

## Közlekedési lámpa optimalizálása IDM alapú szimulátorral

Alvarez Gil Rafael P.\*, Kovács Tamás\*\*

\*Pallasz Athéné Egyetem – GAMF kar – Informatika tanszék, Kecskemét, Magyarország  
(Tel: +36-76-516-416; e-mail: alvarez.rafael@gamf.kefo.hu).

\*\* Pallasz Athéné Egyetem – GAMF kar – Informatika tanszék, Kecskemét, Magyarország  
(Tel: +36-76-516-401; e-mail: kovacs.kamas@gamf.kefo.hu).

**Absztrakt:** A cikkben egy saját fejlesztésű közlekedési mikro-szimulátorban meghatározzuk az útidőket és a késleltetési időket egy jelzőlámpával szabályozott csomópontban végződő úton különböző forgalmi áramok és jelzőlámpa ciklusok mellett. Elemezzük a szimulátorunkkal kapott eredményeket és összehasonlítjuk az eredményeinket más a szakirodalomban leírt modellek alkalmazásával kapott eredményekkel. Emellett meghatározzuk a késleltetés szempontjából optimális ciklus-időket különböző terhelés mellett. Végül tárgyaljuk a munka folytatásának különböző lehetőségeit a gyakorlati alkalmazások eléréséhez.

### 1. BEVEZETÉS

A közlekedési jelzőlámpák optimalizálása még ma is aktuális probléma. A témához tartozik egy út végén elhelyezett jelzőlámpa által okozott késleltetések kiszámítása vagy mérése, megismerése. Ennek a feladatnak a megoldásához több különböző modellt és módszert alkalmaztak, amelyek eredményei azonban jelentősen eltérhetnek egymástól a csomópont túlterhelt vagy ahhoz közeli állapotában.

Fontos megkülönböztetni egy adott csomópont lámpa-optimalizálási problémáját és a csomópontok hálózatának optimalizálását egy nagyobb területen.

Egy kereszteződés jelzőlámpája optimalizálására gyakran javasoltak Fuzzy kontrollereket (Pappis *et al.* 1977, Karakuzu *et al.* 2010, Murat *et al.* 2012, Baydokht *et al.* 2014, Postorinoa *et al.* 2014), esetalapú következtetési rendszereket (Castan *et al.* 2014), és más technikákat, módszereket.

A hálózati optimalizációra is számos példát találhatunk: Roupail (Roupail *et al.* 2000) Chicago kilenc kereszteződésének összehangolására javasolt egy genetikai algoritmust a CORISM mikro-szimulátor alkalmazásával. Egy másik ilyen jellegű munkában Málaga és Sevilla nagyobb területeinek jelzőlámpáinak a programjait állították elő Swarm Intelligencia algoritmussal és mikro-szimulátorban tesztelték az eredményeket (García-Nieto *et al.* 2012). Szintén a két város két nagyobb területének jelzőlámpáit programozták az üzemanyag fogyasztás és a káros emisszió csökkentésére metaheurisztika alkalmazásával (García-Nieto *et al.* 2014).

A hálózati optimalizáció komplikáltabb feladatának megoldásához azonban mindenképpen szükséges az egyedi lámpa-optimalizáció, aminek alapja egy túlterhelt esetben is reális késleltetési modell. A jelen munkában a célunk egy saját fejlesztésű, Intelligent Driver Modell (IDM) alapú mikro-szimulátor alkalmazása egy egyszerű teszt csomópont késleltetési időinek meghatározására és az eredmények összevetése más modellekkel. Az eredmények ismeretében meghatározzuk a késleltetési idő szempontjából optimális ciklus-időket.

A cikkben először tárgyaljuk az IDM mikro-szimulátor alapjait a 2. fejezetben. A 3. fejezetben leírjuk a szimulációs méréseket egy úton, amelynek a végén jelzőlámpa van, és a 4. fejezetben összehasonlítjuk a méréseinket különböző ismert módszerek alkalmazásával nyert eredményekkel. Az 5. fejezetben foglalkozunk az optimális lámpaciklus meghatározásával, és összehasonlítjuk az eredmények a magyar útügyi műszaki előírással. A 6. fejezetben egy egyszerű példával megmutatjuk, hogy az IDM modell alapú szimulátor alkalmas lehet a zöld-idő arányok optimalizálására is.

### 2. AZ IDM ALAPÚ MIKRO-SZIMULÁTOR

A saját fejlesztésű közlekedési mikro-szimulátorban az egyes járművek sebességét és pillanatnyi gyorsulását az úgynevezett „követési modell” határozza meg a kérdéses jármű előtt haladó jármű kinematikájának függvényében. A két legismertebb alapmodell ezen a területen az Intelligent Driver Model (IDM) (Treiber *et al.*, 2000, 2001) és a Wiedemann modell (Wiedemann 1974). Mindkét modellben egy paraméter-halmaz határozza meg a jármű viselkedését, és

a legfontosabb (sőt az alapmodellben egyetlen) környezeti bemenő adat a jármű előtt haladó másik jármű kinematikai változói, azaz a relatív pozíció és sebesség. Ezeknek a modelleknek több továbbfejlesztése is született az utóbbi évtizedben (Wiedemann 1991, Derbel *et al.* 2013, 2014), ezenkívül rendelkezésre állnak a két modellt összehasonlító tesztlekés is (Apeltauer *et al.* 2013).

A fejlesztett szimulációs szoftvert úgy terveztük meg, hogy a dinamikai modul tetszőlegesen cserélhető illetve továbbfejleszhető legyen. A jelenlegi méréseket az alap IDM modellel végeztük. Ebben a modellben a pillanatnyi gyorsulást a

$$\frac{dv}{dt} = a \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_0} \right)^\delta - \left( \frac{s^*(v, \Delta v)}{s} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$s^*(v, \Delta v) = s_0 + \max \left[ 0, \left( vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}} \right) \right] \quad (2)$$

egyenletek határozzák meg, ahol  $v$  a saját sebesség,  $\Delta v$  a közvetlenül a jármű előtt haladó másik jármű és az aktuális jármű sebességeinek különbsége,  $s$  a két jármű távolsága és  $s^*$  az ideális követési távolság. A modell optimális paraméter-értéket városi környezetben egy korábbi munkában határoztuk meg (Kovács *et al.*, 2016). Ezek a paraméterek:

- a maximális gyorsulás ( $a = 1.6 \text{ m/s}^2$ ),
- a minimális gyorsulás, azaz maximális fékezési lassulás ( $b = 2 \text{ m/s}^2$ ),
- a maximális sebesség ( $v_0 = 55 \text{ km/h}$ )
- a követési-idő ( $T = 0.86 \text{ s}$ )
- jármű távolság álló helyzetben ( $s_0 = 2 \text{ m}$ )

Ezeknek a paramétereknek az értékei határozzák meg, hogy a különféle szimulált szituációkban a járművek viselkedése mennyire lesz életszerű, azaz mennyire kapjuk vissza például a valós forgalmi mérések eredményeit a szimulációval.

A dinamikai modul fontos része a járművek sávváltását vezérlő egység. Ennek alapját jelenleg a Kesting és munkatársai által javasolt modell képezi (Kesting *et al.* 2007). A sávváltási szándék keletkezhet ettől a modelltől függetlenül is, az útvonal-követő egységnél, amely jelzi a járműnek, hogy a kiválasztott irány követéséhez sávot kell majd váltania. Másrészt a Kesting-féle modellel is kiindulhat a sávváltási szándék, ha a jármű vezetője úgy látja, hogy egy szomszédos sáv előnyösebb a számára a gyorsabb haladás érdekében.

### 3. SZIMULÁCIÓS MÉRÉSEK

Mértük az útidőket a szimulátorral egy 500 m hosszú úton, amelynek a végén jelző lámpa van, és amelyre az autók véletlenszerűen érkeznek. A jelzőlámpa ciklusa két egyenlő szakaszra bomlik. Az első szakaszon a jelzés zöld, 3 mp sárga és 2 mp piros, a másodikon végig piros.

A jelzőlámpákkal kapcsolatos közlekedési kérdések vizsgálatához az útidő helyett, a késleltetést szokás használni. A késleltetést az útidőből a lámpa nélküli útidő kivonásával

kapjuk meg. Feltételezve, hogy a gépjárművek 55 km/óra sebességgel haladnak, 32,7273 mp az elméleti lámpa nélküli útidő. Azonban a szimulátorban a lámpa nélküli útidő a forgalomtól függ, ahogyan 1. Táblázatban látható.

Az útidők méréséhez stacionárius forgalmat vettünk figyelembe. A szimulátorban mért útidőkből kivonva a forgalom szerint megfelelő lámpa nélküli időket megkapjuk a késleltetési időket (2. Táblázat), majd a késleltetési idő alapján az 1. Ábrán látható késleltetési idő függvényeket.

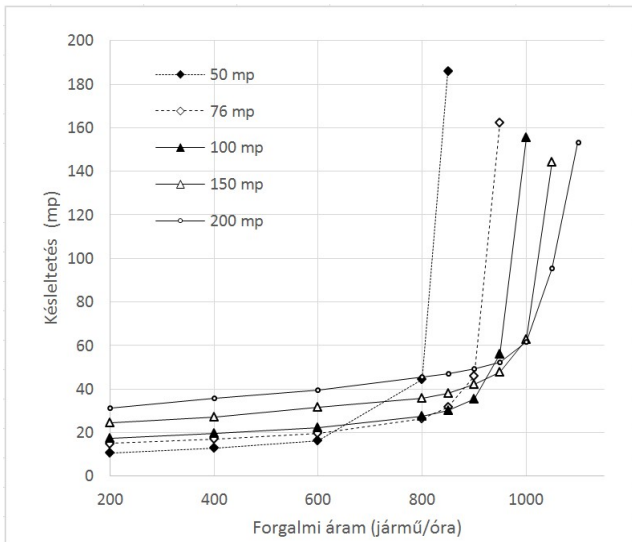
A szimulátorral nyert függvények a lámpa kapacitásáig megfelelnek a Beckmann modellnek (Beckman *et al.* 1956), függnek a forgalomtól, konvexek, folytonosak, nem negatívak és nem csökkenők. A lámpa kapacitását nem lehet túllépni a szimulátoron, és így az útidő függvények eleget tesznek a Nesterov & de Palma modell (Nesterov *et al.* 1998) egyik követelményének, de nem tesznek eleget annak a követelménynek, hogy minden az út kapacitásánál kisebb forgalomra az útidő ugyanaz. Az 1. Ábra grafikonjából látszik, hogy minél nagyobb a jelzőlámpa ciklusideje, annál nagyobb a lámpa kapacitása.

1. Táblázat. Lámpa nélküli útidők

Forgalom (jármű/óra)	Lámpa nélküli útidők (mp)
200	34,58
400	35,59
600	36,19
800	36,86
850	37,03
900	37,17
950	37,30
1000	37,41
1050	37,50
1100	37,62

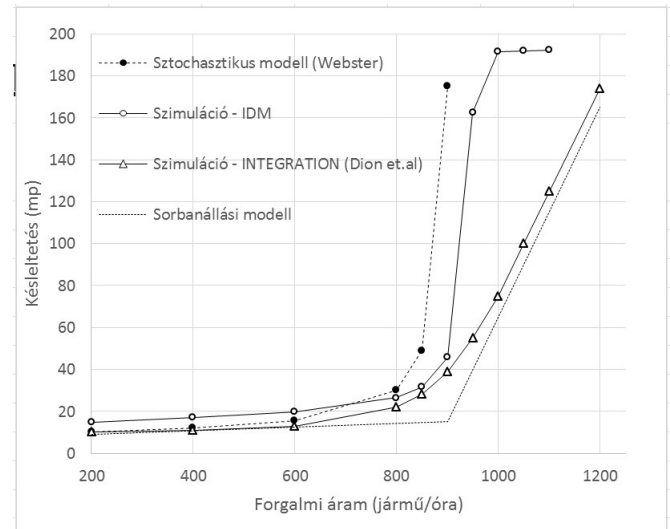
2. Táblázat. Késleltetési idők (mp)

Forgalom (jármű/óra)	Jelzőlámpaciklus (mp)				
	50	76	100	150	200
200	<b>10,63</b>	14,90	17,23	24,42	31,28
400	<b>12,81</b>	17,03	19,60	27,12	35,65
600	<b>16,22</b>	19,62	22,34	31,53	39,41
800	44,45	<b>26,45</b>	27,62	35,58	45,52
850	185,68	31,67	<b>30,27</b>	38,11	46,94
900		45,83	<b>35,21</b>	42,09	49,38
950		162,33	56,06	<b>47,76</b>	52,22
1000		191,40	155,29	62,90	<b>61,67</b>
1050		191,98	176,02	144,25	<b>95,30</b>
1100		192,27	177,24	162,64	<b>153,25</b>



1. Ábra: Késleltetési idő függvények

a sztochasztikus elméleti modell eredményeihez, mint a sorbanállási modell alapú eredményekhez.



2. Ábra: Késleltetés kiszámítására alkalmazott modellek összehasonlítása

#### 4. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEHAJONLÍTÁSA MÁS MODELLEK EREDMÉNYEIVEL

A szakirodalomban több különböző modellt alkalmaztak már a késleltetési idők meghatározására. Itt összehasonlítjuk eredményeinket három módszerrel:

##### a) Webster sztochasztikus modellje (Webster, 1958)

A Webster modellje egy háromtagú képlettel számítja ki a késleltetést. Az első tag egy D/D/1 sorbanállási problémához tartozó várakozás, a második figyelembe vesz további késleltetést a gépjárművek véletlenszerű érkezése miatt, a harmadik egy korrekciós tényező.

##### b) Sorbanállási probléma túltelítettséggel:

A késleltetést egy D/D/1 sorbanállási problémához tartozó várakozásnak tekinti, és megengedi, hogy több gépjármű érkezzen a sorba egy ciklus alatt, mint amennyi a jelzőlámpán át tud menni.

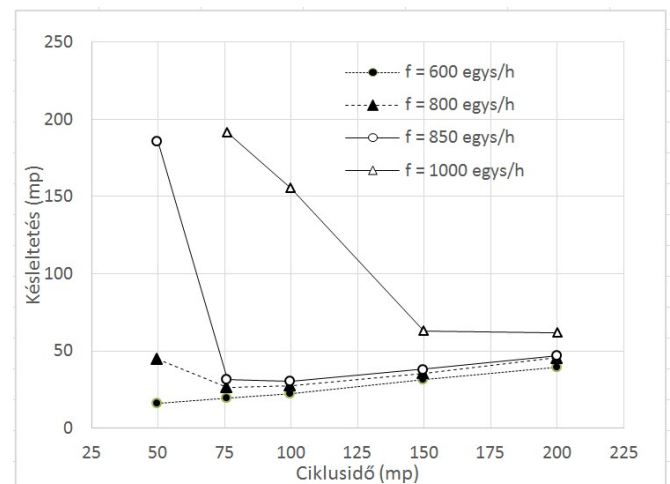
##### c) Az Integration mikroszkopikus közlekedési szimulációs rendszer alkalmazása a késleltetési idők meghatározásához (Dion et al. 2004).

Az összehasonlítást egy grafikonon mutatjuk meg (2. Ábra), és az összehasonlításban alkalmazott jelzőlámpaciklus 76 mp.

A grafikonon lehet látni, hogy a Webster modell esetén a késleltetés a végtelenbe tart, amikor a forgalom közeledik a lámpa kapacitásához. A sorbanállási probléma túltelítettséggel és az Integration rendszer kezeli azt az esetet, amikor a forgalom túllépi a lámpa kapacitását, és kiszámítja a késleltetést. A saját fejlesztésű szimulátorban nem lehetséges nagyobb forgalom az úton, mint a lámpa, és így az út, maximális kapacitása. Amennyiben nagyobb terhelést alkalmazunk, a mért út telítődik és az útidők (továbbá a késleltetési idők) egy maximális konstans értéket vesznek fel (jelen esetben 190 mp), mivel ennyi a mért út megtételéhez szükséges idő a teljesen telített út esetében az adott lámpa-kapacitás mellett. A kapacitás-limitéhez közelebb, de annál kisebb régióban az IDM modell eredményei közelebb állnak

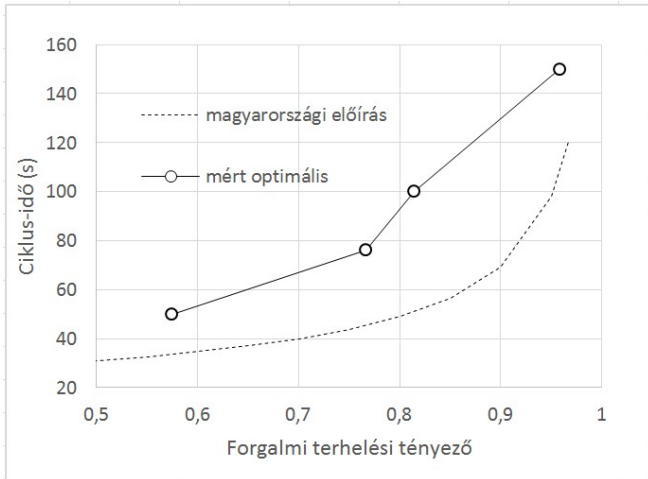
#### 5. AZ OPTIMÁLIS LÁMPACIKLUS

A késleltetési idők táblázatában (2. Táblázat) vastag feketével jelöltük a különböző forgalom értékeihez tartozó minimális (optimális) várakozási időket. Látható, hogy az 50 másodperces jelzőlámpaciklus a legjobb kis forgalom értékeire, de ahogyan növekszik a forgalom, egyre nagyobb a legjobb jelzőlámpaciklus idő. Ezt illusztrálja a 3. Ábra.



3. Ábra: Késleltetési idők függése a lámpa ciklusidőtől

Létezik egy magyarországi előírás (- 2009) a jelzőlámpaciklus beállításához. A következő grafikonon (4. Ábra) összehasonlítjuk az előírás által ajánlott lámpaciklusokat az általunk mért optimálisakkal.



4. Ábra: A magyarországi előírás által javasolt jelzőlámpa ciklusok és a mért optimálisak összehasonlítása.

A grafikonon szereplő „Forgalmi terhelési tényező” definíciója:

Forgalmi tényező =

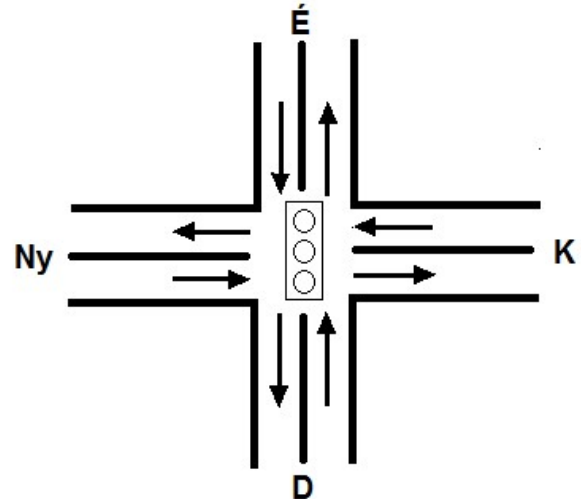
$\sum_{\text{minden irányra}} (\text{aktuális áram} / \text{lámpa nélküli maximális áram})$

Az általunk végzett szimulációk esetén a maximális lámpa nélküli áram 2087 jármű/óra, így például ha mindkét irányban a forgalmi áram 1000 jármű/óra, akkor a Forgalmi terhelési tényező  $2 \cdot 1000 / 2087 = 0,958$ .

Az ábrán látható, hogy a szimulátorral mért optimális lámpaciklusok minden terhelésre felette vannak az előírt értéknek. Ennen ellenére nem vonható le konklúzióként az, hogy minden forgalmi terhelésnél az előírtnál nagyobb ciklusidőket érdemes alkalmazni, mivel ebben a kérdésben a késleltetési időknél kívül egyéb szempontokat is figyelembe kell venni. Ilyen például a 120 másodperces maximális érték előírása, amelynek, többek között pszichikai okai is vannak. Továbbá kockázatos döntés egy nem adaptív programozású rendszerrel a ciklusidő emelése. Egy adaptív rendszerrel viszont a jelen eredmények figyelembe vétele hasznos lehet.

## 6. AZ OPTIMÁLIS ZÖLD-IDŐ ARÁNY

Egy olyan kereszteződéssel foglalkozunk most, amelyben két kétirányú út találkozik. Mind a két út két ellentétes haladási irányú sávval rendelkezik. A kereszteződésben egy jelzőlámpa van, amelynek ciklusa megegyezik a 3. fejezetben leírttal. A ciklus első felében az egyik út kapja a zöld jelzést mindkét irányban, a másodikban a másik út. Csak egyenes irányú áthaladás lehetséges. Az út forgalmi áramának tekintjük a nagyobbat a két irány forgalmi áramai közül. Az 5. ábra illusztrál egy ilyen kereszteződést.



5. Ábra: A teszt csomópont sémája

Ebben a geometriában megmértük egy adott forgalmi terhelés mellett a különböző zöld-idő arányokhoz tartozó összes késleltetési időket. A 3. táblázat mutatja be ezt a példát, amely az 50 másodperces jelzőlámpa ciklushoz tartozik, amikor a Ny – K út forgalmi árama 200 jármű/óra, a D – É út forgalmi árama pedig 400 jármű/óra.

**3. Táblázat. Késleltetési idők (mp) a két forgalmi irány különböző zöld-idő arányai mellett. (Forgalmi áramok: Ny – K 200 jármű/óra, D – K 400 jármű/óra. Jelzőlámpaciklus: 50 mp)**

Zöld-idő arány		Késleltetési idő		Összes késleltetés
Ny - K	D - É	Ny - K	D - É	
75%	25%	4,15	734,34	294 566,00
66%	33%	6,71	39,525	17 151,00
50%	50%	10,63	12,81	7 250,00
33%	66%	19,00	7,245	6 697,00
25%	75%	30,20	4,37	7 788,00

A 3. Táblázatban a legkisebb összes késleltetés értéke 6 697 mp, amelyet a 33% - 66% zöld-idő arányhoz tartozik. Megjegyezzük, hogy ez az összes késleltetés a legkisebb a Ny – K 200 jármű/óra, D – K 400 jármű/óra forgalmi áramok esetén minden jelzőlámpaciklusnak a figyelembe vételével is, amelyekre a késleltetési időket mértük.

A fentiek szerint az optimális jelzőlámpaciklus 50 másodperces, amelyből 33% a Ny – K útnak zöld jelzést adó szakasz, és 66% a D – K útnak zöld jelzést adó szakasz.

Ha nem az optimális jelzőlámpaciklust keressük, hanem egy az optimálishoz közeli ciklus, amely „igazságosabb” abból a szempontból, hogy mind a két úton hasonló a késleltetési idő, akkor az 50% - 50% zöld-idő arányt választjuk.

Ez a módszer egy érdekes alternatívát nyújthat más, bevált módszerek mellett (Péter, T., 2012).

## 7. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS TOVÁBBI LEHETŐSÉGEK

A munka eredményeként sikerült meghatározni az optimális jelzőlámpaciklust egy úton, amelynek jelzőlámpa van az út végén az általunk fejlesztett IDM alapú mikro-szimulátorral, és összehasonlítani az eredményeinket korábban ismert modellek eredményeivel. A kapott késleltetési adatok kis terhelésnél a többi modellhez közeli eredményt mutatnak, túlterhelt esetben viszont közelebb állnak a sztochasztikus elméleti modellhez, mint a sorbanállási modell alapú eredményekhez.

Bemutattuk, hogy az IDM alapú szimulátor alkalmas lehet kereszteződések jelzőlámpa ciklusának optimális beállításához, amely nem csak a példaként mutatott kereszteződésre alkalmazható, hanem más kereszteződésekre is. Szükséges a javaslatunk további feldolgozása és összehasonlítása a probléma ismert más megoldásaival.

Fontos, hogy adott forgalmi áramokhoz rövid idő alatt meghatározható legyen az optimális jelzőlámpaciklus és zöld-idő arány, hogy a módszer alkalmazható legyen adaptív jelzőlámpa kontrollerekben, amelyekben szenzorok segítségével megkapjuk folyamatosan, vagy rövid időközönként a forgalmi áramokat, és a kapott adatok alapján korrigáljuk a jelzőlámpaciklust és a zöld-idő arányt.

Az általunk fejlesztett mikro-szimulátort már alkalmaztuk gyakorlati, valódi problémák modellezésében Kecskeméten, és a további gyakorlati alkalmazások lehetőségeinek a kiaknázását fontosnak tartjuk.

## REFERENCES

- Apeltauer, T., Macur, J., Holcner, P., Radimsky, M. (2013). Validation of Microscopic Traffic Models Based on GPS Precise Measurement of Vehicle Dynamics, *PROMET - Traffic&Transportation*, Vol 25, No 2, 157-167.
- Beckmann, M., McGuire, C. and Winsten, C. (1956). Studies in the Economics of Transportation, CT: Yale University Press.
- Baydokht, R. N., Noori, S., Azhang zad, A. (2014). Presenting a fuzzy model to control and schedule traffic lights, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 26, No. 2, 1007-1016
- Castan R., J.A., Ibarra, S. M., Laria, J. M., Castan, E. R. (2014) An Implementation of Case-based Reasoning to Control Traffic Light Signals, Proceedings of the World Congress on Engineering 2014 Vol I, WCE 2014, July 2 - 4, London, U.K.
- Derbel, O., Péter, T., Zebiri, H., Mourllion, B., Basset, M. (2012). Modified Intelligent Driver Model, *Periodica Polytechnica / Transportation Engineering*, 53-60.
- Derbel, O., Péter, T., Zebiri, H., Mourllion, B., Basset, M. (2013). Modified Intelligent Driver Model for driver safety and traffic stability improvement, *7th IFAC Symposium on Advances in Automotive Control*, Tokyo, 734-739
- Dion, F., Rakha, H., Kang, Y. (2004). Comparison of delay estimates at under-saturated and over-saturated pre-timed signalized intersections. Elsevier, *Transportation Research Part B* 38 (2004) 99-122
- García-Nieto, J., Alba, E., Carolina Olivera, A. (2012). Swarm intelligence for traffic light scheduling: Application to real urban areas, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 25, Issue 2, 274-283
- García-Nieto, J., Ferrer, J., Alba, E. (2014) Optimising traffic lights with metaheuristics: Reduction of car emissions and consumption, *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 6-11 July 2014, Beijing, 48-54
- Karakuzu, C., Demirci, O. (2010). Fuzzy logic based smart traffic light simulator design and hardware implementation, *Applied Soft Computing* 10, 66-73
- Kesting, A., Treiber, M., Helbing, D. (2007) General Lane-Changing Model MOBIL for Car-Following Models, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1999, 86-94.
- Kovacs, T., Alvarez Gil, R. P., Bolla, K., Csizmás, E., Fábrián, Cs., Kovács, L., Medgyes, K., Osztényi, J., Végh, A. (2016). Parameters of the Intelligent Driver Model in signalized intersections, *Technical Gazette*, Vol. 23/No. 5, megjelenés alatt
- Murat, Y. Z., Cakici, Z., Yaslan, G. (2012) Use of Fuzzy Logic Traffic Signal Control Approach as Dual Lane Ramp Metering Model for Freeways, *Online Conference on Soft Computing in Industrial Applications Anywhere on Earth*, December 10-21
- Nesterov, Y. and de Palma, A. (1998). Optimization formulations and static equilibrium in congested transportation networks, Technical report, CORE.
- Pappis, C., Mamdani, E. (1977). A fuzzy logic controller for a traffic junction. *IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC 7/10, 707-717.
- Péter, T. (2012). Modelling of nonlinear road traffic networks for junction control, *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, Vol. 12, No. 3, 723-732.
- Postorinoa, M. N., Versacia, M. (2014) Upgrading Urban Traffic Flow by a Demand-Responsive Fuzzy-Based Traffic Lights Model, *International Journal of Modelling and Simulation*, Volume 34, Issue 2, 102-109,
- Treiber, M., Helbing, D (2000). Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations, *Phys. Rev. E*, 62, 1805-1824.
- Treiber, M., Helbing, D. (2001). Microsimulations of freeway traffic including control measures. *Automatisierungstechnik*, 49, 478-484.
- Webster, F.V. (1958). Traffic signal settings. Road Research Technical Paper No. 39, Road Research Laboratory, Her Majesty Stationary Office, London, UK.
- Wiedemann, R. (1974). Simulation des Straßenverkehrsflusses, *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen*, Vol. 8, Institut für Verkehrswesen, Universität, Karlsruhe
- Wiedemann, R. (1991). Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads. *Drive conference, Brussels, Belgium*, Vol. 2.
- (2009) A jelzőlámpás forgalomirányítás tervezése, telepítése és üzemeltetése, *Ütügyi műszaki előírás, Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium Közlekedési Infrastruktúra Főosztálya*. Nyomtatva: Magyar Közút Nonprofit ZRt., Budapest, 61 oldal