

## Egy budapesti modell, a változtatható irányú forgalmi sávok kialakítására, nagyméretű közlekedési hálózatokon

Bede Zsuzsanna\*, Dr. Péter Tamás\*\*

BME Közlekedésautomatikai Tanszék, 1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 2.

\* (e-mail: [bede.zsuzsanna@mail.bme.hu](mailto:bede.zsuzsanna@mail.bme.hu))

\*\* (e-mail: [peter.tamas@mail.bme.hu](mailto:peter.tamas@mail.bme.hu))

Összefoglaló: A cikkben a változtatható irányú forgalmi sávok rendszer modellezésével foglalkozunk, az irányváltás során fellépő kiürülési idő számítását mutatjuk be. Egy valódi helyzet szimulációját hasonlítjuk össze, adott forgalom nagyság mellett, egy ugyanazon szakaszon változtatható irányú sáv működtetésével. A kétféle szimuláció során a menetidőket vetjük össze és az így kapott eredményeket a gyakorlatban megvalósított változtatható irányú forgalmi sávokkal működő közúti közlekedési rendszereken végzett mérésekkel is alátámasztjuk. A legvégén pedig a szimuláció során használt lámpabeállításokról lesz szó.

### BEVEZETÉS

A változtatható irányú forgalmi sáv vagy, ahogy az Egyesült Államokban elterjedt, Reversible Lane System [TDOT; 2004], [Wolshon, Lambert; 2006] már a 20-as évek óta ismert közlekedési irányítási rendszer, amelyet elsősorban olyan útvonalakon érdemes alkalmazni, ahol a két ellentétes irány forgalma nagymértékben eltér egymástól.

A változtatható irányú sáv magyarországi létjogosultságát egy Budapesten vett útvonalon vizsgáljuk. A vizsgálat során a jelenlegi kialakítást szimuláljuk és vetjük össze az egyik sáv irányításának megfordításával. Az így kapott eredményeket amerikai esettanulmányok eredményeivel vetjük össze [Bede, Péter; 2009].

Először vizsgáljuk meg a sáv váltáshoz szükséges közbenső időt egy egyszerű példán keresztül. Mivel változtatható irányú sáv esetén jóval hosszabb időre van szükségünk, mint akár egy bonyolultabb kereszteződésnél a kiürülésére, így ezt az időszakot kiürülési időnek nevezzük. A cikk végén pedig bemutatásra kerül a szimulálást könnyítő adaptív lámpabeállítás működése is.

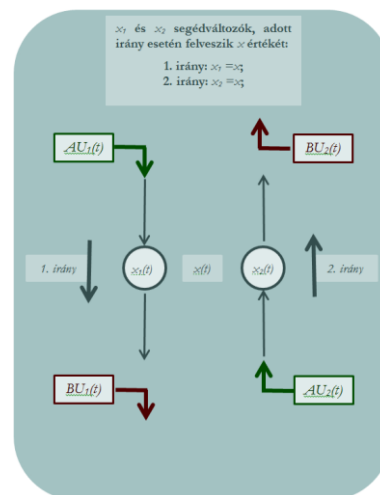
### 1 A KIÜRÜLÉSI IDŐ VIZSGÁLATA IRÁNYVÁLTOZTATÁS SORÁN

Vizsgáljuk az  $U_1(t)$  és  $U_2(t)$  ütemező irányítójelek alkalmazását és késleltetésüket a teljes kiürítési állapotig (**1.1 ábra**) [Péter, Bede, 2010]. Az 1. irány esetén legyen  $u_1(t)$  irányítójel az ütemezést előíró jel (szabad=1, ill. tilos=0). A 2. irány esetén pedig legyen  $u_2(t)$  irányítójel az ütemezést előíró jel, ahol:

$$u_2(t) = 1 - u_1(t)$$

Egyszerűen belátható, hogy  $u_1(t)$ -et és  $u_2(t)$ -t figyelembe vévő, de a forgalmi viszonyok miatt tőlük eltérő, 1. irány

esetén  $AU_1(t)$ ,  $BU_1(t)$  és 2. irány esetén  $AU_2(t)$ ,  $BU_2(t)$  irányítójeleket kell alkalmaznunk.



**1.1 ábra:** Változtatható irányú közlekedési rendszer bemenetein és kimenetein működő irányítás

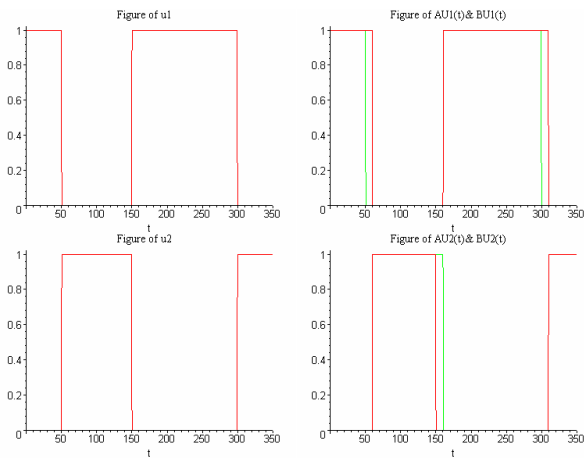
Az  $u_1(t)$  és az  $u_2(t)=1-u_1(t)$  irányítójelek **1.3 ábra** baloldali diagramjain láthatók. Vizsgálva a behajtást az 1.-es irányból (**1.2 ábra** jobb felső diagramja, ill. részletesebben **1.3 ábra**), az  $AU_1(t)$  azonnal lezárja a behajtást, amint  $u_1(t)$  lezár 0-ra, viszont a megnyitást már késlelteti  $u_1(t)$ -hez viszonyítva, mert csak akkor szabad behajtani, ha az előző irányból haladó járművek már teljesen elhagyták a kérdéses tartományt ( $x_2(t)=0$ ). Ezt veszi figyelembe az  $AU_1(t)$  belépést irányító jel, amely a **1.3 ábra** felső kettő diagramján látható.

$$AU_1(t) := u_1(t) (1 - \text{signum}(x_2(t)))$$

A kijáratoknál a  $BU_1(t)$  jel lezárása  $u_1(t)$ -hez viszonyítva késleltetett, mindaddig nincs lezárás, amíg 1. irányból járművek haladnak, azaz ezek teljesen el nem hagyták a

kérdésszerű tartományt ( $x_1(t)=0$ ). A nyitás az  $AU_1(t)$  belépést irányító jellel egy időben történik.

$$BU_1(t) := \text{signum}(AU_1(t) + x_1(t))$$

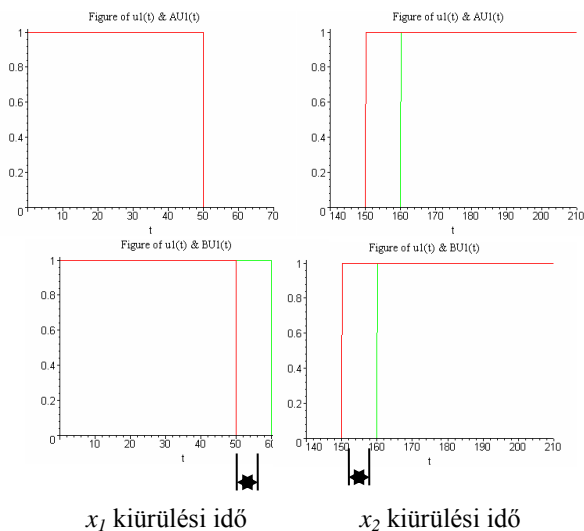


1.2 ábra:  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  irányítási jelek és a tényleges kapcsolási jelek

Hasonlóan működik a 2. irányban az  $AU_2(t)$  belépést irányító jel és  $BU_2(t)$  kihajtást irányító jel (1.2 ábra jobb alsó diagramja). Összefoglalva: szakasz elején behajtásnál zárás azonnal, megnyitásnál késletetés addig, amíg az előző forgalmi irányból ki nem ürülnek a járművek. Szakasz végén: zárás késletetve, addig, amíg a saját irányhoz tartozó járművek ki nem ürülnek, nyitás a szakasz elejével azonos időpontban:

$$AU_2(t) := u_2(t) (1 - \text{signum}(x_1(t)))$$

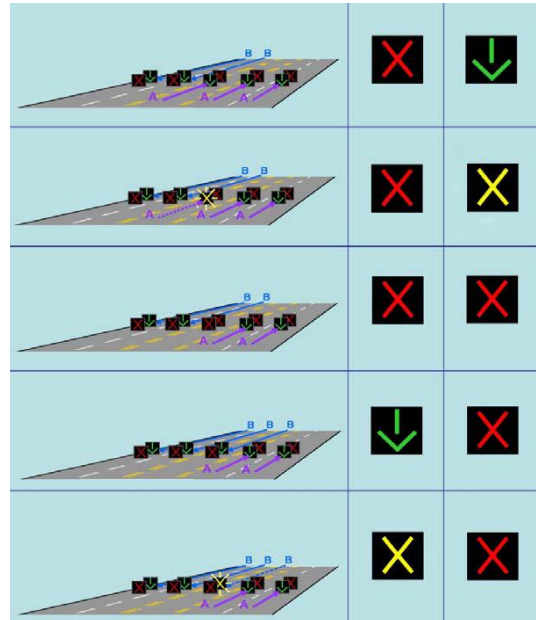
$$BU_2(t) := \text{signum}(AU_2(t) + x_2(t))$$



1.3 ábra: 1. irány  $u_1(t)$ -hez viszonyított kikapcsolása, majd bekapcsolása

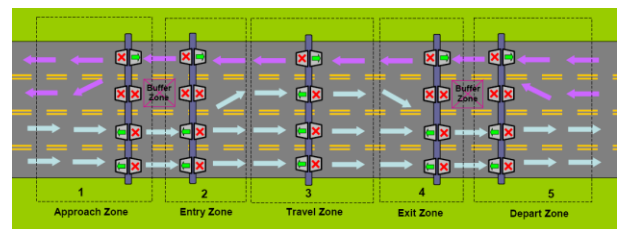
Ezen példában egyetlen szakaszt vizsgáltunk, a későbbiekben sem szabad megfeledkeznünk a szakaszok összekapcsolásáról [Guebert et al., 2010], [Cheng et al., 2011]. A változtatást a

változtatható irányú sáv elején, illetve végén nem elég időben, térben is vizsgálnunk kell. Az időbeni változtatásra láthatunk példát a jelzések alakulására a 1.4 ábrán, amely jól szemlélteti, hogy a kiürülési idő során mindkét irány számára tilos a behajtás. Ez a példa alapján a kiürülési idő kezdetét a sárga „X” megjelenése jelzi, a változtatható jelzéseképű táblán (VJT).



1.4 ábra: Példa időbeni irány változtatására egy adott sávban [TAoC, 2009]

A kiürülés térbeli vizsgálat során elsősorban a jelzésekre kell hangsúlyt fektetnünk, méghozzá törekednünk kell arra, hogy mind a speciális sávra való behajtáskor, illetve kihajtáskor egyértelműek legyenek a jelzések a járművezetők részére. Ahogy az 1.5 ábra mutatja, biztosítani kell belépő illetve kilépő zónákat (1.5 ábrán: Entry Zone – Exit Zone), ahol informáljuk a járművezetőket a sáv irányításáról, valamint a közbelső szakasz során (Travel Zone) szintén ismétlődő jelzésekkel megerősíteni kell a járművezetőt, hogy az adott sávban helyes irányban közlekedik. Valamint a mellékutcákból érkező járműveknek is egyértelműnek kell lenni az egyes sávok irányítása.

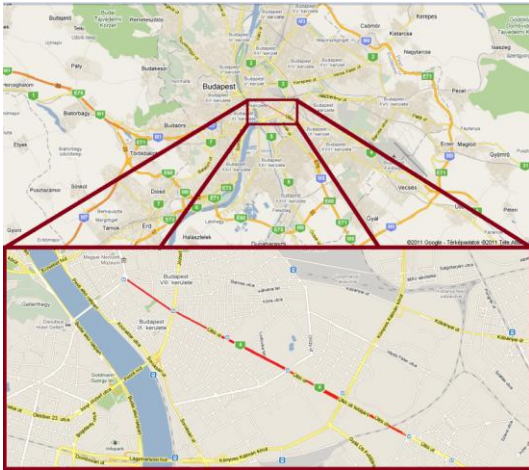


1.5 ábra: Példa térbeli irány változtatására és zónák kialakulására [TAoC, 2009]

## 2 BUDAPESTI PÉLDA

A rendszer bemutatására Budapesten az Üllői utat választottuk, mivel ez a város egyik sugárirányú főútja. Erre a szakaszra is jellemző a délelőtti központ felé haladó nagyobb járműmennyiség és a délutáni kifelé haladók nagy száma [Bede, et al.; 2010],[ Péter, Fülep, Bede; 2011].

A kijelölés másik szempontja pedig a geometriai adottságok voltak. A Ferenc körút és Ecséri út közötti szakaszon mindkét irányban 3 sáv áll rendelkezésünkre, a felüljárón és a Kálvin tér Ferenc körút közötti részénél is csak 2-2 sávra szűkül, így ha az egyik irányból elveszünk egy sávot, még mindig marad minimum egy sáv a teljes szakasz hosszán.



2.1 ábra: Üllői út, a szimulált szakasz

Modellünk felvétele térképre történt, így a szakaszok hosszát a valóságnak megfelelően méretarányosan adtuk meg. Először a mostani állapotoknak megfelelően futattuk, majd a Kálvin tértől az Ecséri út irányába egy sáv irányítását a délelőtti órákban megfordítottuk (2.1 ábra). A modell felvétele során újabb problémába ütköztünk, még hozzá a balra kanyarodás lehetőségének vizsgálata.

### 2.1 A balra kanyarodó sávok problémája

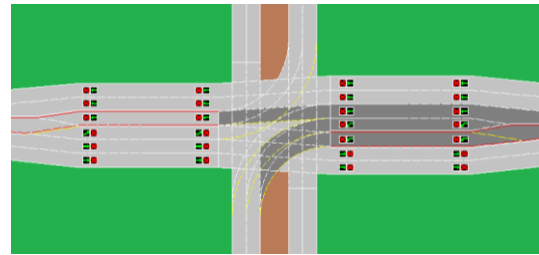
Probléma megoldásának kereséséhez az Üllő út – Ferenc körút (Corvin-negyed) csomópontot vettük alapul. A biztonság szempontjából a legegyszerűbb módszer az, ha megszüntetjük a balra kanyarodás lehetőségét a teljes hálózaton.



2.4 ábra: Üllői út – Ferenc körút (Corvin-negyed) kereszteződés

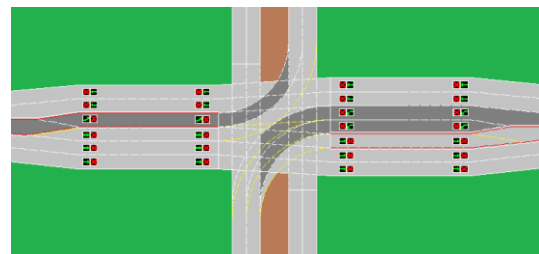
Ebben az esetben a balra kanyarodni kívánó járművek háromszor jobbra kanyarodással érhetik el úti céljukat, amit a mellékutcákban valósíthatnak meg. Viszont ennél a lehetőségnél vizsgálni kell a rendelkezésre álló mellékutak terhelhetőségét is, valamint figyelembe kell venni azt is, hogy a forgalom mellékutcba való terelésével akár nagyobb torlódáshoz vezethet, mint a változtatható irányú sáv mellőzése.

Tehát a vizsgált csomópontban két sáv is biztosítja a balra kanyarodás lehetőségét, amelyek ez által jelentős forgalmat tudnak lebonyolítani. A 2.5 ábrán látható a reggeli forgalomnak megfelelő kialakítás, míg az 2.6 ábrán a délutáni, esetünkben ez a jelenlegi helyzettel egyező kialakítás.



2.5 ábra: A reggeli csúcsidős kialakítás

A változtatható irányú sávot pirossal jelöltük. Reggel 3 sávon lehetne a városközpont felé menni és továbbra is 2 sávon lehetne balra kanyarodni. Az eredeti elrendezés szerinti külső balra kanyarodó sáv lesz a plusz egy egyenesen haladó sáv és a változtatható irányú, a másik iránytól elvett sáv lesz a belső balra kanyarodó sáv.



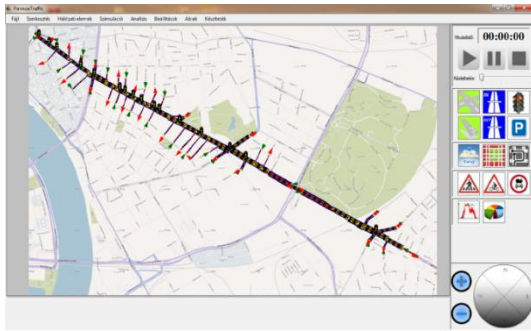
2.6 ábra: A délutáni kialakítás, jelenlegi állapot

Ezzel a megoldással a csomópont geometriai mérete nem változna, de nagyobb odafigyelést igényelne az egyes sávok irányának megállapítása, amit minden egyes sáv fölött VJT-vel lehetne jelölni, esetleg útburkolatba épített jelzésadókkal.

## 3 SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

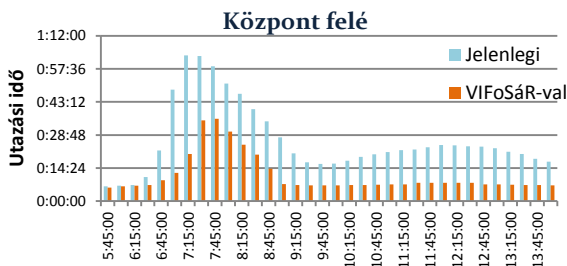
Modellünk felvétele térképre történt, ahogy a 3.1 ábrán is látható, így a szakaszok hosszát a valóságnak megfelelően méretarányosan adtuk meg. Először a mostani állapotoknak megfelelően futtattuk a szimulációt, majd a Kálvin tértől az Ecséri út irányába egy sáv irányítását a délelőtti órákban megfordítottuk. Modellünk 40 csomópontból áll, melyekből 16 közlekedési lámpával ellátott, melyek beállításához a FKF Zrt. Forgalomtechnikai Igazgatóság által a BME

Közlekedésautomatikai Tanszék számára rendelkezésre bocsátott jelenlegi lámpa-beállítási adatokat használtuk fel.

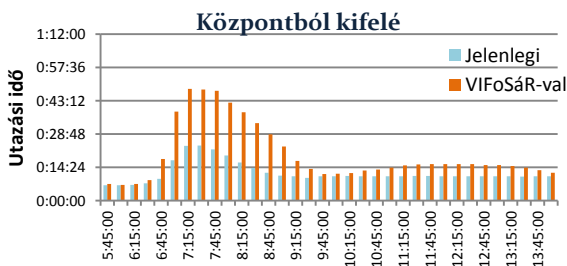


3.1 ábra: Modell felvétele

A kétféle szimulálás során az eljutási időket vizsgáltuk és az alábbi megállapítást tehetjük: ha a reggeli csúcsidőben a befelé haladókat plusz egy sávval segítjük, akkor az eljutási idő a legtöbb esetben több mint 60%-kal, átlagban a felére csökkent, míg az ellenkező irányba, ha elveszünk egy sávot, akkor is ott legfeljebb 30 %-kal nő az eljutási idő.



3.2 ábra: Átlagos utazási idő a központ felé haladó sávokon különböző indulási időkben



3.3 ábra: Átlagos utazási idő a központból kifelé haladó sávokon különböző indulási időkben

Megállapítható, hogy a modell vizsgálatával nyert eredményeink összhangban vannak azokat a forgalmi értékeket, amelyeket a gyakorlatban megvalósított változtatható irányú forgalmi sávokkal működő közúti közlekedési rendszereken végzett mérések alapján kaptak, és a szakirodalmi hivatkozásainkban is szerepelnek [PB, 2003].

Egy tanulmányt [TDOT; 2004], mely szintén egy útszakaszt a kétféle kialakítás szerint figyelt meg, méghozzá egy 1981-ben változtatható irányú forgalmi sáv rendszert használt, amelyet 2001-ben megszüntettek. City of Tucson 2004-es

kimutatás eredményei a 3.1 táblázatban látható, ezen kimutatásban figyelembe vették a folyamatosan növekvő forgalomnagyságot is.

3.1 táblázat: Változtatható irányú sávok vagy anélküli kialakítások összehasonlítása [TDOT; 2004]

	Vált. irányval	Vált. irány nélkül	Változás
Utazási idő [ó]	1942.6	3283.7	+69 %
Feltartoztatási idő [ó]	1299.4	2674.4	+105.8 %
Forgalomnagyság [mp]	182.4	386.8	+112.1 %
Megállások	50187	81503	+62.4 %
Tüzelőanyag használat [gal]	2285.9	2918.8	+27.7 %
HC kibocsátás [g]	6173	7721	+25.1 %
CO kibocsátás [g]	219526	225223	+2.6 %
NOx kibocsátás [g]	17696	19370	+9.5 %

A táblázatban jól látszik, hogy az alábbi kritériumok a változtatható irányú forgalmi sáv megszüntetésével megnöttek, elsősorban a várakozási idő - mely a torlódásokból adódik - a duplájára nőtt és ebből következően a környezetszennyezéssel, valamint a megnövekedett tüzelőanyag fogyasztással is számolni kell. A Városi Tanács (Mayor and Council) 2004 áprilisában egyöntetűen (7-0) megszavazta a változtatható irányú rendszer visszaállítását.

#### 4 JELZŐLÁMPÁK A SZIMULÁCIÓ SORÁN

A modell felvétele során a legtöbb beállítás a csomópontokhoz köthető, a szimulációban itt kell beállítani a kapcsolatokat az egyes szakaszok között (4.1 ábra), ahogy már említettük modellben jelzőlámpák is szerepelnek. A program intelligensen kezeli a lámpaprogramozási időpontokat, ciklusidejüket, fáziseltolódásukat. Ugyancsak megvalósítható a sárgán villogó lámpa szimulációban történő elhelyezése [Stróbl, Fazekas 2008].



4.1 ábra: Sávok közötti kapcsolat és példa a szétosztási rátára mindkét esetben

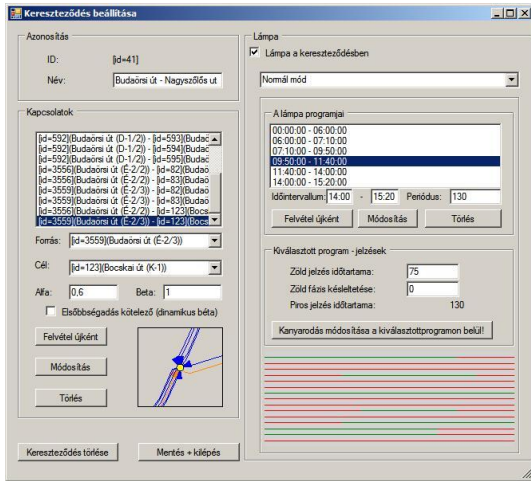
Az ábrán a kézzel történő alap szétosztási rátákra láthatunk példát mindkét szimulált esetben, itt látható mind a 40 csomópont és ezekben az egyes szakaszok kapcsolata egymáshoz viszonyítva.

A szimulációban három lámpa-üzemmódot különböztettünk meg (normál, adaptív, peremlámpa). Ezek elhelyezése azonos módon történik; a működésbeli különbséget a beállító paneleken aktiválhatjuk.

##### 4.1 Normál üzemmód

A jelzőlámpa normál üzemen a megszokott módon működik, a felhasználó által meghatározott paraméterek

szerint. Az **4.1 ábrán** látható ablakban kiválasztható az üzemmód, majd normál esetén megadható tetszőleges számú időintervallum a nap folyamán, melyekhez eltérő periódus-, zöldjelzési, fáziskésleltetési idő határozható meg. Az egyes kapcsolatokra beállított értékek áttekintését vonaldiagram is segíti.



**4.1 ábra:** A kereszteződés beállítási ablaka

#### 4.2 Adaptív üzemmód

Az üzemmód kiválasztásakor módosuló ablakban beállítható a mintavételezési idő, valamint 1. csoport és 2. csoport címkékkel láthatjuk el a kapcsolatokat az adott kereszteződésben. Minden  $t$ -edik másodpercben megvizsgáljuk a lámpás kereszteződés járműátadásait, és az a csoport kap zöld jelzést, amelyiken a jelenlegi sűrűségviszonyok alapján nagyobb járműátadás valószínűsíthető. Azonban egymás után csak  $n$  esetben kaphat zöld jelzést ugyanaz a kapcsolat-csoport, az  $n-1$ -edik mintavételezéskor mindenképpen az a csoport kap zöld jelzést, amelyik eddig  $n$  esetben nem kapott.

A járműátadás becslését illetően meg kell említeni: ennek számítása a hagyományos módon történik, azzal a megjegyzéssel, hogy a statikus és dinamikus bétákkal nem történik beszorzás. Másrészt a szomszédos szakaszok sűrűségein kívül az adaptív lámpa semmilyen egyéb ismerettel sem rendelkezik a külvilágról, balesetekről, kerékpárút terheléséről, gyalogosforgalomról, stb., tehát nem is kalkulálhat a béta értékekkel.

#### 4.3 Peremlámpa üzemmód

A jelzőlámpa ebben az esetben az egész hálózat sűrűsége alapján dönt saját állapotáról. Jelenleg egy hiszterézises megoldást alkalmazunk: globálisan megadható egy intervallum. Amennyiben a belső szakaszok összűsége meghaladja az intervallum felső határát, akkor pirosra vált az összes peremlámpa. Amennyiben az alsó határ alá süllyed az összűsűsűség, ismét zöldre váltanak a peremterületeken elhelyezett közlekedési lámpák.

## KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatás a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség és az OTKA (OTKA CNK 78168) támogatásával jött létre.

A kutatási munkát a SIEMENS Zrt. támogatta a Siemens és a BME Pro Progressio Alapítvány együttműködésével, a *hallgatói szakmai körök számára kiírt pályázat* keretében.

The work reported in the paper has been developed in the framework of the project „Talent care and cultivation in the scientific workshops of BME” project. This project is supported by the grant TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009.

## IRODALOMJEGYZÉK

[Bede, Péter; 2009] Bede Zs. - Péter T.: A változtatható irányú forgalmi sávok hazai alkalmazásának aktualitása, egy lehetőség, a közúti forgalom optimalizására, *Közlekedéstudományi Szemle LIX. évf. 2. szám 2009 április* p. 21-36

[Bede, et al.; 2010] Bede Zs., Szabó G., Péter T.: Optimization of road traffic with the applied of reversible direction lanes. *PERIODICA POLYTECHNICA - TRANSPORTATION ENGINEERING 38:(1) pp. 3-8. (2010)*

[Cheng et al., 2011] W. Cheng, X. Li, S. Liu: Research on the traffic control and organization coordinate applications of reversible lane,

[Guebert et al., 2010] A. A. Guebert, D. Carroll, B. Weston, D. Kinnecom: Reversible Lanes in Utah Adding Efficiency Safely, *Paper prepared for presentation at the Innovative Ways to Increase Traffic Safety and Efficiency Session of the 2010 Annual Conference of the Transportation Association of Canada 2010*

[PB, 2003] PARSONS BRINCKERHOFF QUADE & DOUGLAS, INC.: State Route 75 and State Route 282 Transportation Corridor Major Investment Study (MIS) Task 5.0 – Summary Report September 16, 2003.

[Péter, Bede, 2010] Péter T. - Bede Zs.: A változtatható irányú forgalmi sávokkal működő közúti közlekedési rendszer matematikai modellezése *Közlekedéstudományi Szemle LX.:(3) 46-56 (2010)*

[Péter, Fülepp, Bede; 2011] Péter T., Fülepp T., Bede Zs.: The application of a new principled optimal control for the dynamic change of the road network graph structure and the analysis of risk factors, *EAEC Conference (Valencia) 2011*

[Ströbl, Fazekas 2008] Ströbl A., Fazekas S.: Szoftveres folyamatanalízis eredményei a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok tervezésénél, *TDK dolgozat 2008*

[TAoC, 2009] Transportation Association of Canada, *Guidelines for the Planning, Design, Operation and Evaluation of Reversible Lane Systems*, Ottawa ON, 2009

[TDOT; 2004] TDOT: City of Tucson Department of Transportation publication: Grant Road Reversible Lane facts April, 2004. (<http://dot.tucsonaz.gov/news>)

[Wolshon, Lambert; 2006] B. Wolshon and L. Lambert, “Reversible lane systems: Synthesis of practice,” *Journal of Transportation Engineering*, vol. 132, pp. 933–944, December 2006.