2012. 3. 22.

LXII. ÉVFOLYAM 3. SZÁM
2012. JÚNIUS

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE

KTE

A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVA 1951-BEN

A kiadvány megjelenését a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség és az OTKA közös pályázata támogatta (OTKA CNK 78168).

A különszámban bemutatott publikációk A KÖZÚTI JÁRMŰFORGALOM MODELLEZÉSE ÉS TÖBBKRITÉRIUMÚ OPTIMALIZÁLÁSON ALAPULÓ IRÁNYÍTÁSA A TÁRSADALMI ÉS GAZDASÁGI HATÉKONYSÁG FIGYELEMBEVÉTELÉVEL című projekt eredményeit mutatják be.

A projekt honlapja: http://www.contra.bme.hu/

ÚJ SZÉCHENYI TERV

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség

OTKA

A Közlekedéstudományi Szemle kiadását támogatja a Nemzeti Kulturális Alap

Nemzeti Kulturális Alap

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
Dr. Iványi Árpád
Horváth Lajos
Kalmár Koppány
Mészáros Tibor
Pálfay Antal
Dr. Prileszky István
Saslics Elemér
Szécsey István
Szűcs Lajos
Dr. Tánczos Lászlóné
Dr. Tóth János
Dr. Tóth László

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

SZERKESZTŐSÉG:
1055 Budapest, Kossuth L. tér 6–8. IV. 419.

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

KIADJA:
Közlekedéstudományi Egyesület
1055 Budapest, Kossuth L. tér 6–8. IV. 419.

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

NYOMDAI KIVITELEZÉS:
Press+Print Kft.
Felelős nyomdavezető: Tóth Imre

TERJESZTŐ:
Magyar Posta Zrt. Központi Hírlap Iroda
Előfizethető a Közlekedéstudományi Egyesületnél
Egy szám ára: 1380 Ft, Éves előfizetés: 8280 Ft
Egyéni KTE tagoknak: 4140 Ft

ISSN 0023 4362

A Közlekedéstudományi Szemlét vagy annak részleteit a Szerkesztőbizottság írásos engedélye nélkül bármilyen formában reprodukálni és közölni tilos.

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

A lap egyes számai megvásárolhatók
a Közlekedéstudományi Egyesület Titkárságán
(1055 Budapest, Kossuth L. tér 6–8. IV. 419.),

2012 JÚN 21

TARTALOM

BUDAPEST Közlekedéstudományi Egyesület

Előszó 4

Varga István – Csikós Alfréd – Bokor József
A közúti járműforgalom modellezése és többkritériumú optimalizáláson alapuló irányítása társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével 5

Csikós Alfréd – Varga István
A közúti járműáramlatok makroszintű emissziós modellezése 11

Bede Zsuzsanna – Trencséni Balázs
A közúti járművek károsanyag-kibocsátásának modellezése 17

Gál Gergely – Fütyű István – Mészáros Ferenc
A közúti járműáramlatok minőségi összetételének meghatározása 25

Sipos Tibor – Mészáros Ferenc – Bokor Zoltán
A közúti közlekedés társadalmi költségeinek meghatározása 31

Markovits-Somogyi Rita – Sipos Tibor – Dr.Török Árpád
Árpád: A közúti forgalom irányításával szemben támasztott társadalmi elvárások modellezése 36

Tar József – Rudas Imre – Nádai László – Várkonyi Teréz
A közúti közlekedés kvázistacionárius adaptív, iteratív szabályozása két ellentmondó kritérium szerint 42

Németh Balázs – Mihály András – Gáspár Péter
Tehergépjármű sebességprofiljának megválasztása többkritériumú optimalizálással 49

Sajtóközlemény 55

ELŐSZÓ

A Közlekedéstudományi Egyesület, de talán a teljes közlekedési ágazat legfontosabb tudományos periodikája immár több mint 60 éve a Közlekedéstudományi Szemle. A megjelenés hosszú időszaka alatt a teljességre való törekvés jellemezte a Szemlét, ami azt jelentette, hogy valamennyi közlekedési alágazatot érintő tudományos cikk, tanulmány – természetesen mindig az igényes és szakirányúan fontos tartalom volt a lényeg – helyt kapott benne, így a széles körű ismeretközlés is megoldódott, miután az előfizetők nagy tábora olvasta az anyagokat.

Olyan szám azonban, amit most tart kezében a T. Olvasó, még nem került nyomdába. Nevezetesen, hogy egy teljes kutatási projekt összefoglaló írásai együttesen tanulmányozhatók, olvashatók.

Az OTKA CNK 78168 (témacíme: „A közúti járműforgalom modellezése és többkritériumú optimalizáláson alapuló irányítása társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével") projektben számos segítő, támogató vett részt és a kutatást akadémikusok, professzorok irányították.

A formát – a sorba illeszkedő, de mégis „különszám" – a BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Karával együttműködve találtuk meg, bizonyítva azt a rendkívül jó és gyümölcsöző kapcsolatot, amely a Közlekedéstudományi Egyesület és a BME között fennáll.

A már jelzett projekt megérdemli azt, hogy ilyen széles nyilvánosságot kapjon, mert a közlekedéstudomány sajnos nem rendelkezik sok publikációs lehetőséggel. Ezt a megállapítást igazolja a már többször leírt, de változatlan tény, hogy a Közlekedésépítési Szemle és a Városi Közlekedés című tudományos folyóiratok megszűntek, így a Szemle az egyetlen lektorált, idegen nyelvű összefoglalókkal megjelenő tudományos folyóirat, amely a tapasztalt, illetve a kezdő tudományos kutatóknak publikációs terület, és egyben alkalmas arra is, hogy a tudományos fokozatok megszerzéséhez kötelező nyilvános megjelenés dokumentálható legyen.

Ezt a tulajdonképpen rendkívül kedvezőtlen helyzetet az sem enyhíti, hogy a közlekedés területén számos olyan kiadvány, szaklap stb. jelenik meg, amelyek ugyan alkalmasak a középszintű szakemberek tájékoztatására, esetleg általános érdeklődők informálására, de a tudományos kritériumoknak értelemszerűen nem felelhetnek meg.

A Szerkesztőség tehát azzal ajánlja e számot a T. Olvasó figyelmébe, hogy a Szemle és az Egyetem egy újszerű kezdeményezéssel él, amelynek fogadtatására valamennyien kíváncsiak vagyunk, és érdeklődéssel várjuk, hogy a „különszámot" követhetik-e újabbak?

A főszerkesztő

E SZÁMUNK LEKTORAI:

Berta Tamás
Dr. Csiszár Csaba
Horváth László
Dr. Mándoki Péter
Dr. Péter Tamás
Dr. Szabó Zoltán
Dr. Török Ádám
Dr. Zöldy Máté

A közúti járműforgalom modellezése és többkritériumú optimalizáláson alapuló irányítása társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével

A cikk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és Óbudai Egyetem közös kutatását, az OTKA CNK 78168 számon futó projektet mutatja be. A kutatás a közúti forgalom egy olyan többkritériumú modellezésére és szabályozására irányul, amely irányítási kritériumként veszi figyelembe a károsanyag-kibocsátást, a forgalomtechnikai teljesítményt, a balesetek súlyosságát és gyakoriságát. A tervezett forgalomirányítási keretrendszert a főbb kutatási irányok szerint rendszerezik, a kutatási irányokon belül a végrehajtandó feladatoknak és megvalósításoknak megfelelően összegezve a hároméves kutatás főbb eredményeit.

Varga István,
Csikós Alfréd, Bokor József
e-mail: ivarga@mail.bme.hu;
csikos.alfred@mail.bme.hu;
bokor.jozsef@mail.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedés folyamatosan növekvő mértéke a modern civilizáció egyik legfontosabb ismertetőjegye: a sűrű közúthálózat és a magas motorizáció sok szempontból megkönnyíti mindennapi életünket, ugyanakkor számos nem kívánatos, de elkerülhetetlen hatással jár. A folyamat hatásfokát rontó zsúfoltság, a balesetek növekvő száma és a környezetszennyezés nem csupán az életminőséget rontja, hanem nemzetgazdasági szinten mérhető károkat okoz.

A jelenlegi állapotok és a motorizáció progresszív növekedési üteme azt jelzi, hogy a közúti közlekedési rendszer irányításának olyan új megközelítésére van szükség, ami az előbb említett problémákra globálisan képes megoldást adni. A probléma relevanciáját mutatja, hogy az EU vonatkozó irányelvei szerint a közúti közlekedés CO_2 kibocsátását 60%-kal kell csökkenteni 2050-re a 2005-ös szinthez képest [1]. Kutatásunk célja a közúti közlekedés nyilvánvaló előnyeinek (rövid eljutási idő) minél jobb kiaknázása mellett a vele járó lokális és globális károk enyhítése. Ezt olyan többkritériumú szabályozás tervezésével szeretnénk elérni, ami az optimalizálás során egyaránt figyelembe veszi az említett szempontok gazdasági és társadalmi elvárási megfontolások alapján történő számszerűsítését. Az így befolyásolt folyamatnak valamennyi felsorolt kritérium szerint történő javítása a célunk, lehetővé téve az egyes célfüggvények megfelelő súlyozásával a szempontokra helyezett hangsúly kiemelését, egy-egy kritérium szerinti optimum kizárólagos megvalósítását is.

A kutatáshoz korszerű és széles körben elismert matematikai és irányításelméleti módszereket, szimulációs szoftvereket és eszközöket használunk fel. A probléma megközelítése, megfogalmazása és megoldása során arra törekszünk, hogy a tervezett szabályozás a világ bármely pontján alkalmas legyen a lokális és a globális károk enyhítésére és egy valóban intelligens közlekedési folyamat megvalósítására.

A kutatási projektet befogadó BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Karán, az MTA SZTAKI-ban valamint az Óbudai Egyetemen e területen már eddig számos, nemzetközi tekintetben is jelentős kutatási eredmény született, ezekre támaszkodva indítottuk el a jelenlegi OTKA kutatási projektünket. A projekt illeszkedik a BME Kutatóegyetem „Járműtechnika, közlekedés és logisztika" kiemelt kutatási területének profiljába. A MAG Zrt. által finanszírozott OTKA CNK 78168 számú projektben a célunk olyan átfogó forgalomirányító algoritmusok kifejlesztése, amelyek szemben a jelenleg használatos rendszerekkel, nem csupán a forgalomtechnikai paraméterek alapján szabályoznak, hanem környezetterhelési, biztonsági és gazdasági szempontokat egyaránt figyelembe vesznek. Ez a gyakorlatban többkritériumú optimális irányítási probléma megoldását jelenti. Ehhez a legmodernebb matematikai eszközöket, forgalomszimulációs programokat (VISSIM, EnViVer), illetve más, saját fejlesztésű szoftvereket alkalmazunk. Ezáltal vizuálisan és numerikusan is tesztelhetővé válnak a különböző tervezések eredményei.

A kutatás egy gazdaságban hasznosuló innovációs folyamat megalapozó része lehet, hiszen az eredmények széles körben felhasználhatók járműtervezési és -fenntartási, forgalomirányítási és a környezetvédelmi fejlesztésekben egyaránt, ezáltal a hazai intelligens közúti forgalomirányító rendszerek kifejlesztésének első lépéseit jelenthetik.

A kutatási projekt 2009 júniusában kezdődött és három éves időtartamú, a kutatómunkában huszonöt kutató, harminc hallgató, illetve doktorandusz, valamint öt egyetemi tanszék vesz részt. A projekt vezető kutatói Dr. Bokor József, az MTA rendes tagja, a Közlekedésautomatikai Tanszék vezetője; Dr. Rudas Imre, az MTA doktora, az Intelligens Mérnöki Rendszerek Intézet vezetője; Dr. Palkovics László, az MTA rendes tagja és Dr. Zobory István, az MTA doktora, a Vasúti Járművek Tanszék professzora.

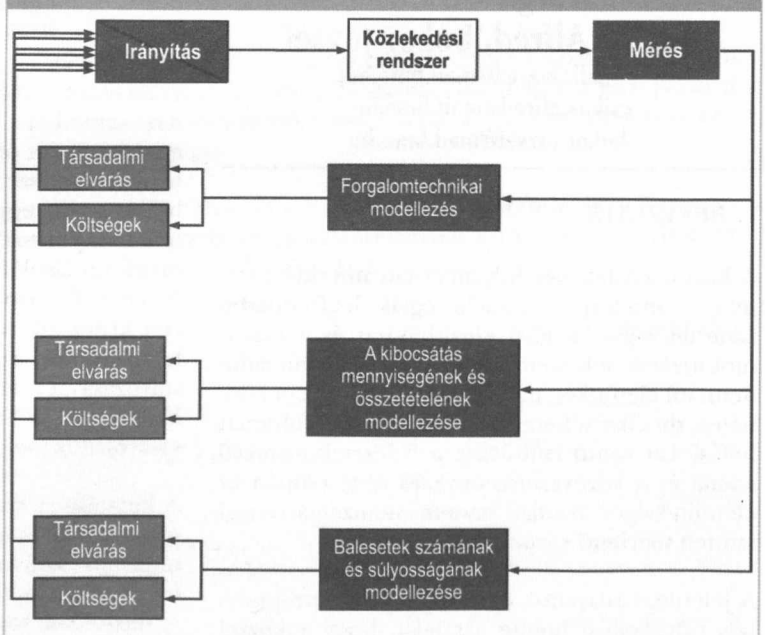
2. A KUTATÁSI FELADATOK CSOPORTOSÍTÁSA, ALPROJEKTEKRE BONTÁSA

A megvalósítandó szabályzás során több szempont szerint optimális folyamat kialakítására törekszünk, ez önmagában hat fő kutatási területet jelöl ki: a rendszer – a közúti közlekedés – modellezését, a forgalomtechnikai paraméterek mérését és a forgalmi performancia modellezését, a károsanyag-kibocsátás és a balesetek modellezését, ezen tényezők társadalomra gyakorolt hatásának vizsgálatát és mérését adó témacsoport. A szabályozási hurok teljessé tétele a multikritériumú optimális irányítással történik, amely további kutatási témát jelent. A kutatómunka tehát szerteágazó tudományterületeket ölel át, ezeket az alábbi témacsoportokra (alprojektekre) bontottuk:

– forgalomtechnika témacsoport,
– károsanyag-kibocsátás témacsoport,
– balesetek témacsoport,
– társadalmi költségek és -elvárás témacsoport,
– irányításelmélet témacsoport.

A szabályozott rendszer áttekintő folyamatábráját mutatja be az 1. ábra, amely az általános hatásvázlatot jelöli.

1. ábra: A megvalósuló szabályozás kutatási témákra bontása



1. táblázat: Egy rugalmas közlekedési rendszer rendszerfolyamatai

Esetszám	Forgalmi környezet	Forgalomösszetétel járműméret szerint	Forgalomösszetétel járműtömeg szerint
'1.1.1'	Autópálya	mért	mért
'1.1.2'	Autópálya	mért	nem mért
'1.2'	Autópálya	nem mért	nem mért
'2.1.1'	Város	mért	mért
'2.1.2'	Város	mért	nem mért
'2.2'	Város	nem mért	nem mért

A valóságban a forgalmi környezet és a forgalmi résztvevők jellemző paramétereinek mérése alapján hat alesetet különböztetünk meg, ezen esetekre különböző megközelítéssel tervezünk szabályozást. Az alesetek jellemzőit az 1. táblázat részletezi.

3. A KUTATÁSI TÉMACSOPORTOK ISMERTETÉSE

3.1. Forgalom témacsoport

A forgalom témacsoporton belül számos feladat merült fel az irányítási rendszer tervezése kapcsán. Elsődleges a folyamat modellezése, rendszerszintű leírása, mivel mindhárom kritérium szerint történő szabályzás ezen a dinamikus rendszermodellen kell működjön. A modellezésnél megkülönböztetjük a városi és autópálya hálózati környezetet a rajtuk haladó forgalom erősen eltérő jellege miatt, a többi témacsoportot és a szabályzási feladatokat is e két forgalmi környezet esetében külön dolgoztuk fel. A témacsoport egy másik fontos feladata a forgalomtechnikai optimum vizsgálata. Ez a témacsoport dolgozza fel a szabályzás megvalósításának kérdéseit is: a forgalmi mérések és a beavatkozás szimulációját szoftver- és hardvereszközökkel. Mérési adatok hiányában a beavatkozás tervezése a statikus forgalomösszetételre támaszkodik. Ennek statisztikai elemzését is ebben a témacsoportban végeztük [8]. A forgalomtechnikai teljesítmény szabályozási kritériumként történő megfogalmazásakor kétféle társadalmi hatást vettünk figyelembe: egyrészt a késések által okozott társadalmi költségeket monetarizáltuk, másrészt a társadalmi elvárás modellezésével a forgalomtechnikai változók alsó állapotkorlátait állapítottuk meg.

Az alprojekten belül a következő témák szerint haladtunk:

- Autópálya járműforgalom dinamikai modellezése (a forgalomtechnikai állapotok definiálása).
  A feladatban először az autópálya forgalmi modell állapottér alakban való felírása történt meg, a másodrendű Payne-Whitham nemlineáris modell alapján [2]. A felírt állapottér-elméleti alak szerint a rendszer állapotait a modellezett útszakasz forgalomsűrűsége és forgalmi átlagsebessége adja, zavarásként hat rá a megelőző szakasz forgalomnagysága és sebessége, valamint a rá következő szakasz forgalomsűrűsége. A rendszer szabályozójele a felhajtó forgalom nagysága. A rendszer nemlineáris jellegének kezelése a szabályzás tervezése során eltérő eszközökkel valósult meg (lásd 3.4 fejezet).
- Városi járműforgalom modellezése.
  A szintbeli csomópontokat tartalmazó közúthálózat irányítása közúti jelzőlámpák segítségével lehetséges, ez különösen nagyméretű (városi) hálózatok esetén elengedhetetlen. A városi forgalom modellezését két megközelítésben végeztük: egyrészt az állapottér alapú modell, az ún. Store-and-forward (tárol és továbbít) modell alkalmazásával, amely a forgalomban érvényes megmaradási elven alapul [3]. A másik megközelítés tetszőleges méretű közlekedési hálózatok matematikai modellezése nemlineáris modell alapján [4]. A szabályozójel mindkét esetben a közlekedési jelzőlámpa egyes fázisainak zöldidejét jelenti.
- Forgalomtechnikai performanciafüggvények felállítása.
  Egy forgalmi folyamat forgalomtechnikai értelemben akkor megfelelő, ha a hálózat útjainak kapacitását maximálisan kihasználva, alacsony eljutási idővel, torlódások nélkül zajlik. Autópályán és városban eltérő forgalomtechnikai célfüggvényeket állítottunk fel a hatékony forgalom eléréséhez. Előbbi esetben az utak ka-

pacitáskihasználását, az időegység alatt a forgalom egésze által megtett utak maximalizálását célozzuk a kritikus forgalomsűrűség értéktartó szabályzásával, utóbbi esetben az eljutási idők minimalizálására törekszünk a kereszteződés előtti sorhosszak minimalizálásával.

- Mérés és beavatkozás realizációja.
  A szabályzott rendszer zárt hurkú szimulációját szoftveresen MatLab/VISSIM környezetben és a PannonTraffic program segítségével valósítjuk meg. A tervezett szabályzás hardveresen is megvalósítható a tanszéken rendelkezésre álló VTC 3000 Actros forgalomirányító berendezéssel.
- Társadalmi költségek és elvárás modellezése.
  A késésből adódó társadalmi költségeket időegység/járműegység fajlagos költséggel állapítottuk meg. Az eljutási időkre vonatkozó társadalmi elvárást minimális átlagos utazósebességgel definiáltuk: ez a forgalmi áramlat átlagsebességének alsó korlátja [10].

3.2 Károsanyag-kibocsátás témacsoport

A forgalmi emisszió modellezése során eltérő megközelítéssel éltünk autópálya és városi forgalmak esetén. Négy szennyező modellezését végeztük: CO_2, HC, CO, NO_X. A felállított modellek alapján ismertté vált a közúthálózaton kibocsátott szennyezőanyag mennyisége, a szabályozást azonban kétféle társadalmi hatás figyelembevételével terveztük: egyrészt a szennyezők által okozott gazdasági kár monetarizálásával, másrészt a társadalmi elvárás modellezésével.

A témacsoport feladatairól bővebben:

- Autópálya forgalom károsanyag-kibocsátásának valós idejű modellezése.
  Autópálya forgalmi környezetben a meglévő makroszkopikus emissziómodellek alkalmazását vizsgáltuk, és egy módszert vezettünk le és validáltunk a forgalmi kibocsátás valós idejű jellemzésére, kizárólag hurokdetektoros mérési adatok alapján [4]. A felállított modellfüggvény alapján különböző költségfüggvényeket állítunk fel a szennyezők lokális (egészségi hatások, savas eső) és globális (üvegházhatás, fosszilis üzemanyagok kiapadása) hatásainak csökkentéséhez. A felállított modell validálását a VISSIM/EnViVer szoftverek segítségével végeztük.
- Városi forgalom kibocsátásának modellezése flottaadatok alapján.
  Városi forgalom esetén egy meglévő mérési adatsorból (egy flotta sebességprofiljaiból, fogyasztási és kibocsátási adataiból) kiindulva a mikroszkopikusan felírható kibocsátási függvényt [8] makroszkopikus szinten szoftveres szimulációkkal illesztjük forgalmi adatokra, és ebből nyerünk összefüggést a városban mérhető forgalomtechnikai változók (sorhossz, forgalomsűrűség) és a kibocsátások között.
- Társadalmi költségek és elvárás modellezése.
  A káros anyagok társadalmi költségeit a kibocsátott szennyezőanyagokra pénzegység/tömegegység fajlagos költséggel állapítottuk meg. A kibocsátásra vonatkozó társadalmi elvárást a légszennyezettségen keresztül fogalmaztuk meg: ehhez az immisszió és az emisszió kapcsolatának vizsgálata volt szükséges.

3.3 Balesetek témacsoport

A közúti baleseteket gyakoriság és súlyosság alapján vizsgáltuk. Négy kategóriát különböztettünk meg: anyagi kárt okozó, könnyű sérüléssel járó, súlyos sérüléssel járó és halálos baleseteket. Mivel a balesetek bekövetkezése, illetve a bekövetkezett balesetek súlyossága alapvető forgalmi jellemzők (elsősorban a járművek ütközéskori sebességének) függvénye, a balesetek várható számának meghatározását elsősorban a forgalmi sebesség alapján végeztük; a forgalmi környezetet az útosztály figyelembevételével különböztettük meg. A baleseteket valószínűségi módszerekkel modelleztük, meghatározva az egyes balesettípusok relatív gyakoriságát. A téma feldolgozása itt is magába foglalja a társadalmi és gazdasági költségek meghatározását.

A témacsoport feladatai közé tartozott:

- A közúti forgalmi változók és a baleseteket jellemző változók közötti összefüggések meghatározása.
  A feladatban a futásteljesítményre vonatkoztatott relatív baleset-gyakoriságot határoztuk meg járműkategóriák szerint. A statisztikai adatokból az átlagos balesetszám, valamint a sebesség- és járműkategória faktorok felhasználásával egy vizsgált szakasz egy kilométeres környezetében bekövetkező balesetek számát a forgalomsebesség és forgalomsűrűség függvényében határoztuk meg.
- Társadalmi költségek és elvárás modellezése.
  A balesetek társadalmi elvárásainak megfogalmazásánál az EU vonatkozó irányelve által kitűzött célértékeket fogalmaztuk meg (0 halálos áldozat/1000 jmkm). A baleset költségeinek számítását a Winbal szoftver által a balese-

tek járműkategóriára és súlyra vonatkoztatott gyakorisága és az OKA adatbank adatai alapján készítettük.

3.4 Irányításelmélet témacsoport

A felvázolt rendszer szabályzási feladata egy több kritériumot figyelembe vevő optimális irányítás, amelyet a rendszer nemlinearitása, továbbá az állapotokra és bemenőjelre vonatkozó korlátok tesznek kihívássá. A feladathoz modern irányításelméleti eszközöket használtunk fel. Vizsgáltuk a többkritériumos optimális irányítás eszközeit, a nemlineáris rendszer többkritériumú prediktív irányítását, ugyanezen rendszer adaptív irányítását időben folytonos modell és robusztus fixpont transzformációs módszer segítségével. Módszert dolgoztunk ki kis számítási igényű, robusztus szabályozásokra. A szabályozási módszereket teljes forgalmon, illetve rövid járműfüzérek sebességkövetési feladatán teszteljük.

A témacsoportban alkalmazott és fejlesztett módszerek:

- Nemlineáris rendszer többkritériumú prediktív irányítása.
  Az autópálya forgalom nemlineáris rendszermodelljének figyelembevételével több kritérium együttes optimális irányítását valósítottuk meg a nemlineáris modell prediktív irányítás (NMPC) segítségével. A kritériumokat a forgalomtechnika alprojektben felállított forgalomtechnikai költségfüggvények és az emisszió alprojektben felállított valós idejű kibocsátási modell alapján írtuk fel zárt alakban. A szabályzás egyrészt a forgalomtechnikai performanciát javította az összes megtett járműkilométer javításával az üzemanyagfogyasztás csökkentése mellett. Emellett csökkentette a globális és lokális hatású káros szennyezők mennyiségét. A szabályzást zárt hurokban VISSIM/MatLab/EnViVer szimulációs környezetben valósítottuk meg.
- Nemlineáris rendszer adaptív irányítása időben folytonos modell és robusztus fixpont transzformációs módszer segítségével.
  A stacionárius állapotokhoz tartozó modelleredmények szimpla polinomiális közelítésén és a robusztus fixpont transzformáción alapuló adaptív szabályozást terveztünk, amely a forgalomsebességek megfigyelését igényli, és a felhajtó ráeresztési rátáját tekinti szabályozó jelnek. A módszer sajátsága, hogy a rendelkezésre álló analitikus modell feldolgozását nem valós időben, hanem offline végzi el, így a szabályozó valós idejű terhelése igen csekély. A javasolt adaptív módszer [7] nem paramétert hangol, hanem a szabályozott rendszer adott szituációban érvényes megfigyelésének alapján korrigálja egy kiindulási modellből kapott számítások eredményeit (tehát nem magát a modellt javítja). A másik beavatkozó jel egy közúti tábla segítségével a vezetők számára előírt haladási sebesség. Ismertnek tételezzük fel a kiemelt szakaszba időegység alatt beömlő forgalomnagyságot és forgalmi átlagsebességet. A szabályozó ezen kívül mindössze egyetlen sebesség megfigyelését igényli. A módszer használhatóságát SCILAB-SCICOS szimulációval teszteltük.
- Járműfüzér sebességkövetési feladata.
  A gépjármű sebességkövetési feladata egy többkritériumos optimalizálási feladat. A járműfüzérnek három performanciát kell kielégítenie: az egyik az előírt sebességérték minél pontosabb követése az optimális eljutási idők érdekében, a második a laterális erőkifejtés optimalizálása az üzemanyag-fogyasztás minimalizálása céljából, a harmadik feladat a károsanyag-kibocsátás csökkentése. A feladat egy olyan szabályzás tervezése, amely a tervezés során specifikált minőségi tulajdonságokat előírt minimális hibával biztosítja. A robusztus tervezésben figyelembe vettük a rendszer bizonytalanságait, elhanyagolt dinamikáit. Ezen vizsgálatok CarSim programban végzett szimulációs kísérletekkel kerültek igazolásra [5].

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjaink legfontosabb mérnöki irányelve, a fenntartható fejlődés a közúti közlekedés tervezésében is megjelenik. A közlekedés ugyanis az általa nyújtott mobilitás előnyei mellett számos káros hatással bír: a légszennyezés, a torlódások és a balesetek a legszembetűnőbb károk, amelyek a társadalom egészét terhelik. Kutatási projektünkben a közúti forgalom olyan többkritériumú optimális irányítását tűztük ki célul, amely ezen negatív externáliák egyidejű minimalizálásával teszi meg a lépést a fenntartható közlekedés felé. A kutatás számos tudományterületen zajlott: a modern rendszer- és irányításelméleten kívül a forgalomelmélet, a járműrendszer-dinamika és a közgazdaságtan eredményeit alkalmazta és gazdagította. A tervezett irányítások előzetes szimulációi rendkívül ígéretesek. A végleges eredmények 2012 végére várhatók.

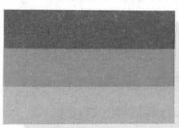
Az elmúlt csaknem három év tudományos eredményeiből 65 folyóirat cikk (ebből 11 impact factor-os) és 69 konferenciacikk született.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Transvisions final report: Http://ec.Europa.eu/transport/strategies/studies/doc/future_of_transport/2009_02_transvisions_report.pdf
2. Luspay, T., Kulcsár, B., Varga, I., Bokor, J.: Parameter-dependent modeling of freeway traffic flow. Transportation Research Part C – Emerging Technologies. Vol. 18: (4) pp. 471-488. (2010)
3. Tettamanti, T., Varga, I.: Distributed traffic control system based on model predictive control. Periodica Polytechnica – Civil Engineering Vol. 54:(1) pp. 3-9. (2010).
4. Bede Zs. – Péter T.: Nagyméretű közlekedési hálózati modell továbbfejlesztése, Városi közlekedés, L. évfolyam 4. szám 236-238 p. 2010. augusztus.
5. Csikós, A., Varga, I.:Real-time estimation of emissions emerging from motorways based on macroscopic traffic data: Volume 8 Issue Number 6 2011. Acta Polytechnica Hungarica Vol. 8:(6) pp. 95-110. (2011)
6. Németh, B., Csikós, A., Varga, I., Gáspár, P.: Road inclinations and emissions in platoon control via multi-criteria optimization. MED 2012 - 20th Mediterranean Conference on Control and Automation. Barcelona, July 3-6, 2012. Accepted.
7. József K. Tar, János F. Bitó, Imre J. Rudas, Kristóf Eredics: Comparative Analysis of a Traditional and a Novel Approach to Model Reference Adaptive Control, in Proc. of the 11th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics, Budapest, November 18-20, 2010, Óbuda University, pp. 93-98, ISBN: 978-1-4244-9278-7, IEEE Catalog No.: CFP1024M-PRT.
8. Szabó B., Trencséni B.: Járművek emissziójának modellezése a forgalmi viszonyok és a környezeti hatások figyelembe vételével, A jövő járműve, 2010/1-2. szám, ISSN 1788-2699.
9. Rita Markovits-Somogyi, Adam Torok: Statistical Analysis Of The Hungarian Vehicle Fleet With Special Emphasis On Emissions, European Conference Of Energy Economics, 2010.
10. Mészáros Ferenc, Török Ádám: Határköltség alapú közúti közlekedési költségszámlák és becslési modellek. XI. RODOSZ konferenciakötet. ISBN: 978-973-88394-2-7. Kolozsvár, Románia, 2010.11.19., pp. 461-468.

Modeling and multicriteria control of road traffic considering social and economic effectiveness

The paper summarizes the results of the research project funded by the Hungarian National Scientific Research Fund (grant no. OTKA CNK 78168). The research aims at creating a traffic control framework that is optimal in terms of traffic performance, emissions and fuel consumption and the number and severity of the occuring accidents. The designed control framework is reviewed highlighting the main research fields of the project. Then, each research field is detailed by the tasks completed. Finally, the scientific contribution of the three-year-long project is stated.



Modellierung und multikriterielle Steuerung von Strassenverkehr unter Berücksichtigung sozialer und wirtschaftlicher Effizienz

Im Artikel werden die die Ergebnisse der Forschungsprojektes, finanziert durch das Ungarische Nationalprogramm für Wissenschaftliche Forschung (OTKA) (No. CNK OTKA 78168) zusammengefasst. Die Forschung erzielt das Schaffen einer Verkehrskontrolle, die optimale Rahmenbedingungen für Verkehrsleistung, Emissionen, Kraftstoffverbrauch sowohl eine Minimierung der Anzahl und Schwere der Unfälle ermöglicht. Die Rahmen der Steuerung werden mit Hilfe der wichtigsten Forschungsfelder bestimmt, danach wird jedes Forschungsgebiet des Projekts ausführlich dargestellt. Schliesslich werden die wissenschaftlichen Beiträge des der drei Jahre deuernden Projektes überblickt.

A közúti járműáramlatok makroszintű emissziós modellezése

Az ismertetett valós idejű makroszkopikus emisszió modellezési módszer az átlagsebesség alapú emissziómodellezésre épül. A modell levezetése makroszkopikus szinten történik a forgalomtechnikai performancia függvényekből kiindulva. A modell bemenetei valós idejű forgalmi változók és alkalmasak a károsanyag-kibocsátás térbeni és időbeni eloszlásának meghatározására.

Csikós Alfréd, Varga István
e-mail:csikos.alfred@mail.bme.hu;
ivarga@mail.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Napjaink legfontosabb mérnöki alapelve a fenntartható fejlődés biztosítása. Ez a közlekedéstervezésben olyan folyamat megvalósítását jelenti, amely mind társadalmi költségek (késések, magas üzemanyag-fogyasztás, szennyezők egészségi hatásai), mind környezetvédelmi (szennyezők lokális és globális hatásai (savas eső, globális felmelegedés)) szempontból optimális. A forgalomirányítási eszközöket az elmúlt években széles körben alkalmazták a torlódások mérséklésére, a károsanyag-kibocsátás és üzemanyag-fogyasztás optimalizálása azonban csak a közelmúltban került a figyelem középpontjába. A megfelelő irányítási célfüggvények felállításához elengedhetetlen az emisszió természetének megismerése.

A közúton megjelenő szennyezés és üzemanyag-fogyasztás számszerűsítésére számos modell és módszer létezik, ezeket több szempont alapján csoportosíthatjuk. A bemeneti változók felbontása alapján megkülönböztetünk mikroszkopikus (járműegyedre vonatkozó) és makroszkopikus (forgalom egészére vonatkozó) emissziómodelleket. A mikroszkopikus emissziómodellek pillanatnyi menetdinamikai jellemzők alapján számítják a járművek pillanatnyi kibocsátását (pl. Versit+Micro, lásd: Smit et al. 2007). A makroszkopikus modellek (pl. COPERT) (lásd Ntziachristos et al. 2000) aggregált forgalmi jellemzők alapján becsülik egy közúthálózat adott időtartamon értelmezett károsanyag-kibocsátását. Ezt a modellezési megközelítést elsősorban az összesített kibocsátás-leltárak (emission inventories) (pl. Smit et al. 2010) készítésére használják, a modell alapú szabályzásra való alkalmazás csak kevés esetben merült fel. A forgalomirányítási modellek valós idejű forgalmi adatokat alkalmaznak. Így felmerül a modellek alkalmazása a kibocsátás valós idejű jellemzésére. Xia et al. és Zegeye et al. (2009) különböző felbontású emissziómodellek alapján terveztek szabályzást, de az emissziómodellek valós időben történő alkalmazását nem vizsgálták.

Kutatásunk egyik célja a forgalmi károsanyag-kibocsátás irányítási kritériumként való formalizálása. Ebben a cikkben egy makroszkopikus emissziós modellfüggvényt állítunk fel, amely a kibocsátás valós időben történő jellemzésére alkalmas. A modell autópálya forgalmi környezetben érvényes, mivel itt a hurokdetektoros forgalmi mérések kellő pontossággal jellemzik a forgalom kibocsátását (lásd: Csikós et al. 2010). A felállított makroszkopikus modellfüggvény egy átlagsebesség alapú emissziófüggvény és valós idejű forgalmi változók használatával írja le a szennyezés tér- és időbeli előfordulását. A szennyezés célfüggvényként való felírása során megkülönböztetjük a lokális és globális hatású szennyezőket.

A javasolt módszert négy fejezetben mutatjuk be. A rövid bevezetés után a makroszkopikus forgalomleíráshoz és az emissziómodellezéshez szükséges ismereteket foglaljuk össze. A negyedik fejezetben a javasolt modellfüggvényt ismertetjük, amelynek VISSIM/EnViVer környezetben történt validációját az ötödik fejezet tartalmazza. A hatodik fejezetben az emisszió mint szabályozási kritérium célfüggvényeit ismertetjük.

2. KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁS MODELLEZÉSE

2.1 Emisszióleltárak

A makroszkopikus emissziómodellezés alapvetően a közlekedésből származó szennyezés területi eloszlásának jellemzése. Az emisszióleltárak egy adott hálózaton, meghatározott időtartam alatt kibocsátott összes szennyező anyag mennyiségét listázzák. A „p" szennyező „v" hálózaton „τ" idő alatt kibocsátott mennyisége:

$$E^p_{v,\tau} = VKT_{v,\tau} \cdot ef^p(v_{v,\tau}) \quad (1)$$

ahol a a mobilitási szint (utazott járműkilométer - vehicles kilometers traveled) [jmkm] a „v" hálózaton, „τ" időszak alatt. Ez a járművek futásteljesítményéből (napi, havi, éves...) becsülhető, (lásd Smit et al. (2010)). $ef^p(v_{v,\tau})$ a forgalom átlagos távolságfajlagos kibocsátása „p" szennyezőből, az adott hálózaton, adott időszak alatt, argumentuma a „v" hálózaton, „τ" időszak alatt mért átlagsebesség.

2.2 Átlagsebesség alapú emissziómodellezés

Átlagsebesség alapú emissziómodellek esetén a modell kimenete a forgalom távolságfajlagos kibocsátása, amit az átlagsebesség függvényeként kapunk. Általános esetben ez egy „m"-edrendű konvex polinomfüggvény, és az ilyen modellek validálása során az argumentumban szereplő átlagsebesség szabványos menetciklusokat reprezentál (lásd: Smit et al. (2010)). A távolságfajlagos kibocsátás járműosztályonként, motortípusonként és szennyezőnként eltérő. A „p" szennyező „c" járműtípusához tartozó távolságfajlagos kibocsátás függvénye:

$$ef^{p,c} = \alpha^{p,c}_m v^m + \alpha^{p,c}_{m-1} v^{m-1} + \ldots + \alpha^{p,c}_0 = [g/km] \quad (2)$$

ahol $\alpha^{p,c}_i$, i=1,...,m konstans paraméterek.
Heterogén forgalom esetén az átlagos távolságfajlagos kibocsátás a járműosztályok szennyezéseinek lineáris kombinációjaként áll elő:

$$ef^p = \sum_{c=1}^{N_c} \gamma_c ef^{p,c} = [g/km] \quad (3)$$

ahol N_c a járműosztályok száma.

A szennyezés jellemezhető az időfajlagosan e=[g/h] függvénnyel is, ezt az alábbi összefüggéssel nyerjük tetszőleges „c" típusú járműre: (lásd Tiwary és Colls):

$$e^{p,c} = ef^{p,c} \cdot v \quad (4)$$

Az összefüggés általánosítható átlagos forgalmi távolságfajlagos és időfajlagos kibocsátásokra, amennyiben a pillanatnyi sebességet átlagsebességgel helyettesítjük.

A makroszkopikus forgalmi modellben igen kevés információ áll rendelkezésre a járművek menetdinamikai jellemzőiről, kizárólag hurokdetektoros mérésekre támaszkodhatunk. A Csikós et al. (2010) cikkben megmutattuk, hogy az egyéni gyorsulások makroszkopikus jellemzőkkel való becslése igen pontatlan, autópályán kellő pontossággal jellemzi a kibocsátást az átlagsebesség alapú modellezés, így a jelen modellben is ez szerepel.

3. MAKROSZKOPIKUS FORGALOMMODELLEZÉS

A makroszkopikus forgalommodellezés a forgalmat áramló gázként írja le, figyelmen kívül hagyva a járművek egyéni dinamikai jellemzőit. A modell változói tértől (x) és időtől (t) egyaránt függő jellemzők: a forgalomnagyság (q(x,t)=[jm/h]), a forgalomsűrűség (ρ(x,t)=[jm/km]) és a forgalmi átlagsebesség (v(x,t)=[km/h]). A három térben és időben folytonos változót diszkrét változókkal közelítik a hurokdetektoros mérések, a diszkretizáció felbontásáról és a modell pontosságáról lásd Cremer et al. (1981). A forgalomváltozók közti összefüggést az ún. fundamentális egyenlet adja meg:

$$q_{LxT} = v_{LxT} \cdot \rho_{LxT} \quad (5)$$

A következőkben a forgalomtechnikai változók és a forgalomtechnikai performancia függvények közötti összefüggéseket tekintjük át.

Tekintsünk egy homogén forgalmat, amely egy autópálya-szakaszon halad, és vizsgáljuk a forgalmi változókat egy rövid $[l_0;l_0+L]$ szegmensen, egy $[t_0; t_0+T]$ rövid időszakon (vizsgálat egy LxT méretű tér-idő ablakban).

Az átlagos forgalomsűrűség az LxT ablakban (rho(LxT) egyenlő a benne töltött eljutási idővel (Total Time Spent, TTS) osztva az ablak méretével:

$$\rho_{[l_0;l_0+L]\times[t_0;t_0+T]} = \rho_{LxT} = \frac{TTS_{LxT}}{L \cdot T} \quad (6)$$

Az átlagos forgalomnagyság (q_{LxT}) a vizsgált LxT ablakban egyenlő a benne megtett összes utazási távol-

sággal (Total Travel Distance, TTD) osztva az ablak méretével:

$$q_{[t_0;t_0+L]\times[t_0;t_0+T]} = q_{L\times T} = \frac{TTD_{L\times T}}{L \cdot T} \qquad (7)$$

A (6) és (7) egyenletek alapján egy tetszőleges tér-idő ablakban kifejezhető kétféle forgalmi performancia a tér-idő ablak méretének és a benne mért átlagos változóknak a felhasználásával. Az összefüggések levezetése részletesen olvasható Ashton (1966) munkájában. Az eljutási időt alkalmazza többek között Hegyi et al. (2005) és Zegeye et al. (2009). A negyedik fejezetben a forgalmi emisszió performanciáját vezetjük le hasonló megfontolások alapján.

4. FORGALMI KIBOCSÁTÁS MODELLEZÉSE VALÓS IDŐBEN

A diszkrét idejű folyamatszabályozási rendszerek irányítását, a beavatkozás mértékét minden mintavételi időben aktualizálja az irányítási rendszer az állapotváltozóinak valós idejű mérései alapján. A forgalomirányítási rendszerek esetén a beavatkozójelet valamely performancia- vagy célfüggvény (pl. eljutási idők) optimalizálásával számítjuk. A rendszer kibocsátás szempontjából optimális bemenetét a kibocsátási célfüggvény optimalizálásával nyerjük. A célfüggvényekhez elsőként egy modellfüggvény felírása szükséges, amely valós idejű forgalmi adatokból fejezi ki a károsanyag-kibocsátás valós idejű alakulását. A modellfüggvény levezetése a Csikós et al. (2011) munkában aggregált mikroszkopikus kibocsátásokból történt, jelen munkában az összefüggést makroszkopikus megközelítésből mutatjuk be.

Tekintsük a kibocsátást egy „p" szennyezőre LxT méretű tér-idő ablakban. (Feltételezvén, hogy a forgalom homogén.) Alkalmazzuk (4) egyenletet kis tér-idő ablakokra, a forgalmi kibocsátás valós idejű modellezése az alábbi gondolatmenet alapján írható fel:

– számítsuk a távolságfajlagos kibocsátást az LxT ablakban a hurokdetektoros mérésekből nyert forgalmi átlagsebesség alapján, ekkor a forgalom átlagos távolságfajlagos kibocsátásához jutunk:

$$ef^p(v_{v,\tau}) = ef^p(v_{L\times T}) \qquad (8)$$

az (1) egyenletben helyettesítsük VKT-t TTD-vel (7) alapján. Így egy kis LxT ablakban jellemző kibocsátáshoz jutunk, makroszkopikus forgalmi változók felhasználásával:

$$E^p_{L\times T} = ef^p(v_{L\times T}) \cdot TTD_{L\times T} = ef^p(v_{L\times T}) \cdot q_{L\times T} \cdot L \cdot T \qquad (9)$$

a fundamentális összefüggés (7) felhasználásával:

$$E^p_{L\times T} = ef^p(v_{L\times T}) \cdot v_{L\times T} \cdot \rho_{L\times T} \cdot L \cdot T \qquad (10)$$

a (4) egyenlet makroszkopikus értelemben történő alkalmazásával:

$$E^p_{L\times T} = e^p(v_{L\times T}) \cdot TTS_{L\times T} = e^p(v_{L\times T}) \cdot \rho_{L\times T} \cdot L \cdot T \qquad (11)$$

A térben-időben diszkrét makroszkopikus forgalommodellezés szokásos jelöléseit alkalmazva, a „p" szennyező valós idejű, makroszkopikus értelemben vett emissziója tetszőleges „i." szakaszon, „k." diszkrét lépésben (az L_ixT_s tér-idő ablakban) ((2), (4), és (11) alapján):

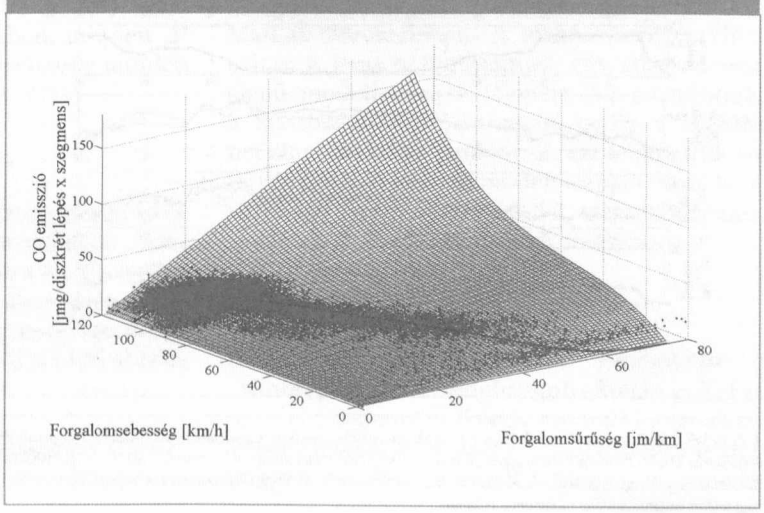
$$E^p_i(k) = \frac{T_s}{3600} L_i \rho_i(k) \left(\alpha^p_m v_i^{m+1}(k) + \alpha^p_m v_i^m(k) + \ldots + \alpha^p_0 v_i(k)\right) = \\ = [\text{jmg/diszkrét lépés} \cdot \text{szegmens}] \qquad (12)$$

ahol T_s jelöli a mintavételi időt.

Ez a formula egyezik a Csikós et al. (2011) munkában levezetett és validált összefüggéssel. Inhomogén forgalmi áramlat esetén a kibocsátás a (13) szerint számítandó.

$$E^p_i(k) = \sum_{c=1}^{N_c} \gamma_c(k) E^{p,c}_i(k) \qquad (13)$$

1. ábra: Valós idejű makroszokpikus CO kibocsátásfüggvény. Szegmenshossz: 1 km, mintavételi idő: 10 s



ahol „c" jelöli a jármű típusát, N_c a járműtípusok száma, a „c" típus előfordulási aránya. A valós idejű makroszkopikus emissziófüggvényt (12) az első ábra ábrázolja a CO szennyezőre, a magyarországi 2010. évi statikus forgalomösszetételre, a Copert IV modell felhasználásával. A függvény jellemző értelmezési tartományának kiemeléséhez valós forgalmi változó mérési adatokhoz tartozó emisszióértékeket jelöltünk kék pontokkal (a mérési adatok az M5 autópálya egy jellemző hétköznapi forgalmának mérési adatai 2010-ből).

5. MODELL VALIDÁCIÓ

Ebben a fejezetben a (12) egyenlettel megadott makroszkopikus emissziófüggvény validációját mutatjuk be. Az átlagsebesség alapú emisszió modellezéshez a Copert IV modellt alkalmazzuk, amelyet a mikroszkopikus Versit+Micro (Smit et al. 2007) modell emisszióértékeihez hasonlítunk.

A szimulációk VISSIM környezetben történtek, amely egy mikroszkopikus forgalommodellező szoftver, és alkalmas makroszkopikus forgalmi mérések modellezésére is. Egy Budapest határában fekvő, kétsávos autópálya szakaszt modelleztünk: az M5 autópályát a 18. és 24. km között észak-déli irányban. 30 perces időtartamot modelleztünk, amely alatt a makroszkopikus kibocsátásfüggvényt (12) a Copert IV modellből MatLab segítségével számítottuk. A referenciaként tekintett mikroszkopikus kibocsátást a VISSIM EnViVer emissziómoduljából nyertük.
A szimuláció alatt különböző forgalmi állapotokat generáltunk: szabadáramlási, telített és torlódott forgalmat. A torlódást egy baleset által okozott útszűkület indítja el, ami magától megszűnik. A különböző állapotokban és a köztük történő átmenetekben módunk nyílik a modellfüggvény pontosságának vizsgálatára.

A szimuláció során a torlódás által legjobban sújtott 1 km hosszúságú szakasz eredményeit ábrázolja a második ábra. Az emissziógörbéket tekintve kijelenthető, hogy a makroszkopikus modell kellő pontossággal közelíti a mikroszkopikus (valósnak tekintett) kibocsátást, különösen nagy sebességek esetén. A modell pontosságát a három jellemző forgalmi állapotban vizsgáltuk: szabadáramlási állapotban (0-20 és 85-90 lépés); telített áramlási állapotban (20-35 és 70-85 lépés); illetve torlódott forgalom esetén (35-70 lépés). A modell relatív hibáit az első táblázat tartalmazza.

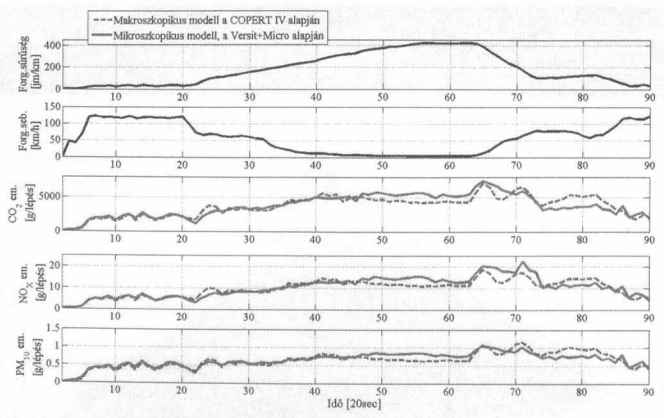
A modell pontossága szabadáramlási módban a legjobb. Viszonylag magas modellhiba jellemző telített és torlódott forgalom esetén, amit az elhanyagolt sebességdinamika magyaráz.

6. A MAKROSZKOPIKUS EMISSZIÓFÜGGVÉNYEK ALKALMAZÁSA IRÁNYÍTÁSI KÖLTSÉGFÜGGVÉNYKÉNT

6.1 Globális hatású szennyezők

A közútforgalmi szennyezés tárgyalásakor alapvetően két fontos hatás emelhető ki: a fosszilis energiaforrások kimerülése a magas üzemanyag-fogyasztás[1] miatt, illetve a globális felmelegedés. Az üvegházhatásért leginkább felelős két kipufogógáz a CO_2 és a NO_X, de a GWP (Global Warming Potential) indexet (lásd Elrod et al.) alkalmazva valamennyi kipufogógáz felmelegedésért való felelőssége számszerűsíthető, így valamennyi kipufogógázra értelmezhető az alább részletezett költségfüggvény. (Természetesen a legnagyobb nagyságrendben CO_2 keletkezik, így elsősorban ennek optimalizálása a cél.)

2. ábra: A vizsgált szakasz forgalmi változói és kibocsátásai



1 A belső égésű motorokban lejátszódó reakció sztöchiometriai egyenleteit alkalmazva megmutatható, hogy a CO_2 kibocsátás és az üzemanyag-fogyasztás között lineáris összefüggés áll fenn: (lásd Tiwary és Colls): $ef^{CO_2,c}=\kappa \cdot fc^c$, ahol fc^c=[l/100km] a „c" járműtípus üzemanyag-fogyasztása. „κ" a lin. összefüggés együtthatója, dízel üzemanyag esetén esetén κ=26.29, benzinmotoros járművek esetén κ=23.18. Így a CO_2 kibocsátás és az üzemanyag-fogyasztás optimalizálása ekvivalens feladat.

1. táblázat: A makroszkopikus modell legnagyobb relatív hibái az egyes forgalmi állapotokban

	Szabadáramlás	Telített	Torlódott
Szennyező	0-50 [jm/km]	50-100 [jm/km]	>100 [jm/km]
CO2	0.091	0.324	0.196
NOX	0.132	0.288	0.160
PM10	0.115	0.314	0.178

Tekintsünk egy forgalmi igényt, amelyet a következő alakban írhatunk fel: „N" darab jármű halad A-ból B-be, minimalizáljuk $TE_{A,B}$-t (az összes emissziót „p" szennyezőből, amely A és B között keletkezik és az „N" db jármű bocsátotta ki „K" szabályozási horizonton):

$$TE^{p}_{A,B} = \sum_{k=1}^{K} E^{p}_{A,B}(k)L = \sum_{k=1}^{K} q_{A,B}(k)\cdot ef^{p}\left(v_{A,B}(k)\right)L\cdot T_S = \sum_{k=1}^{K} \frac{N_{A,B}(k)}{T_S} ef^{p}\left(v_{A,B}(k)\right)L\cdot T_S \quad (14)$$

Mivel $\sum_{k=1}^{K} q_{A,B}(k) = \frac{N}{K\cdot T_S}$ és feltételezvén, hogy valamennyi jármű azonos sebességgel halad, a feladat során termelődött teljes kibocsátás:

$$TE_{A,B} = \frac{N}{K\cdot T_S} ef^{p}(v_{A,B})\cdot L\cdot T_S = N\cdot ef^{p}(v_{A,B})\cdot L \quad (15)$$

A kifejezés (15)-ben minimális, ha minimális, tehát a forgalmi átlagsebesség az függvény minimumához tartozó argumentum értékét veszi fel. A lokális szennyezőkre vonatkozó performanciafüggvényt a következőképp definiáljuk „p" szennyezőre:

$$J^{p}_{global} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{N_c} \gamma_c GWP_p \frac{ef^{p,c}(v_i(k))}{ef^{p,c}_{max}} \rightarrow min \quad (16)$$

ahol „n" jelöli a vizsgált autópálya szakaszok darabszámát, „K" a szabályozási horizont hosszát, $ef^{p,c}_{max} = ef^{p,c}(v_w)$, ahol $v_w = arg\max ef^{p}(v)$; GWP_p a „p" szennyező globális felmelegedési együtthatója.

Ez a függvény akkor minimális, ha $ef^{p,c}(k)$ is minimális minden egyes „k" lépésben, minden „i" szakaszon, tehát a forgalmi átlagsebesség minden szakaszon egyenlő: $v_{opt} = arg\min ef^{p}(v)$.

6.2 Lokális hatású szennyezők

A CO_2 kivételével valamennyi kipufogógáz okoz helyi károkat (egészségügyi problémák, savas eső, stb). Ezen hatások enyhítése a lokális hatású szennyezők koncentrációjának alacsonyan tartásával lehetséges. Ehhez a (12) egyenletben ismertetett modellfüggvény valamennyi tér-idő ablakában való minimalizálása a feladat.

Így a „p" lokális szennyezőre vonatkozó költségfüggvény az alábbi normált alakban írható fel:

$$J^{p}_{local} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{N_c} \gamma_c \frac{E^{p,c}(v(k),\rho(k))}{E^{p,c}_{max}} \rightarrow min \quad (17)$$

Megj.: a J_{local} költségfüggvény akkor minimális, ha a kétváltozós makroszkopikus emissziófüggvény (13) minimális valamennyi diszkrét lépésben. J_{local} globális minimuma a $[v; \rho]=[v_{free}; 0]$ pontban van függetlenül a forgalomösszetételtől és a szennyező típusától. A szabályozási feladat tehát a forgalomsűrűség minimalizálása az adott hálózaton. A (17)-ben felállított költségfüggvény az optimális irányítás szempontjainak súlyozásához szükséges.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben egy makroszkopikus emissziómodell felállítása és validálása olvasható, amely alkalmas a forgalmi kibocsátás valós időben történő modellezésére. Az emisszió mint performancia a forgalomtechnikai performancia függvények és az átlagsebesség alapú emissziómodellezés alkalmazásával fogalmazható meg; a tetszőleges tér-idő ablakra felírt kibocsátásfüggvény valós idejű forgalomtechnikai változókból kifejezhető, ezzel az autópálya forgalom kibocsátása a hurokdetektorok mért adataival jellemezhető. A felállított modell pontosságát szimuláción vizsgáltuk VISSIM/MatLab környezetben. A makroszkopikus kibocsátást a javasolt függvénnyel, egy átlagsebesség alapú modell alapján (Copert IV) számítottuk; a mikroszkopikus kibocsátást pedig a VISSIM beépített EnViVer moduljával, ezt tekintettük referenciának. A javasolt modell alapján végül költségfüggvényeket állítottunk fel, megkülönböztetvén a lokális és globális hatású szennyezőket.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A szerzők köszönetet monda-

nak az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 program, az NKTH és az OTKA közös OTKA CNK 78168 kutatási projektjének, valamint a Bólyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásáért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Winifred D. Ashton. The Theory of Traffic Flow. Spottiswoode, Ballantyne and Co. Ltd. London, 1966.

[2] M. Cremer and M. Papageorgiou. Parameter identification of a traffic flow model. Automatica, 12:837–843, 1981.

[3] Csikós et al. (2010) Csikós Alfréd, Luspay Tamás, Varga István. Autópálya forgalom károsanyag kibocsátásának modellezése. Közlekedéstudományi Szemle, 2010/6. 21-29.

[4] Csikós et al. (2011) Csikós, A. and Varga, I. (2011). Real-time estimation of emissions emerging from motorways based on macroscopic traffic data. Acta Polytechnica Hungarica, 8, 95–110.

[5] Yonglian Ding, Hesham Rakha. Trip-based explanatory variables for estimating vehicle fuel consumption and emission rates. Water, Air and Soil Pollution: Focus 2, 61-77, 2002.

[6] Matthew Elrod. Greenhouse warming potential model. Journal of Chemical Education, 76:1702–1705, December 1999.

[7] A. Hegyi, B. De Schutter, and H. Hellendoorn. Model predictive control for optimal coordination of ramp metering and variable speed limits. Transportation Research Part C, 13:185–209, 2005.

[8] L. Ntziachristos and Z. Samaras and S. Eggleston and N. Gorissen and D. Hassel and A.-J. Hickman and R. Joumard and R. Rijkeboer and L. White and L. Zierock. Validation of road vehicle and traffic emission models, a review and meta-analysis: COPERT IV Computer Programme to Calculate Emissions From Road Transport, Methodology and Emissions Factors (Version 2.1). Technical Report No. 49. European Environment Agency, 2000.

[9] Smit et al. (2007) R. Smit and R. Smokers and E. Rabe. A new modelling approach for road traffic emissions: VERSIT+. Transportation Research Part D, 12 (6):414-422, 2007.

[10] Smit et al. (2010) R. Smit, L. Ntziachristos, and P. Boulter. Validation of road vehicle and traffic emission models – a review and meta-analysis. Atmospheric Environment, 44: 2943–2953, 2010.

[11] Liping Xia and Yaping Shao. Modelling of traffic flow and air pollution emission with application to Hong Kong Island. Environmental Modelling and Software, 20(9), 2005.

[12] Zegeye et al. (2009) Solomon Kidane Zegeye, Bart De Schutter, Hans Hellendoorn and Ewald Breunesse. Reduction of Travel Times and Traffic Emissions Using Model Predictive Control. American Control Conference June 10-12, 2009.

Macroscopic emission modeling of road traffic on motorways

In this paper a real-time macroscopic modeling framework of road traffic emissions is sug-gested based on an average-speed emission model. A model function is created to describe the spatiotemporal distribution of motorway traffic emissions using loop detector data only which is suitable for emission dispersion- and immission modeling. The proposed model is built using macroscopic traffic variables, and derivation is shown macroscopic level high-lighting the relationship with traffic performance functions. The suggested model function is validated in a VISSIM/MatLab simulation environment, applying COPERT IV average speed model in the proposed framework, compared to a microscopic emission model (Ver-sit+Micro is used via the VISSIM add-on called EnViVer). Based on the suggested model, control objectives are stated for a multi-criteria model-based control.

Makroskopische Modellierung von Emissionen des Strassenverkehrs auf Autobahnen

In diesem Artikel wird ein real-zeit makroskopisches Emissionen-Modell des Strassenverkehrs vorgestellt. Eine Modell-Funktion wird abgeleitet, die die Raum-Zeit Erscheinung der Verkehrsemissionen anhand von Schleifendetektor Daten beschreibt. Das vorgeschlagene Modell wird mit Hilfe von makroskopischer Verkehrsvariablen und Verkehrsleistung Funktionen abgeleitet. Die vorgeschlagene Modell-Funktion wird in einem VisSim/Matlab-Simulation validiert, Modell „Copert IV" angewendet in der vorgeschlagenen Modell-Funktion wird zu einem mikroskopischen Emissions-Modell (Versit + Micro mit der VISSIM Add-on „EnViVer") vergliechen. Auf der Grundlage des vorgeschlagenen Modells werden Kontrollziele für eine Multi-Kriterien-Modell-basierte Steuerung angegeben.

A közúti járművek károsanyag-kibocsátásának modellezése

Kitűzött cél a járműforgalom környezeti hatásának (emisszió) becslése az optimális (többkritériumú) forgalomszabályozás kialakításához. Ehhez az eljáráshoz egy egyedi járművet leíró modellt és egy nagyméretű közútforgalmi hálózatot leíró modellt kapcsolnak össze a két mikro- és makromodell közötti átmenet vizsgálatával.

Bede Zsuzsanna, Trencséni Balázs
e-mail: bede.zsuzsanna@mail.bme.hu,
trencseni@auto.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Cél a járműforgalom környezeti hatásának (emisszió) becslése az optimális (többkritériumú) forgalomszabályozás kialakításához. Az eljárással a közúti forgalom környezetterhelését szeretnénk becsülni adott helyszíneken, illetve a járműflottát üzemeltető vállalatoknak az egyes járművek fogyasztását lehetne meghatározni feladatvégzésük alapján.

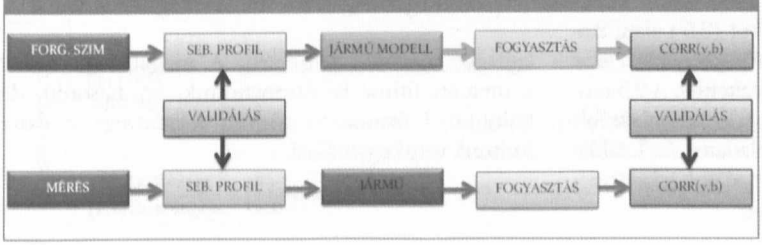
Ehhez az eljáráshoz egy egyedi járművet leíró modellt és egy nagyméretű közútforgalmi hálózatot leíró modellt kell összekapcsolnunk, azaz vizsgálni kell a két, a mikro- és a makromodell közötti átmenetet [1],[2].

A szimulációs eredmények ellenőrzéséhez valódi járműves méréseket is végezni kell. A kétféle módszerrel, szimulálással és méréssel, kapott eredményeket kell összevetni egymással. A módszer kidolgozása során, először validáltuk a forgalomszimulációs modellünket. A szimulált helyszínen járműves mérés is történt, így adott körülmények között szimulált és mért sebességprofilok kerültek összehasonlításra, amely vizsgálat során elmondható, hogy a sebességeloszlás mindkét esetben azonos [3],[4].

Továbbiakban megvizsgáltuk az egyes járművek fogyasztását, mivel a járműgyártók által megadott tüzelőanyag-fogyasztás értéket szabványos mérési eljárás során állapítják meg, ami járműkategóriánként különböző. A személygépjárműveknél és a kishaszon járműveknél használt menetciklus csak részben felel meg a valós forgalmi körülményeknek, vagyis adott szállítási feladat teljesítése közben a megadott referenciafogyasztástól nagymértékben eltérő fogyasztást is mérhetünk. Nehéz haszonjárműveknél csak a belső égésű motor előírt munkapontjaiban kell fogyasztást (és károsanyag-kibocsátást) megadni a gyártóknak, hiszen a különböző járműfelépítmények nagyon eltérő átlagfogyasztáshoz [l/100km] vezethetnek. A fogyasztási norma meghatározásakor pontosan meg kell mérni, hogy adott üzemi körülmények között mennyiben tér el a megadottól egy adott jármű tüzelőanyag-fogyasztása. Tökéletes fogyasztásmérési eljárás azonban nem létezik, minden megoldás mérési hibával terhelt. A hiba mértéke pedig nem csak a választott mérési módszertől, hanem a jármű műszaki és üzemi jellemzőitől is függhet.

A flottaüzemeltetőknek komoly gazdasági érdekük, hogy a járműveikkel elfogyasztott tüzelőanyag-mennyiséget minél pontosabban meg tudják határozni. Ennek ismeretében lesznek képesek ugyanis üzemmenetük költségeit optimalizálni, járművezetőik megfelelő motivációs rendszerét kialakítani, illetve adott esetben fellépni az esetleges visszaélések ellen. A probléma alapos kezelésére átfogó flottamenedzsment

1. ábra: Blokkdiagram



rendszer és a munkavállalók megfelelő motivációs rendszerének kiépítése szükséges. Egy ilyen komplex rendszer működtetése viszont csak a valós tüzelőanyag-fogyasztás adatain alapulhat.

Nagyméretű flottaüzemeltető vállalatnál már néhány százaléknyi tüzelőanyag-megtakarítás jelentős költségcsökkenést eredményezhet. Ez nemcsak a vállalat eredményeit befolyásolhatja kedvezően, de társadalmi előnyöket is jelent. A belső égésű motorok tüzelőanyag-fogyasztásával ugyanis egyenesen arányos szén-dioxid kibocsátásuk, ami hozzájárul a klímaváltozást okozó üvegházhatáshoz. Az üvegházhatás fokozódása szélsőséges természeti és időjárási jelenségeket idéz elő, amelyek gazdasági hatásainak, a károk költségeinek mértéke hatalmas. A klímaváltozás költségbeli kifejezése történhet a károk materializálásával vagy a szükséges megelőző intézkedések bekerülési költségeivel. Bármely megközelítést alkalmazva is arra jutunk, hogy alapvető társadalmi szintű érdek a hatékonyság növelése, illetve a tüzelőanyag-fogyasztás csökkentése a közúti szállítás területén.

2. MÉRÉSEK

Kiindulásként egy járműflotta egyes járműveinek fogyasztását, valamint a fogyasztást befolyásoló tényezőket vizsgáltuk. A fogyasztás mértéke fajlagosan mindig valamilyen időintervallumban, ill. az az alatt megtett útra viszonyítva értelmezhető. Azt, hogy adott idő alatt mekkora utat sikerül megtenni, illetve fordítva: az adott útszakasz megtételéhez mennyi időre van szükség – a KRESZ szabályozás mellett –, a forgalom korlátozza. Így a vizsgálatunkban elsődleges szerepe van a forgalmi jellemzőknek. A forgalmat alapvetően három változóval írják le, amelyek közül a forgalomsűrűség [db jármű/km] és a forgalomnagyság [db jármű/h] csak a forgalomban résztvevő járművek számának ismeretében adható meg. A forgalom egy adott résztvevőjének szempontjából ez nem hozzáférhető adat. A harmadik jellemző az átlagsebesség [km/h], amit a forgalom jellemzésekor az adott járműszám átlagaként értelmeznek, mégis megadható az adott, a vizsgálat tárgyát képező jármű sebessége, sebességprofilja. Ahhoz, hogy egyetlen jármű sebességprofiljából következtetni tudjunk a forgalmi állapotokra, a befutott sebességprofil jellemzésére több változót alkalmazunk.

A mérés során három típusú járművet (2,5 t alatt; 2,5-3,5 t között, 12 t) szereltünk fel mérőeszközökkel, azaz a GPS jeleket és CAN-es adatokat rögzítettük. A 2,5 tonnás jármű közlekedett a 2 hónap alatt a legkülönbözőbb helyen és végzett többféle szállítási feladatot. Az 1. táblázat tartalmazza a mérés során kinyert adatok feladatvégzés alapján összesített mutató-számait.

Az útvonalak alapján kétféle menet különböztethető meg, ú.m. lakott területen kívüli és lakott területen belüli. A lakott területen belüli szállítás során a jármű nem hagyta el Budapestet, ezeken az útvonalakon a megengedett legnagyobb sebesség általában 50 km/h, egy-egy főúton megengedett a 70 km/h-s sebesség is, de ennél nagyobb sebességgel nem ment a jármű. A lakott területen kívüli közlekedés alatt elsősorban a települések között ingázó járatokat értjük, ebben az esetben országúton 90 km/h és egyes helyeken megengedett akár a 110 km/h sebesség is, viszont sűrűn helyezkednek el a lakott területek, ahol szintén csak 50 km/h a megengedett sebesség, így az itt végzett szállítási feladatoknál jellemző a tartós, de egyenletes gyorsítás, illetve lassítás.

2.1 Számított értékek

A következőkben bemutatásra kerülnek a sebességprofilból kinyert jellemzők:

Állásidő [s]: Sebességértékből következtetett idő, amikor a sebesség kisebb, mint 3 km/h, akkor külön mérjük az ilyen kis sebességeknél az időt és ezeket összegezzük a teljes feladat során.

A υ_i értéket vizsgáljuk i=1,2,...,n;

ha υ_i <=3,

akkor az állásidő=állásidő+1sec;

ha υ_i >3,

akkor a $\upsilon_{(mozgó)j} = \upsilon_i$

$$állásidő[\%] = \frac{állásidő[s]}{menetidő[s]} \cdot 100$$

Fajlagos állásidő [%]: Az állásidő és a menetidő hányadosa. Ez a hányados elsősorban a forgalmi viszonyokat szemlélteti, a lakott területen belüli közlekedés több csomópontot feltételez, amelyek a forgalom függvényében megállásra kényszerítik a járműveket.

Megállások száma [db]: Járó motornál, azaz két gyújtáslevétel között vizsgáltuk a megállások számát is.

A υ_i értéket vizsgáljuk i=1,2,...,n;

ha υ_i <=3,

akkor a megállások száma= megállások száma+1;

amíg υ_i <=3, addig a megállások száma= = megállások száma

ha υ_i >3,

akkor a megállások száma= megállások száma amíg υ_i>3, addig a megállások száma= megállások száma

Fajlagos megállás [db/km]: A megállások számát a megtett úthoz is viszonyítottuk, így hasonló, de különböző útvonalon történt feladatvégzést össze tudtunk vetni egymással.

$$fajlagos_megállás\left[\frac{db}{km}\right] = \frac{megállás[db]}{megtett_út[km]}$$

1. táblázat: Útvonal alapján csoportosított járműves mérések átlagértéke

Szállítási feladat			Lakott területen belüli menet					Helyközi, lakott területen kívüli menet			
Megtett út [km]			45.42	53.33	21.67	59.37	122.31	210.30	112.26	126.06	196.45
Menetidő [s]			8577	10117	5461	7644	10798	15264	9016	10680	13116
Állásidő [s]			3372	3406	2454	2099	2644	2006	1344	2023	2421
Állásidő [%]			39.20	33.60	44.91	27.46	25.56	12.90	14.47	20.10	16.77
Szakaszok száma [db]			13.5	21.3	4.0	10.0	12.5	14.2	12.3	12.2	10.0
Megállások száma [db]			106.0	137.8	74.0	84.0	62.5	64.3	55.3	66.5	50.3
Fajlagos megállás [db/km]			2.47	2.58	3.42	1.41	0.58	0.31	0.50	0.70	0.27
Összátlag sebesség [km/h]			18.72	19.01	14.29	27.96	20.92	49.54	45.18	35.90	53.85
Mozgó átlag sebesség [km/h]			28.85	27.07	24.20	37.29	39.78	56.39	52.02	46.37	64.96
Sebesség szórás			19.068	18.619	16.771	23.534	51.824	30.111	29.165	33.658	37.752
Mozgó sebesség szórás			16.564	16.811	15.644	19.854	30.900	25.771	25.449	25.493	31.904
Átlag fogyasztás l/s]			0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Össz- fogyasztás [l]			5.408	7.179	2.947	4.910	9.355	15.034	8.376	9.419	15.009
Fogyasztás [l/100 km]			12.47	13.47	13.58	8.27	7.83	7.12	7.48	7.67	7.58
Illesztett egyenes	P(+) (x)= =m+bx	b	0.000	0.000	0.000	0.000	6.65E-5	0.000	0.000	6.76E-5	0.000
		m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	P(-)	c	0.000	0.000	0.000	0.000	4.21E-5	0.000	0.000	4.27E-5	0.000

A táblázatból kiderül, hogy a fajlagos állásidő jóval nagyobb lakott területen, mint azon kívül és a fajlagos megállásszám is hasonlóan eltér, ahogy a fogyasztás is 100 km-re vetítve. Ezekkel a jellemzőkkel korreláció együtthatós vizsgálatot végeztünk.

Sebesség-szórás: Az össz-átlagsebesség értékhez képesti eltérést mutatja az alábbi képlettel számítva.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(v_i - \bar{v})^2}{n-1}}$$

Mozgó sebesség-szórás: A mozgó átlaghoz képesti eltérés, az előbbiekben ismertetett képlettel megegyező módon:

$$s_{(mozgó)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}\left(v_{(mozgó)i} - \bar{v}_{(mozgó)}\right)^2}{m-1}}$$

Teljesítményigény [kW]: A mért sebességprofiltól függően tudjuk származtatni egy adott járműre.

$$F_i = m \cdot g \cdot f_{görd} + v_i^2 \cdot f_{lég} + m \cdot a_i \cdot f_{forg}$$

$$P_i = \upsilon_i \cdot F_i$$

ahol: υ_i adott intervallumban vett átlagos sebességértéke,

F_i a vonóerő,

$f_{görd}$ gördülési ellenállás,

f_{forg} a forgó tömegek tehetetlensége és

$f_{lég}$ légellenállás ($f_{lég} = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot c_W$).

A számított teljesítményigényt összevethetjük a fogyasztással. Továbbá a származtatott értékek közül többet diagramban is ábrázolunk, ami a nagy mennyiségű adathalmaz miatt célszerű. Diagramok használatával szembeötlőbben demonstrálhatók olyan különbségek, amelyek számértékeket tartalmazó táblázatban csak hosszadalmas elemzést követően mutathatók meg. Kétségtelen azonban, hogy a számértékek pontosabb jelentést hordoznak, ezért a fő változók értékeinek táblázatba foglalásáról nem mondunk le.

A 2.a. ábrán sebesség-út diagram látható, azaz a mért sebességértékek [km/h] a menetidő [s] függvényében kerültek ábrázolásra. Ezen a diagramon a kimagasló, szembetűnő gyorsulás, illetve lassulás értékeket vizsgálhatjuk, valamint a gyakori megállások, illetve állandó sebesség tartásra lehetünk figyelmesek.

A 2.b. ábra a sebességeloszlás diagram, sebességértékekre hisztogramot állítottunk, ahol 5 km/h-val változó tartományokat vettünk fel, így az adott feladatra jellemző sebességértékeket könnyebben megállapíthatjuk.

A 2.c. ábra gyorsulás-sebesség diagram, $a_i = \frac{(v_{i+1} - v_i)}{\Delta t}$ ahol $\Delta t = 1$ sec. Az egyes feladatokat jellemezhetjük ezen pontok kiterjedése alapján is. A diagram fizikai értelmezéséből azt várjuk, hogy a kisebb sebességtartományban kapunk nagyobb gyorsulás és lassulás értékeket is, majd a sebesség növekedésével a mérési pontok szórása (gyorsuláseltérés) csökken. A diagramot a zérus gyorsulásérték mentén várjuk szimmetrikusnak, ami a gyorsulás és lassulás kiegyenlítődését jelenti.

A 2.d. ábra teljesítmény eloszlás diagram, a létrehozandó erő és a sebesség ismeretében számított teljesítményt megkapjuk, és ezekre a teljesítményértékekre 5kW-os lépésközönként hisztogramot állítottunk.

Végül a teljesítmény-fogyasztás diagram, a teljesítményértéket a sebességértékekből számítjuk, így ezekhez a mért fogyasztásértéket is hozzárendelhetjük, ez látható a 2.e. ábrán. Vízszintesen a teljesítményértékek [kW] és függőlegesen a fogyasztásértékek [l/s]. A legkisebb négyzetek módszerével egyenest illesztettünk ezekre a pontokra, piros vonal jelzi az illesztett egyenest, valamint ezen egyenes paramétereit is feltüntettük az ábrában.

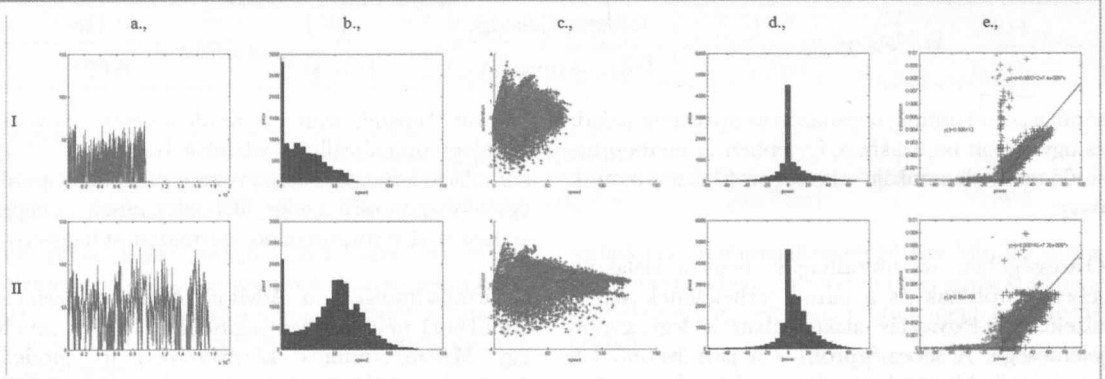
A 21. oldalon lévő ábrasor tartalmazza az előzőekben bemutatott öt diagramot kétféle szállítási esetre, a lakott területen belüli menetre, illetve nagyobb részt lakott területen kívülre. A sebesség diagramon elsősorban a menetidő növekedése szembetűnő, másodszor a sebességértékek növekedése, amelyek változását még jobban mutatja sebesség hisztogram formája.

Lakott területen belüli menetnél az összátlag sebesség 20 km/h-s értéknél van, ennél nagyobb értékeket jóval kevesebbszer vesz fel, mint e körüli és ennél kisebb sebességértékeket. A gyorsulás-sebesség diagramon ezen felül az is látszik, hogy ezen kis sebességértékeket jóval nagyobb gyorsulással, illetve lassulással éri el, mint a másik szállítási feladat végzésénél.

Lakott területen kívüli szállításnál nem csak a megtett út hossza nagy, ezen körülmények között lehetőség van nagyobb sebességértékek felvételére, mivel itt a megengedett legnagyobb sebesség hosszabb szakaszokon is 50 km/h fölötti. A hisztogram is a kézbesítéses feladat fordítottja. A gyorsulás-sebesség még jobban megnyúlt mint a városon belüli szállításos feladatnál.

A teljesítmény hisztogram legnagyobb értéke mindkét esetben 0 és 5 kW teljesítmény körül alakul, mivel üresjárat, illetve konstans kis sebességeknél szükséges a legkisebb vonóerő kifejtése. A második eset mutat rá igazán arra, hogy nagy sebesség elérésére nagyobb teljesítményre van szükség: a teljesítmény hisztogram balra mozdul el.

2. ábra: Kétféle szállítási feladat diagramjai I. Helyközi menet; II. Lakott területen kívüli menet



A fogyasztásértékeket a teljesítményigény függvényében ábrázolva, mindkét esetben hasonló meredekségű egyenes illeszthető a mérési ponthalmazra, viszont a pontok egyeneshez képesti szórása eltérően alakul: a jellemző sebesség növekedésével a nagyobb teljesítményszinteken növekszik meg a szórás, az egyenes körül szélesebb, azzal párhuzamos tartományba illeszkednek inkább a mérési pontok.

2.2 Mérési eredmények

Az előbbiekben értékelt diagramokból arra következtettünk, hogy a fogyasztást legjobban a megállások száma, illetve az állásidő befolyásolja, ezen megállapítást a korrelációs számítás is igazolja, 2. táblázat.

Korrelációs együttható

$$r = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sqrt{\left(n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right)\left(n \cdot \sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right)}} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

Ahol $x_i y_i$ összetartozó értékpárok, esetünkben a fogyasztáshoz tartozó fajlagos állásidő, illetve fajlagos megállásszám. Ezeknél a számoknál nagy a korrelációs együttható. Az értékelés során a következőket állapíthatjuk meg:

Helyközi menetnél a fogyasztás a fajlagos megállástól függ, azaz a fogyasztás jobban korrelál a megállás számmal, mint az állásidővel. Ebben az esetben az elérhető maximális sebesség nagyobb, mint lakott területen, így 1-1 megálláshoz intenzívebb fékezés kell, és induláskor a gyorsítások is tovább tartanak.

Városi menetnél a fogyasztás mértékét az állásidő százalékos értéke jobban befolyásolja, mint a fajlagos megállások száma. Itt kisebb az átlagsebesség, viszont a menet dinamikáját nem csak a forgalomnagyság befolyásolja, hanem a sok közlekedési lámpa, amelyek kisebb forgalomnál is megállásra kényszerítik a járművet. Nagyobb forgalomnál nem lehet elérni a megengedett maximális értéket, így a sebességingadozás mértéke is kicsi. Az állásidő a menetidőhöz képest sokkal nagyobb százalékot tesz ki, ami a tartós üres járásra is utal.

A 2,5-3,5 tonna kategóriájú járművünk feladatát lakott területek között ingázva végezte, azaz a helyközi menetnek megfelelően. Korreláció együtthatós vizsgálatunk az előbbi megállapítást támasztja alá, a 3. táblázat, a fogyasztás inkább a fajlagos megállás számmal korrelál, mint a fajlagos állásidővel. Ennél a mérésnél figyelembe kell vennünk, hogy a mérés

2. táblázat: Korreláció együtthatós vizsgálat városi és helyközi meneteknél

korreláció városi	fajlagos állásidő	[%]	0,604
	fajlagos megállás	[db/km]	0,960
korreláció helyközi	fajlagos állásidő	[%]	0,524
	fajlagos megállás	[db/km]	0,291

3. táblázat: Korreláció együtthatós vizsgálat helyközi menetnél

korreláció	fajlagos állásidő	[%]	0,418
	fajlagos megállás	[db/km]	0,098

során a jármű mindig ugyanazon az útvonalon haladt és ugyanazon napszakban, így ebben az esetben hasonló menetdinamikájú sebességprofilokat vetettünk össze.

Összességében azt mondhatjuk, hogy a kialakuló sebességprofilnak és a jármű terhelésének van a tüzelőanyag-fogyasztás alakulásában a legnagyobb jelentősége. A sebességprofil – a járművezető képességeit/habitusát leszámítva – elsősorban a forgalmi viszonyoktól, kisebb részben a megengedett sebességtől, vagyis az úttípustól függ. Az útfelület, úttípus és forgalmi jellemzők külön kezelése valószínűleg csak különleges területeken és esetekben indokolt. A domborzati viszonyok okozta többletfogyasztás a Budapest környéki területeken viszonylag rövid távon kiegyenlítődik. Ennél várhatóan nagyobb mértékben hat a fogyasztásra a környezeti hőmérséklet, amelynek befolyását azonban csak hosszabb időtávon kivitelezett mérésekkel lehet becsülni.

3. SZIMULÁCIÓ

3.1. Nagyméretű közlekedési és hálózati és jármű

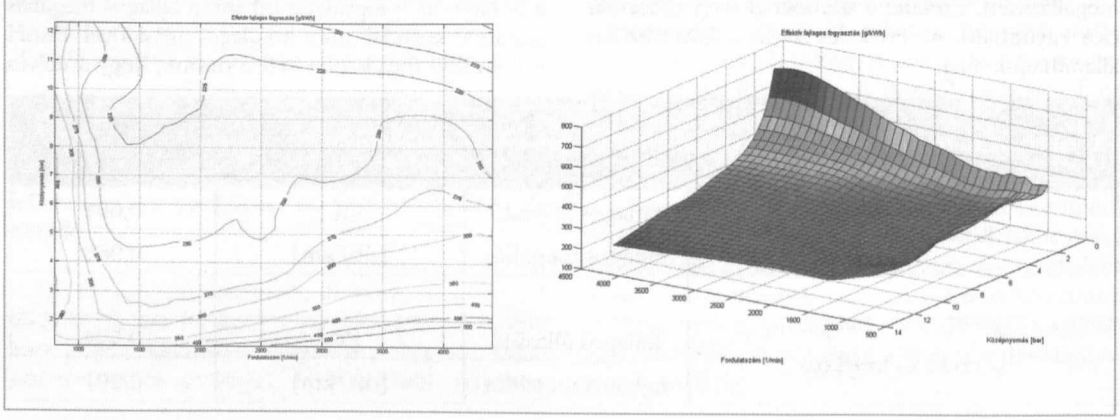
A közlekedési hálózat szimulálása a Pannon Traffic nevű programmal történt [5,6,7,8,9]. A kiválasztott útvonal a Ferenc körút, József körút és Erzsébet körútból állt. A vizsgált szakaszon a lámpás kereszteződések beállításához a FKF ZRt. Forgalomtechnikai Igazgatóság által a BME Közlekedésautomatikai Tanszék számára rendelkezésre bocsátott jelenlegi lámpabeállítási adatokat használtuk fel. A szimuláció lefuttatása után eredményül tehát kapunk egy sebességprofilt a teljes útvonalra, amely az egyes szakaszok járműsűrűségéből származtatott függvény.

A járműszimuláció az Advisor (Advanced Vehicle Simulator) nevű szoftver segítségével történt, amely egy Matlab/Simulink környezetben írt modell. Az Advisor különböző hajtásláncú és kategóriájú járművek tulajdonságait vizsgálja, amelyek kihatnak a gazdaságosságra, teljesítményre vagy emisszióra. A szoftver alapvető fizikai számításokat és mért komponens teljesítményeket használ a járművek modellezéséhez. A felhasználó az adatok segítségével definiál egy járművet, illetve meghatároz egy sebességprofilt, valamint egy útminőséget, majd a jármű leköveti azt. Eredményként a várható nyomatékot, sebességet, feszültséget, áramot és teljesítményt kapjuk. A 3. ábra a szimulációs motormodell fajlagos fogyasztási jellegmezőjét adja. Vizsgálatunk során hagyományos hajtásláncú jármű paramétereivel számolunk, a megadott paraméterekből és sebességprofilból a motor fogyasztását a jellegmező alapján állapítjuk meg.

3.2. Szimulációs eredmények

A nagyméretű közlekedési hálózat szimulációból kinyert sebességprofilokkal futtattuk az Advisor járműmodellt, amelynek járműre vonatkozó para-

3. ábra: 2D-s illetve 3D-s fogyasztási jellegmező



4. táblázat: Korreláció együtthatós vizsgálat szimulált adatoknál

korreláció	fajlagos állásidő	[%]	0,931
	fajlagos megállás	[db/km]	0,979
korreláció gyér forgalomnál	fajlagos állásidő	[%]	0,945
	fajlagos megállás	[db/km]	0,890

méterei az I. kategóriájú (2,5 t kisebb) járműnek felelnek meg. A programból fogyasztásértékeket nyertünk ki, amelyeket a sebességprofilból számított adatokkal vetettük össze. Korrelációs értékeink a 4. táblázat szerintiek.

Szimulációs eredményeink elsősorban a városi menetet reprezentálják, azaz itt is eredményül azt kaptuk, hogy a fogyasztást mindkét érték befolyásolja, de a fajlagos megállásszámhoz jobban korrelál. A szimulációból kiszedtünk kora hajnali indulási időponttal sebességprofilokat, amelyek gyér forgalomban történt menetek, és ezeket hasonlítottuk össze a lakott területen kívül mért értékeinkkel, mivel ezen sebességprofilok vizsgált tulajdonságai a lakott területen kívül mértekkel egyeznek. Itt is látható, hogy megfordul a korreláció erőssége, azaz a fajlagos állásidővel jobban korrelál, de a fajlagos megállásszám is nagy, ami a szimuláció azon futásából ered, hogy a megengedett maximális sebesség itt csak 50 km/h.

A kapott fogyasztási értékünket összevetjük a hozzájuk tartozó sebességértékekkel, illetve a járműsűrűség értékekkel. A közlekedési hálózat szimulációban a sebesség–sűrűség kapcsolat a Greenshileds összefüggéssel számolt, azaz lineáris kapcsolatot feltételez a sebesség és járműsűrűség között, $\upsilon_i=\upsilon_{max(1-s)}$. A 4. ábrán ezen összefüggésekre látható egy példa egy szimulált menetnél, ahol pirossal jelöltük az adathalmazra másodfokú polinommal illesztett görbét. Minden szimulált és mért menetre ily módon nyert görbékből megállapíthatunk egy egységjárműnek megfelelő illesztő görbét.

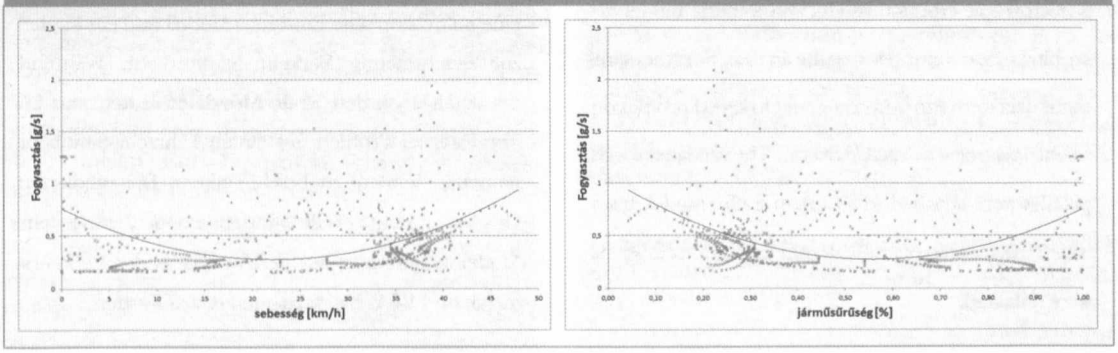
Az illesztett görbe alapján közvetlen a sebességértékhez is rendelhetünk fogyasztás, illetve emissziós értéket. A forgalomszimulációs modellünkkel, most már a teljes közlekedési hálózatunkat is tudjuk vizsgálni, és a forgalomváltozás függvényében becsülhetünk az adott helyszínre vonatkozó környezetterhelési értékeket is.

4. ÖSSZEGZÉS

Vizsgálatunk során többhónapos járműves mérést végeztünk, amikoris rögzítettük az egyes járművek sebességét és pillanatnyi fogyasztását. Megkerestük a sebességprofilból adódó paramétereket, amelyek a leginkább korrelálnak a fogyasztással. Helyközi menetnél a fogyasztás a fajlagos megállástól függ, míg városi menetnél fordítva, azaz a fogyasztás mértékét a fajlagos állásidő befolyásolja jobban.

A forgalmi szimulációból nyert sebességprofilokat futtattuk járműmodellben a mérésnél használt jármű megfelelő paramétereinek beállításával. A két modellből nyert adatokat, azaz a sebességértékeket és fogyasztási értékeket vizsgáltuk, amely során ugyan-

4. ábra: Sebesség-fogyasztás és járműsűrűség-fogyasztás diagram



olyan összefüggéseket kaptunk, mint a mért értékek vizsgálata során.

Megállapíthatjuk, hogy a szimulációs eljárás a fogyasztás becsléséhez megfelelő, adott környezeti körülmények között. A szimulációs eljárás elsődleges célja, hogy a forgalmat környezetterhelési szempontok alapján is szabályozni tudjuk, ehhez ismernünk kell a forgalomnagyságot, valamint a járműpark összetételét. Ezek ismeretében definiálhatunk egy egységjárművet, amelynek meghatározásánál a szükséges paramétereket az emissziós értékek alapján súlyozzuk.

Továbbiakban a mikroszkopikus járműmodellünkből, valamint a makroszkopikus forgalmi modellünkből kinyert adatokból egy mezoszkopikus modellt építhetünk, amelynek alapját a két modell közötti átmenethez létrehozott egységjárművünk képezné.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség és az OTKA (OTKA CNK 78168) támogatásával jött létre. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Szabó B., Trencséni B.: Járművek emissziójának modellezése a forgalmi viszonyok és a környezeti hatások figyelembe vételével, A jövő járműve, 2010/1-2. szám, ISSN 1788-2699
[2] Bede Zs., Szabó B., Trencséni B.: Környezetterhelés vizsgálata a forgalmi viszonyok változásának függvényében, IFFK 2012 Konferencia Budapest, 2011. augusztus 29-31 Paper 22
[3] Bede Zs. – Péter T.: The Extraction of Unique Velocity Processes from a Macro Model, Periodica Polytechnica 38/2 2010
[4] Bede Zs. – Péter T.: Nagyméretű közlekedési hálózati modell továbbfejlesztése, Városi közlekedés, L. évfolyam 4. szám 236-238 p. 2010 augusztus
[5] Péter T. – Stróbl A. – Fazekas S.: Szoftveres folyamatanalízis, nagyméretű közúti közlekedési hálózatok optimálására. A jövő járműve, 2008/1–2
[6] Péter T.: Szoftverfejlesztés a BME –en: Nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analízisére és tervezésére. IFFK Konferencia 2008
[7] Péter T. – Bokor J.: Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása. A jövő járműve, 2006/1–2
[8] Péter T. – Bokor J.: Nagyméretű közúti közlekedési hálózatok nemlineáris modelljének kapcsolati hipermátrixa. A jövő járműve, 2007/1–2
[9] Péter T.: Tetszőleges méretű nemlineáris közúti közlekedési hálózatok modellezése speciális hálózati gráffal, amelyben a gráf csúcsai általánosított szakaszok, a gráf élei a csúcsok közötti kooperálót leíró dinamikus relációk. A jövő járműve, 2008/3–4

Modeling emissions of road vehicles

In this paper a method is proposed for the modeling of emission of urban traffic – this model is used for a model based control. For this end, two models are connected: a microscopic emission model and a traffic model describing urban traffic. During the analysis, fleet measurement data were run and compared to speed profiles on a vehicle simulator called 'Advisor'. The validated speed profiles were attached to an urban traffic model, from which relationship of traffic density and traffic emissions were obtained.

Ein Emissionmodell für Landfahrzeuge

In diesem Beitrag wird eine Methode zur Modellierung von Emissionen des Stadtverkehrs vorgeschlagen das Modell ist für eine modellbasierte Steuerung verwendet. Zu diesem Zweck werden zwei Modelle verbunden: eine mikroskopische Emissions Modell und ein Modell zur Beschreibung Verkehr Stadtverkehr. Während der Analyse wurden Flotte Messdaten laufen und im Vergleich zu Profilen auf einem Fahrzeug-Simulator namens „Berater„ zu beschleunigen. Die validierten Geschwindigkeitsprofile wurden einem Stadtverkehr Modell angebracht, aus demVerhältnis der Verkehrsdichte und Verkehrsemissionen erzielt wurden.

A közúti járműáramlatok minőségi összetételének meghatározása

A közúti forgalom környezetvédelmi jellemzésével lehetőség nyílik a mikroszkopikus szemléletű forgalomirányítási modellek bővítésére, ehhez a járművek környezetvédelmi besorolás-megoszlásának közelítő becslésére van szükség. Legpontosabban a regisztrált gépjárműállomány megoszlását ismerjük, azonban az egyes járművek a közlekedésben eltérő súllyal vesznek részt. A cikk a dinamikus járműállomány forgalomfelvételen alapuló minőségi összetételének meghatározásáról értekezik.

Gál Gergely,
Fütyű István, Mészáros Ferenc
e-mail: galg@kgazd.bme.hu,
ifutyu@kgazd.bme.hu, fmeszaros@kgazd.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A CONTRA projekt keretén belül megfogalmazott célok eléréséhez szükséges a forgalomirányításba bevont városi, ill. autópálya-csomópontokat érintő járművek környezetvédelmi minőségi összetételének meghatározása. Mivel a forgalomirányítás járműáramlatokat kezel, ezért fontos meghatározni, hogy adott áramlatba tartozó járművek milyen károsanyag-kibocsátási normákkal jellemezhetők. Az egyes járművekre jellemző emissziós karakterisztikák modellezésével, hogy melyik környezetvédelmi besorolású járművek milyen arányban vesznek részt a forgalomban külön kutatás keretén belül került meghatározásra. A hazai környezetvédelmi besorolási rendszer tagoltsága nem volt alkalmas a modellezési folyamatba való beépítésre, ezért az egyszerűbb, de mégis a megkülönböztetésre alkalmas Euro-besorolást választottuk. A hazai gépjárműállomány összetételét tehát a járművek Euro-besorolása alapján minősítettük. Mivel a kutatás keretein belül nem volt lehetőségünk egy teljes országos felmérés alapján meghatároznunk, hogy hol, milyen Euro-besorolású járművek, milyen megoszlásban veszik igénybe a közúthálózat éleit és csomópontjait, ezért a minőségi összetétel meghatározását két lépésben végeztük el. Első lépésben feltártuk a teljes hazai közúti gépjárműállomány környezetvédelmi besorolásmegoszlását, majd második lépésben néhány konkrét helyszíni méréssel validáltuk a statikus állományból levezetett eredményeket. A cikk ezt a két lépést mutatja be, majd összeveti a statikus és a dinamikus felmérés eredményeit.

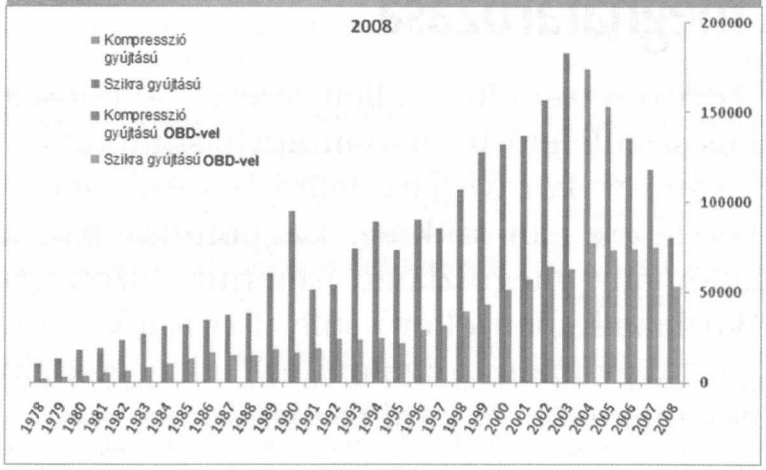
2. A HAZAI STATIKUS JÁRMŰÁLLOMÁNY BEMUTATÁSA

A társadalom jogos igénye a közúti közlekedésből, valamint a közúti közlekedési infrastruktúra fejlesztéséből és fenntartásából származó környezetterhelések minimalizálása [1]. A közlekedési szektoron belül a közúti közlekedés a legnagyobb „károkozó" [2]. Az emisszió csökkentése viszont egyéni és társadalmi szinten is hasznokat hozhat [3]. Ezért kiemelt jelentőségű, hogy valós képet alkossunk a közúti járműállomány környezeti minőségi összetételéről. A következőkben statisztikai módszerrel elemezzük a 2008. évi hazai közúti közlekedésben résztvevő gépjárműállományt.

A 2008. évben a hazai gépjárműállományból 72% szikragyújtású, 28% kompresszió gyújtású belső égésű motorral hajtott (1. ábra), ami az elmúlt évek tendenciájának megfelelő. A kompresszió gyújtású járműállomány átlagéletkora 8,71 év, kismértékű javulás tapasztalható. A szikragyújtású állomány átlagéletkora 10,35, ami jelentős javulásként értékelhető. Ez valószínű az Európai Unió tagállamaiból érkező használt autóimport életkorának csökkenésével magyarázható.

Ez a folyamat kihat a járműállomány károsanyag-kibocsátási osztályaiban megfigyelhető arányokra is (2. ábra - 7. ábra).
A statikus besorolás után – még a dinamikus for-

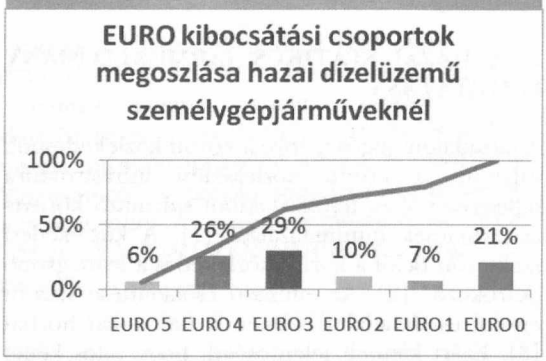
1. ábra Magyarországi gépjárműállomány 2008-as adatai [db] (forrás:[4])



is megfigyelhető, hogy az 5 évnél fiatalabb járművek tulajdonosai utaznak naponta többször, közel 20%-kal gyakrabban, mint a 10 évesnél öregebb járművel rendelkezők [6]. Budapest esetében külön figyelembe vesszük, hogy a főváros gazdasági fejlettsége az egy főre jutó GDP-re vetítve közel 50%-kal magasabb, mint az országos átlag, ezért a gépjárművek átlagéletkora is jelentősen eltér. Így környezetvédelmi besorolásuk is sokkal kedvezőbb a hazai átlagnál.

A feltárt megoszlási értékek birtokában sikerült össze-

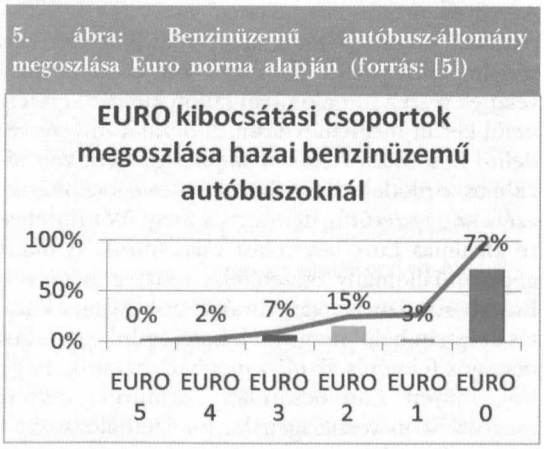
2. ábra: Dízelüzemű szgk állomány megoszlása Euro norma alapján (forrás: [5])



3. ábra: Benzinüzemű szgk állomány megoszlása Euro norma alapján (forrás:[5])

4. ábra: Dízelüzemű autóbusz-állomány megoszlása Euro norma alapján (forrás: [5])

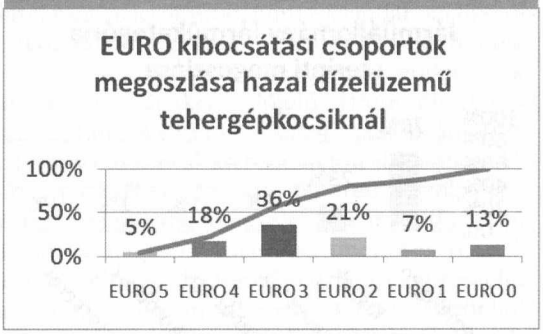
5. ábra: Benzinüzemű autóbusz-állomány megoszlása Euro norma alapján (forrás: [5])



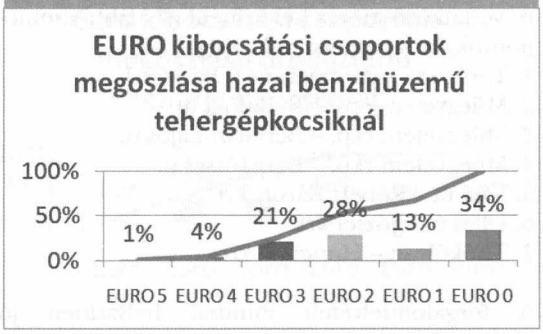
galomfelvétel előtt – a következő feltételezésekkel éltünk: a járműtulajdonosok átlagosan 50%-a nem használja napi szinten a gépjárművét, míg azok, akik használják 27%-ban napi kétszer. Az

kötni a statikus járműállományi adatokat a dinamikus forgalomszabályozási modellel [7]. Mivel valós környezetben feltételezhetően ettől eltérő megoszlás mérhető, ezért szükséges a forgalmi

6. ábra: Dízelüzemű tgk állomány megoszlása Euro kibocsátási norma alapján (forrás: [5])



7. ábra: Benzinüzemű tgk állomány megoszlása Euro kibocsátási norma alapján (forrás: [5])



mérésen alapuló dinamikus járműállomány összetételét is felmérni.

3. FORGALMI MÉRÉSEN ALAPULÓ DINAMIKUS JÁRMŰÁLLOMÁNY-ÖSSZETÉTEL MINŐSÉGI MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZERTANA

A forgalomfelvétel célja a CONTRA projekt számára egy dinamikus forgalomösszetételt felmérni képes tesztrendszer felépítése volt, ami konkrét helyszíni mérések, azok elemzése és kiértékelése alapján validálja a korábban, a statikus járműállományi emissziós besorolás alapján tett becsült megoszlásokat. A mérés során hét helyszínen, budapesti városi csomópontokban vettünk fel adatokat.

A forgalomfelvétel városi csomópontok esetében kézi számlálás útján valósult meg, az adatok utólagos kiértékelésével. A felmérést két személy végezte párhuzamosan. A mérőpár egyik tagja a forgalomszámlálást és a járművek járműkategóriákba (mkp; szgk; tgk <3,5 t; 3,5 t < tgk < 7,5 t; tgk >7,5 t; autóbusz) sorolását végezte, míg társa az egyes járművek környezetvédelmi plakettjének azonosításával (fekete; piros; kék; zöld) a járművek környezetvédelmi besorolásában (Euro 0-5), illetve a tüzelőanyag szerinti kategorizálásában (benzin; dízel) segédkezett. A mérés során az adatok megbízhatóságát szúrópróbaszerűen felvett rendszámadatokhoz tartozó környezetvédelmi besorolás lekérdezésével vizsgáltuk. A kutatás későbbi fázisában rendszámadatok alapján konkrét környezetvédelmi besorolás lekérésével validáljuk ezeket az eredményeket.

A forgalomfelvétel során leolvasott környezetvédelmi besorolásról tanúskodó plakettek színei és az Euro-besorolás közötti kapcsolatrendszert az 1. táblázat foglalja össze.

4. A FORGALMI MÉRÉS EREDMÉNYEINEK

1. táblázat: Környezetvédelmi besorolások táblázata (forrás: 77/2009 (XII. 15.) KHEM-IRM-KvVM együttes rendelet alapján)

Környezetvédelmi osztály	Euro kategória	Plakett
0	0	Fekete
1	0	Fekete
2	0	Piros
3	1	Fekete
4	2	Kék
5	tiszta gázüzemű vagy elektromos meghajtású, illetőleg hibrid (elektromos és Otto- vagy dízelmotoros) hajtású	
6	3	Kék
7	3	Kék
8	3	Kék
9	4	Zöld
10	4	Zöld
11	4	Zöld
12	5	Zöld
13	5	Zöld

BEMUTATÁSA

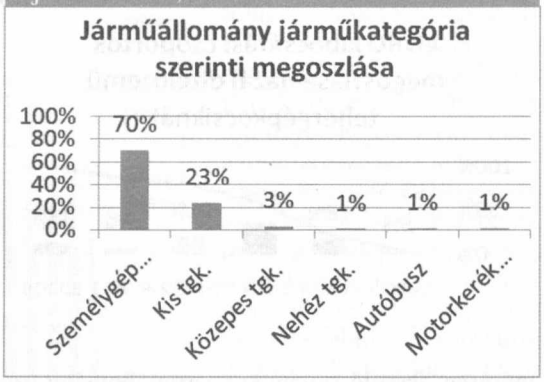
A gördülőállomány környezetvédelmi összetételére vonatkozó mérés helyszíneül az alábbi csomópontok/keresztmetszetek szolgálnak:
1. Teréz krt. – Andrássy út (Oktogon)
2. Műegyetem rkp. – Budafoki út
3. Műegyetem rkp. – Bertalan Lajos u.
4. Műegyetem rkp. – Egry József u.
5. Váci út – Róbert Károly krt.
6. Üllői út – József krt.
7. Thököly út – Hungária krt.

A forgalomfelvételt minden helyszínen jó időjárási körülmények között egy keddi és egy csütörtöki munkanapon, csúcsidőben és csúcsidőn kívül is elvégeztük. Ennek során dinamikus adatok keletkeztek arra vonatkozóan, hogy a statikus járműállományhoz viszonyítva milyen a gördülő járműállomány összetétele.

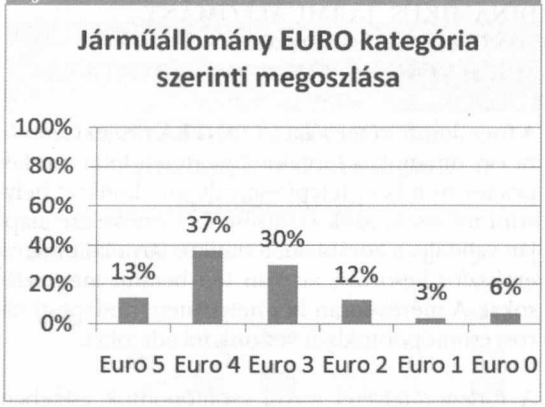
Az adatok elemzése alapján a járművek összetételéről megállapítható, hogy a felmért csomópontokon áthaladó gépjárműállomány kb. 71%-a személygépjármű, míg kb. 24%-a kistehergépkocsi volt, amint azt a 8. ábra mutatja. A közepes tehergépkocsik aránya közel 3%. Megállapítható, hogy a gépjárműforgalom több mint negyede a nagy részben dízelüzemű tehergépkocsikból áll, ami a szálló por és szilárd részecskék miatt komoly környezeti problémák forrása. A dízelüzemű motorral felszerelt járművek aránya a tehergépkocsiknál nagyobb, mint a személygépjárműveknél, előbbieknél 65%, míg utóbbiaknál 44%.

A járműállomány környezetvédelmi kategóriák szerinti megoszlása alapján megállapítható, hogy a felmért keresztmetszeteken áthaladó járművek kb. 20%-a volt Euro 3-nál alacsonyabb környezetvédelmi besorolású, míg kb. 30%-uk Euro 3, több mint egyharmaduk pedig Euro 4 osztályba esett. A legmodernebb, Euro 5 besorolású járművek aránya alig haladta meg a 13%-ot. Az adatokat összevetve megállapítható, hogy az Euro 3 és Euro 4 kategóriák együttesen az összes járműállomány kétharmadát teszik ki, míg az Euro 0, Euro 1 és Euro 2 kategóriák együtt sem érik el az állomány egyharmadát. Ez azt a feltevést igazolja, miszerint a járműállomány nagyobb része a magasabb környezetvédelmi kategóriájú járművek közé esik. A felmért keresztmetszeteken áthaladó járművek Euro kategória szerinti megoszlását a 9. ábra mutatja be.
A felmért adatok alapján megállapítható, hogy a

8. ábra: Járműállomány járműkategória szerinti megoszlása a mért keresztmetszetekben (forrás: saját szerkesztés)



9. ábra: Járműállomány Euro kategória szerinti megoszlása a mért keresztmetszetekben (forrás: saját szerkesztés)



magasabb környezetvédelmi besorolású járművek nagyobb arányban vesznek részt a forgalomban, mint azt a statikus állományban betöltött arányuk mutatná.

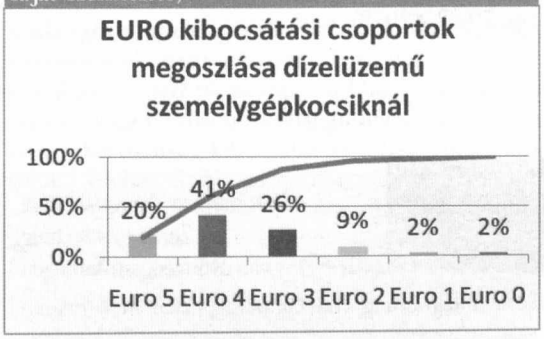
5. A STATIKUS ÉS DINAMIKUS JÁRMŰÁLLOMÁNY ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Amint az a 4. fejezetben, a forgalomfelvétel eredményeinek ismertetése során is bemutatásra került, kizárólag a statikus járműállomány ismerete nem jellemzi jól a valóban az utakon futó gördülőállomány összetételét. Éppen ezért szükséges a statikus adatok validálása mérések útján. A mérés eredményeit többféle szempontból lehet vizsgálni, ezek közül azonban jelen fejezet keretében csak azokra térnénk ki, amelyek minden további kikötés nélkül összevethetők a 2. fejezetben ismertetett statikus járműállomány-adatokkal.
A következőkben a 2. és 3., illetve a 6. és 7. ábrák dinamikus adatokból leszűrt párjai kerülnek is-

mertetésre. A 10. ábrán megfigyelhető, hogy a városban futó dízelüzemű személygépjárművek körében az Euro 0 kategóriájú járművek aránya szignifikánsan alacsonyabb, mint a járműállomány vonatkozásában. Ugyanez a jelenség figyelhető meg a 11. ábrán a benzinüzemű személygépjárművek körében is. Ellenkező előjelű viszony figyelhető meg az Euro 4 és Euro 5 kategóriáknál, amelyek magasabb aránnyal szerepelnek a dinamikus állomány esetében. Ez azt a feltevést igazolja, miszerint a magasabb környezetvédelmi kategóriájú járművek nagyobb futásteljesítménnyel rendelkeznek, mint az alacsonyabbak. Figyelemreméltó az a tény, miszerint a közepes környezetvédelmi osztályba tartozó, Euro 2 és Euro 3 kategóriák aránya a statikus és a dinamikus járműállomány összehasonlításánál közel egyforma, ami alapján ezen kategóriák aránya a forgalomban jól jellemezhető a forgalomba helyezett járművek arányával.

A tehergépjárművek esetén, – amit a 12. és 13. ábra mutat – még szignifikánsabban megfigyelhető ez az arányeltolódás a kevésbé környezetterhelő járművek javára. Ebben nem találtunk olyan kategóriát, amely jól lenne jellemezhető a statikus

10. ábra: Dízelüzemű személygépkocsi állomány megoszlása Euro kibocsátási norma alapján (forrás: saját szerkesztés)



11. ábra: Benzinüzemű személygépkocsi állomány megoszlása Euro kibocsátási norma alapján (forrás: saját szerkesztés)

12. ábra: Dízelüzemű tehergépkocsi állomány megoszlása Euro kibocsátási norma alapján (forrás: saját szerkesztés)

13. ábra: Benzinüzemű tehergépkocsi állomány megoszlása Euro kibocsátási norma alapján (forrás: saját szerkesztés)

állományi adatokkal. Így ebben az esetben is megállapítható, hogy a magasabb környezetvédelmi kategóriájú tehergépjárművek nagyobb futásteljesítménnyel rendelkeznek a forgalomfelvétel alapján.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A Contra projekt keretében megfogalmazott forgalomirányítási modell járműáramlatokat kezel, ezért fontos meghatározni, hogy az egyes járműáramlatok milyen károsanyag-kibocsátási normákkal jellemezhetők. Ehhez szükséges volt meghatározni a statikus gépjárműállomány összetételét a környezetvédelmi kategóriák figyelembevételével.

Ezt követően első lépésben feltártuk a teljes hazai közúti gépjárműállomány környezetvédelmi besorolásmegoszlását, majd második lépésben néhány konkrét helyszíni méréssel validáltuk a statikus állományból levezetett eredményeket. A mérések alapján igazolható, hogy a magasabb környezetvédelmi besorolású járművek futásteljesítménye magasabb, mint az alacsony környezetvédelmi kategóriájú járműveké, és a dinamikus

járműállomány Euro kategória szerinti megoszlása szignifikánsan eltér a statikus állomány arányától a magasabb kategóriák irányába.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" és az „A közúti járműforgalom modellezése és többkritériumú optimalizáláson alapuló irányítása társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projektek megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja és az OTKA CNK 78168 programja támogatja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Bokor Zoltán, Duma László: A fenntartható mobilitás – környezetkímélő közlekedési módok. OMIKK, Budapest, 1999 (OMIKK Környezetvédelmi füzetek 1999/24, szerkesztő: Pethő Etelka), ISBN 963 593 413 0

[2] Mészáros Ferenc: A hazai közúti közlekedés fejlődésének várható hatásai az energiafelhasználás és a környezetterhelés területén. In: Orosz Zoltán, Szabó Valéria, Fazekas István (szerk.) Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás: Környezet és Energia Konferencia. Debrecen, Magyarország, 2009.05.08-2009.05.09. Debrecen: MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottság, pp. 182-187. (ISBN:978-963-7064-20-3)

[3] Török Ádám, Zöldy Máté: Energetic and economical investigation of greenhouse gas emission of Hungarian road transport sector. POLLACK PERIODICA : AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES 5:(3) pp. 123-132. (2010)

[4] CONTRA: A közúti járműforgalom modellezése és többkritériumú optimalizáláson alapuló irányítása társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével. Kutatási jelentés 2009.06.01-2010.05.31. OTKA CNK 78168, Budapest, 2010.

[5] Varga, R, Kibedi-Varga, L, Markovits-Somogyi, R, Torok, A, Meszaros, F: STATISTICAL ASSESSMENT OF TRAFFIC QUALITY IN BUDAPEST. In: Stanislaw Borkowski, Marcin Nabialek (ed.) Toyotarity: Knowledge using in production management. Dnepropetrovsk: Yurii V Makovetsky, 2010. pp. 143-154.

[6] Monigl et al.: Assessing Sensitiveness to Transport. WP5 Case Studies – Budapest Case. Budapest, 2009.

[7] Mészáros Ferenc, Markovits-Somogyi Rita, Bokor Zoltán: Modelling and multi-criteria optimization of road traffic flows considering social and economic aspects. SCIENTIFIC JOURNAL ON TRANSPORT AND LOGISTICS 3:(1) pp. 70-82. (2012)

Determining the quality distribution of road vehicle flows

Advancing regular traffic control strategies by environmental aspects opens new horizon in sustainable road transportation. This implies taking into account the current environmental emission of traffic flows crossing an urban road junction or an interurban motorway's cross-section. This article presents the results of a conducted analysis that revealed the share of Euro emission classes among gasoline and diesel driven vehicle categories. The results were compared to the statistics of the registered vehicle fleet.

Bestimmung der qualitative Zusammensetzung von Fahrzeugsströmungen

Die Integrierung von Umweltaspekten in regulären Verkehrssteuerungsstrategien eröffnet neue Aussichten im nachhaltigen Straßenverkehr. Dies bedeutet unter anderem, dass der aktuellen Emissionen der Verkehrsflüsse z.B. in einen städtischen Straßenkreuzung oder in eine Autobahn-Querschnitt berücksichtigt werden. Dieser Artikel präsentiert die Ergebnisse einer durchgeführten Analyse, die den Anteil der Euro-Emissionsklassen der verschiedenen Fahrzeugkategorien aufdeckt. Die Ergebnisse wurden mit den statistischen Daten der in Ungarn registrierten Fahrzeugflotte verglichen.

A közúti közlekedés társadalmi költségeinek meghatározása

A közúti közlekedés externális hatásain keresztül jelentős terheket ró a társadalomra. A társadalmi költségek meghatározása segítséget nyújt a közúti szektor teljesítményeinek átértékelésében, így a forgalomban résztvevők igényein túl a lebonyolódó forgalom társadalomra gyakorolt hatásait is a forgalomirányításban figyelembe lehet venni. A tanulmány a közúti közlekedés legjellemzőbb társadalmi költségmeghatározásának módszertanát mutatja be.

Sipos Tibor,
Mészáros Ferenc, Bokor Zoltán
e-mail: tsipos@kgazd.bme.hu,
fmeszaros@kgazd.bme.hu, zbokor@kgazd.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A CONTRA projekt keretén belül a klasszikus szabályozási kör többkritériumú kiterjesztéséhez szükséges a közúti gépjárműforgalom társadalmi költségeinek meghatározása. Igazodva a szabályozás által érintett fő szempontokhoz, a cikkben a három legjelentősebb költségtényező: az eljutási idő, a károsanyag-kibocsátás és a balesetek társadalmi költségeinek meghatározására szorítkoztunk. A kutatás során a hazai és a nemzetközi gyakorlatban használt összefüggéseket dolgoztuk fel és transzformáltuk a szabályozási modell szükségletei szerint.

Célunk a kombinált műszaki-gazdasági eszközrendszer közlekedéstervezésben, irányításban történő gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálata. A határköltség alapú közúti közlekedési árképzés igen bonyolult, dinamikus komplex rendszer. Használata, a jelenlegi gazdasági, politikai, társadalmi helyzetben nem megoldható, rövid távon a közúti közlekedési szektor instabilitásához vezetne. Ezért a „második legjobb megoldás", azaz a közúti közlekedésből származó társadalmi káros hatások pénzben történő kifejezése és fokozatos, kiszámítható internalizálása (döntési-szabályozási tényezőkhöz kapcsolása) jelenthet megvalósítható alternatívát.
A közlekedési költségszámítási összefüggések függvényszerű felírásával tehát lehetőség nyílik a társadalmi-gazdasági döntési tényezőket is beépíteni a komplex szabályozási modellbe.

2. A KÖZLEKEDÉS ELMÉLETI TÁRSADALMI KÖLTSÉGE ÉS HATÁRKÖLTSÉGE

Első körben elméleti megközelítésből elemezzük a közlekedési költségeket. E szempontból a közlekedési társadalmi összköltség (TSC – Total Social Cost) öt költségkategória összköltségének additív értékéből állítható elő:

$$TSC = TSC_{infrastruktúra} + TSC_{szolgáltató} + TSC_{használó} + TSC_{baleset} + TSC_{környezet} \quad (1)$$

A fenti költségkategóriák közül a használók és a balesetek társadalmi költségeiből csak az externális részek (EC – External Cost; EC = TSC – PC, ahol PC – Private Cost – a privát költség) relevánsak a társadalmi szintű árképzés szempontjából. Ennek figyelembevételével a társadalmi árképzésnél számba veendő közlekedési társadalmi összköltség a következőképp alakul:

$$TSC_{(árképzési)} = TSC_{infrastruktúra} + TSC_{szolgáltató} + EC_{használó} + EC_{baleset} + TSC_{környezet} \quad (2)$$

A fenti összköltségeken a differenciálást tagonként elvégezve adódik az árképzés szempontjából mértékadó társadalmi határköltség (MSC – Marginal Social Cost) összefüggés (MSC a TSC függvény, MEC az EC függvény közlekedési teljesítmény szerinti első deriváltja):

$$MSC_{(árképzési)} = MSC_{infrastruktúra} + MSC_{szolgáltató} + MEC_{használó} + MEC_{baleset} + MSC_{környezet} \quad (3)$$

A differenciálás révén a társadalmi összköltség fix tényezői 0-vá válnak, így megállapítható, hogy a határköltség alapú árképzésben csak a közlekedési teljesítmény függvényében változónak tekintett költségelemek játszanak szerepet [1].

A következőkben az elméleti összefüggésből kiindulva a közúti közlekedés szempontjából leglényegesebb költségtényezők számszerűsítési lehetőségeit vesszük számba. A fő cél azonban itt nem az árképzés támogatása, hanem a forgalomszabályozási modell kiegészítése mérhető társadalmi-gazdasági paraméterekkel.

3. AZ ELJUTÁSI IDŐK TÁRSADALMI KÖLTSÉGÉNEK MODELLEZÉSE

Az eljutási idő kapcsán le kell szögezni, hogy nem elég pusztán a járművek forgalomban való részvételének időtartamát alapul venni. Tekintettel kell ugyanis lenni a járművek foglaltságára is, tehát a járművek forgalomnagysága helyett az utazó személyek számában kifejezett forgalomnagyságból célszerű kiindulni. Mivel a helyváltoztatás hasznos időalapja természetes velejárója a folyamatnak, ezért a forgalomirányításban elsősorban a haszonnal nem járó, torlódások során kialakuló feltartóztatásból származó késések költségeit érdemes használni az irányítási modellben [2].

A torlódásokból eredő feltartóztatás költségeinek megállapításához először az érintett utazó személyek számát kell megállapítani. Az irányítási modell felépítéséhez empirikus adatokból indulhatunk ki:

$$N_p = \sum_{i=1}^{n} N_{vi} * n_i \qquad (4)$$

ahol: N_p - forgalomnagyság (fő)
N_{vi} – „i"-dik járműtípus forgalomnagysága [j/h]
n_i – „i"-dik járműtípus átlagos utasszáma [fő/j]

Az így kiszámolt utasszámok alapján, figyelembe véve a közút átbocsátó képességét, az egyes sávok torlódott időtartamra eső, késésből adódó társadalmi költségét (C_l) a következőképpen számíthatjuk:

$$C_l = d_{avgs} * C_{pl} \qquad (5)$$

ahol: d_{avgs} – összes késés az adott forgalmi sávban [s/h], ami az egyéni késés [s/h/fő] és a feltartóztatott emberek számának [fő] szorzata
C_{pl} – késésből adódó költség [Ft/h]

Az egyes járműtípusokhoz eltérő fajlagos időveszteség-költségértékek rendelhetők, az eltérő motivációból és a jármű általagos kihasználtságából adódóan. Ezek alapján a költségkalkuláció során a COWI Magyarország Tanácsadó és Tervező Kft. által kidolgozott módszertani útmutató vonatkozó fajlagos értékei szolgálnak a további számítások alapjául [3].

4. A KÖZÚTI KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁS TÁRSADALMI KÖLTSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A közúti forgalomirányítási modellnél a környezetvédelmi szabályozás szempontjából a torlódások következtében fellépő károsanyag-kibocsátás csökkentése és az ebből adódó költségek minimalizálása a legfőbb szempont. Ennek megfelelően a kidolgozott számítási eljárás külön értékeli a személygépkocsik és a nehéz gépjárművek (autóbuszok és tehergépkocsik) környezetterhelő hatásait [2]. Fontos továbbá megjegyezni, hogy a járművek környezetvédelmi megoszlásának pontos megállapítása is jelentős hatást gyakorolt az értékelési eljárásra [4].

Az egyes járműcsoportokra vonatkoztatott, terhelés nélküli fajlagos károsanyag-kibocsátási értékek az 1. táblázatban foglaltak szerint alakulnak.

A torlódási időalapra épülő emissziós értékek pénzben történő kifejezése a szennyezőanyagokhoz tartozó tömegalapú fajlagos költségérték figyelembevételével történik (2. táblázat).

Ezen értékek, illetve a csomópontban mért forgalomnagyság segítségével az alábbi képlet szerint számolva kapjuk eredményül a károsanyag-kibocsátásból adódó költségértéket ($[C_s] = €$):

$$C_s = e * C_m * N \qquad (3)$$

ahol: e – időegységre vonatkoztatott károsanyag-kibocsátás [g/h]
C_m – tömegegységre vonatkoztatott károsanyag-kibocsátás értéke [€/g]
N – forgalomnagyság [ej/h]

5. A KÖZÚTI BALESETEK TÁRSADALMI KÖLTSÉGEINEK MEGHATÁROZÁSA

A baleseti költségek az alábbi elemekre tagolhatók: anyagi károk, adminisztratív költségek, orvosi ellátás költsége, termelési veszteség, kockázati érték. A legfőbb költségvezető (költségbefolyásoló tényező)

1. táblázat: Gépjármű-csoportok fajlagos károsanyag-kibocsátási értékei (forrás: KTI)

	Személygépjármű (g/h)					Nehéz gépjármű (g/h)				
0 km/h	CO	CH	NOx	PM	CO_2	CO	CH	NOx	PM	CO_2
	144	29,1	1,94	0 769	2,22	116,5	7,44	28 8	1,39	3,68

2. táblázat: Gépjármű csoportok fajlagos károsanyag-kibocsátási költségei (forrás: KTI)

	CO	CH	NOx	PM	CO_2
(EUR/t; 2006)	4,4	177,77	1111,1	13111,1	4,44
(EUR/g; 2006)	0,000	0,000	0,001	0,013	0,000

a balesetek száma és súlyossága. A monetáris költségelemek a biztosító és az egészségügyi intézmények statisztikáiból szerezhetők meg. A termelési veszteség és a kockázati érték nemzetközileg elfogadott sarokszámokból vezethető le, ismerve a balesetek számát és súlyosságát. A baleseti költségek egy része a közlekedési szektor számára extern (vagyis azokat a társadalom viseli), s tulajdonképpen ezek az extern költségtételek a társadalmi árképzés szempontjából figyelembe veendő tényezők (3. táblázat).

A baleseti költségek közül a kockázati költségek nem monetáris, a többi költségelem monetáris tényező. A nagyobb problémát természetesen a nem monetáris tényezők értékelése jelenti, ahol különféle modellezési és preferencia kinyilvánítási eljárásokat kell alkalmazni (ideális esetben), avagy széles körben elfogadott nemzetközi értékek hazai adaptációját kell elvégezni (helyettesítő megoldásként).

A marginális externális baleseti költség ($MEC_{baleset}$): az addicionális közlekedési teljesítményegység rendszerbe lépésével járó, mások számára a baleseti kockázat növekedéséből adódó költségváltozás. A baleseti externális határköltségeket általában az ún. kockázati elaszticitás módszerével közelítik. Itt az első lépés a kockázati értékek becslése áldozatonként és/vagy káresetenként. Utána azt kell megvizsgálni, hogy milyen összefüggés áll fenn a forgalom volumene és a baleseti gyakoriság között, s ebből le kell vezetni, hogy a forgalom egységnyi növekedése átlagosan mekkora balesetszám növekedéssel jár (ez a baleseti elaszticitás értéke). Végül az átlagos kockázati értékek és a baleseti elaszticitás alapján a keresett baleseti ha-

3. táblázat: Módszerek a baleseti költségelemek meghatározására [1]

Költségelem	Ideális módszer	Helyettesítő módszer
Anyagi károk költségei	Biztosítók költségeire építve	Átlagos baleseti költségekből és balesetszámból kalkulálva
Adminisztratív költségek	Rendőrségi költségadatokra, statisztikákra építve	
Orvosi ellátás költségei	Az ellátás valósan regisztrált költségeire építve	
Termelési kiesés költségei	Az áldozatok bérének, kiesett idejének, helyettesítési költségének, stb. ismeretében közvetlenül	Nemzetközileg elfogadott statisztikai élet értékekből (Value Of Statistical Life – VOSL) GDP arányban levezetve
Kockázati költségek	Kinyilvánított preferencia eljárással	

tárköltség közelíthető lesz. További feladatot képez viszont az extern és az intern részek elkülönítése, amihez elő kell állítani a privát (internalizált = viselt) baleseti határköltséget is [5].

$$MEC_{baleset} = \frac{NC}{F} \cdot LV \cdot (1-\tau) \cdot \varepsilon_{risk} \qquad (7)$$

ahol $MEC_{baleset}$ – A balesetek külső társadalmi költség
NC – Sérültek száma
LV – Emberi élet gazdasági értéke
τ – együttható
ε_{risk} – kockázati elaszticitás [-]

Az előbbi, elméleti alapon levezetett összefüggésből kiindulva végezhető el a forgalmi áramlat várható baleseti költségeinek meghatározása. A balesetek okozta veszteségek komplex forgalomirányítási modellben történő leképezéséhez és együttes figyelembevételéhez célszerű meghatározni a különböző externáliák monetarizálásához szükséges módszertani elemeket [2].

Általánosságban a baleset bekövetkezésének valószínűségére és súlyosságára hatást gyakorló jellemzőket vesszük figyelembe. A balesetek fajlagos költségét a súlyosságuktól függően becsüljük. A balesetbekövetkezési valószínűség segítségével megbecsülhetjük a balesetgyakoriságot, amellyel az időegységre vetített összköltséget közelíthetjük. A baleseti összköltség becslésével tehát lehetőség nyílik az externális hatások együttes figyelembevételére.

A módszer lényege, hogy az egyes út- és balesetkategóriákhoz statisztikai úton meghatározott balesetbekövetkezési valószínűségeket rendel. A baleseti kategóriákhoz a balesetben megsérültek száma és az egy főre jutó költség kerül hozzárendelésre. Ezt követően a forgalomnagyság, a balesetgyakoriság, a sérültek száma és a sérülések fajlagos költsége kerül összeszorzásra (a vonatkozó adatokat a COWI útmutató tartalmazza [3]), így kerül kiszámításra az időegységre vonatkoztatott baleseti érték.

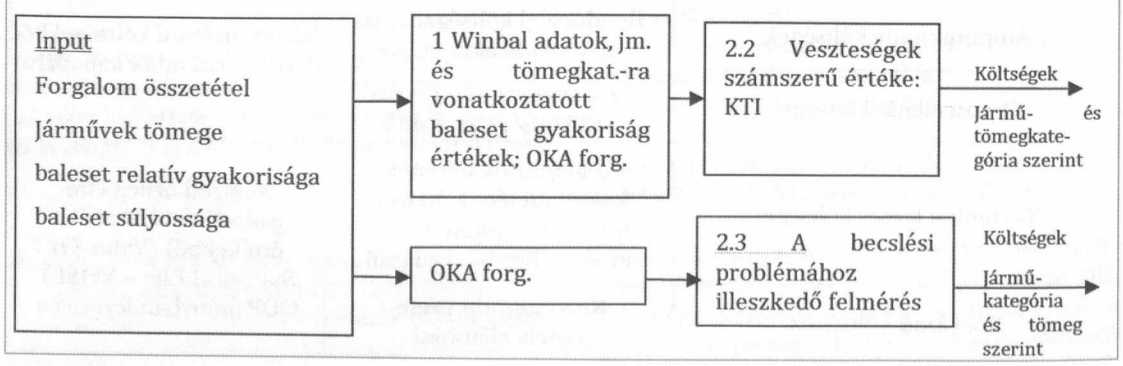
$$C_B = Q * RBM\,[FC, SC, LC, MC] * \{NC\,[NF, NS, NL] * CC\,[CF, CS, CL]; CM\} \qquad (8)$$

ahol: Q – forgalmi teljesítmény [ejkm/h]
RBM – relatív baleseti mutató [baleset / 10^7 ejkm]
FC – halálos balesetek száma [db / 10^7 ejkm]
SC – súlyos sérüléses balesetek száma [db / 10^7 ejkm]
LC – könnyű sérüléses balesetek száma [db / 10^7 ejkm]
MC – csak anyagi kárral járó balesetek száma [db / 10^7 ejkm]
NC – egy balesetben átlagosan sérültek száma [fő / baleset]
NF – meghaltak száma [fő / baleset]
NS – súlyosan sérültek száma [fő / baleset]
NL – könnyű sérültek száma [fő / baleset]
CC – fajlagos baleseti érték [Ft / fő]
CF – halálozás baleseti értéke [Ft / fő]
CS – súlyos sérülés baleseti értéke [Ft / fő]
CL – könnyű sérülés baleseti értéke [Ft / fő]
CM – csak anyagi kárral járó baleset értéke [Ft / baleset]

Feltételezzük, hogy ismerjük a járművek tömegét, a baleseti gyakoriságokat és a balesetek várható súlyosságát. Ezekre vonatkozó adatokat a WinBal adatbázisból és az OKA OKKF adatbázisból nyerhetünk. Ezek bemenetül szolgálnak a költségbecsléshez. A modell működését az 1. ábra mutatja be.

A bemutatott költségkalkuláció során a Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.(KTI) által kidol-

1. ábra: Baleseti költségkalkulációs modell [2]



gozott módszertani útmutató használható. Amennyiben nem ilyen teljes körű a rendelkezésre álló adatok halmaza, akkor megfelelő empirikus vagy becsült adatokkal kell kiegészíteni a számítást, amikor is a COWI Magyarország Tanácsadó és Tervező Kft. által összeállított módszertani útmutató alkalmazható [3].

A baleseti költség a fenti egyszerű modellben tehát az egyes útkategóriákra jellemző megengedett sebességtől függ, nem pedig a forgalmi áramlatok valós sebességétől. Emellett a modell figyelembe veszi a forgalomnagyságot, de nem terjed ki az útgeometriára és egyéb infrastruktúra-jellemzőkre, amelyek szintén meghatározó baleseti tényezők (pl. csomópont, elválasztó sáv, rézsű stb.).

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A közúti közlekedést szabályozó rendszerek nem nélkülözhetik a társadalmi-gazdasági hatásokat számszerűsítő paramétereket, ami komplex műszaki-gazdasági megközelítést feltételez. A vonatkozó hazai kutatások (CONTRA) számottevő előrehaladást értek el ezen a téren, amennyiben megkísérelték e paraméterek integrálását a forgalomtechnikai szabályozó modellbe. E cikkben a társadalmi-gazdasági jellegű szabályozási befolyásoló tényezők – eljutási idő, károsanyag-kibocsátás, baleset – társadalmi költségének számítási-közelítési eljárásai kerültek bemutatásra. Az így kidolgozott formulák alkalmasak arra, hogy közvetlenül a szabályozási kör algoritmusaiba kerülhessenek, biztosítva ezzel, hogy a forgalom irányítása a forgalomtechnikai és a társadalmi-gazdasági tényezők együttes figyelembevétele mellett történjen.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" és „A közúti járműforgalom modellezése és többkritériumú optimalizáláson alapuló irányítása társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projektek megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja és az OTKA CNK 78168 programja támogatja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Dr. Tánczos Lászlóné - Dr. Bokor Zoltán: A közlekedés társadalmi költségei és azok általános és közlekedési módtól függő hazai sajátosságai. KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE 53:(8) pp. 281-291. (2003)

[2] CONTRA: A közúti járműforgalom modellezése és többkritériumú optimalizáláson alapuló irányítása a társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével. Kutatási jelentés 2010.06.01-2011.05.31. Budapest, 2011

[3] COWI: NFÜ – Módszertani útmutató költség-haszon elemzéshez. COWI Magyarország Tanácsadó és Tervező Kft., Budapest, 2009

[4] Tánczos Lászlóné, Török Ádám: Impact of transportation on environment. PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 36: pp. 105-110. (2008)

[5] Bokor Zoltán, Békefi Zoltán, Duma László, Farkas Gyula, Kiss Barnabás, Kővári Botond, Legeza Enikő, Magyar István, Nagy Zoltán, Rónai Péter, Tánczos Lászlóné: Hungarian pilot transport accounts. A UNITE (EU 5. K+F keretprogrambeli) projekt keretében készült esettanulmány, BME Közlekedésgazdasági Tanszék, Budapest, 2002

Determining the social costs of road transport

Road transportation induces the largest social costs of transportation. The most relevant cost drivers are travel time, emission and accidents. This paper analyses the joint applicability of engineering and economic disciplines in road traffic controlling. The research summarises the state-of-the-art of social cost calculation methodology based on the international and Hungarian scientific literature. The revealed cost functions were adopted and transformed according to the requirements of the advanced traffic control model.

Bestimmung der Gesellschaftskosten des Strassenverkehrs

Straßenverkehr verursacht die größten sozialen Kosten des Verkehrs. Die wichtigsten Kostenfaktoren sind die Dauer der Reise-Zeit, die Quantität und die Zusammensetzung der Emissionen und die Zahl der Unfälle. Dieser Artikel analysiert die gemeinsame Anwendbarkeit von technischen und wirtschaftlichen Aspekten bei Straßenverkehrsteuerung. Die Forschung präsentiert mit der Hilfe der ungarischen und internationalen wissenschaftlichen Fachliteratur die wichtigsten Berechnungsmethoden der sozialen Kosten. Die angefundenen Funktionen wurden adaptiert und gemäß den Anforderungen der fortgeschrittenen Verkehrssteuerungsmodelle transformiert.

A közúti forgalom irányításával szemben támasztott társadalmi elvárások modellezése

A közúti közlekedés és a társadalom kapcsolatát nem csak költségek, hanem a legfontosabb elvárások útján is szükséges értékelni, ú.m. az eljutási idő tervezhetősége, a károsanyag-kibocsátás mérséklése, valamint a közúti balesetek számának és súlyosságának csökkentése. A forgalmi paraméterek és az elvárások teljesítése közötti kapcsolat feltárásával közelebb kerülhetünk a fenntartható közúti rendszerhez.

Markovits-Somogyi Rita, Sipos Tibor, Dr. Török Árpád
e-mail: rsomogyi@kgazd.bme.hu, tsipos@kgazd.bme.hu, artorok@kgazd.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A többkritériumú optimalizáláson alapuló közúti forgalomirányítás modellezésének fontos elemei azok a rendszerrel szemben támasztott társadalmi elvárások, amelyek természetükből adódóan nem közvetlenül írhatók fel függvénykapcsolattal. Ezek az elvárások egyfajta határokat vagy korlátokat szabnak az irányítási algoritmusban, így valamilyen módon szükséges azokat paraméterek formájában felírni. A cikk azokat az eljárásokat mutatja be – a főbb döntésbefolyásoló tényezőkre koncentrálva –, amelyekkel az ilyen típusú paraméterezés elvégezhető.

2. A KÖZÚTI ELJUTÁSI IDŐVEL SZEMBEN TÁMASZTOTT TÁRSADALMI ELVÁRÁSOK MODELLEZÉSE

Az eljutási idő elsősorban a forgalom lefolyása kapcsán válik értelmezhetővé az irányítási modell szempontjából. Kapcsolódva a modellvizsgálat értelmezési tartományához, a társadalmi elvárásokat két környezetben értelmezzük: autópályán és városi közúti csomópontokban.

2.1 Eljutási idővel kapcsolatos elvárások autópályán

Az autópályák esetében elsősorban a főágon közlekedők szempontjából fogalmazhatunk meg elvárásokat, abból a szempontból is, hogy ha valaki már felhajtott a főágra, attól kezdve annak a járműáramlatnak részét képezi. Az elvárások közül a leginkább az átlagos haladási sebesség fogadható el a közlekedésben résztvevők teljes körét tekintve. Az áramlat átlagos haladási sebességének meghatározása a mérőberendezések segítségével viszonylag egyszerű, de egyben függvénye a szakaszhossznak és a szakaszhoz rendelhető eljutási időnek. A sebességgel kapcsolatos elvárás pontos megfogalmazása több tényezőtől is függ (a helyváltoztatás helye, ideje, az utazás motivációja, a fenntartani kívánt szolgáltatás szint stb.), ezért az erre vonatkozó pontos érték csak további kutatás segítségével határozható meg. Kiinduló értéke egyébként a fundamentális diagramból leolvasható, még stabil áramlatot jelentő átlagos haladási sebesség.

2.2 Eljutási idővel kapcsolatos elvárások városban

Általánosságban véve elmondható, hogy a zöldidő (a szabad jelzés ideje) esetén a minimális időtartam az, amellyel kapcsolatban elvárásról beszélhetünk. A maximális időtartam ugyanis elméletileg akár végtelen hosszúságú is lehet, az adott irányból érkező járművezetők számára ez az optimális megoldás (pl. nyomógombos jelzőlámpával felszerelt gyalogos átkelőhely esete). A zöldidő minimális hossza a forgalomtechnikai jellemzők ismeretében például (1) alapján az alábbi módon határozható meg [1]:

$$t_z = \frac{F_{sz}}{F_t} t_p \qquad (1)$$

ahol:

t_{zi} az „i" fázis zöldideje,
F_{mi} az „i" fázis mértékadó sávforgalma,
F_t a telített forgalomnagyság,
t_{pi} a periódusidő, tehát a szabad jelzés időinek és a közbenső időknek az összege (2):

$$t_p = \sum t_{zi} + \sum t_{ki} \qquad (2)$$

A társadalmi elvárást itt a „minél folyamatosabb haladásra való törekvés" igénye testesíti meg, tehát a zöldidő minimális szintjével kapcsolatos társadalmi elvárások a forgalomtechnikai elvárásokkal egybeesnek. A zöldidő mértékét jelentősen befolyásolja a keresztező, konkurens irányok zöldideje [2].

A pirosidőre (tehát a tilos jelzés időtartamára) vonatkozóan beszélhetünk leginkább társadalmi elvárásról, mégpedig annak maximális hossza tekintetében. A közlekedőnek értelemszerűen az a célja, hogy minél rövidebb ideig kelljen várakoznia a jelzőlámpánál, azonban a várakozásnak létezik egy maximális, ún. „ésszerű" időtartama, amely letelte után a járművezető feltételezi, hogy az adott jelzőrendszer meghibásodott, és nem vár tovább. E döntés megszületése után általában több cselekvési lehetőség közül választhat: megfordul, és alternatív útvonalat választ a céljához, illetve előfordulhat, hogy keresztülhajt a piroson. Érdemes megemlíteni, hogy a detektoros forgalomirányítás terjedésével egyre gyakoribbá válik ez a probléma, mert az ilyen típusú forgalomirányításnál előfordul, hogy érzékelési hiányosság miatt nem kap zöld jelzést az egyik irányból érkező járművezető, s dilemma elé kerül, hogy miképpen cselekedjen. A közlekedéspszichológiai mérések szerint a legtöbb gépjárművezető 120 másodperc időtartam letelte után keresztülhajt a tilos jelzésen felülbírálva a közúti forgalomirányító berendezés jelzésképét. Meg kell jegyeznünk, hogy a jogszabályok egyik esetben sem mondják ki, mi az az ésszerű időtartam, amelyet a közlekedőnek várnia kell, illetve, hogyan tud meggyőződni a jelzőlámpa meghibásodásáról. (Ezek meghatározása sem jogilag, sem szakmailag nem indokolható. *A főszerk.*) Magyarországon nem a meghibásodás tényéhez, hanem a jelzőlámpa fényjelzéséhez köti a KRESZ a elvárt magatartást. Sárga villogó jelzés esetén a jelzőtáblák figyelembevételével tovább lehet haladni, folyamatos piros jelzés esetén azonban a jelzőrendszert nem szabad meghaladni.

Alapvető igény tehát, hogy meghatározzuk az „ésszerű időtartam" mértékét, amelynek letelte után a járművezető a jelzőrendszer meghibásodását feltételezheti; s indokolt ebben az időtartamban korlátozni a pirosidő hosszát. Ennek tárgyalásakor célszerű megkülönböztetnünk bizonyos körülményeket. Más az emberek tűrőképessége, ha nappal vagy éjszaka történik az esemény, illetve az adott ország mentalitása (a tilos jelzésen való áthajtásért kapható bírság nagysága) is befolyásolja az járművezetők hozzáállását. A kutatás jelen fázisában annyi bizonyosan elmondható, hogy Magyarországon a 90-120 másodperces, minden alesetre kiterjedő maximum beállításával a biztonság javára becslünk. Precízebb számérték nyerhető empirikus kutatás végrehajtásával, amelynek során például kérdőíves megkérdezéssel feltárható a járművezetők hipotetikus hozzáállása (akár többfajta: nappali és éjszakai, valamint városi és autópályán történő közlekedési szituációkra). Az ilyen kutatás eredményeként gyakoriságfüggvények állíthatók fel, amelyek azt mutatják, hogy az egyes alesetekben mennyi az a másodpercérték, ahol a legtöbb autós türelme elfogy, és keresztülhajt a tilos jelzésen vagy megfordul. Itt tehát a bemeneti paraméter az egyes alesetek meghatározása, a kimenet pedig az a másodpercérték, ahol a fent említett gyakoriságfüggvény várható értéke található. Változó paraméter lehet továbbá a keresztező forgalom nagysága (amely természetesen a napszaktól erősen függhet), ami forgalomtechnikai paraméterként ismert, és a gyakoriságfüggvényeknek ezt is figyelembe kell venniük. Az összefüggés iránya nyilvánvalóan előre sejthető: nagyobb keresztező forgalomnál kisebb lesz a hajlandóság a piros jelzésnél történő áthaladásra, és nagyobb lesz annak a valószínűsége, hogy a járművezető megfordul, és más útvonalat választ. Végül fontos megjegyezni, hogy több várakozó jármű esetén a maximális pirosidő kérdése leginkább az első járművezető számára kérdés, hiszen a sorban másodikként, harmadikként stb. várakozó számára már mintaértékű az első autós viselkedése, és ha egyvalaki keresztülhajtott a piroson, a sorban őt követők már nem fognak annyi ideig várakozni, mint ő. További kutatási mellékszálként felmerülhet annak a kérdésnek a vizsgálata, hogy miként hat az első autósra a mögötte várakozó járművezetők jelenléte és magatartása.

Az előkészületi időre és az átmeneti időre vonatkozó elvárások kapcsán elmondható, hogy a társadalmi elvárások egybeesnek a forgalomtechnikai elvárásokkal, tehát azzal a céllal, hogy a forgalom gördülékenyen folyhasson. Az előkészületi idő hazánkban 2 másodperc, az átmeneti idő a csomópont

tervezési sebességétől függően általában 3 vagy 5 másodperc. Mivel ezek az időtartamok nagyon kis intervallumban változtathatók, és hosszuk teljes egészében a forgalomtechnikai paraméterektől függ, ezért a rájuk vonatkozó társadalmi elvárás külön mérlegelésére nincs szükség.

3. A KÖZÚTI KÁROSANYAG-KIBOCSÁTÁSSAL KAPCSOLATOS TÁRSADALMI ELVÁRÁSOK MODELLEZÉSE

A fenntartható közlekedési rendszerekkel kapcsolatos átfogó társadalmi elvárás a környezetkímélő technikák (eredményes) alkalmazása, amelyek fejlesztésére és implementálására számos tervezési-szervezési, illetve technológiai kezdeményezés indult. Ezek fő motivációja a közlekedésből származó károsanyag-kibocsátás csökkentése [3]. A károsanyag-kibocsátással kapcsolatos, formalizálható társadalmi elvárásokat két szinten, mikro- és makroszinten kell tárgyalnunk. Mikroszinten a lakosság a járművek károsanyag-kibocsátását (emisszióját) közvetett módon (transzmisszión) keresztül érzékeli (mint immissziót). A konkrét károsanyag-kibocsátás és az érzékelt légszennyezés mértéke közötti összefüggés meghatározása ezért kiemelkedő fontosságú az ezzel kapcsolatos társadalmi elvárások meghatározásához. Amíg az emissziót városi környezetben a jármű motorjának üzemórái alapján számítjuk, addig az immissziót a légköbméterben mérhető szennyezés mennyiségében írjuk fel. Manapság a közlekedési eredetű légszennyezés (amelyben a légszennyező közlekedés vonali forrásnak minősül) becslésével és a transzmissziós modellek segítségével jó közelítéssel nyerhetőek immissziós térképek [4]. A kutatás során kérdésként felvetődött: a számítási eljárás megfordítható-e? Az eddigi kutatások csak nagyvonalú (veszteség nélküli transzmissziót feltételezett) kapcsolatot tudtak azonosítani, ugyanis a transzmisszió igen sok külső tényezőtől (pl. földrajzi adottságok, időjárás) is függ. Egy-egy városi csomópont esetén a csomóponton való áthaladás ill. piros jelzésnél való várakozás időszükségletére alapozva az 1. táblázatban megjelenített modellszerű összefüggés mutatható ki a jogszabályban rögzített immissziós határértékek és a csomópontban tartózkodó járművek emissziós paraméterei között:

Az ezek alapján számolt nagyságrendi csomóponti forgalmi terhelés két nagyságrenddel kisebb megengedett terhelési értékeket adna ki, mint amilyen kapacitással jelenleg üzemelnek a városi közúti csomópontok. Fontos megjegyezni, hogy ez a modellszámítás „nulla" transzmissziót feltételez, de valós körülmények között ez sosem érvényesül.

Makroszinten célszerű figyelembe venni az Európai Unió hosszú távú közlekedéspolitikáját. Ennek értelmében 2050-re 60 százalékkal kell csökkenteni a közlekedésből származó CO_2-kibocsátás mértékét. Ez alapján tehát az irányítási rendszer outputjára vonatkozó korlátként határozhatjuk meg a kibocsátás mértékének maximumát (amely maximum a jelenlegi átlagos kibocsátás 40%-a lehet).

A gyakorlatban hatékonyabban alkalmazható módszerhez jutunk, ha a szakértői elemzés módszertanából kiindulva a kibocsátási szintet jól reprezentáló mutató (pl. komplex kibocsátás mutató) egyes mértékadó értékeihez társadalmi elvárási szinteket rendelünk [6]. A társadalmi elvárások minimumaként a jelenlegi állapotot definiálhatjuk (minimális szintként elvárt a jelenlegi kibocsátási szint fenntartása), az elvárások maximumaként pedig pl. az EU által meghatározott 60%-os csökkentést definiálhatjuk [7].

4. A KÖZÚTI BALESETEK KAPCSÁN MEGFOGALMAZHATÓ TÁRSADALMI ELVÁRÁSOK MODELLEZÉSE

A balesettel kapcsolatos társadalmi elvárások modellezésének problémája több szempontból vizsgálható. Az egyik a társadalmi elvárások baleseti költségeken keresztül történő leképezése. Ekkor

1. táblázat: Immissziós határértékből visszafejtett kritikus emissziók [5]

[g/h]	Egészségügyi határérték	Tájékoztatási határérték	Riasztási határérték
NOx	126	439	502
CO	12534	25067	37600
PM10	63	94	126

társadalmi elvárásként fogalmazódik meg a baleseti költségek minimalizálása, fontos azonban, hogy ezt nem az egyes baleseti kimenetelek (pl. halálos) fajlagos költségeinek csökkentésén keresztül szeretnénk elérni; hanem a baleseti kockázat mérséklésével [8].

A balesettel kapcsolatos társadalmi elvárások modellezésének másik lehetősége az externális költségek teljes leképezése. Ekkor a döntési tér kiterjesztésével (a teljes döntési tér Pareto görbéjének felvételével) a balesetek társadalmi elvárásai az externális költségek teljes minimalizálásával kerülnek figyelembevételre [6].

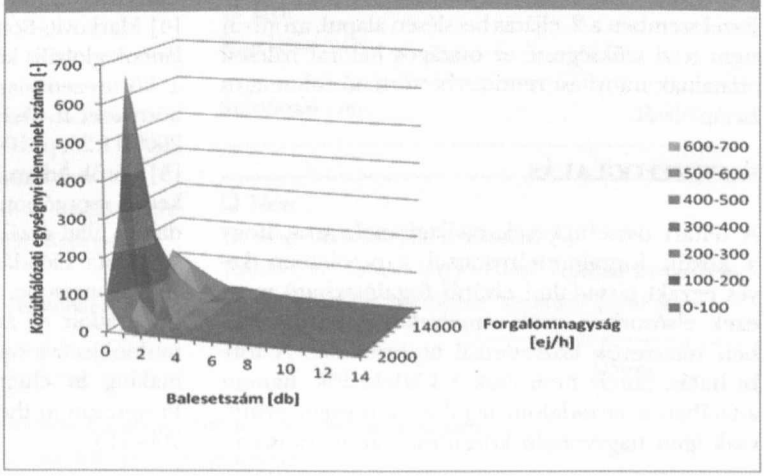
A harmadik lehetőség a hasznosság alapú megközelítés. Ekkor a használó szempontjából értelmezett közlekedési szolgáltatással kapcsolatos outputokhoz preferencia szinteket rendelünk, majd ezeknek megfelelően, a diszkrét preferencia értékek alapján becsült hasznossági függvényt maximalizáljuk, tekintettel a helyváltoztatás külső és belső gazdasági hatásaira [9] [10].

A kutatás célja tehát, hogy az eljutási idő mellett például a balesetek számát is figyelembe vegyük a közúti közlekedési irányító rendszer megtervezésekor. Így az irányító rendszer beavatkozását nem csak az eljutási idő alapján határozzuk meg, hanem a balesetek számát is figyelembe vesszük. A közlekedési rendszert a balesetek számára vonatkozó határérték megállapításával szabályozzuk. Ennek megfelelően az irányítási rendszer úgy avatkozik majd be, hogy a definiált határértéknél több baleset az irányított rendszerben ne következhessen be. Meghatározzuk tehát a balesetek számának lehetséges maximumát, ami az irányítási rendszer korlátját jelenti. Ez alapján tehát az irányítási rendszer outputjára vonatkozó korlátként határoztuk meg a halálos balesetek számának maximumát. 2050-hez közeledve az EU-s elvárásnak megfelelően ez a megengedett maximum balesetszámot célszerű folyamatosan nullához közelíteni.

A gyakorlatban hatékonyabban alkalmazható módszerhez jutunk, ha a szakértői elemzés módszertanából kiindulva a közlekedésbiztonsági szintet jól reprezentáló mutató (pl. komplex baleseti mutató) egyes mértékadó értékeihez társadalmi elvárási szinteket rendelünk [6]. A társadalmi elvárások minimumaként a jelenlegi állapotot definiálhatjuk (minimális szintként elvárt a jelenlegi biztonsági szint fenntartása), az elvárások maximumaként pedig pl. az EU által megfogalmazottt nulla-víziót adhatjuk meg. A fenti megfontolások alapján a közlekedésbiztonsággal kapcsolatos társadalmi elvárásokat a gyakorlatban leginkább alkalmazható utolsó módszertan alkalmazásával vezetjük be az irányítási rendszerbe. Ennek megfelelően elsőként a közlekedésbiztonságot jól reprezentáló mutatót definiáljuk, ami esetünkben praktikusan az egységnyi közúthálózati elemre eső balesetek számát jelenti (3). A közúthálózat egységnyi eleme lehet pl. egy adott hosszúságú szakasz vagy egy csomópont. A közúthálózat elemeit célszerű a jellemző forgalomnagyság szerint megkülönböztetni, tekintve hogy a forgalomnagyság számos egyéb közlekedési jellemzőt is jelentős mértékben befolyásol, többek között a közlekedésbiztonsági kockázatot is. Az ismertetett paraméterkészlet alapján végzett regresszióval egy olyan kétváltozós függvényhez jutunk, ami a forgalomnagysághoz és a balesetszámhoz a közúthálózat egységnyi elemeinek számát rendeli, vagyis ennek segítségével meghatározhatjuk, hogy adott forgalomnagyság és balesetszám milyen arányban lesz jellemző a teljes közúthálózatra (ld. 1. ábra).

Ezt követően kerül sor a társadalmi elvárások számszerűsítésére. Ahhoz például, hogy 2015-re felére csökkenjen a halálos áldozatok száma, célszerű a halálos áldozatok számát évente 15%-kal csökkenteni. Ebből kiindulva évekre bontva meghatározzuk a halálos áldozatok maximális számát. Ezt követően a halálos áldozatok maximális számára vonatkozó

1. ábra: Kétváltozós függvény, amely a forgalomnagysághoz és a balesetszámhoz a közúthálózat egységnyi elemeinek számát rendeli



társadalmi elvárásokból kiindulva bármely adott közúthálózati elemre kiszámolható a halálos áldozatok maximális számával kapcsolatos társadalmi elvárás. Egy adott csomópont esetén ismerjük a csomópontra jellemző forgalomnagyságot, amely a fenti kétváltozós függvény esetén a forgalomnagyság tengelyére merőleges síkot határoz meg, továbbá a kétváltozós függvényt olyan egyváltozós függvénnyé transzformálja, ami a balesetek számához az egységnyi közúthálózati elemek előfordulási számát rendeli (hány olyan közúthálózati elem van, amelyen adott számú baleset történik).

Diszkrét esetet feltételezve a gyakorisági eloszlásból kiindulva:

1. vagy a hálózat összes hasonló csomópontján bekövetkezett balesetek halálos áldozataira vonatkoztatjuk a társadalmi elvárásokat (pl. ha a hálózat bármely csomópontján tömegszerencsétlenség következik be, akkor ez az összes hasonló típusú csomópont biztonsággal kapcsolatos irányításának „szigorodásához" vezet),
2. vagy a regresszió segítségével meghatározott becslőfüggvényt úgy transzformáljuk, hogy az új sűrűségfüggvény várható értéke éppen a halálos áldozatok számára vonatkozó társadalmi elvárás legyen (a sűrűség függvény balra tolásával az átlag csökken, de az eloszlás jellege változatlan marad - ennek megfelelően a vizsgált közúthálózati elemmel szemben támasztott elvárások a korábban becsült átlagos balesetszám fenti eljáráson alapuló transzformációjával számíthatók).

Az 1. eset tehát nem teszi szükségessé regresszió alkalmazását, mivel nem becslés alapján határozza meg a bekövetkezett balesetek és a társadalmi elvárás viszonyát. Hátránya viszont, hogy a közúthálózat összes elemén bekövetkezett baleset befolyásolja a csomóponti irányítást.

Ezzel szemben a 2. eljárás becslésen alapul, azonban nem teszi szükségessé az országos hálózat baleseti adatainak irányítási rendszerbe történő folyamatos betáplálását.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A feltárt összefüggések rávilágítanak arra, hogy a közúti forgalomirányítással kapcsolatban kevés egzakt társadalmi elvárás fogalmazható meg, ezek elsősorban azok, amelyeket a közlekedésben résztvevők közvetlenül tapasztalnak. A többi hatás, amely nem csak a közlekedők, hanem általában a társadalom tágabb csoportjait érinti, csak igen nagyvonalú közelítések árán transzformálható az irányításhoz szükséges paraméterhalmazba. Fontos megjegyezni, hogy a gazdasági jelentőségükhöz mérten a társadalom eltérően értékeli a közúti közlekedés hatásait, mind a hatások érzékelhetősége, mind pedig a közúti közlekedésben való érintettsége okán. A kutatás során sikerült azonosítani olyan további irányokat, amelyek részletesebb vizsgálata vélhetően pontosabb eredményekre vezethet.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a «Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen» és „A közúti járműforgalom modellezése és többkritériumú optimalizáláson alapuló irányítása társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projektek megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja és az OTKA CNK 78168 programja támogatja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Schuchmann, G., Kisgyörgy, L.: Közlekedéstervezés – Utak. Budapest, Műegyetemi Kiadó, 2001

[2] Adam Torok, Ferenc Meszaros: Control possibilities of intersections based on estimated costs of traffic, SAMI 2012 - 10th IEEE Jubilee International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics. Herlany, Szlovákia, 2012.01.26-2012.01.28.

[3] Bokor Zoltán, Duma László: A fenntartható mobilitás – környezetkímélő közlekedési módok. OMIKK, Budapest, 1999 (OMIKK Környezetvédelmi füzetek 1999/24, szerkesztő: Pethő Etelka), ISBN 963 593 413 0

[4] Markovits-Somogyi Rita, Török Ádám: Szállítási láncok globális környezetterhelésének modellezése a környezettudatos városszervezésben, Települési környezet II. Debrecen, Magyarország, 2009.11.27-2009.11.28. p310-314. (ISBN:978-963-473-336-2

[5] Török Ádám, Békefi Zoltán: Városi közúti közlekedési csomópont járműveinek emissziója és a társdalom által érzékelt immisszió közötti összefüggés vizsgálata. Előadás, OGÉT 2012.04.19-22., Kolozsvár

[6] Dongwoon Kim, Jiyong Kim, Il Moon - Integration of accident scenario generation and multiobjective optimization for safety-cost decision making in chemical processes. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 19 (2006) pp. 705–713.

[7] Európai Bizottság: Fehér Könyv – Útiterv az egységes európai közlekedési térség megvalósításához – Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé. COM(2011) 144 végleges, Brüsszel, 2011.3.28.
[8] Paula Iraguen, Juan de Dios Ortuzar: Willingness-to-pay for reducing fatal accident risk in urban areas: an Internet-based Web page stated preference survey. Accident Analysis and Prevention 36 (2004) pp. 513–524.
[9] Samuelson, P. A. (1955b, 4.ed., [1947]). Foundations of Economic Analysis. Cambridge, Mass.
[10] Duleba Sz.: Egy AHP-modell a városi buszközlekedés szolgáltatási színvonalának elemzésére. Városi Közlekedés. L. évf. 6. Sz., 2010, 371-375 p.

Modelling social expectations to be incorporated into road traffic control mechanisms

Social expectations, like reducing the number of fatalities to zero or decreasing harmful emissions as much as possible, are important elements in modelling road traffic control based on multi-criteria optimization. These expectations are of such a nature, that they cannot be directly characterized by functions. However, they constrain the control algorithms, thus it is vital to somehow try and determine them in a parametric way. The article presents procedures for this purpose.

Modellierung von soziale Erwartungen die in Straßenverkehrssteurung zu berücksichtigen sind

Soziale Erwartungen, wie die Verringerung der Zahl der Todesfälle auf null oder die Reduktion der schädlichen Emissionen, sind wichtige Elemente bei der Modellierung der Straßenverkehrssteuerung die auf multi-kriterielle Optimierung beruht. Diese Erwartungen haben von Natur aus einen solchen Charakter, dass sie nicht direkt durch Funktionen beschreibt werden können. Aber als sie die Steueralgorithmen beschränken, so ist es wichtig, irgendwie zu versuchen sie in einer parametrischen Weise zu bestimmen. Der Artikel präsentiert Vorgehen für diesen Zweck.

Megrendelőszelvény[1]

Alulírott.....

megrendelem a Közlekedéstudományi Szemlét a következő hónaptól az alábbiak szerint:

A megrendelő neve:
.....
címe: .....
.....
(ahová a lapot kéri)

telefonszám:.....
fax: .....
e-mail:.....

Az előfizetési díjat az alábbiak szerint fizetheti be*:
❑ Rózsaszín postai átutalási csekken az alábbi címre: Közlekedéstudományi Egyesület,1055 Budapest, Kossuth Lajos tér 6-8.
❑ Banki átutalással (név és cím feltüntetésével) az alábbi bankszámlaszámra.
Számlaszám: 10200823-22212474

A megrendelés időtartama:*
Féléves előfizetési díj: 4140 Ft ❑ példányban
KTE tagoknak: 2070 Ft ❑ példányban

Az előfizetési díjról számlát kérek*:
❑ Igen
Számlázási név:
.....
Számlázási cím:
.....
.....
❑ Nem
*A megfelelőt kérjük beikszelni!
Tudomásul veszem, hogy az első lapszám kézbesítésére az előfizetési díj befizetését követően kerül sor.

.....
aláírás

1 Visszaküldhető e-mailben a szemle@ktenet.hu címre, faxon a 06-1-353-2005 számra vagy a 1055 Budapest Kossuth Lajos tér 6-8. IV. 416. postacímre

A közúti közlekedés kvázistacionárius adaptív, iteratív szabályozása két ellentmondó kritérium szerint

A közúti közlekedés környezeti és közegészségügyi hatásai jelentős részt a füstgázok kibocsátásából, valamint a járműsűrűségtől függő balesetekből erednek. A rendelkezésre álló makroszkopikus modellek matematikai formája nem egyértelmű és a modellparaméterek is bizonytalanok. A nagy sebességű közúti forgalom emissziója jórészt a légellenállás leküzdéséből ered. E közelítési lehetőséget, valamint a stacionárius állapotok stabilitását kihasználva olyan iteratív szabályozóra teszünk javaslatot, amely adott útszegmens emissziójára és járműsűrűségére vonatkozó szimultán, egymásnak ellentmondó előírások közt szolgáltat kompromisszumot, és a modellbizonytalanságok hatását adaptív módon kompenzálja.

Tar József, Rudas Imre, Nádai László, Várkonyi Teréz
e-mail: tar.jozsef@nik.uni-obuda.hu, rudas@uni-obuda.hu, nadai@uni-obuda.hu, varkonyi.teri@phd.uni-obuda.hu

1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedés közegészségügyi hatásai a kipufogó gázok kémiai hatása, valamint a forgalmi balesetek következtében évek óta a nemzetközi figyelem fókuszában állnak [1]. Az emittált gázok kémiai összetétele igen bonyolult módon függ a járműtípusoktól és a forgalmi körülményektől. E témakört részleteiben is kiterjedten vizsgálták (pl. [2], [3], [4], [5]). A pontos számításokhoz kellő adatok valós körülmények közt nem férhetők hozzá, de a közúti forgalomban, ahol a járműsebesség viszonylag nagy (100 km/h vagy annál is nagyobb), az üzemanyag-fogyasztást és így a kipufogást is jórészt a légellenállás leküzdése határozza meg, amelynek fékező ereje adott járműre $F=Cv^2$ jellegű, ahol „v" a jármű sebessége, a „C" tényező pedig annak alakjától függ. Amennyiben az egyes járművek egyéni sorsa iránt nem érdeklődünk, a forgalom leírására az összenyomható folyadékok dinamikájának analógiájára makroszkopikus modelleket alkalmazhatunk (pl. [6], [7], [8], [9], [10], [11]), amelynek állapotleírói a járműsűrűség „ρ" [jármű/km], és az átlagos áramlási sebesség „v" [km/h]. Ha valamennyi jármű azonos alakfaktorú lenne, egy jármű teljesítményfogyasztása $vF=Cv^3$ lenne, ami egy adott „L" hosszúságú szakaszon található „ρL" számú járműre $\rho LvF=LC\rho v^3$ teljesítményhez tartozó emissziót jelentene. Míg az útszakaszok „L" hossza ismert, a „C" együtthatóra valami ismeretlen, de mindenképp pozitív átlaggal kellene számolni. Ezért indokolt az emissziós faktor $Ef=\rho v^3$ bevezetése, amelyről tudható, hogy ha a szennyezés az adott körülmények közt magas, csökkentendő „C" konkrét ismerete nélkül is. Adott sebesség mellett a balesetekre leginkább a „ρ" járműsűrűség van hatással (ezért függ a sebességtől a megengedett követési távolság is), ezért ha az emisszió káros hatásaira és a közlekedés biztonságára egyszerre szeretnénk tekintettel lenni, „E_f" és „ρ" szimultán szabályozása lenne szükséges. Mint az a következő szakaszban bemutatott modellből látható, e két mennyiség általában nem szabályozható egyszerre: a két előírás közt kompromisszumot kell alkalmaznunk.

2. A KÖZÚTI KÖZLEKEDÉS ÁRAMLÁSTANI MODELLJE

Amennyiben az utat „L" hosszúságú szegmensekre bontjuk, s szabályozni kívánjuk az 1.-4. szegmensek állapotát, a 0. és az 5. szegmenst mint beágyazó környezetet tekintjük, a gradiensek centrális differenciákkal való modellezésével a következő csatolt nemlineáris differenciálegyenlet rendszert kapjuk,

$$\dot{\rho}_i = \frac{\rho_{i-1}v_{i-1} - \rho_i v_i}{L},\ i = 1,3,4 \text{ and } \dot{\rho}_2 = \frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2 + r_2}{L} \quad (1)$$

$$\dot{v}_i = \frac{V(\rho_i) - v_i}{\tau} + \frac{v_i(v_{i-1} - v_{i+1})}{2L} - \frac{\eta}{2\kappa L}\frac{\rho_{i+1} - \rho_{i-1}}{\rho_i + \kappa},\ i = 1,3,4 \text{ and}$$

$$\dot{v}_2 = \frac{V(\rho_2) - v_2}{\tau} + \frac{v_2(v_1 - v_3)}{2L} - \frac{\eta}{2\kappa L}\frac{\rho_3 - \rho_1}{\rho_2 + \kappa} - \frac{\delta}{L}\frac{r_2 v_2}{\rho_2 + \kappa} \quad (2)$$

$$V(\rho) := v_{free}\exp\left(-\frac{1}{b}\left[\frac{\rho}{\rho_{cr}}\right]^b\right) \quad (3)$$

$\tilde{\tau} = 0.0028\,h$, $\tilde{\kappa} = 20.77$ *jármû / km*, $\tilde{\delta} = 0.05$,

$\tilde{\eta} = 29.3505\,km^2/h$, $\tilde{v}_{free} = 114\,km/h$, $\tilde{\rho}_{cr} = 26$ *jármû / km*, $\tilde{b} = 2.5$,

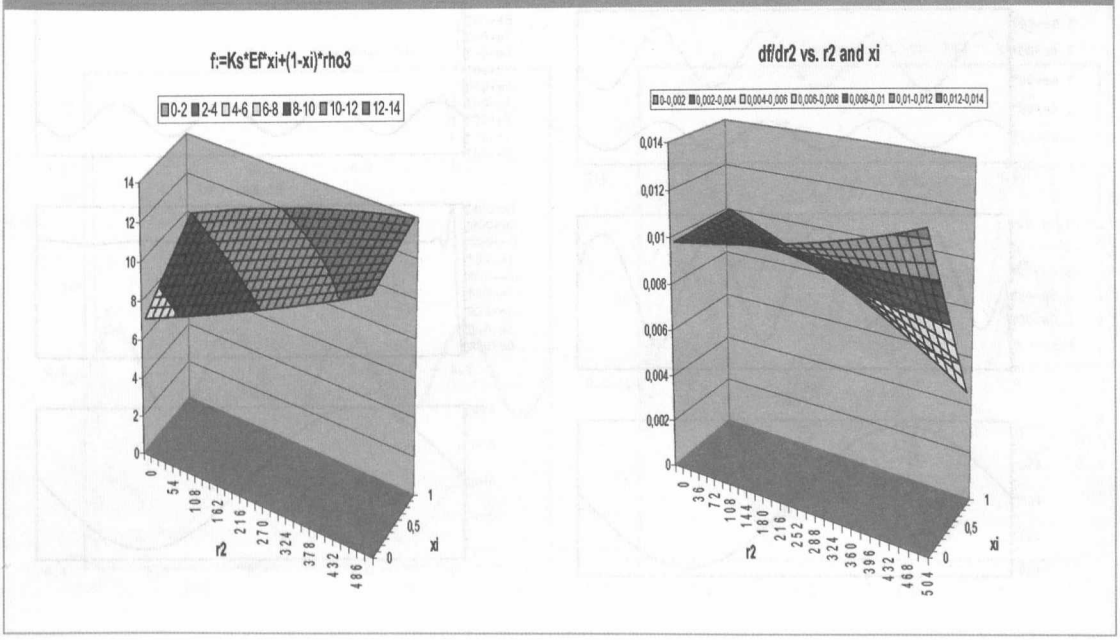
amelyben a következő közelítő paraméterek

$$\tau = 1.1\times\tilde{\tau},\quad \kappa = 1.1\times\tilde{\kappa},$$

$$\delta = 1.1\times\tilde{\delta},\ \eta = 1.1\times\tilde{\eta},\ v_{free} = 120\,km/h,\ \rho_{cr} = 1.1\times\tilde{\rho}_{cr},\ b = 3$$

L=0,5 km realisztikusak. Mivel a valóság pontos ismeretében nem bízhatunk, helyettük a valódi paramétereket tételeztük fel. A feladat stacionárius megoldásának a $\dot{v}_i = 0, \dot{\rho}_i = 0$ (i=0,1,2,3,4,5), és $\dot{r}_2 = const.$ értékek felelnek meg, ahol $r_2(t)$ általában időfüggő és a rámpáról megengedett felhajtási rátát jelenti, ami esetünkben (leszámítva a jelzőtáblákkal előírható egyes konstans sebességeket) az egyetlen szabályozó jel, amely rendelkezésünkre áll. A stacionárius állapotok stabilitását kiterjedten vizsgáltuk [12]-ben, s arra a következtetésre jutottunk, hogy a klasszikus termodinamikai kvázistacionárius folyamatoknak mintájára (pl. [13], [14]) r_2-ben kis ugrásokat alkalmazhatunk (a gyakorlatilag elképzelhető legkisebb időköz kb. 2x0.0028 h kb. 20 s, ami egy kereszteződésen való áthaladáskor is a gyalogosok rendelkezésére áll), ennyi idő alatt a következő stacionárius állapot nagyjából stabilizálódik. Mivel a „ρ" és „v" értékek mérhetők, mind az „E_f", mind a „ρ" értékekre alkalmazhattuk azt az adaptív iteratív szabályozást, amelynek alapjait pl. [15]-ben részleteztük, s amelyet sikerrel használtunk [12]-ben a 3. szegmens „E_f" faktorának adaptív szabályozására azzal a feltételezéssel, hogy a valóság és a közelítő modell is a centrális differenciák szerint működik. A [16] és [17] közleményekben feltettük, hogy az egzakt modell a centrális differenciák szerint működik, míg a szabályozó az „egy oldalas" (haladó) differenciák szerinti közelítést használta. Míg [16]-ban a 3. szegmens, [17]-ben a 2. és a 3. szegmens együttes „E_f" faktorát szabályoztuk az adaptív iteratív szabályozóval, amelynek célja a

1. ábra: Az f_{compr} és a $\partial f_{compr}/\partial r_2$ értékek r_2-től való függése q_0=800 jármű/h bemenő forgalom mellett



paraméterbecslési és modellhibák hatásainak kompenzálása volt. A jelen anyagban első alkalommal próbálkozunk két változó, a 3. útszegmens „ρ" és „E_f" adatának ellentmondásos, szimultán, kompromisszumos szabályozásával, amelynek lényegét röviden a következőkben ismertetjük.

3. A SŰRŰSÉG ÉS EMISSZIÓ SZIMULTÁN, KOMPROMISSZUMOS SZABÁLYOZÁSA

A [12] közleményben megmutattuk, hogy a stacionárius állapotok jól közelíthetők a bemeneti ráta $q_0:=\rho_0 v_0$ és r_2 harmadrendű polinomjaival, így „E_f" és „ρ" is ilyen polinomokkal közelíthető. Hogy nagyságrendileg összemérhető adatokat kapjunk, a K_s skálázó faktor és a $\xi\in[0,1]$ szempontválasztó paraméter segítségével bevezettük az $f_{compr}:=\xi K_s E_f+(1-\xi)\rho$ kompromisszumos célfüggvényt, amelyet a szabályozónak követnie kell ($K_s=10^{-6}$). A $\xi=1$ szélsőséges eset annak felel meg, hogy csak az emisszióval törődünk, s a járműsűrűség alakulhat, ahogy „akar". A $\xi=0$ szélsőséges esetben az emisszió alakulhat úgy, ahogy „magától akar", de a járműsűrűséget pontosan előírjuk. A köztes, azaz kompromisszumos esetekben sem „E_f", sem „ρ" értékét nem írjuk elő pontosan, hanem helyettük az egyetlen pontosan előírható mennyiséget, f_{compr} értékét írjuk elő. Ha ξ 1-hez közeli, ebben inkább az emisszió szempontja dominál, míg 0-hoz közeli ξ inkább a járműsűrűségre koncentrál.

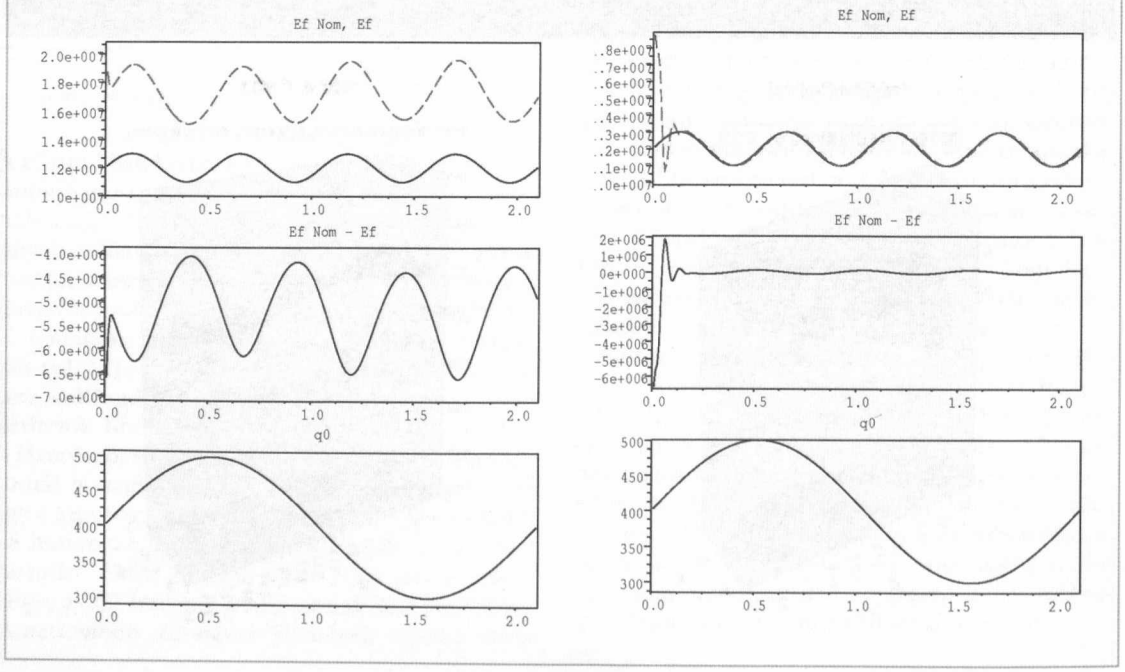
Az 1. ábra tipikus eredményt mutat az f_{compr} és a $\partial f^{compr}/\partial r_2$ értékek r_2-től való függésére q_0=800 jármű/h bemenő forgalom mellett: az r_2 szerinti parciális derivált pozitív volta garantálja az iteratív megközelítés konvergenciáját, amelynek részleteire itt nem térünk ki. A továbbiakban szimulációs eredményeket mutatunk be.

4. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

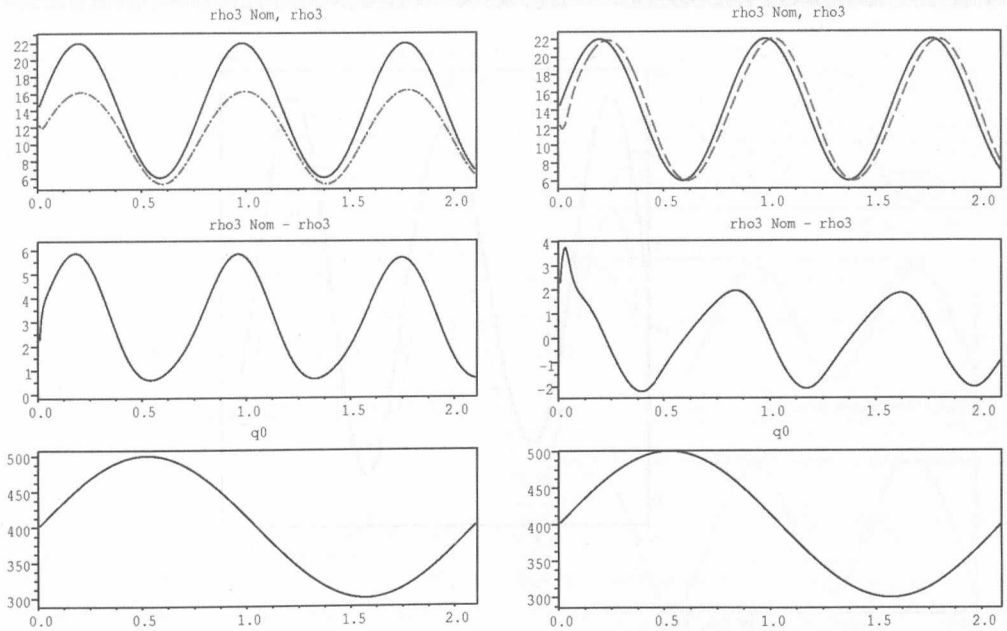
Az első lépésben a modellparaméterek hibájának hatását vizsgáltuk a két szélsőséges esetben. A 2. és 3. ábrák tanúsága szerint erősen változó q_0 érték mellett is az adaptivitásnak jelentős szerepe van a követési pontosságban. Az iteráció jól kivehető a kezdeti „tranziens", tanuló szakaszokban.

A paraméterhangolás helyett a bemeneti deformációt alkalmazó adaptív szabályozó működését szemlélteti a 4. ábra: a $\xi=1$ esetben a deformált bemenet jóval kisebb a nominális értéknél, míg a $\xi=0$ esetben jelentősen meghaladja azt. A $\xi=0.5$ „köztes" esetre vonatkozó adaptív követés kompromisszumos jellegét jól szemléltetik az 5. ábra eredményei: bár sem „E_f", sem „ρ" értéke nincs pontosan követve, az adaptivitás

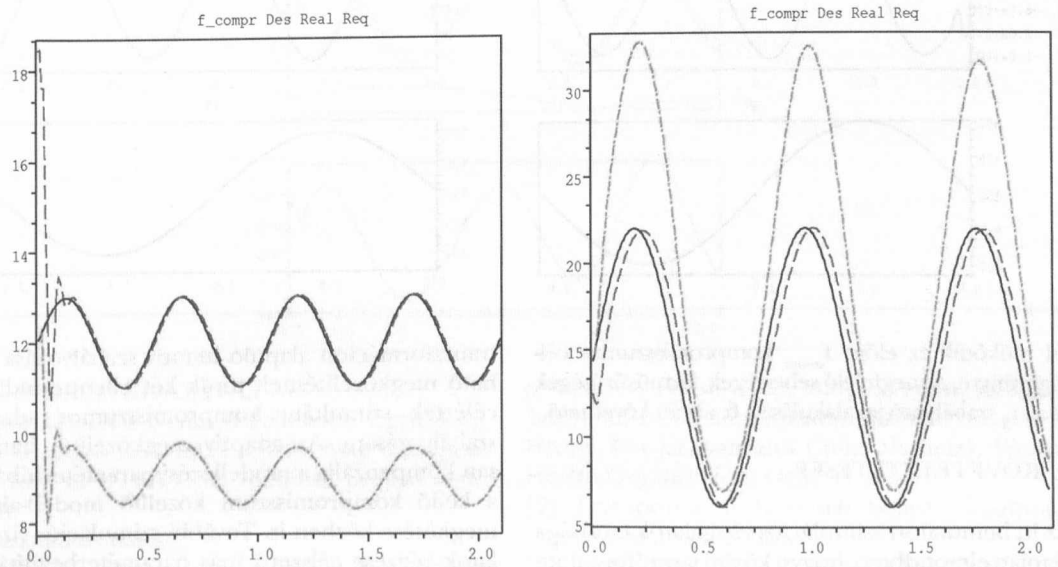
2. ábra: Az E_f faktor követése a $\xi=1$ szélsőséges esetben a 3. szegmensben: nem adaptív szabályozó – bal oldal, adaptív szabályozó – jobb oldal (E_f mértékegysége: jármű×km²/h³, q_0 mértékegysége: jármű/h, a vízszintes tengelyen az idő h egységben)



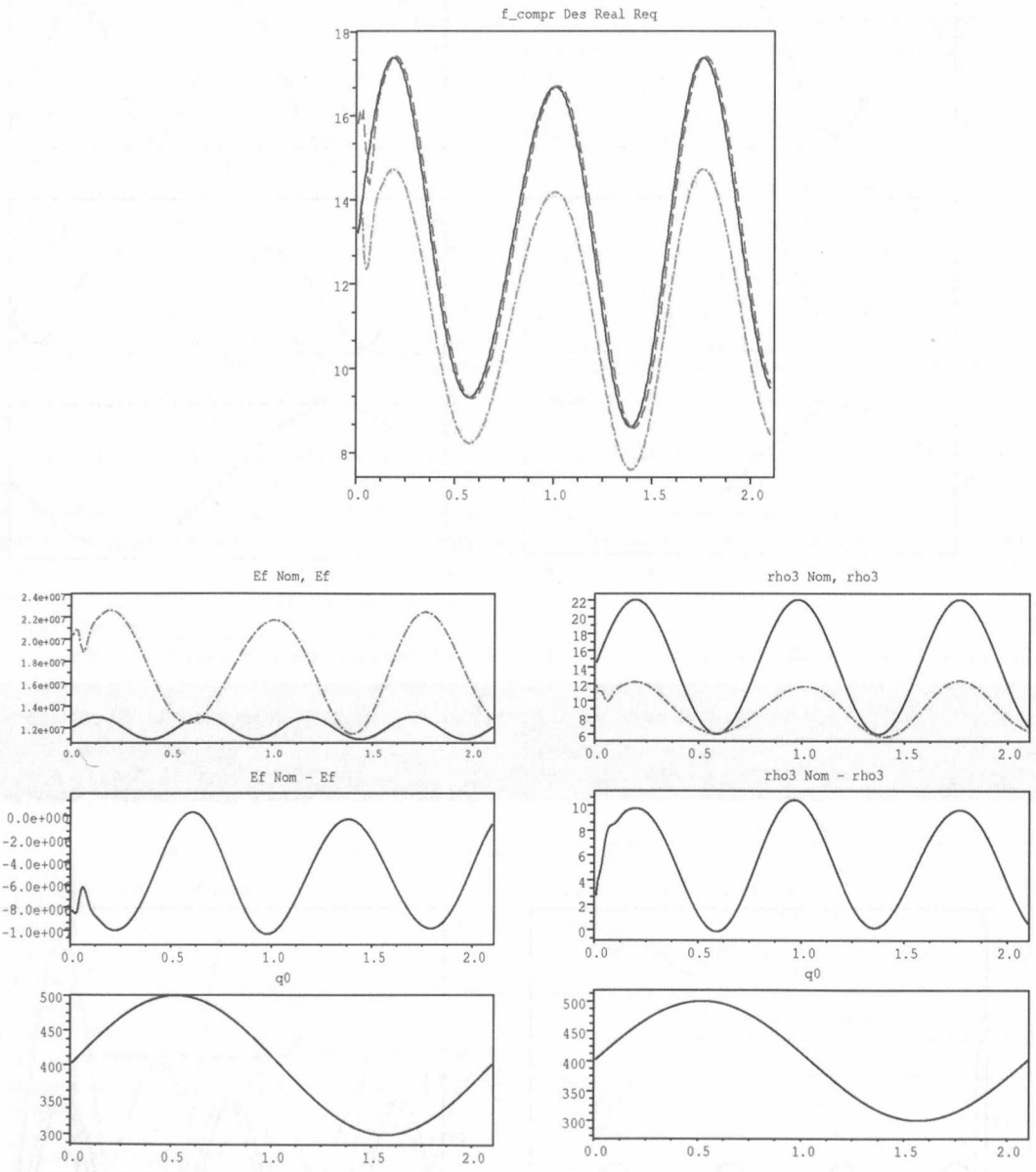
3. ábra: A ρ járműsűrűség követése a ξ=0 szélsőséges esetben a 3. szegmensben: nem adaptív szabályozó – bal oldal, adaptív szabályozó – jobb oldal erősen változó q_0 érték mellett (ρ dimenziója: jármű/km, q_0 dimenziója: jármű/h, a vízszintes tengelyen az idő h egységben)



4. ábra: Az f_{compr} kompromisszumos célfüggvény adaptív követése a ξ=1 (bal oldal) és ξ=0 (jobb oldal) szélsőséges esetekben a 3. szegmensben: nominális érték: fekete folytonos vonal, megvalósult érték: kék szaggatott vonal, adaptívan deformált "szükséges" érték: zöld szaggatott vonal



5. ábra: Az f_{compr} kompromisszumos célfüggvény adaptív követése a ξ=0.5 "köztes" esetben (felső ábra, a vonalak kódolása azonos a 4. ábra kódolásával) és az E_f faktor és ρ követése a 3. szegmensben (alsó két ábra, a vonalak kódolása azonos a 3. ábra kódolásával)

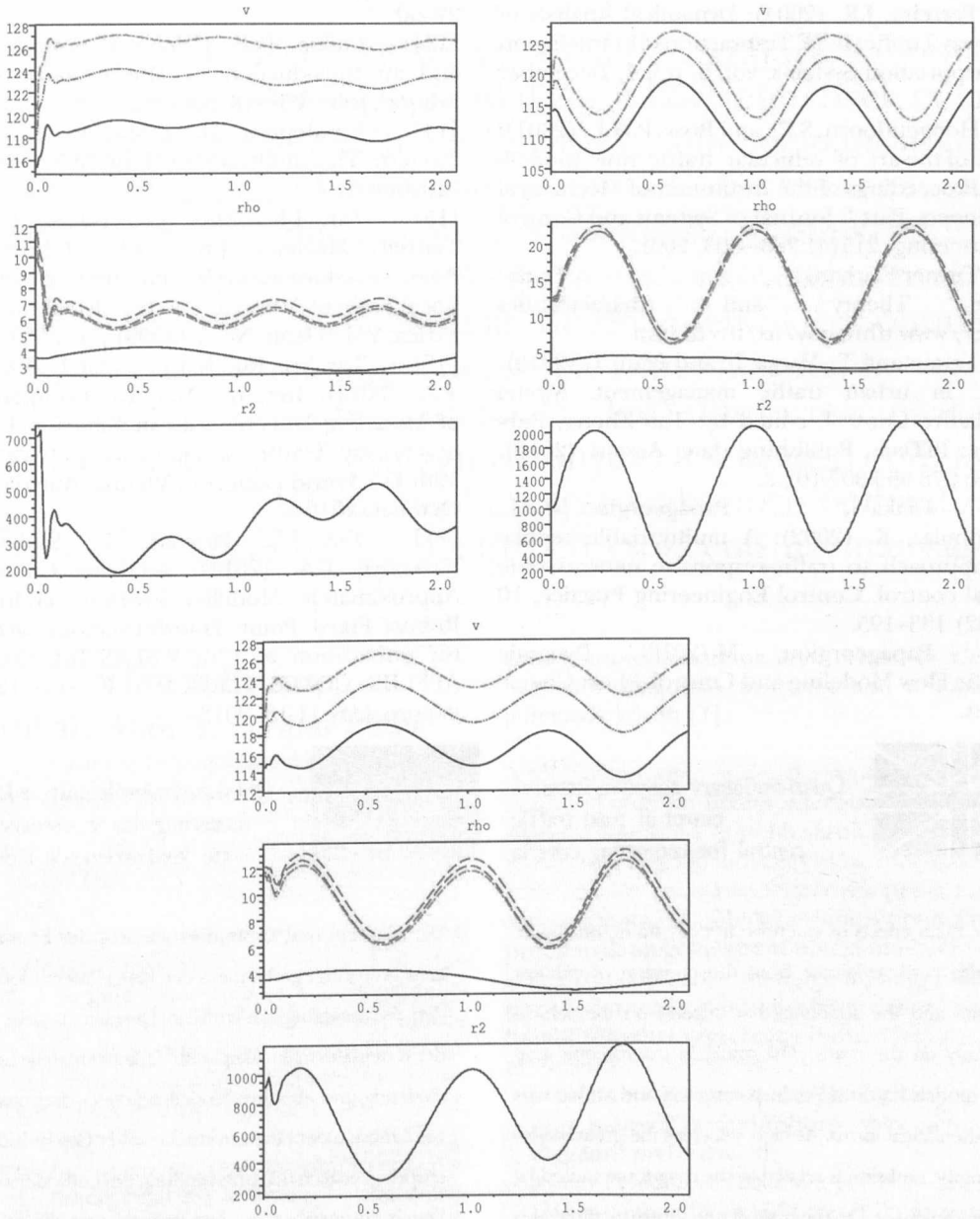


jól működik az előírt f_{compr} kompromisszumos célfüggvényre. A megfelelő sebességek, járműsűrűségek és az r_2 szabályozó jel alakulása a 6. ábrán követhető.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Az itt bemutatott szimulációs vizsgálatok tanúsága alapján elmondható, hogy a közúti járműforgalom kvázistacionárius, adaptív, robusztus fixpont transzformáción alapuló iteratív szabályozása járható megközelítésnek tűnik két ellentmondásos célérték szimultán, kompromisszumos adaptív szabályozására. Az adaptív megközelítés hatásosan kompenzálja a modellezési paraméterhibákat a kellő kompromisszum közelítő modell-alapú megkötése közben is. További szimulációs vizsgálatok végzése célszerű más paraméterbeállítások és sebességkövetelmények mellett is.

6 ábra: Az átlagsebességek, a járműsűrűségek, és az r_2 szabályozó jel alakulása adaptív követés esetén a 3. szegmensben a ξ=1 (felső grafikon bal oldal) és ξ=0 (felső grafikon jobb oldal) szélsőséges, és a ξ=0.5 „köztes" esetekben (alsó grafikon) (A mennyiségek mértékegységei: [v]=km/h, [ρ]=jármű/km, [r_2]=jármű/h, a vízszintes tengelyen az idő h egységben)



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A jelen kutatás a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség és az Országos Kutatástámogatási Alap támogatásával folyt az OTKA CNK 78168 sz. projekt keretében.

Felhasznált irodalom

[1] World report on road traffic injury prevention (2004) (eds. Margie Peden, Richard Scurfield, David Sleet, Dinesh Mohan, Adnan A. Hyder, Eva Jarawan and Colin Mathers), World Health Organization, Geneva, 2004.

[2] Transportation Research Board - Highway Capacity Manual (2000).

[3] COST 346 – Final Report, (2005)

[4] Emission factor modelling and database for light vehicles, Report n°LTE 0523, June (2007).
[5] Emission factors from the model PHEM for the HBEFA Version 3, (2009).
[6] Figueiredo, L., Tenreiro Machado, J.A. and Ferreira, J.R. (2004): Dynamical Analysis of Freeway Traffic, IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, vol. 5, no. 4, December 2004.
[7] Hoogendoorn, S.P., and Bovy, P.H.L. (2001): State-of-the-art of vehicular traffic flow modelling, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, 215(4):283–303, 2001.
[8] Turner-Fairbank: Traffic Flow Theory and Characteristics http://www.tfhrc.gov/its/tft/tft.htm
[9] Tettamanti T., Varga, I., and Péni, T. (2010): MPC in urban traffic management. Model Predictive Control, edited by: Tao Zheng, Publisher: InTech, Publishing date: August (2010). ISBN: 978-953-307-102-2.
[10] Diakaki, C., Papageorgiou, M., Abodoulas, K. (2002): A multivariable regulator approach to traffic-responsive network-wide signal control. Control Engineering Practice, 10 (2002) 183–195.
[11] Papageorgiou, M.(2010): Dynamic Traffic Flow Modeling and Control, Short Course Notes.
[12] Tar, J.K., Nádai, L., Rudas, I.J., Várkonyi, T.A. (2012): Adaptive Emission Control of Freeway Traffic sing Quasi-Stationary Solutions of an Approximate Hydrodynamic Model, Journal of Applied Nonlinear Dynamics 1(1) (2012) 29–50
[13] Callen, H.B. (1985): Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc.
[14] Kondepudi, D., Prigogine, I. (1998): Modern Thermodynamics, John Wiley & Sons, Chichester.
[15] Tar, J.K., Bitó, J.F., Nádai, L., and Tenreiro Machado, J.A. (2009): Robust Fixed Point Transformations in Adaptive Control Using Local Basin of Attraction, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 6 Issue No. 1 (2009) pp. 21-37.
[16] Tar, J.K., Rudas, I.J., Nádai, L., Várkonyi, T.A. (2012): Iterative Adaptive Compensation of Modeling Uncertainties in Emission Control of Freeway Traffic, accepted for publication at 19th ITS World Congress, Vienna, Austria, 22-26 October, 2012
[17] Tar, J.K., Horváth, L., Rudas, I.J., Várkonyi, T.A. (2012): Adaptive Control of Approximately Modeled Freeway Trafficc by Robust Fixed Point Transformations, accepted for publication at 12th WSEAS Int. Conf. on APPLIED COMPUTER SCIENCE (ACS '12), Singapore, May 11-13, 2012

Quasi-stationary adaptive iterative ontrol of road traffic control for competing criteria

The main effects of extensive freeway traffic on public health partly originate from the emission of exhaust fumes and the accidents that depend on the vehicle density on the roads. The available macroscopic traffic models have uncertain parameters and ambiguous mathematical forms. At high velocities the great majority of the emission is related to the drag force caused by air turbulences. On the basis of this approximation, also using the stability of the stationary states of the traffic models an iterative traffic controller is suggested that resolves the contradictory prescriptions for the emission rate and vehicle density and adaptively compensates the effects of modeling imprecisions.

Quasi-stationäre iterative adaptive Steuerung des Strassenverkehrs für konkurrierende Kriterien

Die Umwelt- und Gesundheitseinfluss der Strassenverkehr entrpringt größtenteils der Rauchgasemission, und den dichteabhängigen Unfällen. Die matematische Form der verfügbare makroskopische Verkehrsmodelle ist nicht eindeutig und also ihre Modellparameter sind unsicher. Die Emission der Strassenverkehr höher Geschwindigkeit enspringt erstlich der Überwindung des Luftwiderstandes. Durch ausnutzen diese Annäherung und die Stabilität des stationären Zustandes, wir vorschlagen einen neuen iterativen Regler, der einen Kompromiss zwischen die widersprechende, gleichzeitige Emissions- und Dichtigkeitsvorschriften bietet, und den Einfluss der Modellungenauigkeiten wirksamlich kompensiert.

Tehergépjármű sebességprofiljának megválasztása többkritériumú optimalizálással

A közúti közlekedési rendszerek esetében számos különböző igényt kell egyidejűleg kielégíteni. Ezek a követelmények némely esetben egymással ellentétesek lehetnek, mint például a közlekedés teljesítményének növelése és a közlekedés költségének, illetve a károsanyag-kibocsátásának csökkentése. A többkritériumú optimalizálási eljárással ezeknek az ellentétes követelményeknek egy kompromisszumos megoldása adható. A leírtak egy olyan szabályozási technikát mutatnak be, amely képes figyelembe venni a tehergépjárművek jövőbeni útvonalán lévő útinformációkat (sebességkorlátozások, domborzati viszonyok) a sebességprofil megtervezéséhez. A példák mutatják, hogy a szabályozó optimalizálja a jármű vonó/fékezőerejét jelentősen csökkenő üzemanyag-felhasználás mellett.

Németh Balázs,
Mihály András, Gáspár Péter
e-mail: bnemeth@sztaki.hu,
mihaly.andras@mail.bme.hu, gaspar@sztaki.hu

1. BEVEZETÉS

A közúti közlekedésben nagyszámú, de különböző típusú követelményt kell egyidejűleg kielégíteni, ú.m. a forgalmi kapacitás és a szállítási teljesítmény növelése, az összes közlekedési költség minimalizálása, a járművek károsanyag-kibocsátásának csökkentése, valamint a közlekedési balesetek kockázatának és súlyosságának csökkentése. E követelmények teljesülését úgynevezett minőségi jellemzők bevezetésével lehet meghatározni. Például egy tehergépjármű számára követelményként támasztható a szállítási költség minimalizálása, aminek teljesülését a motor üzemanyagfogyasztása határozza meg. A követelmények és ezeken keresztül a minőségi jellemzők gyakran ellentmondanak egymásnak, azaz az egyik szerinti minőségi jellemzők javítása általában együtt jár a másik által meghatározott minőségi jellemző romlásával. A közlekedési rendszerre előírt követelmények teljesítése a minőségi jellemzők közötti kompromisszumok árán érhető el. Cél egy optimális megoldás megteremtése a minőségi jellemzők között [1].

A többkritériumos optimalizálási eljárás alkalmas az olyan kompromisszumos megoldások megvalósítására, amellyel a fentebb vázolt követelmények egyike sem degradálódik egy előre meghatározott szint alá, bizonyos követelmények pedig kiemelten kezelhetők. A többkritériumos optimalizálási problémák megoldására többféle módszer ismert a szakirodalomban, attól függően, hogy a döntéshozó mikor adja meg a preferenciáit az optimalizálási folyamat végrehajtásához. A legismertebb módszerek a következők [2]:

- a preferenciát nem használó eljárások esetén vagy hiányzik a döntéshozó, vagy nem tudja megadni preferenciáit;
- a priori módszerek esetén a preferenciák illesztése az optimalizálás előtt történik. Az optimalizálási folyamat előtt összegyűjtjük az értékelési függvényeket, és az így kapott egyszempontú feladatot oldjuk meg;
- az interaktív metódusok alkalmazása során a döntéshozó az optimalizálási folyamat közben aktívan illeszti és az eredmények ismeretében módosítja preferenciáit;
- az a posteriori módszerek koncepciója az, hogy

az optimalizálási folyamat Pareto optimális megoldásokat szolgáltat, és a döntéshozó ezek közül választ a preferenciái alapján.

2. TÖBBKRITÉRIUMOS OPTIMALIZÁLÁS

A többkritériumos optimalizálási eljárás során egy minimalizálási feladat kerül megoldásra:

$$\min_X = \left[u_1(x), u_2(x), \ldots, u_n(x)\right]^T$$

$$g(x) \leq 0, x_l \leq x \leq x_u,$$

ahol: u_i az i-edik célfüggvény, „g" a korlátozó megszorítást magában foglaló egyenlőtlenség, míg „x" az optimalizálási vektor. A fenti minimalizálási probléma megoldásait úgynevezett Pareto pontok halmaza szolgáltatja.

Célfüggvényként értelmezhető a tehergépjárművek üzemeltetése során a felhasznált tüzelőanyag és a kibocsátott káros anyag mennyiségének minimalizálása, valamint az utazási idő értékének minimalizálása. Előbbi a közlekedés direkt költségeire (üzemeltetési költségek) és externális költségeire (egészségügyi költségek, környezeti károk költségei stb.) is hatással van, míg utóbbi az esetleges késedelemmel járó direkt szállítási költségeket mérsékli (kötbér, munkabér stb.). A tehergépjárművek oszlopba szervezése hatékony eszköze lehet a fenti céloknak. Az egyenletesebb sebesség trajektóriák és a kisebb légellenállás által ugyanis jelentősen csökkenthető a járművek mozgatásának energiaigénye. A járművek oszlopba szervezett és összehangolt mozgatása azonban tovább javítható, amennyiben a gépjárművek sebességprofiljának tervezésénél figyelembe veszik a befutott útvonal domborzati viszonyait, valamint a fellépő sebességkorlátozásokat. Egyes minőségi jellemzők, ú.m. a károsanyag-kibocsátás vagy az üzemanyagfogyasztás az egyre szigorúbb környezetvédelmi előírásokhoz igazodva ugyancsak javíthatók a domborzati jellemzők és sebességkorlátozások figyelembevételével, a sebességtartó szabályozó tervezésében. Az utazási idő minimalizálása vagy értékének megadása a pontos érkezés céljából ellentmondásba kerülhet a fenti követelményekkel.

A továbbiakban egy többkritériumos optimalizálási eljárást mutatunk be tehergépjármű sebességprofiljának megtervezése kapcsán, majd az optimalizálás oszlopban haladó járművekre is kiterjesztjük. Meghatározzuk a tehergépjárművek üzeméhez társítható fő preferenciákat és egyes követelményeket (energiafelhasználás és utazási idő minimalizálása). Ezt követi a tervezési algoritmus lépéseinek ismertetése. Végül szimulációs környezetben történik a tervezett szabályozó implementálása és az eredmények validálása.

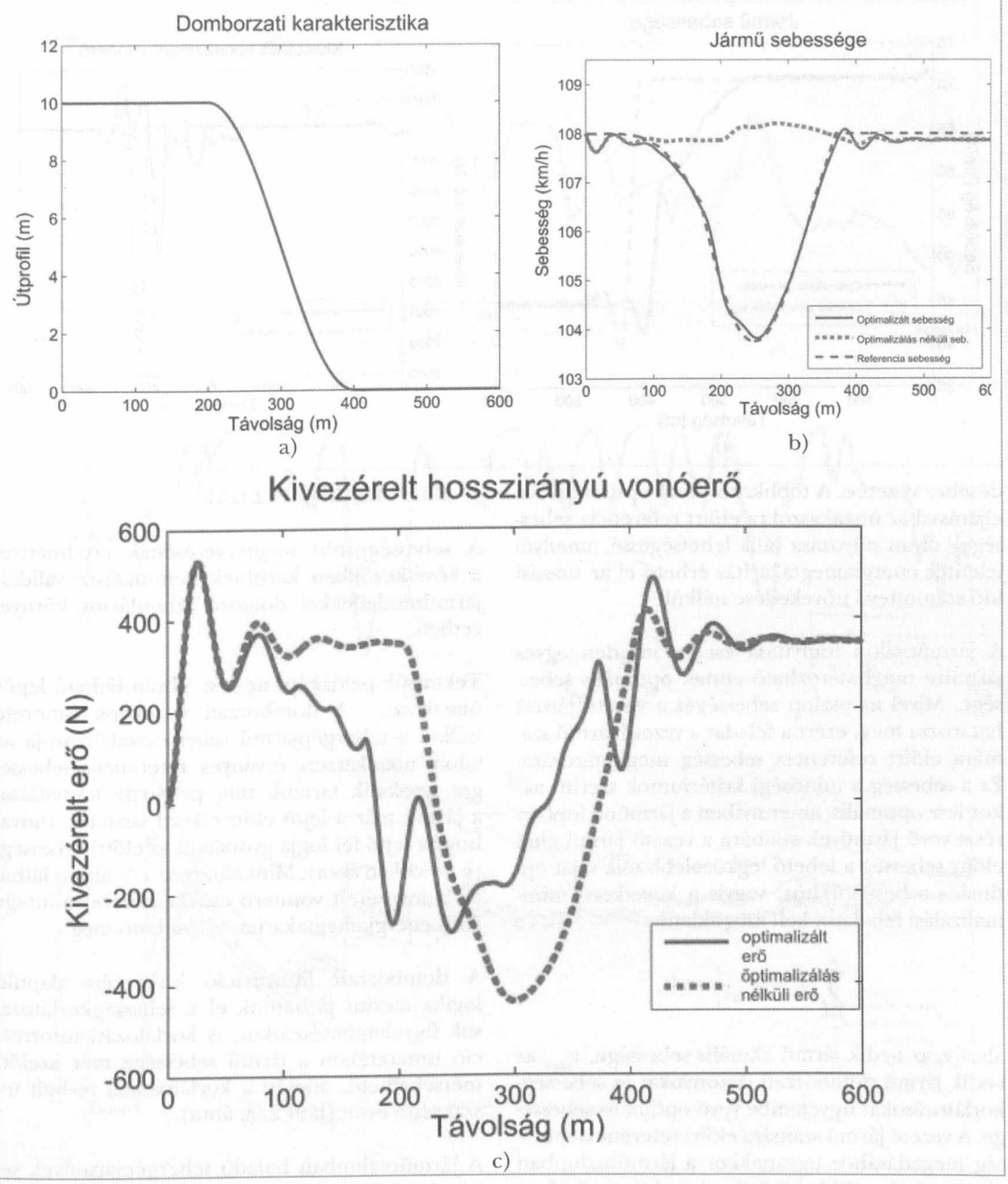
3. AZ OPTIMALIZÁLÁS TERVEZÉSI LÉPÉSEI

Először egyetlen tehergépjármű számára keressük a fenti kritériumoknak eleget tevő optimális sebességet. Feltételezzük, hogy a jármű számára ismert az adott útpályára érvényes sebességkorlátozás, valamint az útpálya domborzati viszonyai. A jármű előtti útszakaszt ezután több részre osztjuk, és minden részre előírunk referencia sebességet (a sebességkorlátozással összhangban). A felosztott útszakasz minden részén ismertnek tekintjük az út emelkedési vagy lejtési szögét. Ezek az információk a járműfedélzeti berendezések (GPS, TMC, stb.) segítségével biztosíthatók.

A feladat ezek után arra redukálódik, hogy meghatározzuk az aktuális útszakaszra a tehergépjármű sebességét oly módon, hogy a következő szakaszokon előírt referencia sebességek elérhetők legyenek. Ehhez azzal a feltételezéssel élünk, hogy az aktuális útszakaszra meghatározott hajtóerő nem működik a következő szakaszokon. Így felírhatók a newtoni mozgásegyenletek a kijelölt útszakaszokra, amelyekkel meghatározható a referencia sebességek eléréséhez szükséges hajtóerő a jármű számára. Fontos megjegyezni, hogy a felosztott útszakaszra előírt referencia sebességeket az irányítási feladatnak megfelelően súlyozhatjuk. Például amennyiben csak az aktuális útszakaszt súlyozzuk, úgy a feladat egy egyszerű sebességtartásra redukálódik, a domborzati viszonyok figyelembevétele nélkül. Amennyiben az összes útszakaszra előírt referencia sebességet azonos súlyozó tényezővel szorozzuk, úgy valamennyi útszakasz ugyanolyan fontosságú lesz. A jármű előtti útpálya domborzata befolyásolhatja a szakaszok felosztásának sűrűségét. Vízszintes útpálya esetén viszonylag kevés felosztásponttal dolgozhatunk, míg egyenetlen domborzatú útpálya sűrűbb felosztást tesz szükségessé az optimális irányítás megvalósításához.

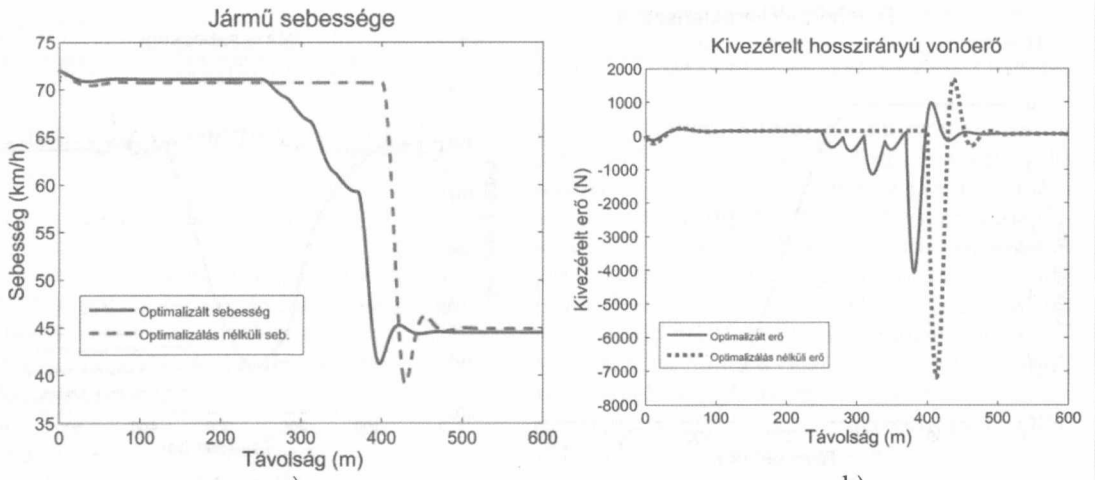
A súlyozással optimalizálhatjuk a két, egymásnak ellentmondó tervezési kritériumot [3]. A vonóerő minimalizálása ugyanis az elkövetkező, ismert domborzatú útszakaszok minél nagyobb súllyal történő figyelembevételét teszi szükségessé. Amennyiben kizárólag a vonóerő minimalizálása szerepelne célfüggvényként, abban az esetben egy hosszabb lejtő előtt szélsőségesen kis sebességre

1. ábra: Sebességprofilok összehasonlítása lejtős útszakaszon



lassítana a jármű (tudva az elkövetkező lejtő gyorsító hatásáról). Ezzel szemben az utazási idő minimalizálása az előre jelzett útszakaszok figyelmen kívül hagyását követelné meg, kizárólag az aktuális referencia sebesség elérését tartva szem előtt. Ez esetben nem realizálódna energiamegtakarítás egy hagyományos sebességtartó szabályozóhoz viszonyítva, ugyanis a lejtő által biztosított helyzeti energia nem hasznosítható a jármű hajtása számára, rossz esetben akár a fékrendszeren keresztül hővé disszipálódna, ami további környezetszennyezéshez és az amortizációs költségek növeke-

2. ábra: Sebességprofilok összehasonlítása sebességkorlátozásnál



déséhez vezetne. A többkritériumú optimalizálási eljárással az útszakaszokra előírt referencia sebességek olyan súlyozása válik lehetségessé, amellyel jelentős energiamegtakarítás érhető el az utazási idő számottevő növekedése nélkül.

A járműoszlop irányítása esetén minden egyes járműre meghatározható annak optimális sebessége. Mivel az oszlop sebességét a vezető jármű határozza meg, ezért a feladat a vezető jármű számára előírt referencia sebesség meghatározása. Ez a sebesség a minőségi kritériumok szerint akkor lesz optimális, amennyiben a járműoszlopban részt vevő járművek számára a vezető jármű által előírt sebesség a lehető legközelebb esik saját optimális sebességükhöz, vagyis a következő minimalizálási feladatot kell megoldani:

$$\sum_{i=1}^{n} \left| v_i - v_{i,opt} \right| \to 0,$$

ahol v_i az i-edik jármű aktuális sebessége, $v_{i,opt}$ az i-edik jármű domborzati viszonyokat és sebességkorlátozásokat figyelembe vevő optimális sebessége. A vezető jármű számára előírt referencia sebesség megadásához ugyanakkor a járműoszlopban résztvevő járművek közötti sebességátviteli függvénnyel is számolni kell. Ez az átviteli függvény az alkalmazott szabályozótól függ, így ennek ismeretében a fenti minimalizálási feltétellel összhangban algebrai úton meghatározhatóvá válik a vezető jármű számára előírt referencia sebesség.

4. SZIMULÁCIÓS PÉLDÁK

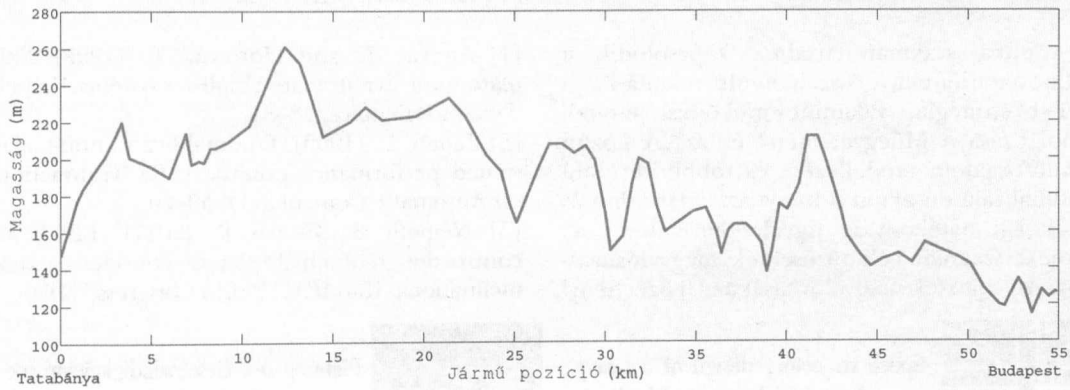
A sebességprofil megtervezésének eredményei a következőkben kerülnek bemutatásra validált járműmodellekkel dolgozó szimulációs környezetben.

Tekintsük példaként az 1/a ábrán látható lejtős útszakaszt. A domborzati viszonyok ismerete nélkül a tehergépjármű sebességszabályozója az adott útszakaszon érvényes referencia sebességet igyekszik tartani, míg prediktív irányítással a jármű már a lejtő előtt elkezd lassítani, tudva, hogy a lejtő fel fogja gyorsítani az előírt sebességre (lásd 1/b ábra). Mint ahogy az 1/c ábrán látható, a kivezérelt vonóerő csökkentésével mintegy 25% energiamegtakarítás valósítható meg.

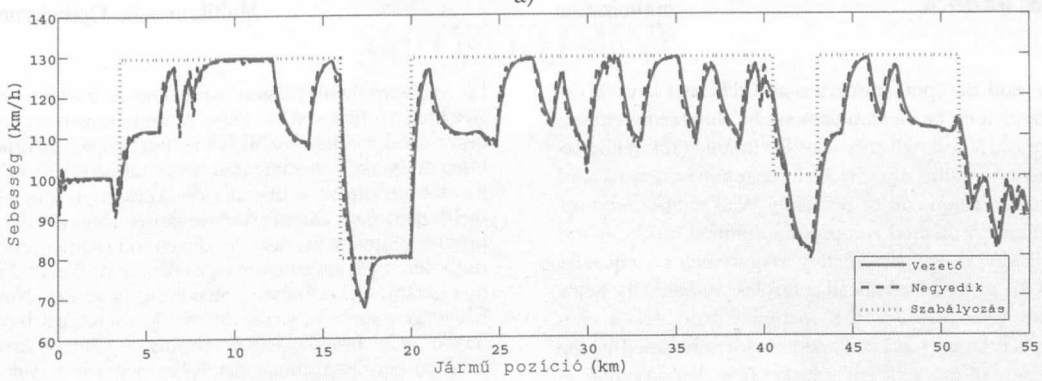
A domborzati információ ismeretén alapuló logika szerint járhatunk el a sebességkorlátozások figyelembevételekor. A korlátozási információ ismeretében a jármű sebessége már azelőtt mérsékelhető, mielőtt a korlátozással terhelt útszakaszra érne (lásd 2/a. ábra).

A járműoszlopban haladó tehergépjárművek sebességprofiljának megválasztására példa egy valós útszakasz domborzati adataira (lásd 3/a ábra) épülő szimuláció. A Tatabánya és Budapest közötti 56 km-es autópálya-szakaszon a sebességhatár 130 km/h, néhány szakaszon sebességkorlátozásokkal sújtva. A 3/b ábrán a járműoszlopot vezető

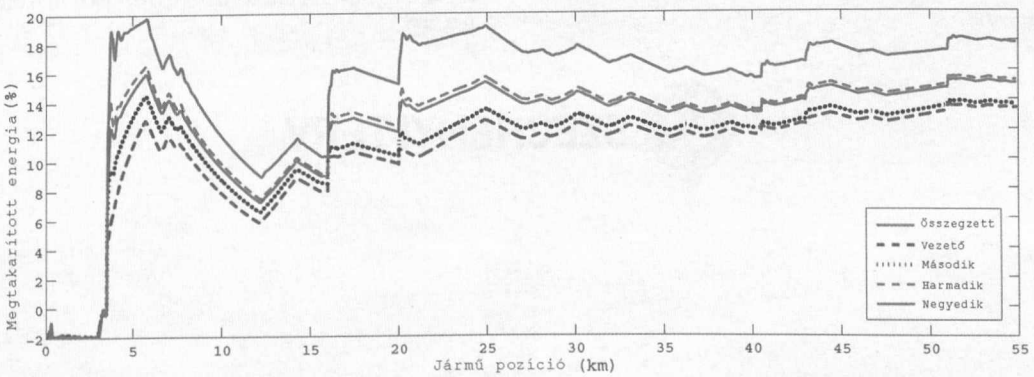
3. ábra: Budapest-Tatabánya autópálya szakaszon végzett szimulációs eredmények



a)



b)



c)

és utolsó járművének domborzati viszonyokat és sebességkorlátozásokat figyelembe vevő optimalizált sebességprofilja látható az érvényben lévő sebességkorlátozásokkal együtt. A 3/c ábrán az oszlop tagjainak az optimalizálással realizált energiamegtakarítását tüntettük fel a kiátlagolt összes energiamegtakarítással együtt. A grafikonból kiolvasható, hogy az 56 km-es útszakaszon mintegy 15% energiamegtakarítást sikerült elérni az oszlop számára, miközben az utazási idő mind-

össze 2 perccel lett hosszabb, összehasonlítva egy prediktív irányítást nélkülöző sebességszabályozóval haladó járműoszloppal.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" és az „A közúti járműforgalom modellezése és többkritériumú optimalizáláson alapuló irányítása társadalmi és gazdasági hatékonyság figyelembevételével" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projektek megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP- 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja és az OTKA CNK 78168 programja támogatja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Alvarez, L. and Horowitz, R. (1999). Safe platooning in automated highway systems. Vehicle System Dynamics, 23–84.
[2] Zadeh, L. (1963). Optimality and non-scalar-valued performance criteria. IEEE Transactions on Automatic Control 8(1), 59–60.
[3] Németh B., Gáspár P. (2011). LPV-based control design of vehicle platoon considering road inclinations. 18th IFAC World Congress, Milan.

Speed trajectory design of a heavy duty vehicle via multi-criteria optimization

In road transport numerous and different kind of demands must be met simultaneously. These requirements are often contradictory, like for instance the enhancement of traffic capacity and the minimization of total transportation cost or pollution. With multi-criteria optimization method compromise solution can be found satisfying these contradictory requirements adequately. In the paper a look-ahead control is presented for heavy duty vehicles where the oncoming road information (speed limits, road inclinations) are considered in the design of the vehicle's velocity. It is demonstrated in si-mulation, that this adaptive cruise control system optimizing the required actuator force and the traveling time can significantly reduce fuel consumption and emission.

Planung der Geschwindigkeitsprofile des Lastkraftwagens durch Multikriterielle Optimierung

Im Straßenverkehr müssen zahlreiche Anforderungen gleichzeitig erfüllt werden. Diese Anforderungen sind oft gegeneiander widersprüchlich, wie zum Beispiel die Erhöhung der Verkehrsleistung und der Minimierung der Betriebtkosten des Verkehrs oder der Verschmutzung. Mit mehrkriteriellem Optimierungsverfahren kann ein Kompromiss gefunden werden, der diesen widersprüchlichen Anforderungen angemessen ist. In diesem Artikel wird eine sogenannte „Look-ahead„ Steuerung für schwere Nutzfahrzeuge vorgestellt, wo die Informationen bezüglich der Straße (Geschwindigkeitsbegrenzungen, Strassenkreuzungen) bei der Planung der Fahrzeuggeschwindigkeit betrachtet werden. Es wird in den Simulationen gezeigt, dass durch die geplante adaptive Steuerung, durch die Optimierung der Antriebskraft die Reisezeit und ebenso die Verbrauchs-und Emissionswerten deutlich zu reduzieren sind.

ÚJ SZÉCHENYI TERV

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség

OTKA

SAJTÓKÖZLEMÉNY

ÚJ SZÉCHENYI TERV

KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁGI PROJEKT INDUL A MAGYAR KÖZÚT NONPROFIT ZRT. ORSZÁGOS KÖZÚTHÁLÓZATÁN

Budapest, 2012. május 15.

2012. május 15-én ünnepélyes keretek között, a Balatonföldváron rendezett „Közlekedésfejlesztés Magyarországon" című konferencián, Schváb Zoltán közlekedésért felelős helyettes államtitkár jelenlétében írta alá Kovács Ákos, a Magyar Közút Nonprofit Zrt. valamint Dr. Vér Iván a KIKSZ Közlekedésfejlesztési Zrt. vezérigazgatója a két társaság közötti támogatási szerződést. A Magyar Közút Nonprofit Zrt. több mint 11,4 milliárd forintot nyert el az Új Széchenyi Terv Közlekedésfejlesztési Operatív Program (KözOP) pályázatán a kezelésében lévő mintegy 30 ezer kilométernyi országos közút közlekedésbiztonságát javító fejlesztésekre.

A projekt célja, hogy az országos közúthálózaton az ún. baleseti gócpontokban, a balesetveszélyes csomópontokban csökkentse a balesetek számát és hatékonyan szolgálja a közlekedésbiztonság javítását. A közutakon történt személyi sérüléses balesetek tekintetében hazánk az uniós átlagnál rosszabb eredményekkel rendelkezik. A magyarországi helyzet javítása érdekében célzottan olyan beruházásokat szerepeltet a Magyar Közút a projektben, hogy azok által csökkenjen a balesetek száma, illetve a bekövetkezett balesetek súlyosságának a kimenetele.

A közlekedésbiztonsági projekt elemeinek összeállítása során társaságunk kiemelt figyelmet fordított az ismert közlekedési balesetekre, és ezek részletes elemzését követően állította össze a végrehajtandó forgalombiztonságot javító intézkedések listáját. A Magyar Közút Nonprofit Zrt. a rendelkezésre álló forrásból végezteti a tervezést, a területszerzést, a közbeszerzési tevékenységet és a kivitelezést.

AZ AKCIÓTERV RÉSZLETEI:

Baleseti gócok megszüntetése 69 bel- és külterületi helyszínen (csomópontban):
Balra kanyarodó sávok kiépítése; aktív burkolatprizmák, akusztikus burkolati jelek, jelzőtáblák telepítése és ívbővítések az ívek vonalvezetésének javítása érdekében; jelzőlámpás forgalomirányítás kiépítése; sárga villogók telepítése a kerékpáros keresztezés fokozottabb jelzésére; közvilágítás létesítése; gyalogos átkelőhelyek átépítése középszigetekkel; vadriasztó prizmák telepítése a közúti vezetőoszlopokra; autóbuszöblök és gyalogoskapcsolataik átépítése.

Baleseti góckutatáson alapuló jövőbeni beavatkozások 2 évben (2012,2013)
A projekt során 2 évben (2012, 2013) balese-

ti góckutatás során feltárt balesethalmozódási helyeken beavatkozások elvégzésére kerül sor.

Kijelölt gyalogos átkelőhelyek biztonságosabbá tétele (11 db):
Középszigetek építése, jelzőlámpák telepítése, sebességcsökkentő hatású folyópálya szűkítés, gyalogos korlátok telepítése, tartós burkolati jelek létesítése.

Közúti vezetőkorlátok minőségi cseréje:
A közel 6100 km hosszú főúthálózat 520 km szakaszán meglévő 763 000 fm vezetőkorlátból 255 000 fm kerül lecserélésre.

Külterületi autóbuszmegállók gyalogosközlekedésének biztonságosabbá tétele:
50 helyszínen irányonkénti változtatható jelzésképű jelzőtábla (VJT) jelzi a gyalogos veszélyt és léptet érvénybe sebességkorlátozást a gyalogosmozgás idejére.

Jelzőlámpás forgalomirányítású csomópontok felülvizsgálata:
355 csomópont hagyományos izzós fénypontjainak LED-es fénypontokra történő cseréje; 713 csomópont program-felülvizsgálata és járműérzékelők telepítése a forgalomfüggő működtetés bevezetése érdekében; 713 csomópont egységes internetes jelzőlámpás távfelügyeletbe történő integrálása.

Schváb Zoltán közlekedésért felelős helyettes államtitkár a „Közlekedésfejlesztés Magyarországon" című konferencia nyitó előadásán többek között azt hangsúlyozta, hogy „a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium kezdeményezésének kiemelt célja, hogy Magyarország útjai, infrastrukturális hálózata még biztonságosabb legyen, hiszen az emberélet a legfontosabb".

Kovács Ákos, a Magyar Közút vezérigazgatója és Dr. Vér Iván, a KIKSZ vezérigazgatója a szerződés aláírásakor reményét fejezte ki, hogy a 2014. év második félévébe záruló projekt hozzájárul hazánk közlekedésbiztonságának növeléséhez és a balesetek számának a csökkenéséhez.

További információ

Magyar Közút Nonprofit Zrt.
Vezérigazgatói titkárság
Kommunikációs csoport
kommunikacio@kozut.hu
Tel: +36-1-819-9144

ÚJ SZÉCHENYI TERV

TÁJÉKOZTATÓ

a Közlekedéstudományi Szemle Szerkesztőségéhez beküldendő kéziratok tartalmi és formai követelményeiről

A Közlekedéstudományi Szemle olyan tudományos folyóirat, amely a közlekedési ágazat valamennyi területéről jelentet meg lektorált cikkeket, esettanulmányokat. Az évente hat alkalommal megjelenő folyóirat különös hangsúlyt helyez a legújabb kutatási eredmények megismertetésére, az innovatív, tudásalapú modellek bemutatására, a technikai, technológiai, szervezési problémák megelőzésére, a megoldási lehetőségek feltárására.

A szerkesztőbizottság célja és elvárása az újdonságok közlése és annak elkerülése, hogy másodközléseket lehetőleg ne legyenek. Ezen feltétel alól kivételt – ritka esetben – akkor teszünk, amennyiben a közérdeklődésre számot tartó téma olyan helyen jelent meg, amely szűk körű olvasótáborhoz juthatott el.

A formai és tartalmi követelményeket a következők szerint kell betartani:

1. A szerzők a cikket digitális formában (lehetőleg e-mailben word fájlban vagy adathordozón) juttassák el a folyóirat szerkesztőségébe (Közlekedéstudományi Egyesület; 1372 Budapest, Pf: 451; szemle@ktenet.hu).

2. Formai követelmények:

- másfeles sorköz, 2,5 cm-es margó
- 11 pt Times New Roman betűtípus
- A cikk teljes terjedelme ábrákkal és táblázatokkal együtt nem haladhatja meg a 25 db A4es oldalt. (Kivételesen elfogadunk ennél hosszabb cikket is, de azt akkor csak két részletben, egymást követő két számban tudjuk megjelentetni.)
- Az ábrák és táblázatok címmel legyenek ellátva.
- Az ábrákat külön fájlban (jpg) is meg kell küldeni felbontásuk: 300 dpi (pixels/inch),
  szélessége 1 hasáb esetén: 90mm
  szélessége 2 hasáb esetén: 190mm
- A táblázatok és diagramok külön fájlban (Excel) is megküldésre kerüljenek.

3. Tartalmi követelmények:

- A tartalmi ismertetők szövegezése érdekében a cikk rövid, legfeljebb 2-3 soros tartalmi kivonatát kérjük csatolni.
- Az összefoglaló angol és német nyelvű megjelentetése érdekében, a szerzők csatolják a magyar nyelvű összefoglalót, amely terjedelmében kb.1000 karakter. Amennyiben a szerzők fordítást is küldenek, ezzel munkánkat egyszerűsítik.
- Az idézeteknél és hivatkozásoknál meg kell jelölni a mű szerzőjét, címét, kiadóját és a kiadás évét, külföldi forrás esetén a kiadás helyét. A forrásokat „Felhasznált irodalom" címszó alatt a cikk végén kérjük felsorolni. A „Felhasznált irodalom"-ban szereplő sorszámot kell az idézet után zárójelben feltüntetni. Például: [2], [6].

4. Kérjük szerzőinket, hogy következő adataikat adják meg: név, postai elérhetőség, telefonszám, e-mail cím, végzettség, tudományos fokozat, munkahely, beosztás. Az adatok megadásával a szerző hozzájárul a nyilvános közléshez, amelynek tényét a megküldött kézirat záradékaként kérjük közölni.

5. A szerkesztőséghez beküldött cikkek megjelentetésének jogát a szerkesztőbizottság, illetőleg a szerkesztőség fenntartja. Cikkeket nem őrzünk meg, és akkor sem küldjük vissza azokat, ha nem jelentetjük meg. Ha hosszabb idő (több hónap) telik el a cikknek a szerkesztőséghez való beérkezése és a megjelentetése között, akkor erről írásban vagy telefonon értesítjük tisztelt szerzőinket.

6. A cikk megjelenése esetén a KTE a lehetőségek függvényében könyvutalványt biztosít a szerző(k) részére.

Kérjük tisztelt szerzőinket, hogy kizárólag az ismertetett szempontok figyelembevételével készült kéziratokat küldjenek szerkesztőségünkbe.

Támogatóink

SIEMENS

KTI
Alapítva - Since 1938

UVATERV

FŐMTERV

GYSEV
Raaberbahn

STADLER
Stadler Trains Magyarország Kft.

VOLÁNBUSZ

HungaroControl
Magyar
Légiforgalmi
Szolgálat Zrt.

VOLÁN

Bakony Volán Zrt. • Balaton Volán Zrt.
• Borsod Volán Zrt. • Gemenc Volán Zrt. • Hajdú Volán Zrt.
• Hatvani Volán Zrt.• Kisalföld Volán Zrt.
• Kőrös Volán Zrt. • Kunság Volán Zrt. • Mátra Volán Zrt.
• Nógrád Volán Zrt. • Somló Volán Zrt. • Tisza Volán Zrt.
• Vasi Volán Zrt. • Vértes Volán Zrt. • Zala Volán Zrt.