and Non-Elite Orienteers*, *Scientific Journal of Orienteering*, Vol. 16, pp. 34-40.
- [44] J.M. Norman (2004): *Running uphill: energy needs and Naismith's rule*, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 55, pp. 308-311. doi:10.1057/palgrave.jors.2601671
- [45] A.E. Minetti (1995): *Optimum gradient of mountain paths*, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 79, pp. 1698-1703.
- [46] A.E. Minetti - C. Moia - G.S. Roi - D. Susta - G. Ferretti (2002): *Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes*, *Journal of Applied*

- Physiology, Vol. 93, pp. 1039–1046. doi:10.1152/japplphysiol.01177.2001
- [47] W.G. Rees (2004): Least-cost paths in mountainous terrain, *Computers and Geosciences*, Vol. 30, pp. 203–209. doi:10.1016/j.cageo.2003.11.001
- [48] E.I. Verriest (2008): A variant to Naismith's problem with application to path planning, in *Proceedings of the 17th World Congress, International Federation of Automatic Control* (eds. M.J. Chung - P. Misra), pp. 7136–7141. doi:10.3182/20080706-5-KR-1001.01210
- [49] S. Mills (1982): Naismith's rule, *Climber and Rambler*, Vol. 21, pp. 47.
- [50] A. Bolat (1999): Assigning arriving flights at an airport to the available gates, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, No. 1, pp. 23–34.
- [51] B. Maharjan - T. I. Matis (2012): Multi-commodity flow network model of the flight gate assignment problem, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 63, No. 4, pp. 1135–1144.
- [52] A. Bouras - M.A. Ghaleb - U.S. Suryahatmaja - A.M. Salem (2014): The Airport Gate Assignment Problem: A Survey, *The Scientific World Journal*, Vol. 2014, Article ID 923859, pp. 1-27, dx.doi.org/10.1155/2014/923859
- [53] B. Xiong - P.B. Luh - S.C. Chang (2005): Group Elevator Scheduling with Advanced Traffic Information for Normal Operations and Coordinated Emergency Evacuation, *Robotics and Automation (ICRA 2005)*. IEEE. pp. 1419–1424.
- [54] Zs. Sándor (2015): A légiforgalmi szolgáltató és légiforgalmi irányítás funkcionális modellezése, *Repüléstudományi Közlemények* (1997-től), Vol. 3, pp. 133-148.
- [55] Zs. Sándor (2014): Intelligens tehergépjármű parkolás-irányító rendszer moduláris fejlesztési lehetősége, *Az aszfalt: A Magyar Aszfaltipari Egyesülés (HAPA) hivatalos szakmai lapja*, Vol. 19, No. 1, pp. 48-54.
- [56] Zs. Sándor - Cs. Csiszár (2013): Development Stages of Intelligent Parking Information Systems of Trucks, *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 10, No. 4, pp. 161-174.
- [57] Zs. Sándor - Cs. Csiszár (2016): Method for analysis and prediction of dwell times at stops in local bus transportation, *Transport*, May 2016, DOI: 10.3846/16484142.2016.1190402
- [58] J. Pearl (1984): *Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving*, Addison-Wesley, p. 48.
- [59] P.E. Hart - N.J. Nilsson - B. Raphael (1968): A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths, *Transactions on Systems Science and Cybernetics*, Vol. 4, No. 2, pp. 100–107.
- [60] K. Asdemir - J.S. Varghese - K. Ramayya (2009): Dynamic pricing of multiple home delivery options, *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, No. 1, pp. 246–257. doi:10.1016/j.ejor.2008.03.005
- [61] X. Yang - A.K. Strauss - C.S.M. Currie - R. Eglese (2013): Choice-Based Demand Management and Vehicle Routing in E-Fulfillment, *Transportation Science*, Vol. 50, No. 2, pp. 473 - 488, DOI: 10.1287/trsc.2014.0549
- [62] M.DeChoudhury - M.Feldman - S.Amer-Yahia - N. Golbandi - R. Lempel - C. Yu (2010): Automatic construction of travel itineraries using social breadcrumbs, in *Proceedings of the 21st ACM conference on Hypertext and Hypermedia*, pp. 35-44. doi: 10.1145/1810617.1810626
- [63] F.W. Cathey - D.J. Dailey (2003): A prescription for transit arrival/departure prediction using automatic vehicle location data, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 11, No. 3-4, pp. 241–264, DOI: 10.1016/S0968-090X(03)00023-8
- [64] T.S. Rappaport - J.H. Reed - B.D. Woerner (2002): Position location using wireless communications on highways of the future, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34, No. 10, pp. 33-41, DOI: 10.1109/35.544321
- [65] M.J. Lighthill - G.B. Whitham (1955): On kinematic waves. II. A theory of traffic flow on long crowded roads, *Proceedings of Royal Society A*, Vol. 229, pp. 281–345.
- [66] P.I. Richards (1956): Shockwaves on the highway, *Operations Research*, Vol. 4, pp. 42–51.

- [67] S. Logghe - L.H. Immers (2008): Multi-class kinematic wave theory of traffic flow, Transportation Research Part B, Vol. 42, pp. 523–541, DOI:10.1016/j.trb.2007.11.001
- [68] K. E. Watkins - B. Ferris - A. Borning - S. G. Rutherford - D. Layton (2011): Where Is My Bus? Impact of mobile real-time information on the perceived and actual wait time of transit riders. Transportation Research Part A, Vol. 45, pp 839-848.
- [69] V.W. Stover - E.D. McCormack (2012): The Impact of Weather on Bus Ridership in Pierce County, Washington, The Journal of Public Transportation, Vol. 15, No. 1, pp. 95-110.
- [70] N.H. Vu - A.M. Khan (2010): Bus running time prediction using a statistical pattern technique, Transportation Planning and Technology, Vol. 33, No. 7, pp. 625-642



The applications of travel time estimation

Even today, hikers often estimate the travel time for the selected road sections using centuries-old rules of thumb, whilst in many areas, using the advances of the digital age, GPS devices serve for more and more accurate forecasts. The aim of this paper is to demonstrate the results in a variety of disciplines, which apply travel time estimation procedures during modelling. In addition to the obvious areas such as transport, shipping, hiking or air traffic control, they play just as important a role in environmental studies, health care, and, surprisingly, even in archeology. As often the travel time estimation is not the purpose, but merely a tool in the aforementioned applications (such as the estimation of costs), this paper serves to raise awareness of the importance of travel time estimation, and briefly describe several estimation procedures.



Die Anwendungen der Schätzung der Reisezeit

Heutzutage schätzen Wanderer immer noch oft die Reisezeit für ausgewählte Straßenabschnitte mit jahrhundertealten Faustregeln, während in vielen Gebieten mit Hilfe der Fortschritte des digitalen Zeitalters GPS-Geräte immer genauere Prognosen liefern. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Ergebnisse in einer Vielzahl von Disziplinen, die das Verfahren der Reisezeit-Schätzung bei der Modellierung anwenden, vorzustellen. Neben den offensichtlichen Bereichen wie Transport, Schifffahrt, Wandern oder Flugsicherung spielen sie eine ebenso wichtige Rolle in Umweltstudien, Gesundheitsversorgung und überraschenderweise auch in der Archäologie. Da die Reisezeitabschätzung oft nicht der Zweck, sondern lediglich ein Mittel für die vorhin genannten Anwendungen (z. B für die Kostenschätzung) ist, das Ziel dieser Arbeit ist, die Bedeutung der Reisezeitschätzung zu betonen, und eine kurze Beschreibung einiger Schätzverfahren zu geben.

E számunk lektorai

Dr. Katona András
Dr. Sándor Zsolt

Dr. Prileszky István
Dr. Várlaki Péter

Szűcs Lajos

A közösségi közlekedési rendszert érintő működtetési és üzemeltetési döntések támogatása az elektronikus jegyrendszerhez kapcsolódó közlekedési adattárház kialakításával

A hazai közösségi közlekedés megújuló koncepciójához és stratégiájához illeszkedő korszerű, interoperábilis közszolgáltatási rendszer kialakításának folyamatában létrejövő Nemzeti Elektronikus Jegyrendszer Platform (NEJP) a fokozatosan belépő közlekedési szolgáltatóknál (Volánok, MÁV, BKK) olyan mennyiségű valós idejű adatot keletkeztet, hogy ezen adattömeg hasznosítása elkerülhetetlenné teszi egy Nemzeti Közlekedési Adattárház kialakítását.

Dr. Sárközi György* — **Roósz Tamás**** — **Pusztai Gábor*****

vezető tanácsadó

innovációs irodavezető

üzletfejlesztési igazgató

*e-mail: sarkozi.gyorgy@nemzetimobilfizetes.hu

**e-mail: roosz.tamas@nemzetimobilfizetes.hu

***e-mail: pusztai.gabor@nemzetimobilfizetes.hu

1. AZ ADATOK SZEREPE A KOR-SZERŰ KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREKBE

Ma már szinte nincs olyan szakmai, tudományos rendezvény vagy publikáció, amely ne foglalkozna az adatok hasznosításának jelentőségével, ennek módszereivel és problémáival. A nagy tömegben keletkező adatok feldolgozására már jóval azelőtt kell a megoldásokat kidolgozni, mielőtt azok keletkeznek. Fel kell készülni ezek tárolására, kezelésére, a belőlük származtatható információk körének felmérésére és a hasznosítás módjának kialakítására. A jelen cikk – támaszkodva és hivatkozva a

tárgykörben már megjelent forrásmunkákra – átfogó betekintést ad arra vonatkozóan, hogy az elektronikus jegyrendszer evolúciója során milyen kérdéseket kell kezelni.

A Közlekedéstudományi Szemle korábbi lapszámaiban több szerző is foglalkozott a témakör egy-egy kiemelt területével: az adathalmazokon végzett ad-hoc analitikák elvégzésére alkalmas megoldások vizsgálatával és fejlesztésével [1], a közlekedési adatok hasznosítását lehetővé tevő információtechnológiák megújításával [2].

Az elektronikus útdíjrendszer adatainak újrahasznosíthatóságának vizsgálata [3] és az ada-

tok fúziójára alapozó technológia bemutatása is [4] ráirányította a figyelmet e területen a hazai közlekedéstudományi munka eredményeire.

Az utóbbi időszakban szervezett közlekedéstudományi konferenciák előadásai között is kiemelt figyelem kísérte az adatvezérelt, igényvezérelt közlekedési közszolgáltatások témakörét.

A 2016. évi Nemzeti Közlekedési Napok adatokkal foglalkozó szekciójában bemutatott prezentáció [5] esettanulmány formájában már betekintést engedett a mobilfizetési rendszer egy adott időszakában keletkezett, az SAP HANA adatbázisában tárolt, anonimizált adatainak üzleti intelligencia célú felhasználási lehetőségébe. A budapesti parkolási zónák igénybevételére vonatkozó Big Data ad-hoc analitika értékes összefüggésekre mutatott rá, amelyek a későbbiekben jól használhatóak az utazási szokások megismerésében és a parkolási rendszer további fejlesztése során.

Az ad-hoc elemzések elvégzéséhez megfelelően strukturált adatbázisokra, adattárházra és modellekre (logikai és fizikai) van szükség, így ezen a helyen szükséges rámutatni a gyakran nem megfelelően használt fogalmakra, azok lényegi különbségére.

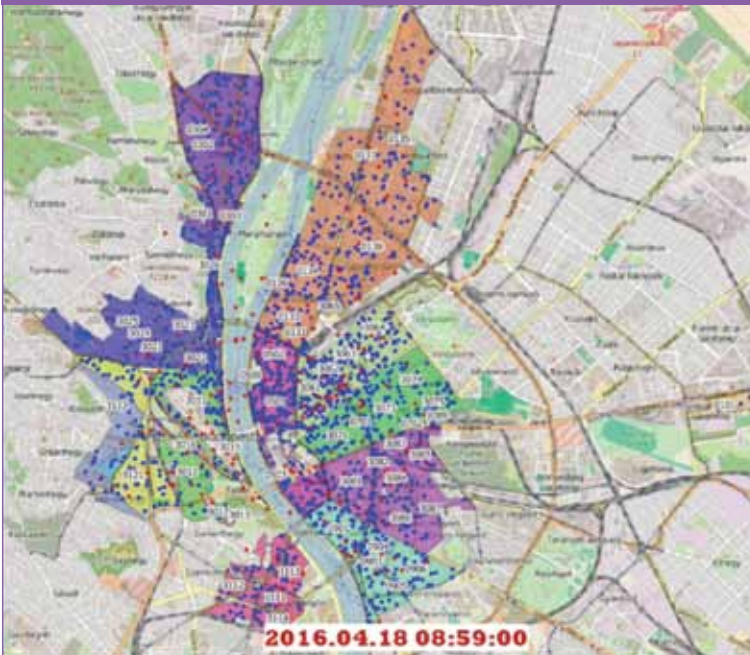
Az adattárházak fogalmának tisztázásakor talán legtöbbször Bill Inmon [6] és Ralph Kimball [7] definícióját idézik. A gyakran az adattárházak atyjaként is emlegetett Bill Inmon az adattárházat technológiák gyűjteményének definiálja: az adattárház az adatok egy témaorientált, integrált, tartós és időfüggetlen, a vezetői döntések támogatására létrehozott kollekcója.

Kimball szerint az adattárház egy adott szervezet azon adatgyűjtő és -szolgáltató részeit foglalja magában, ahol a működési adatokat újrastrukturálják riportkészítési, jó teljesítményű és egyszerűen kezelhető elemzésekhez.

Az adatbázis és az adattárház fogalmának helyes értelmezésére Halassy Béla definíciói is

jól alkalmazhatók [8]. Az adatbázis az adatok olyan rendszere, amelynek felhasználó osztozik, és az ismeretek egymással alkotott természetes összefüggéseik szerint szervezettek, de függetlenek a feldolgozó programoktól. Az adattárház az a speciális adatbázis, amely az adatokat lekérdezési, elemzési műveletekre optimalizált szerkezetben tárolja; a kiszolgált vezetési szintek igényeinek megfelelően aggregált adatokat is tartalmaz; valamint különböző forrásokból nem tranzakciónként, hanem adott periódusonként és az adatértekek történetiségének megőrzésével frissül.

1. ábra: : Parkolási zónák közötti mozgások elemzése a mobilfizetési tranzakciók alapján [5]



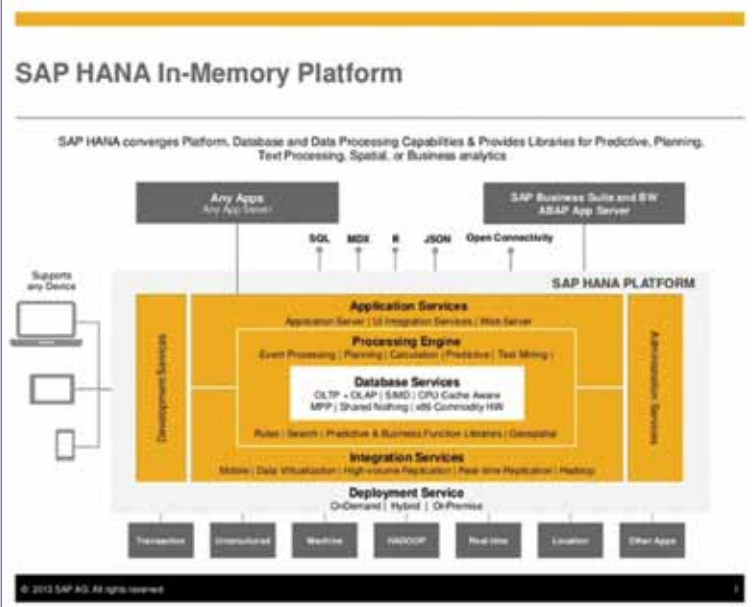
A Nemzeti Mobilfizetési Zrt. az általa működtetett mobilfizetési rendszerben keletkező közterületi parkolóhoz kapcsolódó tranzakciók adatainak hasznosítására elindított pilot projektben az SAP HANA platformot alkalmazta.

A pilottal szemben a következők az elvárások [1]:

- a Nemzeti Mobilfizetési Rendszerben (NMFR) használatos vezetői statisztikák készítése,
- nagy mennyiségű adathalmazon végzett ad-hoc analitikák készítése,
- adathalmaz vizsgálat alapján korrelációk, összefüggések feltárása, prediktív modellezési lehetőségekre javaslattevés és ezek bemutatása,
- valós idejű feldolgozás lehetőségeinek vizsgálata,
- éles NMFR adatok az SAP HANA rendszerben történő feldolgozása.

Az adatok platformban való hasznosíthatóságának komplexitását és a rendszerben rejlő

2. ábra: Az SAP HANA In-Memory Platform felépítése (forrás: SAP)



lehetőségeket jól mutatja, hogy a pilot során összesen 27 mutatószám és 43 különféle dimenzió került meghatározásra (1. és 2. táblázat). Ezek a mutatószámok és dimenziók a későbbiekben a pilot tapasztalatai alapján az adattárház céljainak megfelelően természetesen módosíthatók, bővíthetők.

Az SAP Lumirában történő riportkészítésre, megjelenítésre a létrehozott és publikált di-

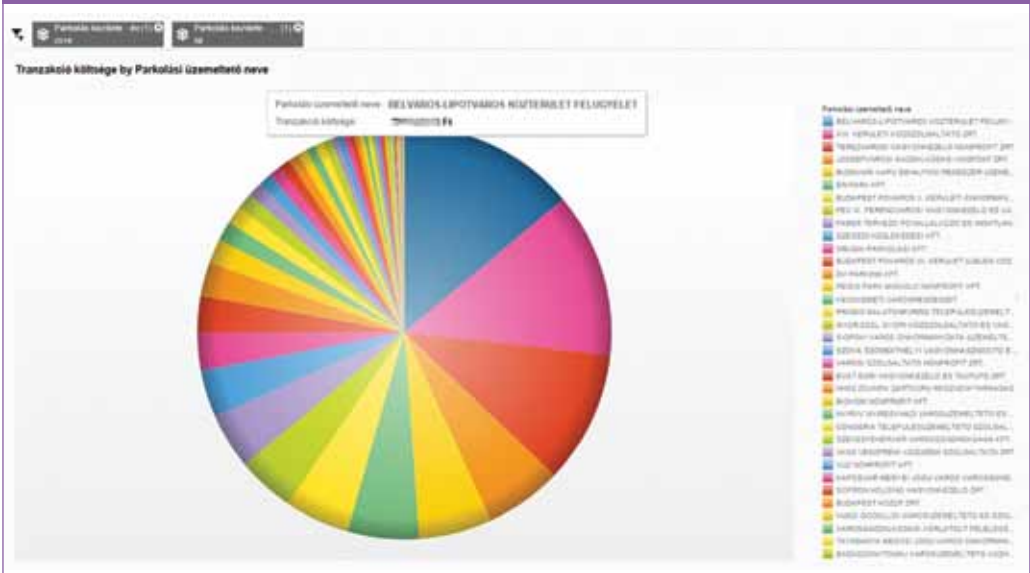
1. táblázat: A definiált 27 db mutatószám az NMFR rendszer adathalmazán

Mutatószám (27 db)	Típus
14	Átlag
15	Átlag
18-21	
<ul style="list-style-type: none"> tranzakció száma tranzakció összege (fizetett d) díjfizetés módja (szájt egyfel/vízszelaladó) <ul style="list-style-type: none"> esetként SMS bankkártya web vízszelaladó 	

2. táblázat: A definiált 43 db dimenzió az NMFR rendszer adathalmazán

Dimenziók (43 db)	Típus
1-10	időpont
11-20	időpont
21-23	időpont
24-43	
<ul style="list-style-type: none"> parkolás kezdete (hierarchikus dimenzió): év; negyedév; hónap; hét; nap; óra; mászó; perc; mászóperc árlát nagys tényleges parkolás idő szélesség, mélység parkolási územeltető/tulajdonos információkat jármű adatai (rendszám, felhívás, kategória) viszontaladó színe (nev, kódja) egyéb, nem részletezett dimenziók 	

3. ábra: Parkolási közszolgáltatók bevételei - kördiagram



menziók, mutatószámok mentén van lehetőség. A riportkészítések alapja lehet a tranzakciószám és költség adat, amelyek a különböző dimenziók szerinti bontásban megjeleníthetők, elemezhetők.

A mutatószámok és dimenziók összekapcsolt lekérdezéseket és vizualizációt tesznek lehetővé az SAP Lumira moduljának alkalmazása révén. A következő ábrákon megismerhetők az eszköz képességei.

A 3. ábra szemléletesen mutatja egy tetszőlegesen kiválasztott időszakra a parkolási közszolgáltatók részesedését a mobilparkolásban. (Az összes adatvédelmi szempontok miatt kitaraktuk.)

A 4. és 5. ábra nem csupán a parkolás indítások időbeli eloszlását mutatja, hanem ezen mutatókon keresztül az NMFR terhelését is.

4. ábra: Tranzakciók száma a hét napjai szerint - oszlopdiaagram



A HANA az adatbázisába áttöltött, az NMFR működése során keletkező adatok hasznosításával további lehetőséget kínál arra is, hogy a korábbi pénzügyi teljesítések idősorai (szezonális összefüggések), valamint egyéb paraméterek, adatok (pl. város nagysága, motorizáció mértéke) elemzése és vizsgálata alapján az üzleti tervezéshez megbízható alapot nyújtson, ezen felül a rendszerrel kapcsolatos jogszabály-módosítási elképzelések, scenáriók hatásainak modellezéséhez is technikai háttérrel adhat.

5. ábra: : Tranzakciók száma 08-20 óra között félórás bontásban - oszlopdiagramok



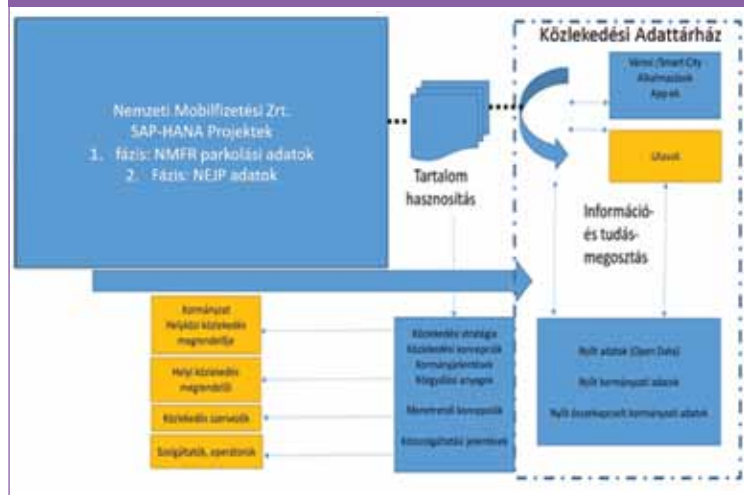
2. A NEJP ÉS NMFR ADATHALMAZAINAK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI EGY KÖZLEKEDÉSI ADATTÁRHÁZ KI-ALAKÍTÁSÁVAL

Az SAP HANA pilot eddigi tapasztalatai alapján a NEJP valós idejű adatainak hasznosítá-

sa egy közlekedési adattárház kialakításával biztosítható a legcélszerűbb módon, az ehhez vezető folyamatot a 6. ábra mutatja.

Az adattárházban előkészített és vizualizált adatok tartalomhasznosítása a közösségi közlekedés releváns szereplői számára lehetővé

6. ábra: Közlekedési adattárház kialakításának folyamata



teszi, hogy hazánkban elkezdődjön a digitális átállás a közlekedési szektorban, és létrejön a közlekedési szolgáltatók összehangolt tevékenységén alapuló együttműködő, intelligens közlekedési rendszer (C-ITS). A közlekedési adattárház egyaránt kiszolgálja adatokkal a közlekedési szolgáltatások megrendelőit (közlekedési kormányzat és önkormányzatok), az általuk megbízott közlekedés szervezőket, a közlekedési szolgáltatásokat nyújtó közszolgáltató-

kat, alvállalkozóikat és a közösségi közlekedési szolgáltatások igénybe vevőit, azaz az utasokat. Az adattárházhoz kapcsolódhatnak olyan, például felhőalapú szolgáltatások, amelyek a megrendelők és közlekedésszervezők számára stratégiai döntéseket, koncepciókat alapozhatnak meg, támogatják a közlekedési alágazatok együttműködését, a menetrendek összehangolását, a vizualizált adatokkal könnyen áttekinthetővé teszik a közszolgáltatásról szóló jelentéseket, beszámolókat. Az adatok meghatározott köre bevonható a nyílt és/vagy nyílt-összekapcsolt kormányzati adatok körébe, felhasználható a smart városi szolgáltatások kialakításához, korszerű utastájékoztatáshoz, utazástervezéshez. Az információk és a tudás megosztása révén szolgálhatja a digitális jólét program megvalósulását a közösségi közlekedés területén. Az adattárház nyújtotta komplex adatszolgáltatás elengedhetetlen az olyan korszerű közlekedési megoldások hatékony bevezetéséhez is, mint például az igényvezérelt közlekedés (DRT-rendszerek) és mobilitási szolgáltatás (MaaS – Mobility as a Service). Az összekapcsolható adatok körét növelheti például a városkártyák felhasználásával kapcsolatos információk bevonása a közlekedési adattárházba, amely a közlekedéshez közvetlenül vagy közvetve kapcsolódó tevékenységek megismerését is segítheti.

A közlekedési adattárház révén a szakadásmentes egyéni utazástervezés és optimális mobilitási megoldás kiválasztása kiegészülhet más, az adattárházban hasznosuló nyílt, összekapcsolt adat hasznosításával, azaz komplex szolgáltatási lánc válik tervezhetővé, lefoglalhatóvá (helyfoglalás, szolgáltatásfoglalás, parkolás, jegyigénylés) és korszerű mobilfizetési megoldással megvásárolhatóvá. A közhiteles adatok összekapcsolása révén az állam által nyújtott kedvezmények jogszerű igénybevétele és a közszolgáltató közlekedési rendszer fenntarthatóságára gyakorolt hatása is ellenőrizhető.

A Nemzeti Mobilfizetési Rendszer és a Nemzeti Elektronikus Jegyrendszer Platform fejlesztésének is kiemelt stratégiai célja a fenti példákhoz hasonló olyan lehetőségek kiaknázása, amelyek támogatják a technológiai és közpolitikai innovációt, az együttműködést, a pro-

duktivitást, a méretgazdaságosságot és a folyamathatékonyságot. Ennek részeként kiemelt szempont az operáció során keletkező adatvagy felhasználásának támogatása az éles és pilot működésből származó anonimizált adatok innovatív módon, közpolitikai célból történő alkalmazási lehetőségeinek minél szélesebb körű feltárása és kiaknázása. A szélesebb körű feltárás és kiaknázás operatív megvalósítása történhet például a piaci szereplők számára szabad hozzáférésű adatok biztosításával vagy a belső elemzési kapacitás fejlesztésével (pl. szolgáltatók dinamikus árazásának vagy gördülő tervezésének támogatására).

Az MIT Sloan Management Review és az IBM közös New Intelligent Enterprise Global Executive kutatása [9] is kiemeli, hogy a fejlett adatelemzés versenyképességi kulcs tényező. A szervezetek többségénél – a közhiedelemmel ellentétben – azonban nem az adatgyűjtés módja jelenti az adatelemzés széles körű elterjedésének legnagyobb akadályát, hanem (1) azon ismeretek hiánya, hogy miként lehet az adatelemzést használni az üzleti működés támogatására, vagy mert (2) más menedzsment prioritások miatt háttérbe szorul.

Az NMFR és a NEJP adathalmazainak hazai hasznosítása abban az esetben válhat nemzetközi szinten is példaértékűvé, amennyiben az adatelemzés a múltbeli adatok vizsgálata mellett mielőbb alkalmassá válik (és alkalmazásra kerül) a jövőben szükséges stratégiai és operatív lépések megalapozására. Ennek érdekében az adatgyűjtés, előkészítés, elemzés-hasznosítás terén olyan erős gyakorlatot szükséges kiépíteni, amely az MIT kutatásában résztvevő élenjáró társaságokat jellemzi, azaz az adatelemzés napi alkalmazása köré szükséges építeni az operatív és a hosszú távú döntéselőkészítési folyamatokat.

A közlekedési adattárház hasznosításának egyik legnagyobb kihívása, hogy valódi üzleti és/vagy közpolitikai értékteremtést biztosítson, ezért az adatelemzés hasznosításának kiemelten eredményorientáltak kell lennie. Az MIT kutatói ezt az adat-elemzés-cselekvés hármasának folyamatos körforgásával látják biztosíthatónak, amely minden esetben az üz-

leti hasznosulást tartja szem előtt. Ennek értelmében, az adatelemzési modellek, folyamatok és alapadatok az üzleti igények szerint kerülnek elfogadásra, elvetésre vagy átdolgozásra, és az elemzések eredményei folyamatosan egyre bővülő mértékben épülnek be a mindennapi folyamatokba. A 6. ábrában szemléltetett „tartalom hasznosulás” tehát nem egy statikus állapot és inkrementálisan módosuló eredménytermékek (pl.: közszolgáltatási jelentések, menetrendi koncepciók, közlekedésforgalmi kimutatások) összessége, hanem egy elemzésorientáción alapuló újszerű állami vállalati működést jelent.

Szintén fontos eredménye az MIT kutatásnak, hogy az elemzésorientált vállalati menedzsment által alkalmazott eszköztár folyamatosan átalakuláson megy keresztül, amelyet az adatelemzések üzleti hasznosításának igénye indukál. Így folyamatosan háttérbe szorulnak a sztenderd adatszolgáltatások és azok vizualizációjára épülő megoldások, és előtérbe kerülnek az üzleti szimulációk, szcenárió-képzések, az üzleti folyamatokba közvetlenül beépülő elemzések. A vizualizáció mellett tehát kiemelt szereppel bír a magasabb szintű statisztikai módszereken (pl. regresszió elemzés) alapuló döntési alternatívák előkészítése.

Kiemelt szempontként kell kezelni, hogy a közlekedési adattárházat tényleges kihívások mentén, fókuszáltan alakítsák ki, azaz olyan adatok elemzésére koncentrálnak, amelyek hasznosítása a legnagyobb lehetőséget tartogatja az ágazat szereplői számára. Ennek megalapozására Lavalée és szerzőtársai „Proof-of-value” típusú pilot projekteket [9] javasolnak, amelyek becsült biztosítanak a potenciális megtakarítás vagy additionális értékkeremtés tekintetében. A lehetséges opcióknak pedig illeszkedniük kell a vállalati/közpolitikai stratégiához, és az aktuális képességekhez olyan célokat kell választani, amelyekre reálisan választ adhatnak az ismert adatelemzési módszerek.

Hiába fejlődtek azonban az általános adatelemzési képességek (elérhető adatok mennyisége, adattárolási és számítási teljesítmény, adatelemzési módszerek és eszközök) exponenciálisan, az előzőekben részletezett szem-

pontok egyeztetése és az optimális megoldások megtalálása nemzetközi szinten is óriási kihívást jelent. A McKinsey kutatása [10] szerint a legtöbb vállalat az adatgyűjtés-elemzés potenciális értékének csak töredékét realizálja, és az európai közszektorban, amely a közlekedési adattárház szempontjából releváns összevetés, a lehető legrosszabb az eredmény, mindösszesen a potenciális érték 10-20%-a teljesül.

A McKinsey szakértői – amellet, hogy az MIT kutatáshoz hasonlóan szintén jelentős korlátként azonosítják, hogy sok vállalat csak nehezen integrálja napi operatív folyamataiba az adatelemzéseket – kiemelik, hogy az adatelemzés egyben a versenypiaci feltételeket is jelentősen átszabja. Az élenjáró vállalatok nem csak operációjukat építik fejlett adatelemzésre, hanem teljes üzleti modelleket, digitális platformokat építenek azokra. Ezeket a platform alapú piacokon pedig a piacvezető mellett a további szereplők csak korlátozottan érvényesülhetnek. A McKinsey tanulmánya arra hívja fel a figyelmet, hogy bár az adatok egyre inkább elérhetőek, azonban az értékteremtés azon adatgazdánál csapódik le nagyobb mértékben, amelyek ritka adatokkal rendelkeznek és/vagy azokat újszerűen aggregálják és/vagy azokból értékes adatelemzéseket készítenek.

Az előzőek gyakorlati átültetése érdekében a közlekedési adattárház kialakításáért és működtetésért felelős társaságnak birtokában kell lennie annak a tudásnak, hogy miként lehet a fejlett adatelemzési technikákat az értékteremtést szolgáló döntések megalapozásához alkalmazni. A Boston Consulting Group (BCG) szakértői [11] is rámutatnak, sok vállalat azért nem tudja megfelelően kiaknázni az adatelemzési technikákat, mert már a lehetőségek feltérképezése is kihívást jelent számukra. A BCG szakértői által alkalmazott adatelemzési kategóriák a múltbeli adatok elemzésétől, a modellezésen keresztül az optimalizálásig terjednek. A közlekedési adattárháznak képesnek kell lennie minden ezen felhasználási céloknak megfelelni, azaz az információ/tudás megosztásán túlmenően olyan hatékony modellezést kell támogatnia, amely lehetővé teszi az üzleti környezetet befolyásoló változók hatásának vizsgálatát

(pl. mobilparkolásnál a kényelmi díjnak az alkalmazott parkolási óradíjtól függő, vagy a parkolási óradíjak napszaktól, forgalomtól függő eltérésének bevételekre gyakorolt hatása). Fontos az is, hogy a modellezési tapasztalatok alapján tényleges optimalizálási megoldások szülessenek.

A BCG szakértői is rámutatnak azonban arra, hogy nem elegendő matematikai algoritmusokkal alátámasztott döntési opciókat előállítani (pl. szolgáltatási lánc tervezésére vagy annak dinamikus árazására), hanem alkalmazásukat tudatosan és következetesen kell kiterjeszteni, ami szükségessé teheti az adattárház kialakító és felhasználó állami tulajdonú társaságok részére új típusú, a fejlett adatelemzési folyamatok alkalmazásához kapcsolódó teljesítményindikátorok (KPI-k) kidolgozását is.

Az OECD 2015. évi jelentése [12] alapján a közlekedésben keletkező és felhalmozódó adatmennyiség alapvetően átalakítja az ágazatot. Az alacsony költségű adatgyűjtés és -feldolgozás, valamint az új elemzési algoritmusok a valóság jobb megértését fogják biztosítani, és a jelenlegi adatforrásokat idővel nem kiegészítik, hanem leváltják. Ezen adatok értelmezéséhez azonban az adatgazdáknál is ki kell építeni a szükséges kompetenciákat, azaz mind forrás-, mind felhasználói oldalon bővíteni kell a humán erőforrás „adatműveltségét”, amivel lehetővé válik, hogy az adatelemzés valós problémákra keressen reális opciókat és ebben az állami és piaci szereplők innovatív adatmegosztási együttműködésekkel alakítsanak ki és túlmutassanak a klasszikus szolgáltató-felhasználó típusú viszonyrendszeren.

Mindez miért nem kerülhető meg egy közlekedési adattárház kialakítása kapcsán?

A McKinsey szakértői szerint a közlekedési ágazatban a „hyperscale” digitális platformok nyújtanak megoldást a kereslet-kínálat gyakori fluktuációjára, a szolgáltatói kapacitások megfelelő kiaknázására és a gyenge jelzési mechanizmusok ellensúlyozására. Amennyiben az állami oldalon ezen kihívásokra nem sikerül hatékony válaszokat adni, az ágazat vagy tartósan eselik jelentős növekedési potenciáltól,

vagy helyét piaci szolgáltatók platform megoldásai fogják biztosítani. Utóbbi esetben az Uberhez hasonló technológia cégek disruptive megoldásait kellene rendszerszinten integrálni, amely még a fentieknél is nagyobb kihívást jelent, tekintettel arra, hogy ez hasonló rendszerszintű kompetenciákat igényel az ágazat szereplőitől, azaz minden lehetséges szcenárió közös jellemzője, hogy a jelenlegi adatelemzési folyamatok és képességek fejlesztése nem megkerülhető.

3. A NEMZETI ELEKTRONIKUS JEGYRENDSZER PLATFORM MŰKÖDÉSE SORÁN KELETKEZŐ KÖZLEKEDÉSI ADATHALMAZOK FAJTÁI, JELLEMZŐI ÉS KEZELÉSÜK

A pilot projekt tapasztalatainak felhasználásával a Nemzeti Elektronikus Jegyrendszer Platform (NEJP), sőt ezen túlmenően az országosan egységes elektronikus jegyrendszer üzemszerű működését megelőzően definiálni szükséges az adatstruktúrákat, a mutatószámokat és dimenziókat.

Áttekintve a kialakuló adathalmazokat, a mai Volán járműállománnyal kalkulálva, a szolgáltatások megvalósulásával és a flottakövetési feladatokkal közvetlen összefüggő adatok éves szinten nagyságrendileg mintegy 5-10 TByte nyers (7000 járművet és nagyságrendileg 150 MByte járművenkénti havi adattömeget feltételezve), mérésből származó adatot eredményeznek. Az adatábrázolás megvalósításától függően, ezen adatcsoportok természetesen kiegészülnek a díjtermékek megvásárlásának és felhasználásának – évi többszázmillió – tranzakciós adataival, amelyek volumene fokozatosan emelkedik az elektronikus utasmédiák elterjedésével párhuzamosan.

A közlekedési adattárház a különböző jellegű – például hálózati, menetrendi, járműkövetési és a jegyrendszeri tranzakciós, kedvezményfelhasználási – adatok összevezetése által építhető fel, kiszolgálva a komplex adatelemzési és adatbányászati célokat.

A NEJP projekt megvalósítási szakaszában a megépülő NEJP-központ és a szolgáltatóknál

3. táblázat: Tervezett mutatószámok a NEJP rendszer adathalmazán

	Mutatószámok	Típus
1	Utasszám (felszálló, leszálló, tovább utazó, várakozó, lemaradó)	összeg
2	férőhely km, utas km	összeg
3	Menetek (járatok) száma	összeg
4	díjbevételek értéke	összeg
5	Értékesített ill. felhasznált díjtermékek mennyisége	összeg
6	Utazási távolság, díjkezesi távolság	átlag
7	SLA értékek - pontos, késett, siető járatok száma - normál, zsúfolt, utashiányos járatok száma - incidensek száma (human, műszaki, forgalmi) - utaspanaszok száma	összeg
8	Kirótt ill. beszedett pótdíjak értéke és darabszáma	összeg
9	Indokolt költségek megtérítése	összeg

(Volánbusz és DKV) kiépülő pilot projektek, a teljes Volán szolgáltatói portfólióra történő kiterjesztése és az országos szintű integráció (MÁV, BKK) folyamatos feladatot jelent a közösségi közlekedési adattárhálózattal szembeni elvárásrendszer megfogalmazásában és fejlesztésében mind az adatok előállítás, kezelése, előkészítése és tárolása, mind az üzleti intelligencia által nyújtható eredmények szempontjából.

A 3. és 4. táblázatok az adatstruktúrák mutatószámain és dimenzióin keresztül szemléltetik a rendszerben rejlő potenciális lehetőségeket.

Az előzőekben bemutatott lehetőségeket figyelembe véve nem meglepő, hogy a közlekedési szektorban működő tudományos kutatók és nem utolsósorban az üzleti hasznosítók – pl. diszruptív szolgáltatások fejlesztői – már türelmetlenül várják egy komplex közlekedési adatszolgáltatás létrejöttét és a „big data” adatokhoz való hozzáférés lehetőségét, mivel ezen adatokat felhasználva a korábbi módszereiket és szolgáltatásaikat továbbfejleszthetik, illetve új megoldásokat és a jelenleginél lényegesen komplexebb szolgáltatásokat fejleszthetnek.

Egy ilyen rendszerből származó információk felhasználhatóságát példázza a győri Széchenyi István Egyetem korábban már több konferencián és szakkonferencián is publikált kutatása [13], amely rámutat a nagy mennyiségű és jó minőségű adat rendelkezésre állásának szükségességére.

7. ábra: Megállók klaszterei tulajdonságok és távolság alapján



4. táblázat: Tervezett dimenziók a NEJP rendszer adathalmazán

	Dimenziók	Típus
1	Időpontok (hierarchikus dimenzió) év; negyedév; hónap; hét; nap; óra; félóra; negyedóra; perc;	időpont
2	Időszakok (pl. reggeli csúcsidő, csúcsidőn kívül, esti csúcsidő)	időszak
3	Megálló csoport (hierarchikus dimenzió) megálló, megálló terület, zóna, település, közigazgatási terület, elővárosi térség, járás, megye, közlekedési régió, ország	terület
4	Vonali csoportok (hierarchikus dimenzió) vonalcsoportok, vonal, járat	terület
5	Viszonylat	terület
6	Utazási távolság, díjővezeti távolság	távolság
7	Közlekedési mód (vasút, közút, vízi)	felsorolás
8	Közlekedési eszköz (hierarchikus dimenzió) jármű típus, jármű altípus, jármű	felsorolás
9	Szolgáltatási kategória (helyi, elővárosi, regionális, országos)	felsorolás
10	Ellátásért felelős, Közlekedés szervező	felsorolás
11	Közlekedési szolgáltató (hierarchikus dimenzió) Vállalat, üzemegység, gépjárművezető	felsorolás
12	kedvezmény kategória	felsorolás
13	Komfort fokozat	felsorolás
14	Járatok fajtája (menetrendszerinti, másodrész, szerződéses)	felsorolás
15	Díjtermék fő típusok (pl. jegy, bérlet, idő alapú jegy)	felsorolás
16	Díjtermék fajták	felsorolás
17	Értékesítés csatornák (fedélzeti, jegypénztári, online)	felsorolás
18	Alkalmazott utasmédiák (papír, elektronikus kártya, mobil applikáció, stb.)	felsorolás
19	Értékesítő szervezet (hierarchikus dimenzió)	felsorolás

A közforgalmú közlekedésben generálódó adatok elemzését és felhasználását bemutató fenti esettanulmányban a Ward-módszert alkalmazták a megállók klaszterezésére. A pontosabb eredményekhez és a módszer verifikálásához azonban a kutatóknak nagyobb adathalmazra van szüksége, amely ideális esetben alapulhat a közlekedési adattárházon keresztül elérhető, elektronikus jegyrendszerből származó adatokon. Az ilyen adatokhoz a hozzáférés a közlekedési adattárház szolgáltatásaként alakítható ki.

A leírtak tehát arra irányítják rá a közlekedési és közlekedésinformatikai szakma figyelmét, hogy bár számos innovatív és tudományos megoldás vált ismertté a hazai szakemberek ez irányú tevékenysége révén, ideje ezeket integrálni és a közösségi közlekedés javítására rendszerbe állítani.

Reményeink szerint a jelen szakmai összefoglaló is elősegíti az adatvezérelt intelligens megoldások térnyerését a nemzeti közlekedési rendszerben.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] VERES Mihály-SÁRKÓZI György Tibor: A Nemzeti Mobilfizetési Rendszerben (NMFR) keletkező nagy mennyiségű adathalmazon végzett ad-hoc analitikák vizsgálata és fejlesztése, Közlekedéstudományi Szemle LXV évfolyam 5. szám, 2016. október
- [2] SZÚCS Lajos: A közlekedési adatok és az alkalmazott információtechnológiák megújulása, Közlekedéstudományi Szemle LXV évfolyam 5. szám, 2016. október
- [3] CSEREPES Tamás-SZÚCS Lajos: A HUGO megtett úttal arányos elektronikus útdíjrendszer adatainak újrahasonosítása, Közlekedéstudományi Szemle LXVI évfolyam 3. szám, 2016 június
- [4] HORVÁTH Márton Tamás – TETTAMANTI Tamás – VARGA István: Közúti eljutási idő becslésének lehetősége adatfúziós technikával városi úthálózaton
- [5] ROÓSZ Tamás: Országos egységes elektronikus jegyrendszer -NEJP, előadás a Nemzeti Közlekedési Napok konferencián, Debrecen, 2016.
- [6] INMON, Bill: Building the Data Warehouse, Wiley, (1992), ISBN 0-471-56960-7
- [7] KIMBAL, Ralph: The Data Warehouse Toolkit, Wiley, (2011), ISBN 9780470149775
- [8] HAVASSY Béla: Az adatbázis tervezés alapjai és titkai, (1994)
- [9] LAVALLEE, Steve et al: Big Data, Analytics and the Path From Insights to Value. 2011. MIT Sloan Management Review Vol. 52 No. 2
- [10] HENKE, Nicolaus et al: The Age of Analytics: Competing in a Data-Driven World. 2016. McKinsey & Company
- [11] SRIVASTAVA, Ravi et al: Using Advanced Analytics to Improve Operational Decisions. 2016. BCG Perspectives.
- [12] OECD: Big Data and Transport: Understanding and assessing options. 2015.
- [13] NAGY Viktor - HORVÁTH Balázs: Bigdata a közforgalmú közlekedésben a megállóhelyi utasforgalmak példáján. Széchenyi István Egyetem, Győr, 2015.



The support of management and operation decisions affecting the transport system, with the development of a traffic data warehouse connected to an electronic ticketing system

The National Electronic Ticketing Platform (NEJP) has been established in the framework of a modern, interoperable public service system that aligns with the renewable concept and strategy of domestic public transport. NJEP creates such an amount of real-time data with the gradually entering traffic service providers (Volán bus services, MÁV, BKK), that the utilisation of this mass of data makes the establishment of a National Transport Data Warehouse inevitable.

This paper attempts to remind transport and traffic information professionals that although a great number of innovative and scientific solutions have become known due to the efforts of domestic experts in this field, it is time to integrate them and synthesize them in order to improve public transport.

We hope that this technical summary also promotes the spread of data-driven, intelligent solutions for in the national transport system.



Die Unterstützung von den Management-und Betriebsentscheidungen für den öffentlichen Verkehr mit der Entwicklung einer Verkehrsdatenbank, die mit einem elektronischen Fahrkartensystem verbunden ist

Der Nationale Elektronische Fahrkartenplattform (NEJP) wurde im Rahmen eines modernen, interoperablen öffentlich-rechtlichen Systems eingerichtet, das sich an das erneuerbare Konzept und an die Strategie des öffentlichen Verkehrs im Ungarn anpasst. NJEP erstellt mit den schrittweise eintretenden Verkehrsdienstleistungs-Unternehmen (Volán-Betriebe, MÁV, BKK) eine solche Menge von Echtzeitdaten, dass die Nutzung dieser Datenmasse die Einrichtung einer nationalen Transportdatenbank unvermeidlich macht. Auf Grund der hier beschriebenen, es wird für die Fachleute im Verkehrswesen und in der Verkehrsinformatik betont, dass obwohl eine große Anzahl von innovativen und wissenschaftlichen Lösungen aufgrund der Bemühungen der einheimischen Experten in diesem Bereich bekannt geworden sind, es ist höchste Zeit, sie zu integrieren und synthetisieren und für die Verbesserung des öffentlichen Verkehrs in System zu stellen.

Wir hoffen, dass diese technische Zusammenfassung auch die Verbreitung von den datengetriebenen, intelligenten Lösungen im nationalen Verkehrssystem fördert.

Közlekedésbiztonság - Közlekedési környezetvédelem

Prof. Dr. Holló Péter

kutató professzor, az MTA doktora
Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.
e-mail: hollo.peter@kti.hu

A közúti közlekedésbiztonság néhány aktuális kérdése

A közlekedésbiztonság javítása rendkívül összetett, folyamatos és egyben költséges feladat. Az előrelépés alapfeltétele a „helyzet” részletes ismerete, a kritikus részek, összetevők feltárása, amelyek segítségével a teendők is meghatározhatók.

1. KÖZÚTI BIZTONSÁG MAGYARORSZÁGON 2016-BAN

Az 1. ábrán jól látható, hogy 2013-tól (a személy sérüléssel járó közúti balesetek tekintetében 2012-től) megszűnt a javulás, a közúti biztonság helyzete romlik. 2006-tól 2013-ig csökkent a közúti balesetek halálos áldozatainak száma, 2014-ben és 2015-ben azonban már növekedett. A személy sérüléssel járó közúti balesetek száma már korábban, 2012-től emelkedni kezdett.

1. ábra: A forgalomba helyezett közúti gépjárművek, a személy sérüléssel járó közúti balesetek és az ezek következtében meghaltak száma Magyarországon 1976-tól 2015-ig. (A közúti biztonság fő szakaszai)



Ilyen előzmények után különösen kedvező, hogy a közúti baleset következtében meghaltak 2016. I. féléves száma 10,2%-os mérséklődést mutat [1].

Személy sérüléssel járó közúti balesetek:	7507	(+2,4%)
Halálos áldozatok:	264	(-10,2%)
Súlyos sérültek:	2449	(-0,2%)
Könnyű sérültek:	7079	(+4,2%)
Ittasan okozott balesetek száma:	738	(+8,4%)

A híradások arról szóltak, hogy ez a javulás a 2016. április 1-jén üzembe helyezett intelligens „VÉDA” kamera rendszernek köszönhető [2]. Ennek vizsgálatára külön elemeztem a 2016. I. és II. negyedévi adatokat.

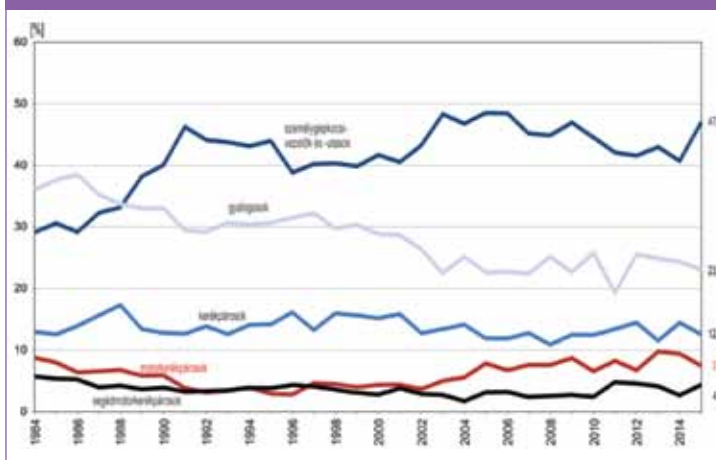
	I. né.	II. né.	I. félév
2015	152	142	294
2016	135	129	264
	-11,18%	-9,15%	-10,2%
	(-17 fő)	(-13 Fő)	(-30 fő)

Az adatok alakulása azt mutatja, hogy a közúti baleset következtében meghaltak száma az I. negyedévben 11,18%-kal, míg a másodikban 9,15%-kal csökkent. A mérséklődés üteme tehát az első negyedévben (a kamerák még nem üzemeltek, de már a közvéleményt tájékoztatták róluk) nagyobb volt, mint a másodikban (amikor a kamerák már üzemeltek).

Mindez valószínűleg azt jelenti, hogy már a kamerák telepítésének híre is kedvező hatást gyakorolt a gépjárművezetők szabálytiszteletére, így a közúti biztonságra helyzetére.

A legfrissebb végleges adatok azt mutatják, hogy a kedvező hatás 2016 harmadik negyedévében is érvényesült. 2016. január és szeptember között 12 441 személysérüléses közúti baleset történt Magyarországon, a KSH honlapján közzétett adatok szerint. Ezek következtében 422 személy vesztette életét, ami közel 10%-os csökkenést mutat az előző év azonos időszakához képest [1].

2. ábra: A közúti baleset következtében meghaltak számának megoszlása a forgalomban való részvétel módja szerint



A 2. ábrából kiderül, hogyan oszlik meg a közúti balesetek halálos áldozatainak száma aszerint, hogy milyen módon vettek részt a közúti forgalomban. A legtöbbben személygépkocsi vezetőjeként vagy utasaként szenvedtek halálos kimenetelű sérülést. E csoport növekvő – 2003-ban már csaknem 50%-os – részarányát 2014-ig közel 10%-kal sikerült csökkenteni, amiben bizonyára nagy szerepet játszott az ebben az időszakban növekvő biztonságiöv-viselési arány. Sajnos 2015-ben újra 47,3%-ra nőtt a személygépkocsiban meghaltak részaránya. A 2015 végi felmérések egyértelműen utaltak arra, hogy ez a növekedés alapvetően a jelentősen (mintegy 10%-kal) csökkent biztonságiöv-viselési arányokra vezethető vissza [3]. 2016 elején, kisebb minta elem-

zésekor azonban már az általános tapasztalat az volt, hogy a biztonsági övet viselők aránya újra növekedett, gyakorlatilag „visszamaszott” a korábbi értékre [4]. (A cikk további részében ezzel is foglalkozom majd.)

A hazai adatok elemzése csak arról adhat felvilágosítást, hogy „saját magunkhoz képest” sikerült-e javulást elérni. Ahhoz, hogy más országokhoz képest értékelhessük Magyarország közúti biztonságát, nemzetközi összehasonlításra van szükség. Noha elméletileg a lefutott járműkilométerek száma lenne a legjobb mérőszám a veszélyeztetettség kifejezésére, a gyakorlatban viszonylag kevés ország rendelkezik megbízható, a teljes közúthálózatra kiterjedő futásteljesítmény adatokkal. Sok országban csupán becslik ezt az adatot, ami eleve több-kevesebb bizonytalanságot rejt.

Mivel jelenleg még csak a baleseti halottak száma használható torzításmentes összehasonlításra, egyelőre két mutató terjedt el. Az egyik az ún. személyi biztonságot fejezi ki. Ez a mortalitás, ami a baleseti halottak népességre vetített számát jelenti (meghaltak/100 ezer lakos). A másik a közlekedésbiztonság szintjét jellemzi. Ez a halálozási mutató (meghaltak/10 ezer gépjármű).

A szakmai gyakorlatban sajnálatos módon szinte kizárólag az elsőként említett mérőszámot alkalmazzák, annak ellenére, hogy ez nem veszi figyelembe az egyes országok motorizációs szintjei közötti különbséget. Elvileg ezt csak akkor lehetne torzításmentesen használni, ha valamennyi ország motorizációs szintje azonos lenne, márpedig tudjuk, hogy ez távolról sincs így. Mégis, egyszerűsége miatt a legtöbb esetben ezt az egyetlen mutatót használják. Ennek alapján készült nemzetközi összehasonlítást mutat a 3. ábra.

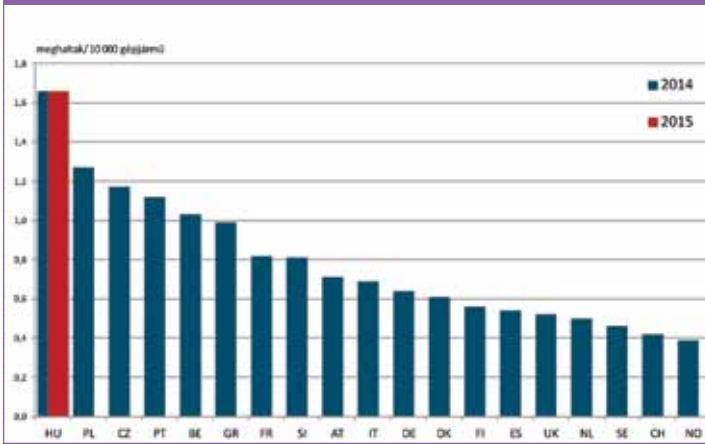
3. ábra: A mortalitás (meghaltak / 100 000 lakos) 2014-2015. évi értékei néhány OECD tagországban (Adatok forrása: IRTAD: International Road Traffic and Accident Database [5])



Az ábrát szemlélve megállapítható, hogy a 2014. évi adatok alapján csupán Belgium, a Cseh Köztársaság, Görögország és Lengyelország értéke kedvezőtlenebb a hazainál. Ráadásul a 2015. évi magyar adat növekedést mutat 2014-hez képest. Ez a mutató a viszonylag alacsony motorizációs szintű országokat – mint amilyen Magyarország is – kedvezőbb helyzetbe is hozza.

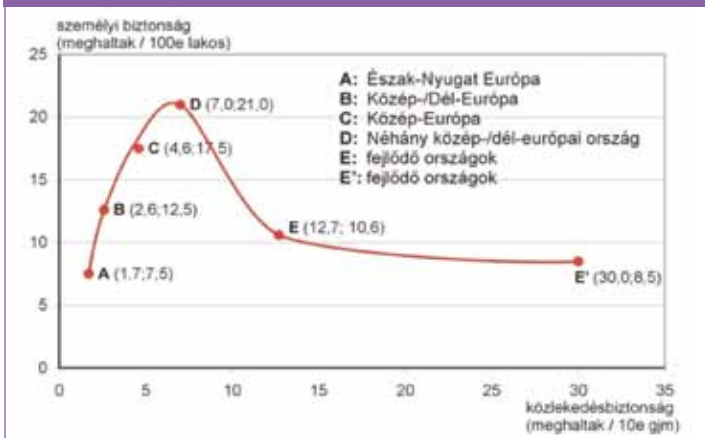
A másik mutatót alkalmazva Magyarország helyzete még kedvezőtlenebb lesz (4. ábra). Itt már a vizsgált 19 ország közül hazánk sereghajtó, még hozzá jelentős lemaradással. Nem meglepő, hogy a döntéshozók az elsőként említett mutatót, a mortalitást részesítik előnyben, hisz az még vala-

4. ábra: A halálozási mutató (meghaltak/10.000 gépjármű) 2014. évi értékei néhány OECD tagországban (Adatok forrása: IRTAD)



menyire elviselhető képet mutat. Tulajdonképpen abban a pillanatban, amikor kiválasztjuk a használni kívánt mutatót, el is döntjük, hogy kevésbé vagy nagyon kedvezőtlen képet akarunk festeni a hazai közúti biztonság színvonaláról. Ha tehát a két mutatót külön-külön alkalmazzuk, meglehetősen eltérő eredményre jutunk. Ez a dilemma kiküszöbölhető a Trinca modell [6] használatával, amely a két szóban forgó mutatót együttesen alkalmazza (5. ábra).

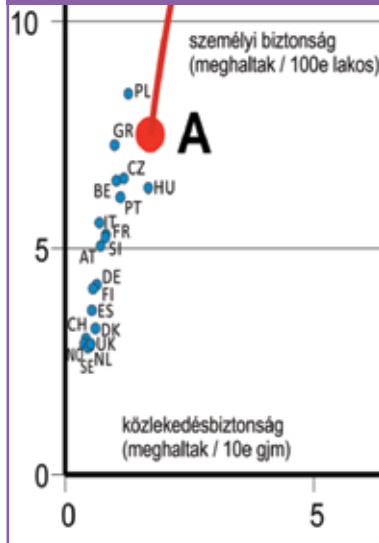
5. ábra: Összefüggés a személyi és közlekedésbiztonság között (elméleti modell) (Forrás: Trinca és társai, 1988)



A modell és a 2014. évi adatok felhasználásával kapott eredményeket szemlélteti a 6. ábra.

Ezek szerint Európa legjobb közúti biztonságú országai: Svédország, Norvégia, Hollandia, Egyesült Királyság. A legkevésbé jól teljesítő országok: Lengyelország, Görögország. A Cseh Köztársaság és Magyarország csupán ezt a két országot előzi meg.

6. ábra: A Trinca modell jelenlegi szakasza (2014) (Adatok forrása: IRTAD)



Összefoglalva megállapítható, hogy a hazai közúti biztonság 2007 és 2013 között csak saját magához képest mutatott látványos javulást, a többi országhoz képest nem sikerült előbbre lépni. Ennek egyik oka, hogy a többi, Magyarországnál eleve kedvezőbb mutatókkal rendelkező ország is legalább olyan mértékű javulást ért el, mint hazánk.

2. A SEBESSÉG ÉS A KÖZÚTI BIZTONSÁG ÖSSZEFÜGGÉSEI

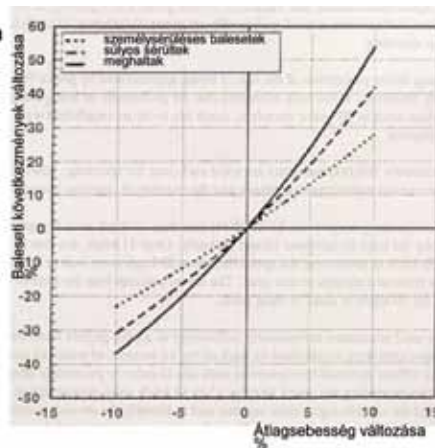
A szakma már régóta ismeri az ún. hatványkitevős (power) modellt, amely a svéd G.Nilsson nevéhez fűződik. A modell lényegét a 7. ábra szemlélteti [7].

7. ábra: Összefüggés az átlagsebesség változása és a közúti balesetek száma, súlyossága között

1968 és 1972 közötti svéd kísérletek alapján kifejlesztett modell (Göran Nilsson), később dán és amerikai eredmények is igazolták érvényességét.

V_e = sebesség előtte
 V_u = sebesség utána

a személysérüléssel balesetek száma a $\frac{V_e}{V_u}$ hányados második, a súlyos sérülések száma ugyanezen hányados harmadik, a halálos sérülések száma pedig negyedik hatványa szerint változik.



A modell továbbfejlesztésével a norvég R. Elvik foglalkozott. Először meghatározta az összefüggést lakott területen belüli és kívüli utakra. Ennek eredményét mutatja a következő táblázat [8].

Baleset / sérülés súlyossága	Országút / autópálya (80-130 km/h) Kitevők		Városi út / lakó-pihenő övezet 30-50 km/h Kitevők	
	Legjobb becslés	95%-os konfidencia intervallum	Legjobb becslés	95%-os konfidencia intervallum
	Halálos baleset	4.1	(2.9-5.3)	2.6
Halálos sérülés	4.6	(4.0-5.2)	3.0	(-0.5-6.5)
Súlyos sérüléssel járó baleset	2.6	(-2.7-7.9)	1.5	(0.9-2.1)
Súlyos sérülés	3.5	(0.5-5.5)	2.0	(0.8-3.2)
Könnyű sérüléssel járó baleset	1.1	(0.0-2.2)	1.0	(0.6-1.4)
Könnyű sérülés	1.4	(0.5-2.3)	1.1	(0.9-1.3)

Az értékekből világosan látszik, hogy a kitevők nagyobbak lakott területen kívül, vagyis a balesetek gyakorisága és súlyossága lakott területen kívül jobban függ az átlagsebesség változásától, mint lakott területen belül. Ennek az lehet a nyilvánvaló oka, hogy lakott területen kívül nagyobb a valószínűsége az ún. szabad sebesség kialakulásának, mint lakott területen. Itt gyakoriak a járműszlopok, tehát a sebességválasztást legtöbbször az elől haladó gépjármű sebessége korlátozza. Ha átlagolnánk a két területre vonatkozó értékeket, gyakorlatilag az eredeti Nilsson modell kitevőit kapnánk. További előrelépést jelent, hogy Elvik mindenféle – a rendőrségi baleseti adatfelvételnél használt – kimenetelű sérülésre és balesetre is meghatározta a kitevők értékeit, sőt a 95%-os konfidencia intervallumukat is.

Elvik nem elégedett meg ennyivel. A Nilsson modellel szembeni fő kifogása az volt, hogy az átlagsebesség százalékos változása ugyanakkora, ha az átlagsebesség 100 km/h-ról 90 km/h-ra változik, mintha 10 km/h-ról 9 km/h-ra csökkenne. Jól tudjuk, hogy a hatás nem lehet egyforma, hiszen az előbbi esetben elképzelhető halálos sérülés, míg az utóbbiban nehezen. Ezért kifejlesztette az exponenciális modellt. Fő következtetése: a baleseti kockázat és a balesetek/sérülések súlyossága nem csupán az átlagsebesség változás mértékétől, hanem konkrét értéktől, szintjétől is függ. A két modell lényege az alábbiakban tanulmányozható.

Power modell
(Nilsson, 2004)

$$B_u = B_e \left(\frac{V_u}{V_e} \right)^k$$

B_u = baleset utána
 B_e = baleset előtte
 V_u = sebesség utána (átlag)
 V_e = sebesség előtte (átlag)
 k = kitevő, függ a baleset/sérülés súlyosságától

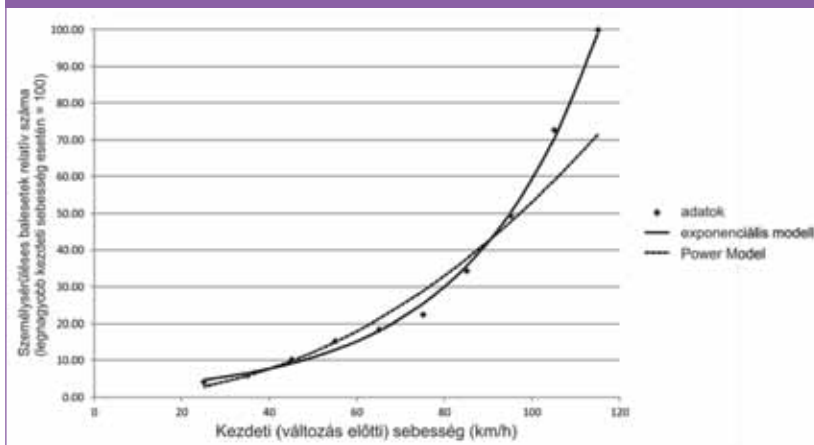
Exponenciális modell
(Elvik, 2013)

$$B_u = B_e \cdot e^{\beta(V_u - V_e)}$$

$\beta = 0,034$ személysérüléssel járó balesetre

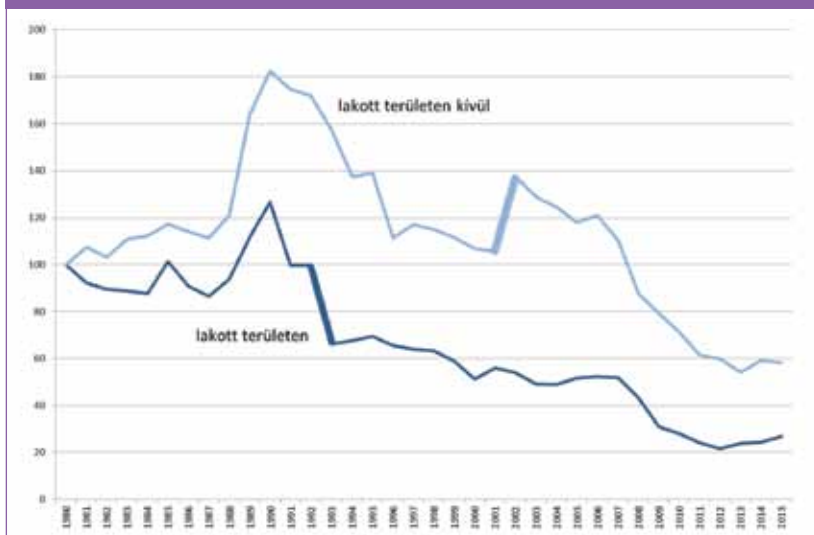
A 8. ábrán is jól látható, hogy a tapasztalati pontokra – főként a nagyobb sebességek tartományában – valóban jobban illeszkedik az exponenciális modell.

8. ábra: Az eredeti Power Model (Nilsson) és az exponenciális modell (Elvik) összehasonlítása [8]. (Forrás: Elvik, 2013)



A közúti közlekedésbiztonság hazai története jól mutatja a sebességhatár csökkentésének és növelésének következményeit is. A 9. ábrán – minden különösebb tudományos elemzés nélkül is – szemebetűnő, hogy a rendszerváltás után a közúti baleseti halottak száma 1993-ban csökkent a legnagyobb mértékben lakott területen (sebességhatár csökkentés 60 km/h-ról 50 km/h-ra) és 2001-ben nőtt legnagyobb mértékben lakott területen kívül (általános, 10 km/h értékű sebesség-határ emelés minden útkategórián lakott területen kívül).

9. ábra: Közúti baleset következtében meghaltak számának alakulása lakott területen és lakott területen kívül 1980-tól 2015-ig

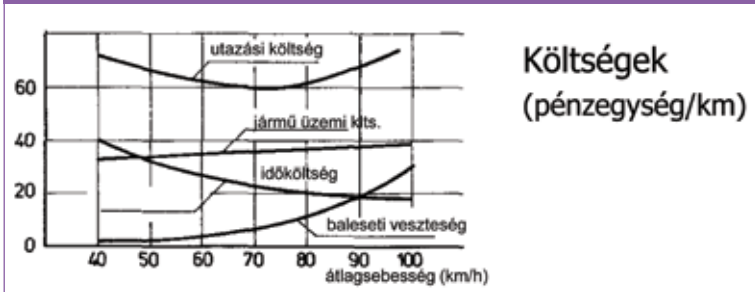


Világszerte megfigyelhető a törekvés – a mindenkori kormányok részéről – a sebességhatárok emelésére. Ez gyakran találkozik populista indokkal, sőt nem egyszer az is elhangzik, hogy a korszerű gépkocsik már nagyobb sebességre képesek. Ez önmagában igaz, de nem szabad elfelejteni, hogy maga az ember, az emberi test által a halál vagy súlyos sérülés nélkül elviselhető ütközési sebesség nem változott.

Valamennyi tudományos vizsgálat azt igazolja, hogy minden sebességnövekedés rontja a közúti közlekedés biztonságát, amennyiben más tényezők közben változatlanok maradnak. (Gyakran igyekeznek ellensúlyozni a negatív hatásokat a rendőri ellenőrzés szigorításával vagy infrastrukturális beavatkozásokkal.)

A közelmúltban megrendezett közlekedésbiztonsági konferencián is felmerült a kérdés, hogy milyen előnyök és hátrányok hozhatók kapcsolatba a növekvő sebességgel. Jól mutatja ezeket az 10. ábrán vázolt, a közlekedési költségek szempontjából optimalizált sebességhatár modellje.

10. ábra: Az idő-, jármű üzemi költségek és a baleseti veszteségek átlagsebességtől való függése [9]



Az optimumot mutató utazási költséggörbe három részköltségből áll. A legmeredekebben emelkedő görbe a baleseti veszteségek görbéje. Ez a sebesség emelkedésével progresszív növekedést mutat, hiszen ilyenkor nem csak a baleset kockázata emelkedik, de bekövetkezése esetén a kimenetele, súlyossága is. Kisebb ütemben emelkedik a jármű üzemi költségek összege. Ide a növekvő üzemanyag-fogyasztás, a növekvő kopás, stb. tartozik. Egyedül az időköltéség görbéje csökken, mert a nagyobb sebesség miatt hamarabb érhetünk az úti célhoz, vagyis időt takaríthatunk meg.

A három részgörbét összegezve megkapjuk a költségminimumot, ami egyben az optimális sebességhatár a költségek szempontjából. Az ábrán szereplő példában az optimum 70 és 80 km/h közé esett.

3. EGY TIPIKUS FÉLREÉRTÉS A BIZTONSÁGI ÖVEKKEL KAPCSOLATBAN

A 11. ábra jól mutatja, hogy 2015-ben – főként a személygépkocsik első ülésein – visszaesett a biztonsági övet viselők aránya a 2013. évi értékhez képest. Ez a visszaesés valószínűleg összefügg a személygépkocsiban életüket veszítették 2. ábrán is látható, növekvő számával. Kutatási eredmények [10], a hazai balesetek és sérülések adatai alapján jó becslés adható arra vonatkozóan, hogy a biztonságiöv-viselési arány 95%-ra való növelésével még hány emberélet lenne megmenthető és hány, különböző kimenetelű sérülés lenne elkerülhető. A 2015. évi adatok alapján mintegy

48 halálos
 158 súlyos és
 177 könnyű

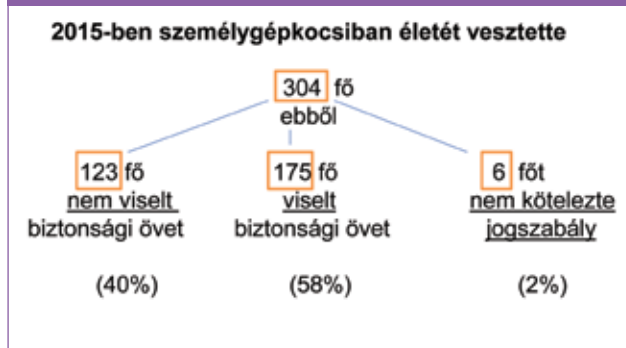
sérülés lenne még megelőzhető évente egyedül a biztonságiöv-viselési arány 95%-ra való növelésével Magyarországon.

11. ábra: Személygépkocsi-vezetők és -utasok biztonsági-öv-viselési aránya az első és hátsó üléseken 1992 és 2015 között



A 12. ábra a 2015-ben személygépkocsiban közúti baleset következtében életét veszített 304 személy számának megoszlását szemlélteti a szerint, hogy viselt-e biztonsági övet vagy sem. Az ábrából látható, hogy a személygépkocsi baleset következtében meghaltak csoportjában 40% nem viselt biztonsági övet.

12. ábra: Személygépkocsiban életüket veszítők számának megoszlása



Hasonlítsuk össze ezt az adatot a reprezentatív mintán alapuló, így a teljes autós sokaságra vonatkozó felmérés eredményeivel.

A teljes minta 1040 személygépkocsit tartalmazott, és a megfigyelések szerint a bennülők átlagos száma 1,34/gépkocsi volt [3]. Ez 1394 főt jelent. Közülük 2015-ben 75,64% használta biztonsági övét.

Látható, hogy a személygépkocsi balesetben meghaltak csoportjában ennél jelentősen kisebb, 58%-os eredmény adódott. A különbség még nagyobb lenne, ha figyelembe vennénk a 2016-ban újra 84%-ra nőtt értéket, ezt azonban a korábbiaknál kisebb minta miatt biztonsággal nem tehetjük meg.

Gyakran szakemberek is félreértik ezt a két számot, és emiatt téves következtetésre jutnak. Pedig a két eredményt semmiképpen sem szabad összekeverni, hiszen a meghatározásukhoz használt minta alapvetően eltérő.

A személygépkocsiban meghaltak csoportja a kutatási eredmények szerint egy ún. nagy kockázatú csoport. Ide tartoznak a gyorsajtók, az ittas, a drogos vezetők, a késő éjszaka úton lévők, a fiatal férfiak és a szabálysértési, baleseti előzményekkel rendelkezők, stb. [11].

Összefoglalva: a személygépkocsiban meghaltak csoportjának adataiból nem szabad következtetést levonni a teljes autós sokaságra vonatkozóan. Ezért is helytelen az a gyakorlat, amikor felmérések hiányában valaki a sérültek adataiból „állít elő” bukósíak-viselési, biztonságiöv-viselési arányokat. Ez nem adhat reprezentatív eredményt a teljes autós, motoros, stb. sokaságra vonatkozóan, hiszen az ún. „nagy kockázatú” csoportra érvényes, s ennek jellemzői mindig kedvezőtlenebbek, mint a teljes sokaságé.

Az ún. „kemény mag” elérése nagyon fontos, hisz a jelek szerint esetükben a hagyományos módszerek (meggyőzés, felvilágosítás, ellenőrzés, szankció) nem vezetnek eredményre. Magatartásuk kedvező irányú befolyásolására új, az eddigieknél eredményesebb megközelítésre van szükség.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1]: http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_evkozi/e_ods001.html
- [2]: <http://www.police.hu/a-rendorsegrol/europai-tamogatások/operativ-programok/vedakozuti-intelligens-kamerahalozat>
- [3]: Dr. Véssey Tamás: Utas védő berendezéseket, nappali világítást és kézben tartott mobiltelefon használó gépjárművezetők arányának felmérése, Részjelentés, Tanulmány a 2015. IV. negyedévi felmérés alapján, Budapest, 2016.
- [4]: Dr. Véssey Tamás: Utas védő berendezéseket, nappali világítást és kézben tartott mobiltelefon használó gépjárművezetők arányának, motorkerékpárosok és kerékpárosok biztonsági jellemzőinek felmérése, Részjelentés, Tanulmány a 2016. I. negyedévi felmérés alapján, Budapest, 2016.
- [5]: International Traffic Safety Data and Analysis Group (ITF, OECD), www.internationaltransportforum.org/irtad/index.html
- [6]: Trinca G. W. (1988) “Reducing Traffic Injury- A global Challenge”. A Royal Australian College of Surgeons, Melbourne, Australia.
- [7]: Nilsson, G.: Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety, Lund Institute of Technology, Department of Technology and Society, Traffic Engineering, 2004.
- [8]: The impact of speed changes on crash occurrence and severity (az ITF és IRTAD közös kiadványa, megjelenés alatt.)
- [9]: Salusjarvi, M.: The speed limit experiments on public roads in Finland, VTT, 1981.
- [10]: Elvik, R.; Høy, A.; Vaa, T., Sørensen, M.: The Handbook of Road Safety Measures, Emerald Group Publishing Ltd., UK, 2009, ISBN: 978-1-84855-250-0
- [11]: Julie Tison, Allan F. Williams, Neil K. Chaudhary: Daytime and Nighttime Seat Belt Use by Fatally Injured Passenger Vehicle Occupants, National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, 2010



A NUMBER OF CURRENT ROAD SAFETY ISSUES



EINE REIHE AKTUELLER FRAGEN DER STRASSENVERKEHRSSICHERHEIT

A magyar gyorsforgalmi úthálózat első 50 éve

2014-ben, fél évszázaddal az első magyar autópálya-szakasz megnyitását követően kezdeményezte Dr. Keleti Imre a témát bemutató kötet összeállítását és részletes témavázlatot készített hozzá. Bár a korábbi kerek évfordulókhoz is kapcsolódtak kiadványok, ilyen átfogó, nemcsak történeti áttekintést, hanem a fejlesztéstől az üzemeltetésig átívelő összefoglalást nyújtó mű mindeddig nem született. A főszerkesztő mellett a szakterület jeles művelői, szereplői vállaltak szerzői és szerkesztői feladatokat.

A nem csak tartalmában, de súlyában is (3,5 kg) tekintélyes kötet hat fejezetben mutatja be a hazai gyorsforgalmi úthálózat fejlődését. Az első a hálózatfejlesztés korszakait ismerteti Vásárhelyi Boldizsár koncepciójától napjainkig, bemutatva autópályáink európai beágyazottságát. A következő fejezet a finanszírozás különböző sikeres és kevésbé sikeres módjait tárgyalja. Itt különösen érdekes a ma már a feledés homályába merült „500 km-es autópálya-program” ismertetése. Az 1968-as „új gazdasági mechanizmus”-hoz kapcsolódó elképzelést végül a konzervatív politikusok és a külföldi tapasztalatok átvételétől idegenkedő szakemberek gáncsolták el. A harmadik részben az előkészítés egyes fázisait ismerhetjük meg a tervezéstől a munkaterület átadásáig. A tervezési paraméterek és előírások módosulása, folyamatos korszerűsödése mellett a fejezet a hatósági és engedélyezési háttér változásait is ismerteti. Külön alfejezet foglalkozik az évek során egyre nagyobb teret kapó régészeti feltárásokkal.

A negyedik fejezet egyenként bemutatja a hazai gyorsforgalmi úthálózatot alkotó utak szakaszos kiépítését. Ez a könyv leghosszabb része, ahol időszakokra bontva részletes adatokkal alátámasztva követhető nyomon a hálózat elemeinek fejlődése. A következő az ötven esztendő alatt végbement technológiai fejlődésről, a napjainkra elért műszaki színvonalról nyújt érdekes áttekintést. A műszaki és a gazdasági, politikai háttér bemutatása után részletesen kitér a főbb munkarészek (földművek és víztelenítés, útpályaszerkezetek, hidak, alagutak) bemutatására. Értelemszerűen utóbbi két fejezethez tartozik az albumnak is tekinthető könyv leggazdagabb fénykép- és ábragyűjteménye. A hidak alfejezete külön-külön foglalkozik a gyorsforgalmi utakon megépült folyami és völgyhidakkal. A befejező rész az intézményrendszer és az üzemeltetés-fenntartás fejlődését mutatja be. A népes szerzőgárda nem csak a gazdasági körülmények és a fizikai feltételek alakulásáról ír, hanem a technológiai-szellemi háttér olyan alapelemeiről is, mint az útügyi adatbank, az útburkolat gazdálkodás vagy a digitális törzskönyv és tervtár rendszer.

Külön kell szólni arról a szerkesztői bravúrról, amellyel dőlt betűs, keretes formában számtalan jellemző történet, kortörténeti adalék, érdekesség került a kötetbe. Nagyon sokan szerzői közreműködést nem akartak vagy tudtak vállalni, de szívesen megosztották emlékeiket az olvasóval. A könyv egyes részei és ezek a színes „jegyzetek” egyfajta leletmentésnek is felfoghatók, miután a magyar gyorsforgalmi utak története már az egy emberöltőt bőven meghaladta.

Összességében egy rendkívül nagy adathalmazból sikeresen merítő, szerzteágazó részleteket átfogó, áttekintő mű készült a jelen és az utókor számára a magyar gyorsforgalmi úthálózat első ötven évéről.

Főszerkesztő: Dr. Keleti Imre

Kiadó: Magyar Közút Nonprofit Zrt.

Felelős kiadó: Dr. Nemes-Nagy Tibor vezérigazgató
2016.

Pallay Tibor

(A kiadvány sajnos közforgalomba nem került, de a rövid ismertetés szándékaink szerint jól szolgálja a figyelemfelkeltést, és egyben méltó emléket állít az életének jelentős részében az autópálya-hálózatunk megvalósításán fáradozó, fáradhatatlanul dolgozó néhai Dr. Keleti Imre Kerkápoly-díjas KTE tagunknak is. A főszerkesztő)

Tarolt a NÚSZ a Kiválóság az Ügyfélkiszolgálásban Díj versenyén

Negyedik alkalommal indult, és minden eddiginél több, összesen négy díjat hozott el a 2016-2017-es Kiválóság az Ügyfélkiszolgálásban Díj versenyén a Nemzeti Útdíjfizetési Szolgáltató (NÚSZ) Zrt. A hazai ügyfélkiszolgálási kultúra értékelésére és fejlesztése érdekében alapított megmérettetésen évről évre átlagosan 30 kis-, közép- és nagyvállalat indul, azonban állami vállalként egyedül a NÚSZ méreti magát rendszeresen az egyre erősödő vetélkedésen.

A NÚSZ ügyfélszolgálatának munkatársai a 2016-2017. évi Kiválóság az Ügyfélkiszolgálásban Díjért indult versenyben a nagyvállalatok között a Személyes ügyfélkiszolgálás kategóriában első, a Telefonos ügyfélkiszolgálás kategóriában második, az Elektronikus ügyfélkiszolgálás kategóriában (levelezési terület) pedig harmadik helyezést értek el. Emellett megnyerték az idén először átadott Legjobb munkahelyi csapat különdíjat a Személyes ügyfélkiszolgálás kategóriában.

A ClientFirst Consulting által 2009 óta megszervezett versenyben évente 25-30 kiváló cég szerepelt, közöttük a NÚSZ Zrt.

„Ezek a díjak bizonyítják, hogy mára a NÚSZ a közszolgáltatások fejlesztésének zászlóshajójává vált. Az állam nemcsak beszél a szolgáltató állam fontosságáról, de képes is tenni az egyszerű, gyors és rugalmas ügyintézés gyakorlatban ültetéséért.” - fogalmazott dr. Bartal Tamás, a Miniszterelnökség helyettes államtitkára, a társaság elnöke.

„Az elmúlt három évben rengeteg változáson ment át a szervezetünk: egy autópálya-kezelő vállalatból önálló útdíjfizetési szolgáltatóvá kellett válnunk. Meg kellett tanulnunk egy teljesen új feladatkört magas színvonalon ellátni.” – erről már Börzsei Tibor, a NÚSZ vezérigazgatója beszélt az elismerések kapcsán. Hozzátette: „Tudjuk, hogy a miénk nem egy látványos szolgáltatás, hiszen úgy kell pontosan, precízen lebonyolítanunk minden egyes útdíjfizetési tranzakciót az összes kapcsolódó feladattal együtt, hogy abból az állampolgárok minél kevesebbet érzékeljenek. Ráadásul a kereteit és a lehetőségeit kifejezetten erőteljesen meghatározzák a hatályos jogszabályok. Ezért is külön öröm a számunkra, hogy egy olyan versenyben végeztünk ismét a legjobbak között, amelyben a piaci szereplők ügyfélkiszolgálási kultúrája került értékelésre.”

A NÚSZ ügyfélszolgálatának levelezési területén dolgozó 42 munkatárs csak 2016-ban napi közel 280 írásos megkeresést válaszolt meg. A Call Center 16 dolgozója átlagosan napi 450 hívást kezelt. A 18 személyes ügyfélszolgálat 54 munkatársa pedig napi 500 ügyfélszolgálati szolgáltatást bonyolított le, a legegyszerűbb kérdéstől az összetett, kivizsgálást igénylő pótdíjas ügyekig.

„Tevékenységünk sajátosságaiból adódóan ügyfélszolgálataink leterheltsége soha nem egyenletes. Januárban például sokkal erőteljesebb, mint áprilisban. Ráadásul, ha valamilyen probléma merül fel az e-matricákkal kapcsolatban, az az ügyfélszolgálatunkon órákon belül lecsapódik” – mondta el Kibédi-Varga Lajos, a NÚSZ szolgáltatási igazgatója. „Ezért is alakítottuk át az Ügyfélkapcsolati Osztályunk működését mátrix-szerűre, ami azt jelenti, hogy ha valamelyik ügyfélszolgálati terület leterheltsége megnő, akkor a másik két területen dolgozó kollégák egy része be tud szállni az érintett terület ügyeinek intézésébe, biztosítva a folyamatos, zavartalan ügyfélkiszolgálást.”

További információ:

Török Szabolcs
kommunikációs vezető, szóvivő
torok.szabolcs@nemzetiudij.hu
(06-20) 259-2097

Papp Nóra
kommunikációs szakértő
papp.nora@nemzetiudij.hu
(06-70) 375-7678



A Nemzeti Útdíjfizetési Szolgáltató Zrt., mint az MFB Csoport tagja, a magyarországi díjköteles úthálózaton végez útdíjszedési, útdíjszolgáltatói feladatokat, valamint ellenőrzés-támogatási tevékenységet.

Közlekedéstudományi Szemle

Megrendelőlap

Alulírott.....

megrendelem a Közlekedéstudományi Szemlét a következő hónaptól az alábbiak szerint:

A megrendelő neve:

Előfizetés 1 évre:

Címe (ahová a lapot kéri):

Nyomatott változat 8280.- Ft

példány

Telefonszám:

Egyéni KTE tagoknak nyomtatott változat 4140.- Ft

Fax:

példány

E-mail:

Az előfizetési díjról számlát kérek:

Az előfizetési díjat az alábbiak szerint fizetheti be*:

Igen

Nem

Banki átutalással (név és cím feltüntetésével) az alábbi bankszámlaszámra: 10200823-22212474

Számlázási név:

Számlázási cím:

KTE tagoknak a tagnyilvántartó rendszeren keresztül bankkártyával (csak nyomtatott változat esetén)

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

* A megfelelőt kérjük beikszelni!

.....
 dátum

.....
 aláírás

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

Digitális változat: a hozzáférés, a fizetés és a számlázás is a [Dimag.hu](http://www.dimag.hu) oldalán megadottak szerint.

- **NEM KTE tagok** a http://www.dimag.hu/magazin/Kozlekedestudomanyi_Szemle oldalon rendelhetnek 6.000 Ft/év áron.
- **Egyéni KTE tagoknak** a megrendeléshez az alábbi részt kell kitölteni és megküldeni a szemle@ktenet.hu címre. Ezt követően **kuponkódot** küldünk, amivel a http://www.dimag.hu/magazin/Kozlekedestudomanyi_Szemle oldalon 4.140 Ft/év áron rendelheti meg a lapot.

Megrendelő neve: E-mail címe:

.....
 dátum

.....
 név

