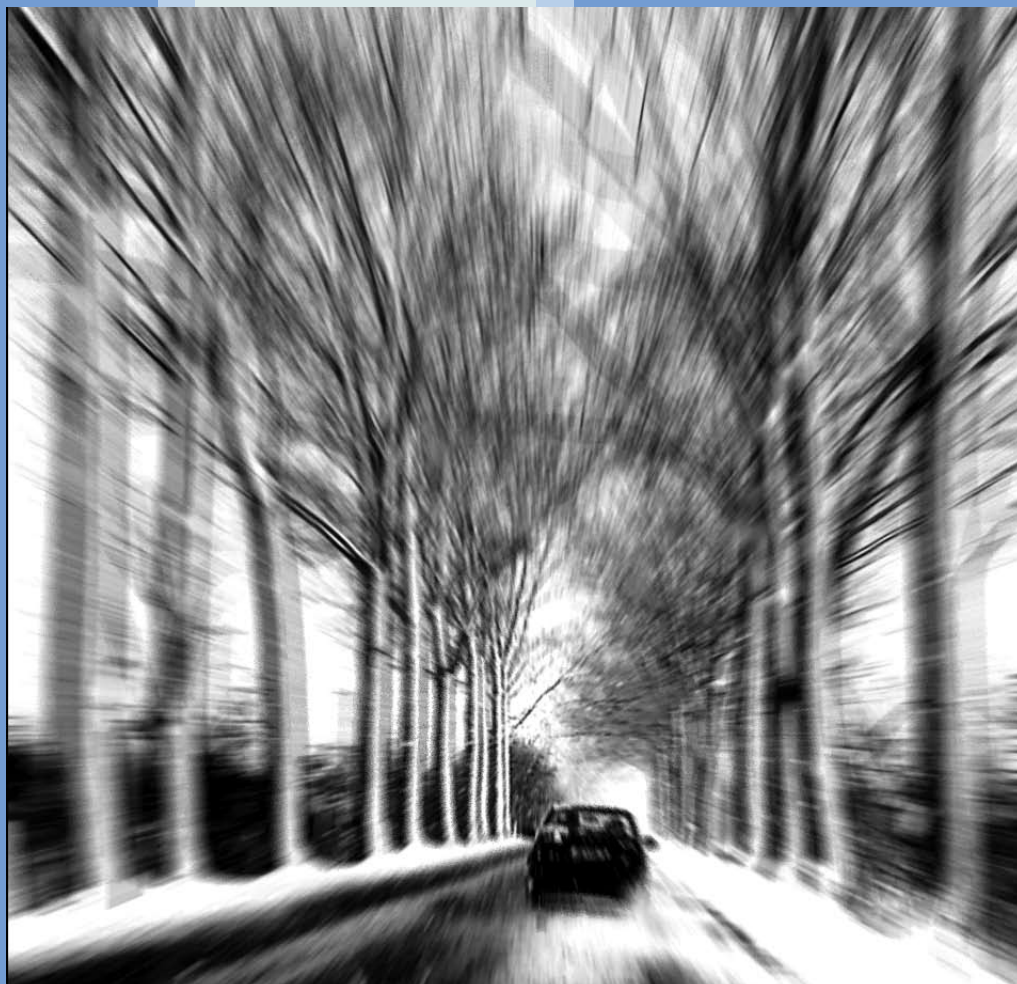




59. ÉVFOLYAM
12. SZÁM

KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI SZEMLE

2009. DECEMBER

FELELŐS KIADÓ:
Kerékgyártó Attila főigazgató

FELELŐS SZERKESZTŐ:
Dr. Koren Csaba

SZERKESZTŐK:
Fischer Szabolcs
Dr. Gulyás András
Dr. Petőcz Mária
Rétháti András

A CÍMLAPON:
Menekülés a hóvihár elől. Virágh
Mihály felvétele. A 2009. évi
Közutas Fotópályázaton a Közutas
mindennapok kategóriában V. díjat
kapott felvétel

A BORÍTÓ 2. OLDALÁN:
Ívben. Hazafi Judit felvétele. A
2009. évi Közutas Fotópályázaton
az Autópályák, utak kategóriában
III. díjat kapott felvétel

KÖZLEKEDÉSEPÍTÉSI SZEMLE
Alapította a Közlekedéstudományi
Egyesület.
A közlekedésépítési szakterület
mérnöki és tudományos havi lapja.

HUNGARIAN REVIEW OF
TRANSPORT INFRASTRUCTURE
INDEX: 163/832/1/2008
HU ISSN 2060-6222

KIADJA:
Közlekedésfejlesztési
Koordinációs Központ
1024 Budapest, Lövőház u. 39.

SZERKESZTŐSÉG:
Széchenyi István Egyetem,
UNIVERSITAS-Győr Nonprofit Kft.
9026 Győr, Egyetem tér 1.
Telefon: 96 503 452
Fax: 96 503 451
E-mail: koren@sze.hu, petocz@sze.hu

DESIGN, NYOMDAI MUNKA,
HIRDETÉSEK, ELŐFIZETÉS:

Press GT Kft.

1134 Budapest, Üteg u. 49.
Telefon: 349-6135
Fax: 452-0270;
E-mail: info@pressgt.hu
Internet: www.pressgt.hu
Lapigazgató: Hollauer Tibor
Hirdetési igazgató: Mező Gizi

A cikkekben szereplő megállapítások és adatok a szerzők véleményét és ismereteit fejezik ki és nem feltétlenül azonosak a szerkesztők véleményével és ismereteivel.

A lap tartalomjegyzéke és a korábbi lapszámok kereshető formában elérhetők itt: <http://szemle.lrg.hu>



TARTALOM

DR. TIMÁR ANDRÁS

A magyar úthálózatot igénybe vevő nemzetközi forgalom előrebecslése

1

DR. FI ISTVÁN – GALUSKA JÁNOS

Javaslatok autópályák új forgalmi teljesítőképességi értékeire

10

PRIMUSZ PÉTER – TÓTH CSABA

A behajlási teknő geometriája

18

JÁRMI RÓBERT – BARTA KÁROLY

A téli útsózás hatása az út menti talajokra

25

DR. NEMES RITA – FENYVESI OLIVÉR – DR. JÓZSA ZSUZSANNA

Könnyűbeton hídszerkezetek, lehetőségek és a gyakorlat

29

POZSONYI NORBERT – TÓTIVÁN ALÍZ

A térszathíd-építő versenyek húsz éve

36

A MAGYAR ÚTHÁLÓZATOT IGÉNYBE VEVŐ NEMZETKÖZI FORGALOM ELŐREBECSLÉSE

DR. TIMÁR ANDRÁS¹

1. BEVEZETÉS

Az európai uniós jogszabályok alapján a tehergépjárművek számára 2012-től hazánkban is bevezetni tervezett elektronikus úthasználatdíj-szedést előkészítő vizsgálatok keretében került sor az országos közúthálózaton a díjosztályonként (járműkategóriánként) várható forgalomnagyságok hosszú távú előrejelzésére. Mivel a nemzetközi (az országhatárt átlépő) közúti forgalom (ez a Magyarországra irányuló és onnan kiinduló célforgalmat, valamint az ország területén átmenő forgalmat foglalja magába) a mindenkori forgalomnagyságok jelentős hányadát teszi ki (különösen az egyes határszakaszokon átvezető, illetve azokhoz viszonylag közeli útszakaszokon), e munka keretében szükség volt a magyar közúthálózatot igénybe vevő nemzetközi forgalom nagyságának hosszú távú előrejelzésére is. Ezt a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ megrendelésére, a Bauconsult Kft. alvállalkozójaként a Trafficon Kft. készítette el 2009 nyarán. A következőkben az előrejelzés módszertanát és a vizsgálat főbb eredményeit ismertetjük.

A Trafficon Kft. (ugyancsak a Bauconsult Kft. alvállalkozójaként, a Nemzeti Autópálya Rt. megbízására), több mint hat évvel ezelőtt, 2003. januárban már elkészítette a magyar úthálózatot igénybe vevő nemzetközi közúti forgalom határszakaszonként várható alakulásának hosszú távú előrebecslését a 2001–2030. időszakra (Trafficon, 2003). Ebben a vizsgálatban áttekintettük a nemzetközi szakirodalmat, kidolgoztuk a nemzetközi közúti forgalom hosszú távú előrejelzésének módszertanát és ismertettük, illetve indokoltuk azokat a feltevéseket, amelyek az előrebecslés módszertanának alapjául szolgáltak.

A GDP, illetve a GDP/fő értékek (mint független alapváltozók) adott időszakra változatlan áron és árfolyamokkal előrebecsült évi átlagos növekedési (helyesebben: változási) értékein alapuló módszertan véleményünk szerint alapvetően helyes, továbbra is alkalmazható az általában megkívánható pontosságú (megbízhatóságú) forgalomnagyság-előrebecslések elkészítéséhez. A nemzetközi szakirodalom áttekintése során most sem találtunk olyan, ettől eltérő módszert, amelyről 2002–2009 között jelent volna meg tudományos közlemény és éppen ennek (vagy ehhez hasonló) feladatnak a megoldásával foglalkozott volna. Ezért a 2003-ban kidolgozott módszertant alkalmaztuk ismét a feladat megoldására,

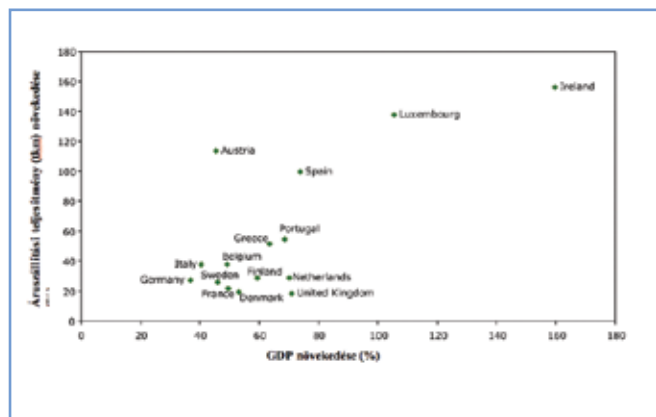
és elsősorban azt vizsgáltuk, hogyan és milyen módosításokat kell azon végrehajtani a kívánt megbízhatóságú eredmények előállításához, számításához.

2. A NEMZETKÖZI FORGALOM FEJLŐDÉSI TENDENCIÁI, ELŐREBECSLÉSÉNEK MÓDSZERE

A hosszú ideje folyó megfigyeléseken alapuló statisztikai adatok szerint viszonylag szoros korreláció mutatható ki a gazdasági teljesítményt (kibocsátást) jellemző, változatlan (összehasonlítható) áron és árfolyamon számított GDP (USD vagy EUR), illetve GDP/fő (USD/fő vagy EUR/fő) értékek és a közlekedési teljesítményt jellemző (utaskilométer, illetve tonnakilométer) értékek között (lásd 1. és 2. ábra, illetve 1. táblázat).

Az 1. és 2. ábrán jól érzékelhető a gazdasági növekedés és a szállítási teljesítmények közötti korreláció, de az is látszik, hogy szélsőséges esetekben meglehetősen eltérő gazdasági növekedési ütemekhez is közel azonos áruszállítási teljesítménynövekedés társulhat.

Az 1. táblázatból kitűnik, hogy minél hosszabb időszakot vizsgálunk, annál közelebb esnek a személy- és áruszállítás, illetve

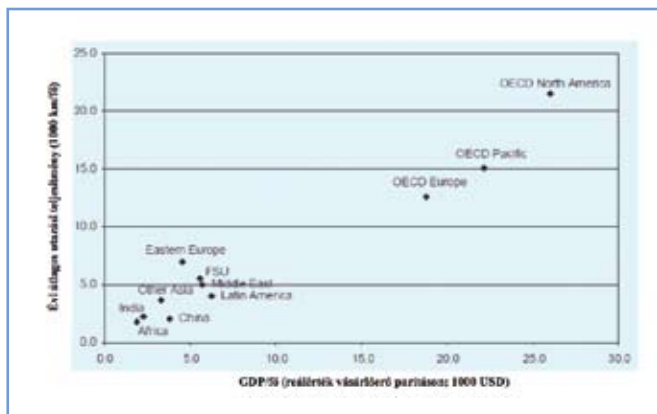


1. ábra A GDP és az áruszállítási teljesítmény (tkm) növekedése az Európai Unióban (EU15) 1991–2002 között. (Eurostat, 2005)

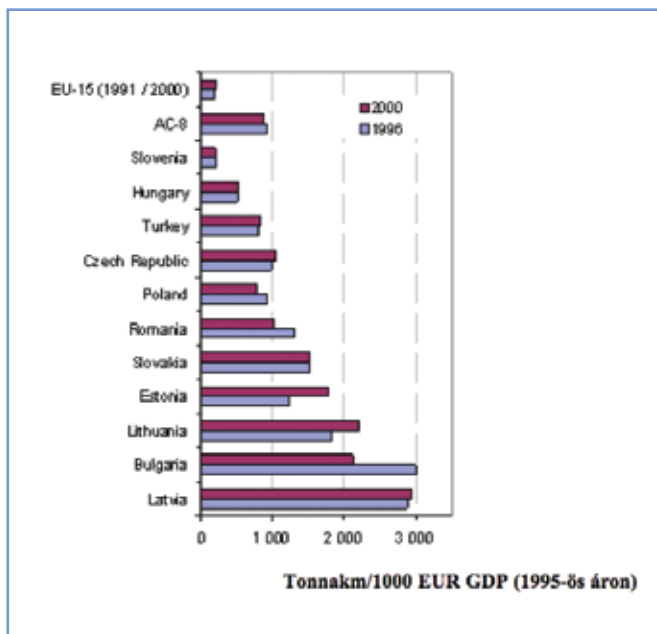
1. táblázat: A GDP és a szállítási teljesítmények hosszú távú növekedése az Európai Unióban (EU15). (OECD, 2007)

Megnevezés	1971–1980		1981–1990		1991–2000		2001–2003		1971–2003	
	Σ	évi átlag	Σ	évi átlag	Σ	évi átlag	Σ	évi átlag	Σ	évi átlag
	%									
GDP (2000. évi áron)	78	5,9	27	2,4	24	2,2	4	1,3	191	3,3
Személyszállítás, utaskm	39	3,3	35	3	40	3,4	4	1,3	173	3,1
Áruszállítás, tonnadm	41	3,5	18	1,7	48	4	16	5,1	186	3,2

¹ Okleveles építőmérnök, PhD, DSc, egyetemi tanár, Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki Kar



2. ábra A GDP-fő és a személyenkénti évi átlagos utazási teljesítmények összefüggése 2000-ben (OECD, 2007)



3. ábra. Az EU15 és a 2004-ben csatlakozott új tagállamok (AC8: Málta és Ciprus nélkül) áruszállítás-igényessége 1996-ban és 2000-ben (a vasúti, közúti és belvízi szállítási teljesítmény összege alapján). (OECD, 2007)

a GDP növekedésének évi átlagos értékei. Ugyanakkor érdemes alaposabban szemügyre venni az Európai Unió közelmúltban lezajlott bővítésének hatását a 2008 őszén kibontakozott gazdasági világválságot megelőző időszakban. Az áruszállítás (különösen a közúti, illetve a nemzetközi közúti áruszállítás) évi átlagos növekedési ütemének a 2. táblázat adatai szerinti „megugrása” egyrészt a vasúti és a belvízi áruszállítás piacvesztésére, másrészt az újonnan csatlakozott kelet-európai tagállamok viszonylag gyors

sabb gazdasági növekedésére és a nyugat-európai tagállamokhoz viszonyítva jóval magasabb szállítási igényességére (3. ábra) vezethető vissza.

Egy, a kilencvenes évek közepén készített nemzetközi összehasonlító tanulmány szerint az áruszállítás teljesítménye (tonnakilométerben mérve) 1992 és 2020 között évente átlagosan 1,9%-kal nő az Európai Unióban, ezen belül a nemzeti forgalom 1,5%-kal, a nemzetközi pedig 2,5%-kal (Gaspard, 1998).

Más, hasonló témájú vizsgálatok ugyancsak arra az eredményre jutottak, hogy a nemzetközi forgalom a nemzeti (belföldi) forgalomnál jóval nagyobb ütemben fejlődik (Bjornland, 2002). Ez a megállapítás különösen fontos az olyan kedvező gazdaságföldrajzi elhelyezkedésű, nagy átmenő forgalmú országok szempontjából, mint amilyen Magyarország is.

Az, hogy a belföldi és az egyes nemzetközi forgalmi áramlatok növekedési üteme között mekkora különbséget tételezünk fel, természetesen függ a körülményektől és a vizsgált viszonylattól. Feltételezhető, hogy a belföldi forgalom növekedése kizárólag az illető ország gazdasági teljesítményétől függ, a nemzetközi forgalom alakulását viszont jelentősen befolyásolja a szomszédos ország(ok) és az átmenő forgalom kiinduló és végpontján elhelyezkedő ország(ok) gazdasági teljesítménye, annak időbeli alakulása is.

Az említett tanulmányok szerint az Európai Unió régi tagállamaiban (EU15) 2020-ig

- a forgalomnövekedésnek a GDP növekedésére vonatkoztatott rugalmassági tényezője mind a személyközlekedésben, mind pedig az áruszállításban 1,0 alatt marad, ami arra utal, hogy bár a forgalom mennyisége jelentősen növekedni fog, a növekedés mértéke viszonylag szerény lesz;
- az áruszállításban a nemzetközi forgalom növekedésének üteme felülmúlja a belföldi forgalomét, a tonnakilométerben számított teljesítmény növekedése pedig a tonnában számított, elszállított árumennyiség növekedésének ütemét (az átlagos szállítási távolság növekedésének következtében);
- a személyközlekedés növekedési üteme viszonylag alacsony és a növekedés elsősorban a rövid távú utazásokat érinti, a nagysebességű vasúthálózat és a Transzeurópai Közlekedési Hálózat (TEN-T) kiépülésének hatása csekély és bizonytalan;
- az „alap-forgatókönyv” szerint a közúti közlekedés teljesítményének részaránya jelentősen és folyamatosan növekedni, a vasúti közlekedés pedig csökkenni fog, ez utóbbi termelékenysége tervezett növekedésének dacára is;
- a forgalom-előrebecslési eredmények sokkal érzékenyebbek a piaci szabályozásának és működésének, valamint az áraknak, mint az infrastrukturális kínálatnak (hálózatfejlesztés) a változására;
- a környezetkárosító hatások az üvegházhatás szempontjából hosszú távon sem csökkenthetők a kívánatos mértékben.

A közúti áruszállítási teljesítmény évi átlagos növekedésének ütemét az „alap-forgatókönyv” szerinti *reális* esetben 2020-ig

2. táblázat: A GDP és a szállítási teljesítmények évi átlagos növekedése az EU 27 tagállamában a válságot megelőző években (Eurostat, 2009)

Megnevezés	1995–2007		2000–2007	Eltérés a GDP-től, Δ		
				1995–2007	2000–2007	
GDP (2000. évi ár és árfolyam)	2,50%		2,40%	0	0	0
Személyszállítás, utaskm	1,70%	1,6% *	n.a.	–0,8%	–0,9% *	n.a.
Áruszállítás, tonnakm	2,70%	3,4% *	5,5% **	+0,20%	+0,9% *	+3,1% **

Megjegyzés: *Közúti szállítás; **Nemzetközi közúti szállítás

évi 2,9%-osra, legalacsonyabb értékét pedig (*pesszimista* eset) 2,2%-osra becsülték.

Az áruszállítás teljesítményének (légi, vasúti, vízi és közúti közlekedés, csővezetékes szállítás együtt) évi átlagos növekedési ütemét *reális* esetben 2,2%-ra, *pesszimista* esetben 1,5%-ra becsülték.

A személyközlekedés összesített teljesítménye növekedésének évi átlagos ütemét 2020-ig *reális* esetben 1,3%-osra (*pesszimista* esetben 1,0%-osra), ezen belül a személygépkocsi-közlekedés fejlődésének évi átlagos ütemét 0,9%-osra (*pesszimista* esetben 0,1%-osra) becsülték.

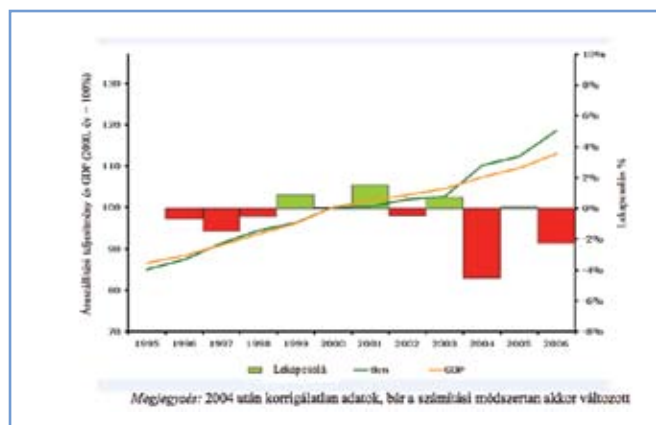
Ami a közép- és kelet-európai országokat illeti, a forgalomnövekedés szempontjából az említett tanulmányok megállapították, hogy

- a közlekedési teljesítmények GDP-hez viszonyított rugalmassága még akkor is alacsony, egynél kisebb értékű lesz, ha a gazdasági növekedés gyors ütemű marad, mert a szállítási igényesség (utaskm/GDP, illetve tkm/GDP) jelenleg igen magas értékei fokozatosan közelíteni fognak az EU15 államok értékeihez;
- 1985–95 között az EU15-ben az áruforgalomban a szállítási igényesség tonnakm/GDP Euro mutatója 0,22-0,23 értéken változatlan maradt, míg a Visegrádi országcsoportban (CZ, SK, PL és H) 2,07-ről 1,39-re csökkent ugyan, de még 2000-ben is több mint négyszerese volt az EU15 mutatójának. A személyforgalom-igényesség mutatója (utaskm/GDP Euro) az EU15-ben ugyanebben az időszakban 0,63-ról 0,69-re, a Visegrádi országcsoportban pedig 2,00-ról 2,66-ra növekedett, azaz majdnégyszeresen felülmúlta az EU15-re jellemző átlagértéket;
- a Visegrádi országcsoportban a közlekedés, elsősorban a közúti közlekedés fajlagos költségei az EU27-re jellemző átlagértéket meghaladó mértékben fognak növekedni, hogy fokozatosan csökkenjenek a ma még jelentős költségkülönbségek;
- a közép- és kelet-európai országok nemzetközi forgalma jelentősen növekszik, de a forgalmi áramlatok lényeges átrendeződése, illetve a keleti irányokban a korábban (elsősorban a Jugoszlávia felbomlását kísérő háborúk miatt) megszakadt trendek helyreállása, folytatódása már nem várható.

Az EU közlekedéspolitikájának alapelveit tartalmazó, 2001 szeptemberében közzétett Fehér Könyv („Közlekedéspolitika 2010-ig: itt az idő döntené”, COM/2001/370) előírta az áruszállítás növekedésének a gazdaság növekedéséről való lekapcsolását (tehát az áruszállítási teljesítmény évi átlagos növekedési üteme és a GDP évi átlagos növekedési üteme közötti pozitív előjelű különbség fokozatos és folyamatos csökkentését, végső soron negatív előjelűvé tételét). A cél elérésére előírtak és valóban alkalmazott intézkedések (pl. a nehéz tehergépjárművek úthasználati díjának bevezetése, illetve emelése, a vasúti és a kombinált áruszállítás versenyképességének fokozása) úgy tűnik, eddig nem hozták meg a kívánt eredményt (4. ábra).

A szakirodalom alapján megállapítható, hogy a nemzetközi forgalom előrejelzésére eddig kidolgozott és alkalmazott módszerek

- a nemzetközi kereskedelem és idegenforgalom (hiányos és sokszor túlzottan összevont) statisztikai adataiból igyekeznek kiindulni;
- a közlekedési munkamegosztás (teljesítményarányok) múltban kellően hosszú időszakon át megfigyelt változásainak bizonyos feltételezés-együttesek – szcenáriók, azaz forgatókönyvek – alapján módosított előrejelzésén alapulnak;
- a forgalmi teljesítmények (tkm-ben és ukm-ben mért) változását a gazdasági teljesítmény, azaz a kibocsátás (GDP, illetve GDP/fő) változásával igyekeznek összefüggésbe hozni, megfelelő korrelációs összefüggések alapján, illetve rugalmassági tényezők levezetésével.



4. ábra. Az áruszállítási teljesítmény lekapcsolása („decoupling”) a gazdasági növekedésről (Ausztria, Belgium, Csehország, Dánia, Észtország, Finnország, Franciaország, Németország, Görögország, Magyarország, Izland, Írország, Olaszország, Lettország, Litvánia, Luxemburg, Hollandia, Norvégia, Lengyelország, Portugália, Szlovákia, Szlovénia, Spanyolország, Svédország, Svájc, Törökország, Egyesült Királyság adatai összesítve). (OECD, 2007)

Ezek a rugalmassági tényezők azt fejezik ki, hogy hosszú távon és tendenciaszerűen az egyes specifikus forgalmi áramlat-összetevők (pl. a nemzetközi személygépkocsi-forgalom) hogyan, milyen mértékben változnak a GDP vagy a GDP/fő értékek változásához képest, azokhoz viszonyítva.

Amennyiben tehát mód van a hosszú távú makrogazdasági (termelési, kibocsátási, fogyasztási stb.) adatok várható alakulását előrejelző statisztikai adatok beszerzésére, ezek segítségével lehetőség nyílik – megfelelő feltevések és korrelációs vizsgálatok alapján – a nemzetközi forgalom egyes összetevői alakulásának (fejlődésének, növekedésének) előrebecslésére is.

A feladat megoldásához 2003-ban kidolgozott módszertanunk alapfeltevései a következők voltak:

- Magyarország 2004-ben az Európai Unió tagállamává, 2007-ben a schengeni övezet részévé válik, a szlovén, osztrák és szlovák határszakaszokon megszűnik az ellenőrzés, és viszonylag gyorsan megvalósul az áruk, személyek, tőke és szolgáltatások szabad áramlása, a többi határszakaszon viszont (a román határszakaszt kivéve) szigorítások lépnek életbe, ami a nemzetközi forgalom növekedésére is kihat;
- Az EU új, közép- és kelet-európai tagállamai gazdasági növekedésének üteme hosszú távon és tartósan felülmúlja (átlagosan mintegy 1,5-2,0%-kal) az Európai Unió gazdasági növekedésének éves átlagos ütemét, ami biztosítja ezeknek a tagállamoknak a fokozatos felzárkózását a többi tagállamhoz;
- Az előrebecslési periódusban sem alapvető politikai, társadalmi vagy gazdasági megrázkódtatások (pl. háború, a demokratikus fejlődés megtorpanása, a gazdaság visszaesése, válsága), sem a közlekedési rendszert és a közlekedési munkamegosztás kialakult arányait döntően befolyásoló technológiai változások (pl. egyéni repülőeszközök rohamos térhódítása) nem várhatók Európában;
- A gazdasági növekedés hosszú távon át várható évi átlagos növekedési ütemének tendenciája és mértéke elfogadható pontossággal, megbízhatóan meghatározható, előrebecsülhető.

Könnyen belátható, hogy ez a két utóbbi alapfeltevés nem teljesült, hiszen

- egyrészt a 2008 második felében kibontakozott pénzügyi és gazdasági világválság jelentősen befolyásolja, alkalmazkodásra készteti,

folyamatosan változtatja a közlekedési rendszert (a közlekedési keresletet, a közlekedési munkamegosztást, a forgalmi áramlatokat stb.) is;

- másrészt 2009 nyarán nem áll rendelkezésünkre a magyar és az európai makrogazdasági adatokra, elsősorban a kibocsátás vagyis a gazdasági növekedés közeljövőben várható változása éves átlagos ütemére vonatkozó megbízható előrejelzés. 2009 első félévében az erre vonatkozó számadatokat az International Monetary Fund (IMF), az Európai Bizottság Gazdasági és Pénzügyi Főigazgatósága (EU), illetve a Magyar Nemzeti Bank (MNB) és a Pénzügyminisztérium (PüM) rendszeresen közzétett előrejelzéseiben szinte folyamatosan, sokszor jelentős mértékben módosította (IMF 2009; MNB 2009; EC 2009/a; EC 2009/b).

Mindezek a körülmények rendkívül megnehezítették a magyar úthálózatot igénybe vevő nemzetközi forgalom hosszú távú alakulására vonatkozó megbízható előrebecslés készítését.

Ugyanakkor azonban a nemzetközi szakirodalomban megjelent közlemények többsége alapján feltételeztük, hogy a pénzügyi és gazdasági világválság következtében várható gazdasági és pénzügyi szerkezetátalakulás, ártrendeződés mintegy 2-3 év alatt lezajlik és 2011-et követően már kevésbé érezteti a hatását. A 2011 után következő, több évtizednyi időszakban tehát – jobb híján –, azt feltételeztük, hogy eredeti alapfeltevéseink ismét érvényesek lehetnek, lesznek. Ennek alapján

- a nemzetközi (határátlépő) közúti forgalom nagysága új előrebecslésének kiindulási alapértékeként a 2007-es statisztikai tényadatokat fogadtuk el;
- az előrebecslés első, nagy bizonytalansággal jellemezhető, külön kezelt időszakának tekintettük a 2007–2010 közötti három évet;
- az előrebecslés további, kevésbé bizonytalannak tekinthető időszakait tíz évenként vettük fel (2011–2020, 2021–2030, 2031–2040).

3. A NEMZETKÖZI FORGALOM ELŐREBECSLÉSE

3.1. KIEGÉSZÍTŐ FELTEVÉSEK

A nemzetközi szakirodalomban közzétett eredmények figyelembevételével eddigi feltevéseinket a következőkkel egészítettük ki:

- a magyarországi közúthálózat nemzetközi forgalmának határszakaszonkénti előrebecsléséhez független változóként a vásárlóerő-paritáson számított, egy főre eső GDP értékeiből indulunk ki, mert ez egyúttal tükrözi a demográfiai változások hatását is, és csökkenti a hivatalos átváltási arányok torzító hatását;
- a külkereskedelmi mérleg egyensúlyban tartásának követelményéből kiindulva, illetve a nemzetközi fuvarpiacon a verseny egyenlő feltételeinek kialakulására való tekintettel az egyes határszakaszokon fellépő forgalom 40%-át Magyarországról kiinduló, tehát *eredő forgalomnak* (döntően magyar járművek), 40%-át Magyarországra irányuló, tehát *célforgalomnak* (döntően külföldi járművek), 20%-át pedig Magyarország területét érintő, tehát *átmenő forgalomnak* (szinte kizárólag külföldi járművek) tekintjük;
- az eredő forgalmat a *hazai* GDP/fő, a célforgalmat a *közvetlenül szomszédos ország* GDP/fő értékével, az átmenő forgalmat pedig a közvetlenül szomszédos országon át elérhető, tágabb értelemben vett „gazdasági térség”, azaz *országcsoport* GDP/fő értékével arányosan változóan tekintjük;
- különböző rugalmassági tényezőket alkalmazunk az egyes járműkategóriákban, illetve díjkategóriákban, feltételezve, hogy ezek értéke mindig a személygépkocsikra vonatkozóan a legkisebb, a nehéz tehergépjárművekre pedig a legnagyobb;

- különböző rugalmassági tényezőket alkalmazunk az egyes előrebecslési időközökben, (rendre: 2007–2010; 2011–2020; 2021–2030; 2031–2040 és 2041–2050 között), feltételezve, hogy ezek értéke idővel fokozatosan és folyamatosan csökken, azaz a szállítási igényesség Közép- és Kelet-Európában közelíteni fog az Európai Unió régi tagállamaiban (EU15) hosszabb időn át kialakult átlagértékekhez.

A forgalom előrebecsléséhez az egyes vizsgált időszakokra vonatkozó évi átlagos forgalomnövekedési értékeket (% a megelőző évhez viszonyítva) az elektronikus útdíjszedés során alkalmazni tervezett négy következő járműkategóriára/díjkategóriára vonatkozóan számítottuk ki:

- J1 járműkategória/díjosztály:
3,5 t össztömeg alatti kéttengelyes járművek (személygépkocsik, motorkerékpárok, kis áruszállítók);
- J2 járműkategória/díjosztály:
3,5 t össztömeget elérő vagy meghaladó kéttengelyes tehergépjárművek és valamennyi autóbúsz;
- J3 járműkategória/díjosztály:
3,5 t össztömeget elérő vagy meghaladó háromtengelyes tehergépjárművek és járműszerelvények;
- J4 járműkategória/díjosztály:
3,5 t össztömeget elérő vagy meghaladó, négy- vagy többtengelyes tehergépjárművek, járműszerelvények.

Az egyes járműkategóriákban a forgalomnagyság évi átlagos növekedésének előrebecsléséhez a GDP/fő értékek átlagos évi növekedési ütemét az egyes előrebecslési időszakokra (2007–2010; 2011–2020; 2021–2030; 2031–2040; 2041–2050) vonatkozóan a következő értékekkel növeltük meg:

- a J1 járműosztály forgalma a forgalomkeltő potenciál fejlődésének alapüteménél az előrebecslési időszakokban rendre +0,1; +0,5; +0,3; +0,2 és +0,1 százalékponttal gyorsabban növekszik;
- a J2 járműosztály forgalma a forgalomkeltő potenciál fejlődésének alapüteménél az előrebecslési időszakokban rendre +0,2; +0,7; +0,5; +0,3 és +0,1 százalékponttal gyorsabban növekszik;
- a J3 járműosztály forgalma a forgalomkeltő potenciál fejlődésének alapüteménél az előrebecslési időszakokban rendre +0,2; +1,3; +0,8; +0,4 és +0,2 százalékponttal gyorsabban növekszik;
- a J4 járműosztály forgalma a forgalomkeltő potenciál fejlődésének alapüteménél az előrebecslési évtizedekben rendre +0,3; +1,5; +1,0; +0,5 és +0,3 százalékponttal gyorsabban növekszik.

3.2. A GDP/FŐ ÉRTÉKEK ALAKULÁSÁNAK ELŐREBECSLÉSE

3.2.1. 2011 után

A 2011–2050 közötti időszakra vonatkozóan egyes évtizedekre előrebecsült GDP, illetve GDP/fő értékeket az Európai Bizottság Gazdasági és Pénzügyi Főigazgatósága Gazdasági Iratok sorozatában 253. számmal 2006 júniusában megjelentetett „*A munkaerő-termelékenység és a GDP hosszú távú előrejelzése az EU 25 tagállamában, termelési függvény alapján*” című tanulmányból vettük át (EC, 2006).

A tanulmányban részletesen megtalálható a munkaerő termelékenysége, illetve a gazdasági növekedés (GDP és GDP/fő) előrebecslésére kidolgozott, termelési függvény alapú modell leírása, használhatóságának indokolása és a felhasznált bemenő adatok

3. táblázat: Becsült GDP/fő növekedési értékek (időszakos évi átlag, %) (EC, 2006)

Ország	2004–2010	2011–2020	2021–2030	2031–2040	2041–2050	2004–2050
BE	2,1	1,8	1,2	1,5	1,7	1,6
DK	1,8	1,8	1,2	1,3	2	1,6
DE	1,6	1,7	1,1	1,4	1,6	1,5
GR	2,6	1,8	1,3	1	1,2	1,5
ES	2	2,3	1,5	0,8	1	1,5
FR	1,7	1,6	1,5	1,5	1,7	1,6
IE	4,2	3,1	1,9	1,3	1,1	2,2
IT	1,6	1,8	1,4	1	1,5	1,5
LU	3	2,1	2	2,3	2,4	2,3
NL	1,3	1,5	1,2	1,5	1,9	1,5
AT	1,9	1,9	1,1	1,3	1,5	1,5
PT	1,5	2,3	2	1,1	1,2	1,6
FI	2,4	1,7	1,5	1,7	1,7	1,8
SE	2,3	2,3	1,7	1,6	1,8	1,9
UK	2,4	2,2	1,4	1,5	1,6	1,8
CY	2,9	3,1	2,3	2	1,3	2,3
CZ	3,6	3,2	2,5	1,4	1,1	2,3
EE	6,6	4,2	2,8	2	1,2	3,1
HU	3,9	3,1	2,6	1,4	1,3	2,4
LT	7	4,8	2,5	1,7	1,2	3,2
LV	8,3	5	2,8	1,9	1	3,5
MT	1,3	2	2,4	1,9	1,4	1,8
PL	4,7	4	2,9	1,6	1	2,7
SK	4,7	4,3	2,8	1,3	0,8	2,7
SI	3,6	2,8	2,2	1,5	1,3	2,2
EU25	2,2	2,1	1,6	1,4	1,5	1,7
EU15	1,9	1,9	1,4	1,3	1,6	1,6
EU12	1,8	1,8	1,4	1,3	1,5	1,5
EU10	4,6	3,8	2,7	1,5	1,1	2,6

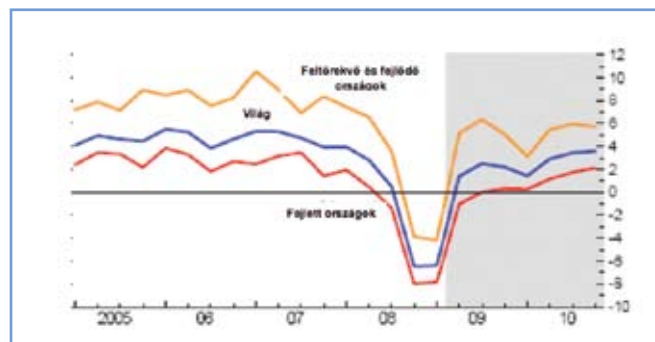
forrásai. A közzétett eredmények között a legtöbb olyan adat megtalálható (Magyarország, adott határszakaszhoz tartozó szomszédos ország, ez utóbbin keresztül elérhető országcsoport GDP/fő-értékének évi átlagos változása a vizsgált időszakban), amelyre forgalmi előrebecslésünk elkészítéséhez szükségünk volt (3. táblázat).

Sajnos azonban a közzétett eredmények közül hiányzik a Romániára és a közeljövőben várhatóan EU-taggá váló Horvátországra és Szerbiára vonatkozó becslés. Saját szakértői becslés alapján az 3. táblázat 2–6. oszlopában szereplő időszakokban erre a két országra vonatkozóan az évi GDP/fő százalékos változásának mértékét az EU10 sorban szereplő átlagértékekkel azonosnak feltételeztük (EU10: Bulgária, Csehország, Észtország, Magyarország, Lettország, Litvánia, Lengyelország, Románia, Szlovákia és Szlovénia).

Ukrajnára és Oroszországra vonatkozóan nem sikerült megbízható GDP/fő előrebecslést találnunk a szakirodalomban, ezért itt is saját szakértői becslést alakítottunk ki. A GDP/fő évi átlagos növekedési ütemét e két országban azonosnak feltételeztük.

Mivel a tanulmány még a gazdasági és pénzügyi világválság kibontakozása előtt készült, az abban közzétett, a GDP/fő-értékek tíz éves időszakonkénti évi átlagos változására vonat-

kozó előrebecslést *optimista* (azaz, a gazdasági és pénzügyi világválság előtti növekedési pályára való visszatérést és viszonylag gyors gazdasági növekedést feltételező) előrejelzésnek tekintettük. Ezt a feltételezést alátámasztja a Nemzetközi Monetáris Alap (IMF) szakértőinek 2009. július 8-án közzétett becslése, amely a világgazdaság egésze, ezen belül az ipari- lag fejlett, valamint a feltörekvő és fejlődő országok GDP-jének közeljövőbeli alakulására (azaz közvetve a gazdasági és pénzügyi világválság hatására, időbeli lefolyására) vonatkozik (5. ábra).



5. ábra. A GDP becsült növekedése (százalék, negyedévenként az előző negyedévhez viszonyítva, majd éves adatra átszámítva) (IMF, 2009)

4. táblázat: A magyar GDP évi átlagos változásának rövid távú előrebecslése az MNB 2009. májusi inflációs jelentése alapján (MNB, 2009)

Év	2009	2010	2011
Fogyasztói infláció	4,5	4,3	1,9
Gazdasági növekedés	-6,7	-0,9	3,4

5. táblázat: Az EU10 reálértéken mért GDP-adatainak várható alakulása (WB, 2009)

Ország		2008	2009	2010
BG	WEO	6	-2	-1
	EC	6	-1,6	-0,1
CZ	WEO	3,2	-3,5	0,1
	EC	3,2	-2,7	0,3
EE	WEO	-3,6	-10	-1
	EC	-3,6	-10,3	-0,8
LV	WEO	-4,6	-12	-2
	EC	-4,6	-13,1	-3,2
LT	WEO	3	-10	-3
	EC	3	-11	-4,7
HU	WEO	0,6	-3,3	-0,4
	EC	0,5	-6,3	-0,3
PL	WEO	4,8	-0,7	1,3
	EC	4,8	-1,4	0,8
SK	WEO	6,4	-2,1	1,9
	EC	6,4	-2,6	0,7
SI	WEO	3,5	-2,7	1,4
	EC	3,5	-3,4	0,7
RO	WEO	7,1	-4,1	0
	EC	7,1	-4	0

Megjegyzés:

WEO – az IMF World Economic Outlook 2009. áprilisi adatai;

EC – az Európai Bizottság 2009. májusi adatai

A pesszimista előrebecslést (óvatos szakértői vélemények alapján) a hivatkozott tanulmányban közzétett évi átlagos növekedési értékek 25%-os csökkentésével (0,80-as szorzót alkalmazva), a reális előrebecslést pedig ugyancsak mértékadó szakértői vélemények alapján) a tanulmányban közzétett értékek 15%-os csökkentésével (0,87-es szorzót alkalmazva) számítottuk ki.

3.2.2. 2007–2010 között

Sokkal nehezebb feladat volt a GDP- és GDP/fő-értékek közeljövőben, azaz 2009-2010-ben várható alakulásának előrebecslése.

Magyarországra vonatkozóan a Magyar Nemzeti Banknak a tanulmány készítésekor hozzáférhető legfrissebb jelentése a 2009. májusi inflációs jelentésen alapult (4. táblázat).

Az EU10-országokra vonatkozó adatokat az 5. táblázat tartalmazza. Az Európai Unió 27 tagállamára vonatkozó adatokat az Európai Unió Gazdasági és Pénzügyi Főigazgatósága 2009. tavaszi (2009. április 22-én közzétett) Gazdasági Előrejelzéséből vettük át (6. táblázat).

Az 5. és 6. táblázat összevetéséből kitűnik, hogy az MNB júliusi előrejelzésében az Európai Unió áprilisi előrejelzésében szerepelt (feltehetően hivatalos adatszolgáltatáson alapuló),

Magyarországra vonatkozó adatokat már lerontotta: 2009-re -6,3% helyett -6,7%-os, 2010-re -0,3%-os helyett már -0,9%-os visszaesést (reálértéken számított GDP-csökkenést) becsült előre, a megelőző évhez viszonyítva. Ebből is egyértelműen kiderül, milyen nehéz, szinte lehetetlen elfogadható megbízhatóságú rövid távú előrejelzést készíteni mindaddig, amíg a gazdasági és pénzügyi világválság tart.

Az Európai Unión kívüli, hazánkkal közvetlenül szomszédos államok (Ukrajna, Oroszország, Szerbia, Horvátország) vagy közvetve szomszédos térségek gazdasági növekedésének előrejelzésére vonatkozóan kizárólag az IMF 2009 júliusában közzétett összefoglaló jellegű adatai voltak hozzáférhetőek (7. táblázat). A táblázatból kitűnik, hogy ezeket az adatokat is módosították a három hónappal korábbi előrejelzéshez képest. Ukrajnára vonatkozóan 2009-re az Economist Intelligence Unit (EIU) július 21-én kiadott előrejelzése a korábbiakhoz képest ismét lefelé módosult: a GDP 2009-ben várható csökkenését (2008-hoz viszonyítva) már -14%-osra becsülték, s 2010-ben is csak kismértékű növekedést (0,5–1,0%) várnak (EIU, 2009). A 2011–2025 időszakban a GDP/fő éves növekedését változatlan áron 4-5%-osra becsülték.

Az ismertetett bizonytalanságok miatt, óvatos szakértői vélemények alapján, a 2007–2010 időszakra vonatkozó legfrissebb előrejelzésekben szereplő adatokat reális előrebecslési adatoknak tekintettük. Ezekből 1,15-ös szorzóval számítottuk az optimista, 0,92-es (0,8/0,87=0,92) szorzóval pedig a pesszimista gazdasági növekedési pályához tartozó évi átlagos GDP/fő változási értéket.

4. A NEMZETKÖZI FORGALOM ELŐREBECSLÉSÉNEK EREDMÉNYEI

Az előrebecslési időszakokban alkalmazni javasolt éves átlagos forgalomnövekedés százalékos értékeit a 8. táblázatban foglaltuk össze, határszakaszonként.

Nyomatékosan felhívjuk a figyelmet arra, hogy az előrejelzéseket tartalmazó 8. táblázatban található „reális” és „optimista” kifejezések csak az egyes hosszú távon előrejelzett növekedési irányokhoz (trendekhez) önkényesen hozzárendelt jelzők, s nincsenek összefüggésben sem az előrejelzés készítőjének várakozásaival, sem pedig az előrejelzett értékek valószínűségi eloszlásával. Ez utóbbiak meghatározásához további kutatásokra van szükség.

A hosszú távú forgalmi előrebecslésekhez alapesetben 2007–2010 között a 8. táblázatban a „reális” jelű oszlopban, 2011-et követően pedig az „optimista” jelű oszlopokban szereplő értéket célszerű felhasználni, mert

- ezek a hivatkozott szakirodalomban ténylegesen szereplő, onnan átvett, éves átlagos növekedési értékek (%), a táblázatainkban szereplő összes többi számértéket szakértői becslésünk alapján ezekből származtattuk;
- általánosan elfogadott tapasztalatok szerint a gazdasági-pénzügyi válságot mindig hosszabb-rövidebb „helyreállítási időszak” követi, amelyet ugyan ingadozó, összességében azonban gyorsuló növekedési ütem jellemez és az időszak végére többnyire helyreáll a válság előtti időszakban megfigyelt, hosszú távú növekedési irányzat (trend).

Mindezek figyelembevételével megalapozottan feltételezhetjük, hogy a gazdasági növekedésnek a gazdasági-pénzügyi világválságot megelőzően előrebecsült hosszú távú irányzatai ugyan néhány éves késéssel (időben későbbre tolódva), de érvényesülni fognak (EC, 2006). Éppen ennek a forgatókönyvnek megfelelő gazdasági fejlődési pályán

6. táblázat: Az Európai Unió tagállamaiban a GDP/fő-értékek változásának rövid távú előrebecslése (EC, 2009/b)

Ország	Ötéves átlag				2008			2009			2010		
	1992–1996	1997–2001	2002–2006	2007	2008. okt.	2009. jan.	2009. ápr.	2008. okt.	2009. jan.	2009. ápr.	2008. okt.	2009. jan.	2009. ápr.
Belgium	1,5	2,6	2,1	2,8	1,4	1,3	1,2	0,1	–1,9	–3,5	0,9	0,3	–0,2
Németország	1,4	2,1	0,9	2,5	1,7	1,3	1,3	0,0	–2,3	–5,4	1,0	0,7	0,3
Írország	6,1	9,1	5,5	6,0	–1,6	–2	–2,3	–0,9	–5,0	–9,0	2,4	0,0	–2,6
Görögország	1,1	3,8	4,3	4,0	3,1	2,9	2,9	2,5	0,2	–0,9	2,6	0,7	0,1
Spanyolország	1,5	4,4	3,3	3,7	1,3	1,2	1,2	–0,2	–2	–3,2	0,5	–0,2	–1,0
Franciaország	1,2	3,0	1,7	2,2	0,9	0,7	0,7	0,0	–1,8	–3	0,8	0,4	–0,2
Olaszország	1,2	2,0	0,9	1,6	0,0	–0,6	–1,0	0,0	–2,0	–4,4	0,6	0,3	0,1
Ciprus	5,5	4,2	3,3	4,4	3,7	3,6	3,7	2,9	1,1	0,3	3,2	2,0	0,7
Luxemburg	2,6	6,3	4,4	5,2	2,5	1,0	–0,9	1,2	–0,9	–3,0	2,3	1,4	0,1
Málta	5,0	3,4	2,1	3,6	2,4	2,1	1,6	2,0	0,7	–0,9	2,2	1,3	0,2
Hollandia	2,5	3,7	1,6	3,5	2,3	1,9	2,1	0,4	–2	–3,5	0,9	0,2	–0,4
Ausztria	1,8	2,6	2,2	3,1	1,9	1,7	1,8	0,6	–1,2	–4,0	1,3	0,6	–0,1
Portugália	1,6	3,8	0,7	1,9	0,5	0,2	0,0	0,1	–1,6	–3,7	0,7	–0,2	–0,8
Szlovénia	2,0	4,2	4,3	6,8	4,4	4,0	3,5	2,9	0,6	–3,4	3,7	2,3	0,7
Szlovákia	–	2,7	5,9	10,4	7,0	7,1	6,4	4,9	2,7	–2,6	5,5	3,1	0,7
Finnország	1,3	4,6	2,9	4,2	2,4	1,5	0,9	1,3	–1,2	–4,7	2,0	1,2	0,2
Eurozóna	1,5	2,8	1,7	2,7	1,2	0,9	0,8	0,1	–1,9	–4,0	0,9	0,4	–0,1
Bulgária	–2,8	2,0	5,7	6,2	6,5	6,4	6,0	4,5	1,8	–1,6	4,7	2,5	–0,1
Csehország	2,3	1,2	4,6	6,0	4,4	4,2	3,2	3,6	1,7	–2,7	3,9	2,3	0,3
Dánia	2,6	2,4	1,8	1,6	0,7	–0,6	–1,1	0,1	–1	–3,3	0,9	0,6	0,3
Észtország	–	6,6	8,4	6,3	–1,3	–2,4	–3,6	–1,2	–4,7	–10,3	2,0	1,2	–0,8
Lettország	–8,8	6,3	9,0	10,0	–0,8	–2,3	–4,6	–2,7	–6,9	–13,1	1,0	–2,4	–3,2
Litvánia	–8,4	5,0	8,0	8,9	3,8	3,4	3,0	0,0	–4	–11	–1,1	–2,6	–4,7
Magyarország	0,6	4,6	4,3	1,1	1,7	0,9	0,5	0,7	–1,6	–6,3	1,8	1,0	–0,3
Lengyelország	4,9	4,4	4,1	6,6	5,4	5,0	4,8	3,8	2,0	–1,4	4,2	2,4	0,8
Románia	1,4	–0,9	6,2	6,2	8,5	7,8	7,1	4,7	1,8	–4,0	5,0	2,5	0,0
Svédország	1,2	3,3	3,2	2,6	1,0	0,5	–0,2	–0,2	–1,4	–4,0	1,6	1,2	0,8
Egyesült Királyság	2,5	3,4	2,5	3,0	0,9	0,7	0,7	–1,0	–2,8	–3,8	0,4	0,2	0,1
EU	1,4	2,9	2,0	2,9	1,4	1,0	0,9	0,2	–1,8	–4,0	1,1	0,5	–0,1
USA	3,3	3,5	2,7	2,0	1,5	1,2	1,1	–0,5	–1,6	–2,9	1,0	1,7	0,9
Japán	1,4	0,5	1,7	2,4	0,4	–0,1	–0,7	–0,4	–2,4	–5,3	0,6	–0,2	0,1

Megjegyzés: 2008., 2009. és 2010. évben külön oszlopokban szerepelnek a friss (2009. ápr.), valamint a 2008. októberi és a 2009. januári közbesző jelentésekben található adatok

7. táblázat: Az IMF World Economic Outlook rövid távú, a GDP változására vonatkozó előrebecslésének néhány részlete (2009. július 8) (IMF, 2009)

Ország	Tény		Becslés		Eltérés a 2009. áprilisi WEO-előrebecsléshez viszonyítva	
	2007	2008	2009	2010	2009	2010
Eurozóna	2,7	0,8	–4,8	–0,3	–0,6	0,1
Közép- és Kelet-Európa	5,4	3	–5	1	–1,3	0,2
FÁK	8,6	5,5	–5,8	2	–0,7	0,8
Oroszország	8,1	5,6	–6,5	1,5	–0,5	1
FÁK, Oroszország nélkül	9,8	5,4	–3,9	3,2	–1	0,1
Közel-Kelet	6,3	5,2	2	3,7	–0,5	0,2

8. táblázat: Az egyes határszakaszokon várható nemzetközi forgalom becsült évi átlagos növekedési üteme (%) az egyes időszakokban, jármű-kategóriánként (kiinduló viszonyítási év: 2007)

Fejlesztési ütem	Időszak				
	2007–2010	2011–2020	2021–2030	2031–2040	2041–2050
	Reális	Optimista	Optimista	Optimista	Optimista
MAGYAR–OSZTRÁK HATÁRSZAKASZ					
J1	–2,01	4,14	3,14	2,56	1,82
J2	–1,91	4,34	3,34	2,66	1,82
J3	–1,91	4,94	3,64	2,76	1,92
J4	–1,81	5,14	3,84	2,86	2,02
MAGYAR–SZLOVÁK HATÁRSZAKASZ					
J1	–0,6	3,84	2,74	1,54	1,26
J2	–0,5	4,04	2,94	1,64	1,26
J3	–0,5	4,64	3,24	1,74	1,36
J4	–0,4	4,84	3,44	1,84	1,46
MAGYAR–SZLOVÉN HATÁRSZAKASZ					
J1	–0,6	3,24	2,5	1,62	1,46
J2	–0,5	3,44	2,7	1,72	1,46
J3	–0,5	4,04	3	1,82	1,56
J4	–0,4	4,24	3,2	1,92	1,66
MAGYAR–ROMÁN HATÁRSZAKASZ					
J1	–0,68	3,64	2,7	1,62	1,38
J2	–0,58	3,84	2,9	1,72	1,38
J3	–0,58	4,44	3,2	1,82	1,48
J4	–0,48	4,64	3,4	1,92	1,58
MAGYAR–UKRÁN HATÁRSZAKASZ					
J1	–2,01	4,14	3,14	2,56	1,82
J2	–1,91	4,34	3,34	2,66	1,82
J3	–1,91	4,94	3,64	2,76	1,92
J4	–1,81	5,14	3,84	2,86	2,02
MAGYAR–HORVÁT HATÁRSZAKASZ					
J1	–0,68	3,64	2,7	1,62	1,38
J2	–0,58	3,84	2,9	1,72	1,38
J3	–0,58	4,44	3,2	1,82	1,48
J4	–0,48	4,64	3,4	1,92	1,58
MAGYAR–SZERB HATÁRSZAKASZ					
J1	–0,68	3,64	2,7	1,62	1,38
J2	–0,58	3,84	2,9	1,72	1,38
J3	–0,58	4,44	3,2	1,82	1,48
J4	–0,48	4,64	3,4	1,92	1,58

(forgatókönyvön) alapuló forgalomnagysági ütemek számításba vételét javasoltuk a magyar úthálózatot igénybe vevő nemzetközi forgalom hosszú távú alakulásának előrebecsléséhez.

IRODALOM

- [1] D. Bjørnland – 2002: *Pan-European border crossing transport*. In: Key issues for transport beyond 2000. 15th International Symposium on Theory and Practice in Transport Economics, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, 7th–9th June 2000. Published by ECMT, Paris, 2002. (pp. 31–60)
- [2] Economic Intelligence Unit (EIU) – 2009: *Country Forecast – Russia* 22. May, 2009., *Country Forecast – Ukraine*. 21. July 2009.
- [3] European Commission (EC) – 2009/a: Directorate-General for Economic and Financial Affairs: *Interim Forecast*. Bruxelles, 19. January 2009; p. 52.
- [4] European Commission (EC) – 2009/b: Directorate-General for Economic and Financial Affairs: *Economic Forecast*, Spring 2009. Bruxelles, March 2009; p. 176.
- [5] European Commission (EC) – 2006: Directorate-General for Economic and Financial Affairs (G. Carone, C. Denis, K. Mc Morrow, G. Mourre, and W. Röger): *Long-term labour productivity and GDP projections for the EU25 Member States: a production function framework*. Economic Papers No. 253., June 2006 / MPRA Paper No. 744. München, August 2006; p. 93.
- [6] Eurostat – 2009: http://ec.europa.eu/transport/publications/statistics/statistics_en.htm

- [7] M. Gaspard – 1998: *Analyse des évolutions des trafics ferroviaires et routiers et projections à l'horizon 2010 dans les pays d'Europe centrale en voie d'accession à l'UE*. Séminaire „Scénarios et méthodes d'évaluation dans les pays en voie d'accession à l'Union européenne”. Barbizon, 23–25 Novembre 1998.
- [8] International Monetary Fund (IMF) – 2009: *World Economic Outlook Update*. Washington D.C. July 8. 2009; p. 8.
- [9] Magyar Nemzeti Bank (MNB) – 2009: *Jelentés az infláció alakulásáról*. Budapest, 2009. máj; p. 71.
- [10] OECD – 2007: *Decoupling the environmental impacts of transport from economic growth*. p.114., http://books.google.hu/books?id=zRjhratSCzIC&dq=Decoupling+the+environmental+impacts+of+transport+from+economic+growth&printsec=frontcover&source=bn&hl=hu&ei=1DXTSr7vKcaPsA-as5YzKBA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CBgQ6AEwAw#v=onepage&q=&f=false
- [11] The World Bank (WB) – 2009: *EU10 Regular Economic Report* (Main Report: Bottoming out?), Washington D.C. May 2009; p. 61.
- [12] Trafficon Kft. – 2003: *A nemzetközi közúti forgalom várható növekedése* (in: Bauconsult Kft.: „Az M5 autópálya forgalmi előrebecslése és díjbevételi prognózisai” c. kutatási jelentés, 3.2. fejezet). Győr, 2003. február; 11 old.

SUMMARY

FORECASTING INTERNATIONAL TRAFFIC ON THE HUNGARIAN ROAD NETWORK

In compliance with EU legislation prescribing implementation of electronic toll collection from 2012, preparatory studies were carried out in Hungary, aiming to forecast international traffic by border sections and vehicle categories, for 2010–2050. A forecast of similar kind has been carried out already in 2003, but it was repeated in 2009, applying an updated methodology. The forecast traffic volumes were calculated for each vehicle category and border section with elasticity parameters, using expected yearly average growth of GDP/capita values as a base. Due to the current worldwide economic crisis, the period 2007–2010 was studied separately. The estimated economic growth of Hungary and each neighbouring country was taken into account using 0.4–0.4 weight factors, respectively, while 0.2 weight was attributed to the group of countries lying farther away. The yearly average traffic growth rates were gradually and steadily reduced for the coming decades. The methodology and results of the international traffic forecast are presented in the paper.

CSOMÓPONTOK BIZTONSÁGI ÉRTÉKELÉSE

SCORING INTERSECTION SAFETY

ANN H. DO, DANIEL CARTER, CHARLES ZEGER AND WILLIAM HUNTER

PUBLIC ROADS, VOL. 71, NO. 5, MARCH/APR 2008, [HTTP://WWW.TFHRC.GOV/PUBRDS/08MAR/02.HTM](http://www.tfhrc.gov/pubrds/08MAR/02.HTM)

A csomópontokban a kerékpárosok és a gyalogosok biztonságát növelheti az új értékelési módszerek bevezetése. Az USA-ban 2006-ban 4784 gyalogos és 773 kerékpáros vesztette életét közúti balesetben. A gyalogosok halálos baleseteinek negyede és a kerékpáros halálos balesetek harmada csomópontokban történt. A Szövetségi Útügyi Hivatal a ma már általános közúti biztonsági audit mellett irányelveket adott ki a gyalogos- és kerékpáros-közlekedés biztonsági auditjához, valamint megjelentette a javasolt intézkedések gyűjteményét. Két új biztonsági mutatószám bevezetését javasolják: a csomóponti gyalogosbiztonsági indexet és a csomóponti kerékpáros-biztonsági indexet. Ezek az indexek nem a csomópont egészét, hanem az egyes keresztezéseket és megközelítéseket értékelik, ezáltal prioritási listák állíthatók fel a szükséges beavatkozásokról. Az indexeket az USA több államában megvizsgált 68 gyalogoskeresztezés és 67 kerékpáros-megközelítés elemzésével fejlesztették ki. A gyalogos index értéke

függ az elsőbbségadás szabályozásától, a jelzőlámpás forgalomirányítás meglététől, a keresztezett forgalmi sávok számától, a járművek sebességétől, a járműforgalom nagyságától és a beépítés jellegétől. A kerékpáros index három részből tevődik össze, melyek az egyenesen haladó, a balra és a jobbra kanyarodó mozgásokat értékelik. A figyelembe vett változók között a járműforgalom nagysága, a járművek megengedett sebessége, a beforduló járművek jelenléte, a forgalmi sávok száma, a forgalomirányítás módja és a szegély menti parkolás szerepel. A biztonsági indexek értéke 1 és 6 között változik, ahol az 1 a legkedvezőbb, a 6 a legveszélyesebb helyzetet jellemzi, azonban nem maga az érték a lényeges, hanem a soroláshoz az egymáshoz viszonyítás, melynek segítségével a legveszélyesebb helyeken a leghatékonyabban lehet beavatkozni.

G. A.

JAVASLATOK AUTÓPÁLYÁK ÚJ FORGALMI TELJESÍTŐKÉPESSÉGI ÉRTÉKEIRE

DR. FI ISTVÁN¹ – GALUSKA JÁNOS²

1. A FORGALOMLEFOLYÁS VIZSGÁLATA

1.1. MÉRÉSI HELYSZÍNEK

A hazai autópályák folyópályaszakaszainak kapacitására forgalom-számláló és sebességmérő detektorok adatainak elemzéséből következtethetünk. Szerencsés, ha olyan mérőhelyeket választunk, amelyeknél előfordulhat a kapacitás kimerülése vagy a forgalom-nagyságnak a kapacitáshatár közelébe történő emelkedése.

Fentieknek megfelelően az alábbi hazai autópályák és az M0 autópályát detektorainak adatait használtuk fel (1. táblázat). Az adatok egy része a Marabu (MAnagement of TRAffic Around BUdapest) M0 forgalomirányító rendszeréből származik. E rendszer alkalmas a csomóponti forgalmak online nyomon követésére, emellett archiv adatokat is szolgáltat a forgalomnagyságra és az átlagsebességre vonatkozóan. Az M0 autópálya Duna-hídján, illetve az M1 és az M3 autópályákon további egy-egy helyen pedig Raktel típusú forgalom-számláló állomás található, amelynek adatai szintén felhasználásra kerültek.

Egy kivétellel minden esetben a teljes keresztmetszet mérése történik, azaz 2x2 forgalmi sávról álltak rendelkezésre az adatok. Az M1 autópálya M0–M1 csomópont bal pályájának detektora azonban nem szolgáltatott adatokat.

1.1.1. A mérések időtartama

A mérések használható időintervalluma a megszerezhető adatmennyiség függvényében változott:

- az M0 autópályát Duna-hídján a teljes 2007. évi mérés;
- a Marabu forgalomirányító rendszerből háromhavi mérés: 2007. szeptember, 2008. március és 2008. április;
- Az M1 és az M3 autópálya Raktel mérőhelyein 2007. január 1. és 2007. május 6. között álltak rendelkezésre a mérési adatok

1.2. A MÉRÉSEK ALAPADATAI, FELDOLGOZÁSUK

A mérési helyszínekről számítógépes fájlok formájában kaptuk meg az adatokat:

- Az M0 autópályát Duna-hídi adatai feldolgozott, óránkénti bontásban MS-Excel formátumban álltak rendelkezésre (járművek száma, járműosztály nélkül és átlagos sebessége).
- A Marabu adatbázis minden egyes detektora percenként rögzíti az elhaladt személygépkocsik, illetve nehéz járművek számát és átlagos sebességét. Minden detektor percenként veszi fel a kapcsolatot a központtal és adja át az adatokat. Így a mérések összegyűjtve, egy formázott text (szöveg-) fájlban álltak rendelkezésre. A fájl egy-egy sora tehát egy detektor egy percnyi mérésének eredményeit tartalmazza.
- Az M1 és az M3 autópálya Raktel berendezése óránként gyűjti össze az áthaladt járműveket, azonban itt a szoftver nem átlagsebességet ad vissza, hanem különböző – előre konfigurált – sebességi kategóriákba sorolja a járműveket. A kapott szövegfájl egy-egy sora az egy óra alatt áthaladt járművek számát tartalmazza, sebességi kategóriánként osztályozva. Az alkalmazott sebességi kategóriák az adatfájlok fejlécéből kiolvashatók. A nehéz járműveket a rendszer külön gyűjti, azok átlagsebességét is kiszámítja.

Mindhárom bemeneti adatfájlt saját számítógépes szoftverrel dolgoztuk fel. A szoftver 5 és 19 óra között (14 óra időtartamban; napi 14 adat) minden órában kiszámította a személygépkocsik és a „nem személygépkocsik” számát, illetve az e két kategóriában elhaladt járművek átlagsebességét. A mért adatok száma a 2. táblázatban található. A mért adatok számbeli eltérésének az az oka, hogy a Marabu rendszer több detektora időszakosan nem továbbított adatokat meghibásodás, üzemzavar miatt a központi adatbázisba.

1. táblázat: Az elemzés során felhasznált adatok

Autópálya, autópályát	Szelvény, km	Helyszín	Mért sávok	Rendszer
M0	15+440	Duna-híd	2x2	Raktel
	~0+000	M0–M1 csp.	2x1	Marabu
	~3+700	M0–M7 csp.	2x2	Marabu
	~18+500	M0–51 101. csp.	2x2	Marabu
	~28+700	M0–M5 csp.	2x1	Marabu
M1	~15+350	M0–M1 csp.	2 (jobb pálya)	Marabu
	20+290	Biatorbágy	2x2	Raktel
M3	28+700	Gödöllő	2x2	Raktel
M5	~16+500	M0–M5 csp.	2x2	Marabu
M7	~15+800	M0–M7 csp.	2x2	Marabu

¹ Egyetemi tanár, BME Út- és Vasútépítési Tanszék; e-mail: fi@uvt.bme.hu

² Beruházási igazgató, NIF Zrt.

2. táblázat: Az elemzés során felhasznált adatok

Autópálya, autót	Szelvény km	Oldal, sáv	Adatok száma	Max. forgalom nagyság, E/h/sáv
M0	15+440	Jobb, haladó	5045	2300
		Bal, haladó	5045	2120
		Jobb, előző	5045	2276
		Bal, előző	5045	2412
	~0+000	Jobb, haladó	823	846
		Bal, haladó	823	683
	~3+700	Jobb, haladó	642	994
		Bal, haladó	640	1250
		Jobb, előző	642	934
		Bal, előző	640	849
	~18+500	Jobb, haladó	905	1554
		Bal, haladó	905	1368
		Jobb, előző	905	1923
		Bal, előző	905	1729
	~28+700	Jobb, haladó	900	1804
		Bal, haladó	900	1763
M1	~15+350	Jobb, haladó	510	836
		Jobb, előző	510	518
	20+290	Jobb, haladó	1590	1426
		Bal, haladó	1590	1340
		Jobb, előző	1590	1874
		Bal, előző	1590	1829
M3	28+700	Jobb, haladó	1764	1503
		Bal, haladó	1764	1602
		Jobb, előző	1764	1973
		Bal, előző	1764	2193
M5	~16+500	Jobb, haladó	900	1060
		Bal, haladó	900	1602
		Jobb, előző	900	1493
		Bal, előző	900	2031
M7	~15+800	Jobb, haladó	423	1620
		Bal, haladó	602	2486
		Jobb, előző	423	2005
		Bal, előző	660	2775

Az M0 autót 15+440 km-szelvényben lévő detektorából kapott adatbázis csupán járműszámot tartalmazott, ezért az egységjárműre történő átszámítást a szomszédos szigetszentmiklósi (51 101. j. út) csomópont adataiból képeztük, hiszen itt óránként rendelkezésre állt a nem személygépkocsik aránya a teljes forgalomhoz képest. Tekintettel arra, hogy az említett csomópont adatai nem álltak az egész évre rendelkezésre, a nehézármű-arányok adatai tökéletesen pontosnak nem tekinthetők, de mindenképpen határozottan értékelhető tendenciát mutatnak.

Az óránkénti mérések egységjárműre történő átszámításához az egyenérték-tényezőt nem személygépkocsikra 1,5 értékre választottuk (forrás: HCM [1] általános síkvidéki jelleg, ahol az E_T egyenérték-tényező tehergépjárművek és buszok esetén: 1,5)

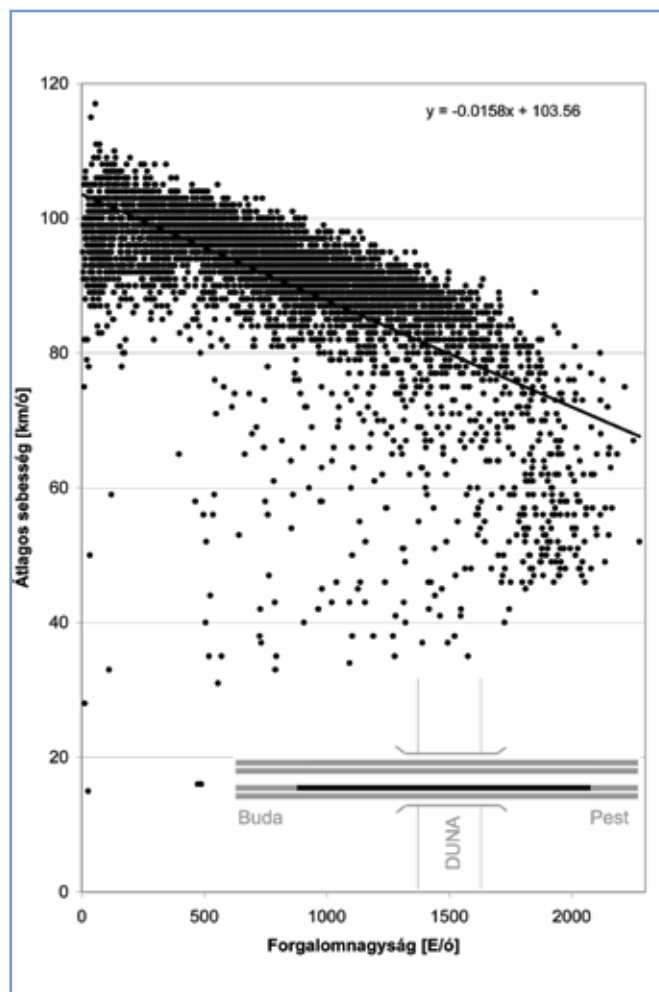
Az általunk kiválasztott, egyéves (2007, M0 híd) mérési adatsor vizsgálatából, amely az 1. és 2. ábrán látható, hogy a forgalomnagyság a maximális mért forgalomnagyságnál több nem lehet, a pontfelhő a sebesség csökkenésével együtt „visszafordul”.

Az M0 autót előzősávjaiban ez maximális forgalomnagyság közeli állapotot jelez, ami ezekben az esetekben 2300–2400 E/h körül alakul.

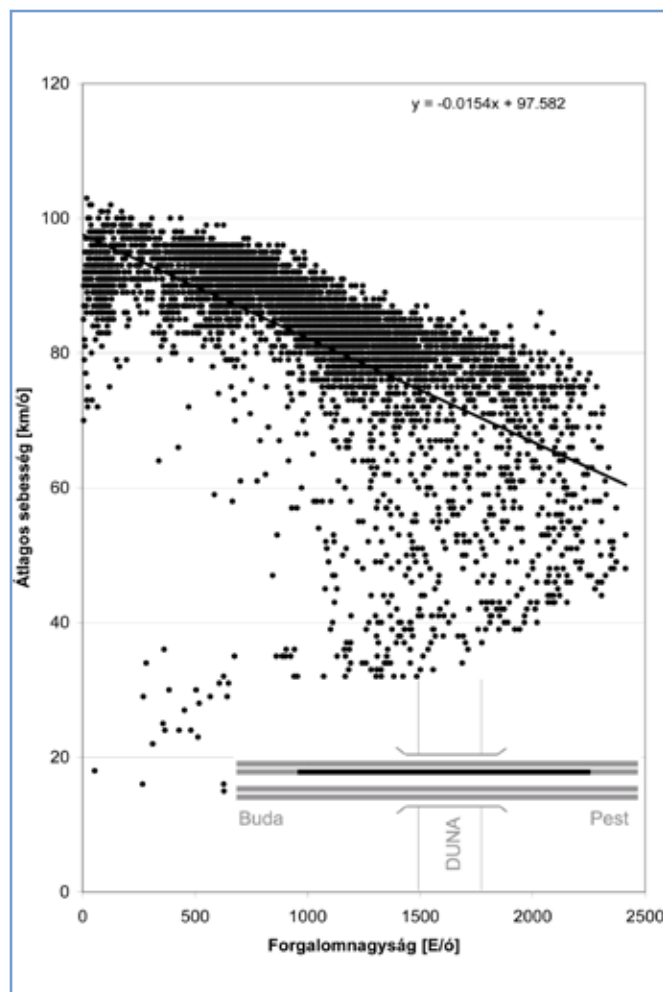
Az M0 híd mérési adatsora további elemzésénél a két haladósáv forgalmát az 3. és 4. ábrában tüntettük fel, nyilvánvalóvá vált, hogy az autópályasávok mértékadó forgalmi a szűknek mondható 3,5 m-es sáv szélesség mellett 2300–2400 E/h körüliek (a HCM 2000-ben [1] a sáv szélesség szerepe nem domináns).

Az autópályák, autótak előző- és haladósávjainak forgalomnagyság–sebesség pontjaira regressziós egyeneseket illesztünk, melyeknek az egyenletei a 3. táblázatban, az egyenesek grafikus ábrázolásai pedig az 5.–8. ábrákon láthatóak.

Az M0 autót előzősávjaiban (5. ábra) – annak ellenére, hogy a szakaszon 80 km/h sebességkorlátozás van érvényben – a szabad áramlási sebesség 100 km/h körül alakul, amely érték a forgalom növekedésével csökken. A legnagyobb csökkenés az M7 csomó-



1. ábra: Az M0 autópályát jobb előzősávjának sebesség–forgalomnagyság összefüggése



2. ábra: Az M0 autópályát bal előzősávjának sebesség–forgalomnagyság összefüggése

pontban a jobb pályán tapasztalható, ennek oka az M7 autópályáról direkt ágon becsatlakozó forgalom zavaró hatása.

Az M0 autópályát haladásásvaiban (6. ábra) a szabad áramlási sebesség 80 km/h körüli. A sebességnek a forgalom növekedésével csökkenő tendenciája itt is megfigyelhető, azonban ez a csökkenés jóval kisebb mértékű, mint az előzősávokban. Ennek az oka az, hogy az autópályát sávjai keskenyek, egy bizonyos sebesség és a nehéz forgalom igen jelentős arányának együttes fellépése esetén a járművezetők óvatosabbá válnak. Az M0–M5 csomópontban mért két egyenes a többinél lejjebb helyezkedik el, de miután ez az M0 autópályát végcsomópontja, így nem összehasonlítható a többi esettel, hiszen a „folyópályát” szakaszok féldirekt és indirekt ágakban végződnek, így a járművezetők itt lassítanak, illetve gyorsítanak.

Az autópályák előzősávjáiban (7. ábra) a szabad sebesség 120 (± 5) km/h körül alakul, amely minden autópályánál $\sim 0,010$ értékkel lineárisan csökken. Ez alól az M7 autópályát bal pályája kivétel: esésben halad, ennek megfelelően szabad sebessége nagy (150 km/h), de ez az érték a forgalomnagysággal meglehetősen meredeken változik, és mintegy 2000 E/h forgalomnagyságnál meg is közelíti a többi autópályásáv sebességét.

Az autópályák haladásásvaiban (8. ábra) tapasztalható összefüggések 100–110 km/h szabad sebességet mutatnak. Az egyenesek meredeksége is 0,004–0,010 között változik. Nagyobb eltérést

ettől a tendenciától az M1 autópályát biatorbágyi mérőhelyének jobb pályája mutatott.

2. JAVASLATOK AUTÓPÁLYÁK ÉS AUTÓPÁLYA-CSOMÓPONTOK ÚJ KAPACITÁSERTÉKEIRE

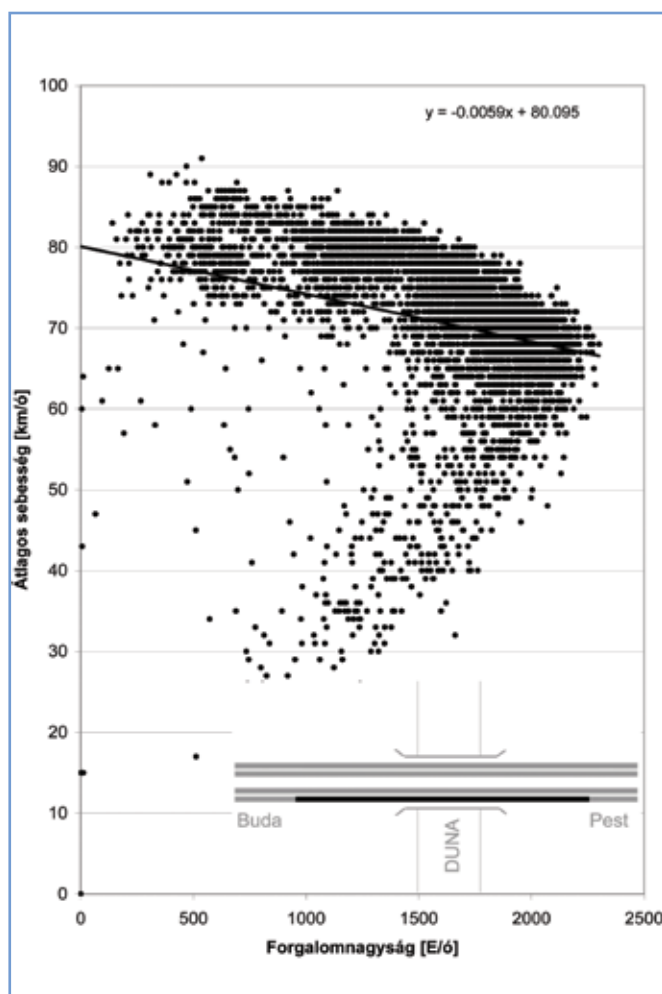
2.1. UTAK FOLYÓPÁLYÁINAK KAPACITÁSA A MAGYAR ELŐÍRÁSOK SZERINT

A korábbi és a jelenleg hatályos Közutak tervezése ÚT 2-1.201:2008 [2], [3] előírás szerint a hazai forgalmi tervezésnél csak két, a megfelelő és az eltűrhető szolgáltatási szintet lehet figyelembe venni. Az ezekhez tartozó megengedett forgalomnagyság határértékeit – szintbeli csomópontok nélküli folyópályaszakaszokra, valamennyi külterületi úttípusra – a 4. táblázat tartalmazza.

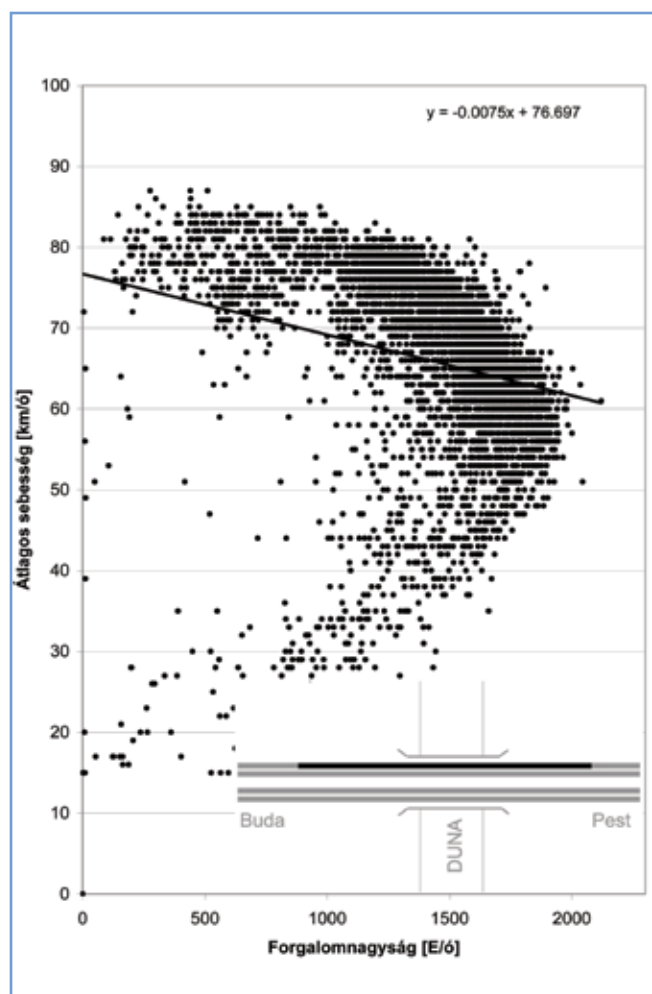
2.2. A HCM 2000 KAPACITÁSRA VONATKOZÓ MEGÁLLAPÍTÁSAI

A forgalomtechnikai területen mértékadónak tekintett HCM [1] öt A – E szolgáltatási szintet definiál. Az A – D szolgáltatási szintekhez tartozó sűrűségértékek gyorsforgalmú úti folyópályaelemekre a HCM 2000 szerint az 5. táblázat szerinti. Az E szolgáltatási szinthez tartozó sűrűségértékek a 6. táblázat szerint alakulnak.

Az A – D szolgáltatási szintekhez tartozó legnagyobb sűrűségértékek



3. ábra: Az M0 autópályát jobb haladósávjának sebesség–forgalomnagyság összefüggése



4. ábra: Az M0 autópályát bal haladósávjának sebesség–forgalomnagyság összefüggése

szakmai ítéleten alapulnak, az E szolgáltatási szinthez tartozó értékek viszont nem. Ezen legnagyobb sűrűségértékek az kiépítettségétől függően különböző szabad áramlási sebességek mellett jönnek létre. A hatodik, F-fel jelölt szint elérésekor a forgalom torlódás miatt összefüggő sorba rendeződik, áll vagy hullámozó mozgást végez, a sűrűség értéke pedig igen tág határok között változik. A HCM [1] a 9. ábrán szerint grafikusán is definiálja a szolgáltatási szinteket. A HCM [1] ábrája megadja a különböző tervezési sebességszintekhez tartozó minimális vonalvezetési paraméterekkel megvalósított létesítményeken az elérhető forgalmi teljesítményeket. Ezen minimális paraméterekben különböző vonalvezetések hatását a forgalomlefolyságra a négyféle szabad áramlási sebességgel jellemzi a kézikönyv.

2.2.1. A szabad áramlási sebesség

A szabad áramlási sebesség meghatározására szolgáló összefüggés lényege, hogy egy alap szabad áramlási sebesség értékéből (100 km/h autópályánál) különböző csökkentő tényezőktől függő tagokat kell kivonni. Ezek a csökkentő tényezők:

- a sávszélesség méretétől
- a szabad oldaltávolság méretétől
- a középső elválasztás módjától, illetve
- a felhajtók sűrűségétől függenek.

A 9. ábrában megjelenített szolgáltatási szintek kritériumait (maximális sűrűség, átlagsebesség, a forgalom és kapacitás hányadosa, a szolgáltatási szinthez tartozó maximális forgalom) a 7. táblázat foglalja össze.

Az egyes szolgáltatási szintekhez tartozó legnagyobb sávonkénti forgalomnagyság:

$$F_{\max i} = K \times (F/K)_i$$

ahol:

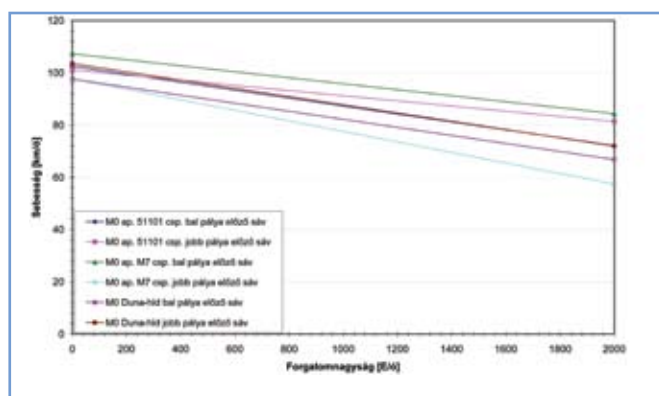
- $F_{\max i}$ – az „i” szolgáltatási szinthez tartozó legnagyobb sávonkénti forgalomnagyság, E/h/sáv;
- $(F/K)_i$ – az „i” szolgáltatási szinthez tartozó maximális forgalom/kapacitás aránya;
- K – 2200 E/h/sáv.

A HCM szerinti kapacitászámítás alkalmas az ideális vonalvezetési körülmények melletti forgalmi teljesítmény átszámítására aktuális körülmények mellett teljesíthető forgalomnagyságra. Az átszámítás képlete

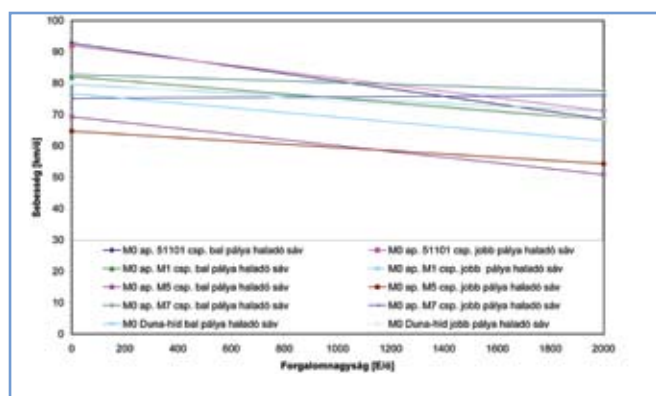
$$F_i = F_{\max i} \times w_{15} \times N \times f_{TG} \times f_t$$

ahol:

- F_i – az „i” szolgáltatási szinthez tartozó forgalomnagyság, a fennálló forgalmi- és útviszonyok mellett, N sávra, egy irányban, J/h;
- $F_{\max i}$ – az „i” szolgáltatási szinthez tartozó legnagyobb sávonkénti forgalomnagyság, E/h/sáv;
- w_{15} – csúcsnegyedóra tényező;
- N – egy irány sávszáma a gyorsforgalmú úton;
- f_{TG} – a nehéz járműveket figyelembe vevő tényező;
- f_t – a turistákat és a területet nem ismerőket figyelembe vevő tényező.



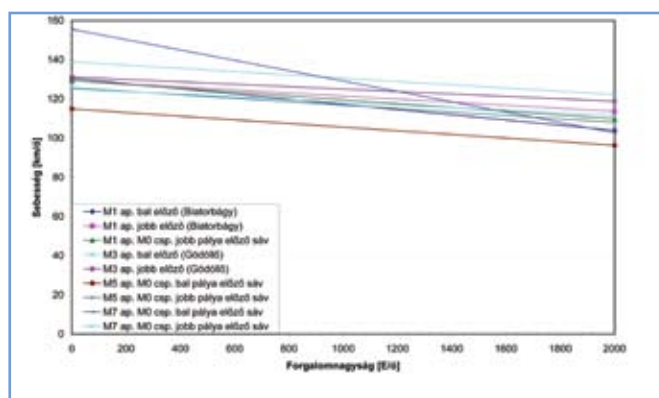
5. ábra: Sebesség–forgalom nagyság összefüggések az M0 autópályán az előzősávjaiban



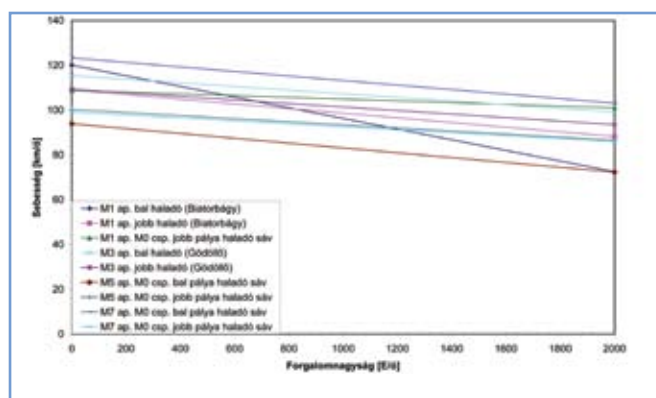
6. ábra: Sebesség–forgalom nagyság összefüggések az M0 autópályán a haladó sávjaiban

3. táblázat: a_1 , a_0 konstansok az autópályák folyópályasávjaiba

Autópálya, autópály	Szelvény km	Oldal, sáv	Csúcsóra forgalma, E/h	Regressziós egyenes egyenlete
M0	15+440	Jobb, haladó	2300	$S = -0,0059 \times F + 80,1$
		Bal, haladó	2120	$S = -0,0075 \times F + 76,7$
		Jobb, előző	2276	$S = -0,0158 \times F + 103,6$
		Bal, előző	2412	$S = -0,0154 \times F + 97,6$
	~0+000	Jobb, haladó	846	$S = -0,0042 \times F + 79,5$
		Bal, haladó	683	$S = -0,0069 \times F + 82,1$
	~3+700	Jobb, haladó	994	$S = 0,0005 \times F + 75,2$
		Bal, haladó	1250	$S = -0,0026 \times F + 82,8$
		Jobb, előző	934	$S = -0,0202 \times F + 97,8$
		Bal, előző	849	$S = -0,0115 \times F + 107,3$
	~18+500	Jobb, haladó	1554	$S = -0,0104 \times F + 92,0$
		Bal, haladó	1368	$S = -0,0121 \times F + 92,8$
		Jobb, előző	1923	$S = -0,0099 \times F + 101,2$
		Bal, előző	1729	$S = -0,0152 \times F + 102,5$
	~28+700	Jobb, haladó	1804	$S = -0,0052 \times F + 64,7$
		Bal, haladó	1763	$S = -0,0092 \times F + 69,3$
M1	~15+350	Jobb, haladó	836	$S = -0,0039 \times F + 108,9$
		jobb előző	518	$S = -0,0098 \times F + 129,4$
	20+290	Jobb, haladó	1426	$S = -0,0104 \times F + 109,1$
		Bal, haladó	1340	$S = -0,0238 \times F + 120,1$
		Jobb, előző	1874	$S = -0,0078 \times F + 129,3$
M3	28+700	Bal, előző	1829	$S = -0,0133 \times F + 130,6$
		jobb haladó	1503	$S = -0,0079 \times F + 109,3$
		Bal, haladó	1602	$S = -0,0081 \times F + 115,4$
		Jobb, előző	1973	$S = -0,0062 \times F + 131,3$
M5	~16+500	Bal, előző	2193	$S = -0,0084 \times F + 139,0$
		Jobb, haladó	1060	$S = -0,0069 \times F + 100,4$
		Bal, haladó	1602	$S = -0,0108 \times F + 93,9$
		Jobb, előző	1493	$S = -0,0088 \times F + 125,7$
M7	~15+800	Bal, előző	2031	$S = -0,0093 \times F + 115,0$
		Jobb, haladó	1620	$S = -0,0068 \times F + 125,1$
		Bal, haladó	2486	$S = -0,0264 \times F + 155,6$
		Jobb, előző	2005	$S = -0,0066 \times F + 99,2$
		Bal, előző	2775	$S = -0,0101 \times F + 123,3$



7. ábra: Sebesség-forgalom nagyság összefüggések az M1, M3, M5 és M7 autópálya előzsávjában



8. ábra: Sebesség-forgalom nagyság összefüggések az M1, M3, M5 és M7 autópálya haladósávjában

4. táblázat: Megengedett forgalom nagyságok folyópályán, az ÚT 2-1.201:2008 szerint

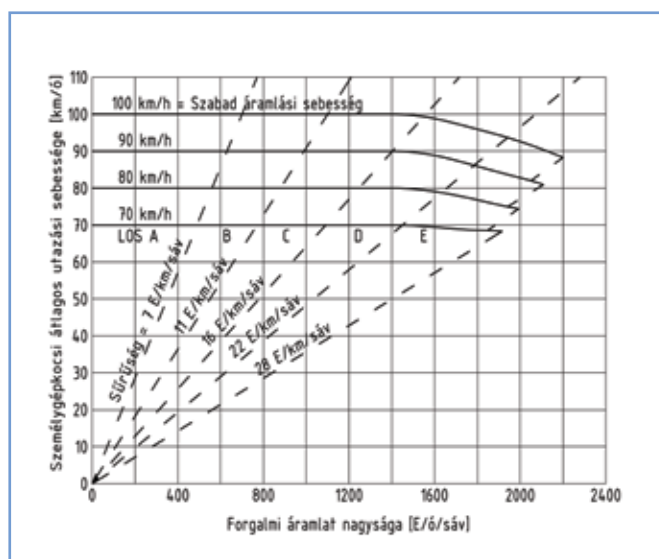
Külterület	Megfelelő (F_m)	Eltérhető (F_e)
	szolgáltatási szinthez tartozó megengedett forgalom nagyság, E/h	
Autópálya forgalmi sávonként	1200	1700
Autóút		
– 2×2 forgalmi sáv forgalmi sávonként	1100	1600
– két forgalmi sáv kétirányú forgalommal összesen	1200	2000
Egy irányban két vagy több forgalmi sávú utak, forgalmi sávonként	1000	1400

5. táblázat: Az egyes szolgáltatási szintekhez tartozó járműsűrűségek

Szolgáltatási szint	Legnagyobb sűrűség E/km/sáv
A	7
B	11
C	16
D	22

6. táblázat: Az „E” szolgáltatási szinthez tartozó járműsűrűségek

Szabad áramlási sebesség km/h	Legnagyobb sűrűség E/km/sáv
100	25
90	26
80	27
70	28



9. ábra: A HCM szerinti szolgáltatási szintek

A magyar szabályozást az amerikai előírásokkal összevetve két alapvető különbséget vehetünk észre:

- az A–E szolgáltatási szintek helyett csak két szolgáltatási szint van: az A–E szolgáltatási szint tervezési, valamint az F_e ún. beavatkozási, amelynél építéssel kell a kapacitást növelni.
- az eltérhető kapacitás értéke jelentősen elmarad a HCM 2200-as értékétől.

Mindemellett megállapítható, hogy az utóbbi időben örömdetesen megszorodtak a közúti szolgáltatási szint kérdéssel foglalkozó publikációk [4]–[9], amelyek közül kiemelkednek dr. Tóth-Szabó [4], valamint dr. Jankó és társai [5] cikkei, amelyekben egyértelműen állást foglalnak az A–E szolgáltatási szint osztályoknak a hazai átvétele mellett. Ezeknek az írásoknak pozitív hatása van a szolgáltatási szinteknek mint a forgalmi körülmények általános jellemzőinek szakmai elfogadottságára, illetve ami ezzel együtt jár, a folyópályaszakaszokon lebonyolódó közúti közlekedés biztonságára.

2.2.2. A csúcsgyedóra -tényező elemzése

A HCM kapacitáselmélete mértékadó forgalomnak a csúcsgyedóra forgalom négyszeresét tekinti. A kapacitásértékek összevethetősége céljából az alábbi elemzéseket végeztük el.

7. táblázat: A szolgáltatási szint kritériumai a HCM 2000 szerint

Szabad áramlási sebesség km/h	Forgalmi jellemzők	Szolgáltatási szint				
		A	B	C	D	E
100	Max. sűrűség ρ , E/km/sáv]	7	11	16	22	25
	Átlagsebesség v , km/h	100,0	100,0	98,4	91,5	88,0
	Max. forgalom/kapacitás $\rho F/K$	0,32	0,50	0,72	0,92	1,00
	Max. forgalom ρF max ρ , E/h/sáv	700	1100	1575	2015	2200
90	Max. sűrűség ρ , E/km/sáv]	7	11	16	22	26
	Átlagsebesség v , km/h	90,0	90,0	89,8	84,7	80,8
	Max. forgalom/kapacitás $\rho F/K$	0,30	0,47	0,68	0,89	1,00
	Max. forgalom ρF max ρ , E/h/sáv	630	990	1435	1860	2100
80	Max. sűrűség ρ , E/km/sáv]	7	11	16	22	27
	Átlagsebesség v , km/h	80,0	80,0	80,0	77,7	74,1
	Max. forgalom/kapacitás $\rho F/K$	0,28	0,44	0,64	0,85	1,00
	Max. forgalom ρF max ρ , E/h/sáv	560	880	1280	1705	2000
70	Max. sűrűség ρ , E/km/sáv]	7	11	16	22	28
	Átlagsebesség v , km/h	70,0	70,0	70,0	69,6	67,9
	Max. forgalom/kapacitás $\rho F/K$	0,26	0,41	0,59	0,81	1,00
	Max. forgalom ρF max ρ , E/h/sáv	490	770	1120	1530	1900

8. táblázat: A csúcsnegyedóra tényező számítása

Detektor jele	Autópálya, autópálya	Csomópont	Oldal	Pálya	Sáv	Max. (E/h) ¹ $V_{\max}$	Csúcsnegyedóra tényező ² V_{15}	Max E/4×negyedóra		Adatok száma óra
								számított ³ $V_{\max,15}$	tényleges ⁴	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
DET0_3L_8	M0	M0–M7	Bal	Főpálya	Haladó	1137	0,93	1232	1308	637
DET0_3L_9			Bal		Előző	772	0,85	941	944	638
DET0_3R_12			Jobb		Haladó	904	0,93	974	974	641
DET0_3R_13			Jobb		Előző	849	0,90	963	1016	641
DET0_9L_16		M0–Szm	Bal		Haladó	1244	0,91	1371	1356	903
DET0_9L_17			Bal		Előző	1572	0,82	2020	1798	904
DET0_9R_47			Jobb		Haladó	1413	0,94	1504	1498	903
DET0_9R_48			Jobb		Előző	1748	0,86	2074	1770	904
DET5_2L_32	M5	M0–M5	Bal		Előző	1846	0,94	1984	1956	900
DET5_2L_33	M5		Bal		Haladó	1457	0,94	1560	1606	900
DET5_2R_53	M5		Jobb		Előző	1357	0,92	1500	1772	900
DET5_2R_54	M5		Jobb		Haladó	964	0,92	1055	1148	900
DET7_3L_35	M7	M0–M7	Bal		Haladó	2260	0,88	2611	2718	542
DET7_3L_36	M7		Bal		Előző	2523	0,91	2803	2882	639
DET7_3R_39	M7		Jobb		Haladó	1473	0,98	1503	1536	423
DET7_3R_40	M7		Jobb		Előző	1823	0,96	1897	1938	417

Megjegyzés:

¹ Az adott keresztmetszetben (sávban) előforduló maximális óraforgalom a vizsgált időtartam alatt;² Az adott keresztmetszetben előforduló ötven legnagyobb csúcsnegyedórájának csúcsnegyedóra tényező átlaga;³ A maximális óraforgalomhoz tartozó elméletileg lehetséges csúcsnegyedóra forgalom négyszerese (G és H oszlop hányadosa);⁴ Az adott keresztmetszetben (sávban) előforduló maximális negyedóra-forgalom négyszerese a vizsgált időtartam alatt;

A csúcsóraforgalom és a csúcsnegyedóra-forgalom négyszerese közötti viszonyszám meghatározására az alábbi módszer áll rendelkezésre:

– a keresztmetszet(ek) forgalma háromhavi mérés alapján, minden negyedóránál, E/h dimenzióban:

$$V_{15,j}$$

– a forgalmakból óraforgalmakat képeztünk (az egy órában található négy negyedóra forgalmának összegzésével):

$$V_j = \sum_{i=1}^4 V_{15,i}$$

– ezen óraforgalmakból kiválasztottuk a maximálisat, amely a vizsgált időszak alatt az útszakaszon tapasztalható volt:

$$V_{\max} = \max(V_j)$$

– a negyedóra-forgalmakat csökkenő sorrendbe állítottuk, majd kiválasztottuk a legnagyobb forgalmú ötven negyedórát;

9. táblázat: A csúcsnegyedóra négyeszerese

Autóút	Oldal, sáv	Max. óra-forgalom	4 × max. negyedóra-forgalom
		E/h	
M0 15+440 km (Duna-híd)	Jobb, haladó	2300	2473
	Bal, haladó	2120	2280
	Jobb, előző	2276	2447
	Bal, előző	2412	2594

- az ötven legnagyobb forgalmú negyedóra esetében az aktuális óra és a negyedóra négyeszeres forgalmának hányadosát képeztük, így ötven „viszonyszámhoz” jutottunk, amely megmutatta, hogy az adott csúcsnegyedóra-forgalom hogyan viszonyul a teljes órához;
- az ötven „viszonyszámot” átlagoltuk, így egy „csúcsnegyedóra tényezőt” kaptunk az ötven legforgalmasabb negyedóra-ra vonatkozóan:

$$w_{15} = \frac{\sum_{i=1}^{50} \frac{V_i}{4 \times V_{15,i}}}{50}$$

- a kapott viszonzszám alkalmas a magyar gyakorlat és a HCM közötti „átváltásra”, vagyis annak meghatározására, hogy a keresztmetszet kapacitása a két különböző mértékegységben hogyan alakul, hogyan viszonyul egymáshoz;
- a kapott „csúcsnegyedóra-tényező” viszonzszám segítségével meghatároztuk a csúcsóra értékhez tartozó lehetséges legnagyobb csúcsnegyedóra négyeszeres értékét.

$$V_{\max,15} = \frac{V_{\max}}{w_{15}}$$

A 8. táblázat a mért keresztmetszetek ily módon meghatározott tényezőit mutatja be. Megállapítható, hogy a w_{15} csúcsnegyedóra-tényező értéke néhány kivétellel 0,93 körül alakul.

- Az M0 autópálya mindkét mért keresztmetszetében az előző-sávokban tapasztalható a w_{15} kicsi értéke. Ennek magyarázata lehet, hogy az előzősávokat a haladósávokban tapasztalható torlódások esetén lökészerűen többen használják, így egy-egy negyedóra-ra, csúcsjelleggel nagyobb lehet a forgalma, mint egyéb esetekben. Ez a hirtelen, nagy csúcs csökkenti a w_{15} értékét.
- Az M7 autópálya mért keresztmetszetében a jobb pályán mindkét sávban a w_{15} értéke meglehetősen közelít az 1-es értékhez. Ennek magyarázata lehet a hosszú emelkedő, amely egyenletessé teszi a járművek haladását. Ellenkező irányban (bal pálya) a pálya esik, itt a w_{15} értéke kissé alacsonyabb az előbb említett 0,93-as értéknél.

Általánosságban, a csúcsnegyedóra-tényező $w_{15}=0,93$ értéke javasolt a csúcsóraforgalom és a csúcsnegyedóra forgalom négyeszerese közötti viszonzszámnak. A 9. táblázat az M0 autóút déli szektor Duna-hídhöz tartozó keresztmetszete adatait tartalmazza. Ebben a keresztmetszetben a legnagyobb a forgalom, itt már kapacitás kimerülés is tapasztalható. Jelen esetben órás forgalmak álltak rendelkezésre, a keresztmetszet minden sávja számára kiválasztottuk az ott tapasztalt maximális óraforgalmat. A w_{15} tényező segítségével ez átszámítható a maximális csúcsnegyedóra-forgalom négyeszeres értékére.

A HCM filozófiáját átvéve egyrészt azt mondhatjuk, hogy a kapacitáshatárként felvehető sávforgalom nagysága: $2200 \times w_{15}$, azaz $2200 \times 0,93 \sim 2050$. Másrészt viszont inkább az javasolható a lebonyolódni képes forgalomnagyságok ismeretében, hogy a HCM 2000 2200 E/h nagyságú sávkapacitás-értékeit használjuk Magyarországon is. Ezeknek, a jelenlegi kapacitásértékeknek több mint 20%-kal magasabb teljesítőképességi értékeknek az ismeretében a hálózatfejlesztés forgalmi szempontból a jelenleginél lényegesen racionálisabban végezhető, így ez a nemzetgazdaság szempontjából is nagy jelentőséggel bír.

IRODALOM

- [1] Highway Capacity Manual, Transportation Research Board National Research Council Washington, D.C. 2000.
- [2] MSZ-07-3713-86 Közutak tervezése 1986.
- [3] Közutak tervezése ÚT 2-1.201:2008.
- [4] Tóth-Szabó Zs.: A közúti szolgáltatási szint értelmezései. Közúti és Mélyépítési Szemle 58. évfolyam, 7. szám.
- [5] Jankó D., Tóth-Szabó Zs., Kovács F., Szénási S.: Közúti szolgáltatási szint meghatározása forgalmi mérések adatai alapján. Közúti és Mélyépítési Szemle 58. évfolyam, 8. szám.
- [6] Chodur, J.: Capacity Models and Parameters for Unsignalised Urban Intersections in Poland, Journal of Transportation Engineering Vol. 131, No. 12, December 2005, pp. 924–930,
- [7] Brilon, W., Geistefeldt, J., Zurlinden, H.: Implementing the Concept of Reliability for Highway Capacity Analysis, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board <http://trb.metapress.com/content/u700713ur834410r/>
- [8] Zegeer, J. D., Blogg, M., Nguyen, K., Vandehey, M.: Default Values for Highway Capacity and Level-of-Service Analyses, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board <http://trb.metapress.com/content/jwp3q53777416281/>
- [9] Luttinen, R. T.: Movement Capacity at Two-Way Stop-Controlled Intersections, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board <http://trb.metapress.com/content/572k784u46044nnl/>

SUMMARY

RECOMMENDATIONS FOR NEW CAPACITY VALUES ON FREEWAYS

The analysis of the traffic volume and speed data collected by loop detectors can give information about the capacities of freeway sections which tend to be overloaded. The results of the measurements on motorways in Hungary were drawn in traffic volume-speed diagrams. The graphs turn back after reaching a certain rate of speed, indicating a traffic volume that is close to the maximum possible volume, which was found about 2300–2400 pcphpl. According to the Hungarian regulations only the tolerable and the eligible LOS is taken into consideration during traffic design, instead of in the whole word used general qualifications of level of services (LOS). The tolerable capacity is significantly lower than the HCM capacity recommendation. On the base of our results the use of the 2200 pcphpl limit can be recommended as the possible maximum traffic volume in Hungary. By this 20% higher capacity value the network development can be more rational, which would be important for the national economy as well.

A BEHAJLÁSI TEKNŐ GEOMETRIÁJA

PRIMUSZ PÉTER¹ – TÓTH CSABA²

1. BEVEZETÉS

Az országos közúthálózaton az utóbbi időben megvalósult és tervezett útburkolat-felújítások tervezési diszpozíciói örvendtes új szakmai elemmel bővültek: „A műszaki átadás-átvételi eljárásra be kell nyújtani a teherbírás és egyenetlenség előírt értékeit bemutató mérési eredményeket.” Másszóval, az átadásra – mérésekkel alátámasztva – bizonylatolni kell a szerződött minőséget, vagyis az egyes (1) teherbírás ill. egyenetlenségi osztályzatot. Így az elkészült burkolat minőségének megítélése és az esetleges nem megfelelés szerződés szerinti szankcionálása – az IRI-értékek mellett – közvetve vagy közvetlenül, a hátralévő élettartam meghatározásán alapul. A hátralévő élettartam meghatározásával kapcsolatban azonban már eddig is merültek fel kritikai észrevételek, ezek súlya értelemszerűen megnő, ha nem pusztán elvi és szakmai vita zajlik, hanem mind a kivitelező, mind a megbízó számára jelentős szerződéses összeg a tét.

Az útburkolatok hátralévő élettartamának meghatározása az egyik legérdekesebb és legnehezebb műszaki feladatok közé tartozik. Az elmúlt hetek, hónapok tapasztalata azonban egyrészt a kiírások pontatlanságaira és hibáira, másrészt a hazai szabályozás fogyatékosságaira is rámutattak. Ezen tapasztalatok mindenképpen indokolják, hogy a lefutott forgalom adatai és a már több évtizedes empirikus összefüggésen alapuló gyakorlat helyett, mielőbb kerüljön kidolgozásra a jelenleginél megbízhatóbb, a pályaszerkezet valós állapotát és anyagi tulajdonságait markánsabban figyelembe vevő eljárás. Ennek érdekében jelen cikk annak vizsgálatára tesz kísérletet, hogy pusztán a behajlási teknő geometriájának egyszerű vizsgálatával milyen megállapítások tehetők a pályaszerkezet jelenlegi állapotára és hátralévő élettartamára.

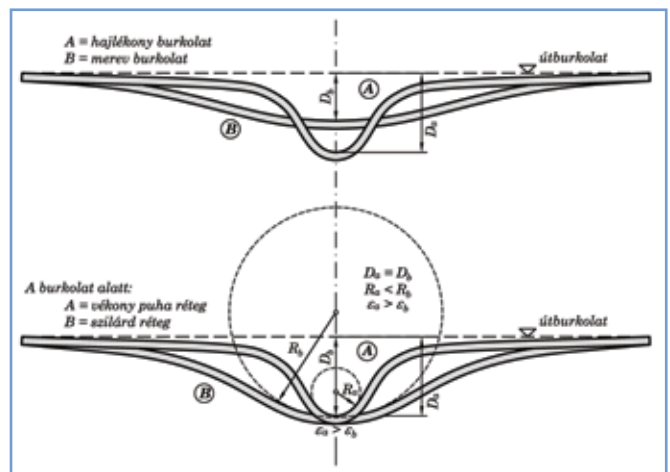
A pályaszerkezet teherbíró képességének megítélésére alkalmas dinamikus eszközök elismertségnek növekedése és az ezzel párhuzamosan a keresztmetszetenként egy ponton történő statikus teherbírás mérési gyakorlat háttérbe szorulása indokolja, hogy részletesebben foglalkozzunk a mért behajlási értékek – behajlási vonal – matematikai leírásával. A behajlási teknő függvényének megadása a mérési eredmények feldolgozásának és kiértékelésének alapfeltétele, s bár számos lehetséges eljárás áll már rendelkezésre, hasznos lehet ezek újragondolása. A behajlási vonal megadása megteremti a lehetőségét, hogy tárgyaljuk annak egyik legegyszerűbb és legrégebb jellemzőjét, a görbületi sugarat, és kísérletet tegyünk egy olyan teknőparaméter levezetésére, amely segítségével feltárás nélkül megbecsülhető a különböző félmerev, hajlékony és a különösen hajlékony pályaszerkezet-típusok hátralévő élettartama.

2. A PÁLYASZERKEZETEK IGÉNYBEVÉTELE

A forgalom alatt lévő pályaszerkezet elsősorban hajlító igénybevételt szenved, a hajlításból származó húzófeszültség nagysága pedig a hajlítás minimális sugarától függ. A klasszikus elmélet szerint a tönkremenetel akkor következik be, amikor az alsó aszfaltréteg fokozatosan csökkenő fáradási szilárdsága már a terhelésekből eredő, ismétlődő húzófeszültségek szintje alá sülly-

lyed. Ekkor alulról felfelé fáradási repedések indulnak, melyek a burkolat felületére érve fokozatosan kialakuló, összefüggő hálós repedéseket, felületi bomlásokat okozva eredményezik az anyag kifáradását, a tönkremenetelt.

Hagyományosan a burkolat hátralévő élettartamát a központi behajlás nagysága alapján határozzuk meg. Pedig a hajlékony pályaszerkezetek a terhelést az alátámasztó földműnek kisebb felületen adják át, mint a merev pályaszerkezetek. Ennek köszönhetően alapesetben a merev és a hajlékony pályaszerkezetek behajlási vonala markánsan különbözik egymástól, amit az 1. ábra felső része szemléltet.



1. ábra: A központi behajlás és a görbületi sugar viszonya (Boromiza Tibor nyomán, 1976)

Sok esetben tapasztalhattuk már, hogy a mért központi behajlás megengedhető értéke ellenére is rövid idő alatt összerepedezett a felület. Ennek oka lehet az, hogy a jó minőségű burkolat és az alatta fekvő rétegek között lecsökkent teherbírási réteg helyezkedik el, aminek hatására a kicsi alakváltozás mellett a görbületi sugar is alacsonyra adódik (Boromiza, 1976). A fárasztási igénybevételnek kitett burkolat pedig ott fog megrepedni, ahol a hajlítás a legnagyobb mértékű. Fontos tehát tudnunk, hogy azonos behajlásértékek eltérő pályaszerkezet-kombinációk mellett is előállhatnak. A példából is látható, hogy a központi behajlás önmagában nem képes egyértelműen eldönteni a burkolat megfelelőségét. Az 1. ábra a fentiek szemléltetését szolgálja.

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy tönkremenetel szempontjából a hajlítás sugara lesz a döntő, nem pedig a behajlás nagysága. Ezért, ha a pályaszerkezetre nézve a kritikus igénybevételt vizsgáljuk, a központi behajlás mérése mellett a hajlított burkolat görbületi sugarát is elemezni kell.

3. A BEHAJLÁSI TEKNŐ MATEMATIKAI LEÍRÁSA

A teherbíró képesség megítéléséhez szükséges behajlásmérés során a terheléstől csak bizonyos távolságokra mérjük meg és

¹ Okl. erdőmérnök, PhD-hallgató, NYME, Geomatikai, Erdőfeltárási és Vizgazdálkodási Intézet; e-mail: primuszp@gmail.com

² Okl. építőmérnök, H-TPA Kft.; e-mail: csaba.toth@tpaqi.com

rögzítjük a kialakult elmozdulásokat. Ez szükségessé teszi, hogy a diszkrét mérési pontokra függvényt illesszünk és így teljes képet kapjunk a kialakult elmozdulásokról. A behajlási teknő alakját leíró függvények alkalmazása azért is célszerű, mert viszonylag egyszerű számításokkal lehetséges azokat a geometria tulajdonságokat meghatározni, amelyek a terhelte pályaszerkezet szempontjából fontosak, mint például a görbület. A gondolat nem új, több kutató is tett már különböző javaslatot valamilyen függvénykapcsolat felállítására.

A legtöbb kutató a Gauss-féle haranggörbe és az ahhoz hasonló alakú modellt alkalmazta (Aversin, Martos, Beyer, Bals stb.), de elterjedtek még az exponenciális, poligon és racionális törtfüggvények is. A téma tárgyalását számos könnyen hozzáférhető publikáció is segíti, amelyek tanulmányozásával széles irodalmi áttekintés nyerhető a témáról (Fazekas, 1978; Hothan-Schäfer, 2004; Jendia, 1995 és Grätz, 1999).

A továbbiakban – a fenti javaslatoktól eltérően az – Agnesi-féle bozorkánygörbe³ módosított változatát mutatjuk be (Schamitzky, 1989). A behajlási teknő alakját a következő függvénnyel közelítjük:

$$D(x) = \frac{D_0 \cdot 3r^2}{(\alpha \cdot x)^\beta + 3r^2} \quad (1)$$

ahol:

D_0 – a terhelte tárcsa alatti maximális behajlás, mm

r – a terhelte tárcsa sugara, mm

α, β – alaktényezők

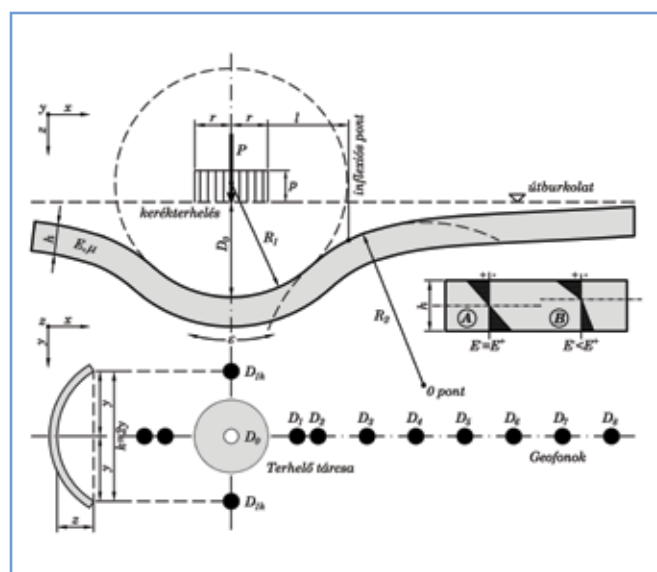
x – a terhelés középpontjától való távolság, mm

A fenti függvényalak nem teljesen ismeretlen a geotechnikában, hiszen a Bendel-féle süllyedésszámítás is alkalmazza azt, a z mélységben fekvő vízszintes metszet feszültségi állapotának leírásához (Széchy, 1957). Külön érdemes még felhívni a figyelmet Cser István munkájára (Cser, 1961), ahol már közvetlenül a kerékterhelés alatt kialakuló deformációk figyelembevételére használja azt fel, talán mindenki mást megelőzően.

A felállított modell a terhelés tengelyében a maximális elmozdulást egyértelműen felveszi, míg a terhelés tengelyétől távolodva fokozatosan tart a nullához. Vagyis a két elméleti peremfeltétel kielégül. A függvény az alaktényezőkön kívül tartalmazza még a terhelte tárcsa sugarát (r) mint paramétert. Ennek megléte pedig több mint az illesztés fokát javító függvénybővítés, hiszen az alkalmazott tárcsa a merevsége és a nagysága függvényében adja át a pályaszerkezetre a külső terhelést, a létrejövő feszültségek pedig közvetlenül befolyásolják a behajlási teknő alakját.

Modellezés szempontjából a legkényesebb pont a $0 \leq x \leq r$ tartomány, vagyis a terhelte tárcsa alatti terület. Ennek alakját rendkívül sok tényező – a tárcsa merevsége, felfekvése, a felület érdessége, a pályaszerkezet típusa, a terhelés módja stb. – befolyásolja, így a behajlási teknő alakja itt a legbizonytalanabb. Ezért a tárcsa alatti elmozdulások leírására a terhelés területén kívül fekvő elmozdulásokból kell kiindulni. Az alkalmazott modell vázlatos felépítését a 2. ábra mutatja.

A továbbiakban a bemutatott modell α és β alaktényezőinek meghatározását mutatjuk be a legkisebb négyzetek módszerével, a mért behajlási teknő adataiból. A számításhoz az (1)-es összefüggést először lineáris alakra kell hoznunk, azaz



2. ábra: Az alkalmazott modell vázlatos felépítése

$$(\alpha \cdot x)^\beta = \frac{D_0 \cdot 3r^2}{D(x)} - 3r^2$$

$$\beta \cdot \log(\alpha) + \beta \cdot \log(x) = \log\left(\frac{D_0 \cdot 3r^2}{D(x)} - 3r^2\right)$$

A fenti formából már látható az egyenes egyenlete, a következő helyettesítéseket hajthatjuk végre:

$$b = \beta \cdot \log(\alpha) \quad \text{és} \quad m = \beta$$

$$x_i = \log(x_i) \quad \text{és} \quad y_i = \log\left(\frac{D_0 \cdot 3r^2}{D(x)} - 3r^2\right)$$

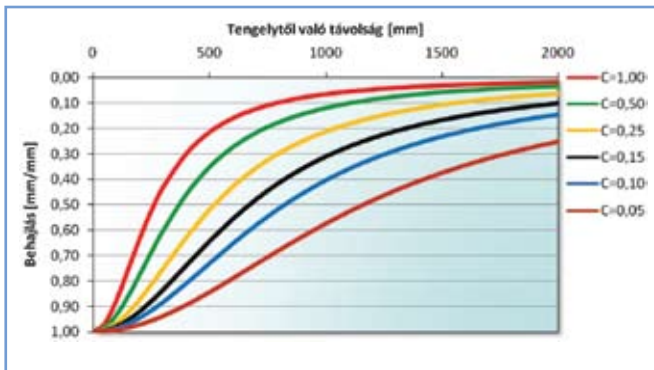
ahol $i = 1, 2, \dots, n$ a szenzortávolságok és a mért behajlásértékek sorszámát jelenti. Behelyettesítve a fenti egyenletbe, kapjuk az $y_i = mx_i + b$ alakú egyenes egyenletét. A regressziószámítás során a tárcsa alatti D_0 behajlásértéket nem vesszük számításba ($i \neq 0$), mivel azon a függvény egyértelműen áthalad.

A felparaméterezett függvény segítségével jól ejtethető ki a mérési hibák és zajok, valamint bármilyen teknőparaméter számíthatóvá válik, mivel a terhelés tengelyétől tetszőleges távolságra becsülhető a behajlás mértéke. Annak ellenére, hogy az így meghatározott függvény igen jól leírja a behajlási teknő alakját, a későbbi számítások és matematikai problémák elkerülésének érdekében célszerű az $\alpha\beta=2$ alaktényező értékét előre rögzíteni és így a

$$D(x) = \frac{D_0 \cdot 3r^2}{c \cdot x^2 + 3r^2} \quad (2)$$

alakú függvényt alkalmazni, ahol c az összevont alaktényező. A c alaktényező meghatározása a már előbb ismertetett módon történhet azzal a különbséggel, hogy az illesztett egyenes meredeksége $m = 2$ formában – kizárólag matematikai megfontolásból – előre rögzített, a tengelymetszet pedig $b = \log(c)$. Itt érdemes megemlítenünk, hogy mivel a meredekség előre rögzített, ezért nem ajánlott az összes szenzor adatát felhasználni a b paraméter becslése során, mivel akkor az illesztett függvény csak egy pontban fogja érinteni a mérési eredményeket, előtte és utána pedig fölé vagy alá fogja becsülni azo-

³ Maria Gaetana Agnesi (Milánó, 1718. május 16. – Milánó, 1799. január 9.) olasz nyelvész, matematikus és filozófus, a Bolognai Egyetem tiszteletbeli tagja.



3. ábra: A behajlási teknő lefutása különféle alaktényező hatására

kat. Ezért helyesebben járunk el, ha a terhelést követő első öt szenzor adatait használjuk csak fel:

$$b = 0,2 \left| \left(\sum_{i=1}^5 y_i \right) - 2 \left(\sum_{i=1}^5 x_i \right) \right|$$

ahol $i = 1, 2, \dots, n$ és $n = 5$, $i \neq 0$

Tapasztalataink szerint az így meghatározott függvény is kielégítő pontosságot biztosít a további számítások számára. A (2) számú függvény rugalmasságát mutatja be a 3. ábra a c alaktényező változásának hatására.

3.1. A BEHAJLÁSI TEKNŐ GÖRBÜLETE

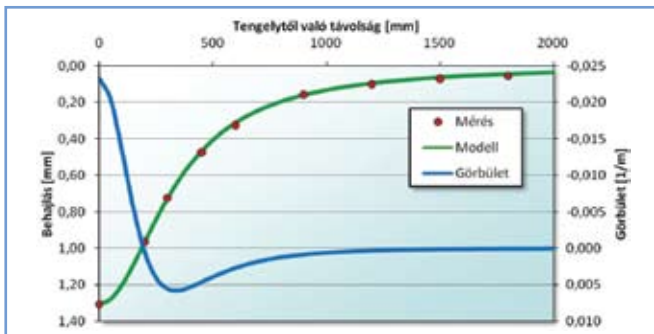
A behajlási teknő alakjának felírása után rátérhetünk a görbületi sugár meghatározására. A $D = D(x)$ függvény tetszőleges pontjához tartozó simuló kör görbületi sugarát az alábbi geometriai összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$\kappa(x) = \frac{1}{R(x)} = \frac{D(x)''}{(1 + (D(x)')^2)^{3/2}}$$

Mivel csak kis alakváltozásokat jöhetnek létre, ezért φ csak kicsi értéket vehet fel, kis szögek tangense pedig jó közelítéssel megegyezik argumentumukkal $D(x)' = \tan(\varphi) \approx \varphi \ll 1$, amelyről feltételezzük, hogy olyan kicsi mennyiség, hogy az egységnél lényegesen kisebb, akkor $\kappa(x) \approx D(x)''$ függvénnyel közelíthetjük a fenti összefüggést:

$$\kappa(x) \approx \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{D_0 \cdot 3r^2}{c \cdot x^2 + 3r^2} \right) = -18 \frac{D_0 \cdot r^2 \cdot c \cdot (-c \cdot x^2 + r^2)}{(c \cdot x^2 + 3r^2)^3}$$

A görbület negatív előjele azt fejezi ki, hogy pozitív hajlítónyomaték esetén a görbületi sugárral jellemzett simuló kör középpontja (0 pont) a rúdtengely $-D$ irányítású oldalára esik. A görbület változását a 4. ábra mutatja be számunkra. A $\kappa(x)$ függvénynek



4. ábra: A behajlási teknő és a görbület változása a terhelés tengelyétől távolodva

az x_0 lokális szélsőértéke van, ha $\kappa'(x_0) = 0$ de $\kappa''(x_0) \neq 0$. Mivel $\kappa'(x_0) = D(x_0)''$ ezért:

$$\kappa'(x_0) = 72 \frac{D_0 \cdot r^2 \cdot c^2 \cdot x_0 \cdot (-c \cdot x_0^2 + 3r^2)}{(c \cdot x_0^2 + 3r^2)^4} = 0$$

Az egyenlet triviális megoldása az $x_0 = 0$, míg a másik megoldásához a $-c \cdot x_0^2 + 3r^2 = 0$ egyenlőség megoldása útján juthatunk:

$$x_0 = \sqrt{\frac{3r^2}{c}} = \sqrt{\frac{3}{c}} r$$

A minimális görbületi sugár $x_1 = 0$ helyen: $R_1(x_1) = -1,5 \frac{r^2}{c \cdot D_0}$

A minimális görbületi sugár $x_2 = \sqrt{\frac{3r^2}{c}}$ helyen: $R_2(x_2) = 6 \frac{r^2}{c \cdot D_0} = -4R_1(x_1)$

Behelyettesítve a minimális görbületi sugár x_2 értékét $D(x)$ alapfüggvénybe, megkapjuk a behajlási teknő x_2 helyen értelmezett függvényértékét:

$$D(x_2) = \frac{1}{2} D_0$$

Az összefüggés szerint a minimális görbületi sugár az $x_1 = 0$, $y_1 = D_0$ valamint az $x_2 = \sqrt{\frac{3}{c}} r$ és az $y_2 = \frac{1}{2} D_0$ az elmozdulásértékek helyén lép fel. A $D(x)$ függvénynek az x_0 helyen inflexiós pontja van, ha $D''(x_0) = 0$, de $D'''(x_0) \neq 0$, és így az eddigiekhez hasonlóan a $-c \cdot x_0^2 + r^2 = 0$ egyenlőség megoldása szükséges:

$$x_0 = \frac{r}{\sqrt{c}}$$

Behelyettesítve az inflexiós pont x_0 értékét $D(x)$ alapfüggvénybe, megkapjuk a behajlási teknő x_0 helyen értelmezett függvényértékét:

$$D(x_0) = \frac{3}{4} D_0$$

Másszóval, az inflexiós pont elhelyezkedése a maximális behajlási érték 75%-ával megegyező elmozdulásnak a középponttól mért távolságával egyezik meg a modell szerint. Az inflexiós pont x_0 és a maximális görbület x_2 értéke között egyértelmű függvénykapcsolat található. A kapcsolat felírásához lineáris összefüggést feltételezve, a ($b = 0$) feltétel mellett a következő egyenlet megoldása szükséges:

$$\sqrt{\frac{3}{c}} r = m \frac{r}{\sqrt{c}}$$

Rendezés és egyszerűsítés során jutunk a $\sqrt{3} = m$ értékhez. Az összefüggés birtokában belátható, hogy a behajlási teknő geometriáját két mérési pont segítségével egyértelműen leírhatjuk. A két kiemelt pont pedig a terhelés középpontja és a teknő inflexiós pontja. Minden más paraméter ezekből már számítható.

Az inflexiós pont és a terhelés tengelye közötti távolságot *merevségi sugárnak* (L) is felfoghatjuk, ami azt jelenti, hogy a külső teher legnagyobb hányada az erőrendszer támadáspontja körül egy L sugarú körben belül adódik át a nem kötött rétegekre. Vagyis a merevségi sugarat a külső erőrendszer hatósugarának is tekinthetjük és az ennek megfelelő kör lapot egyenértékű kör lapnak nevezhetjük. A merevségi sugarat célszerű a terhelt tárcsa sugarával kifejezni:

$$L = l \cdot r = \frac{1}{\sqrt{c}} \cdot r$$

ahol

L – a merevségi sugár, mm

r – a terhelt tárcsa sugara, mm

c – összevont alaktényező

l – erőterjedési tényező vagy merevségi fok

1. táblázat: Teknőparaméterek átlagértékei

Sorszám	α	β	c	D_0 mm	R_1 m	R_2 m	L mm	I	T mm ²
(1)	0,57	1,72	0,06	0,137	-4400	17600	619	4,1	151
(2)	4,06	1,55	0,18	0,318	-682	2729	356	2,4	254
(3)	1,55	1,84	0,52	1,040	-66	264	210	1,4	517
Réteg	Félmerev (1)			Hajlékony (2)			Különösen hajlékony (3)		
1	4 cm AB			1 cm felületi bevonat			2 cm felületi bevonat		
2	1 cm felületi bevonat			2 cm felületi bevonat			5 cm kötőzúzalékos aszfaltmakadám		
3	4 cm KAB			4 cm AB			25 cm makadám		
4	6 cm JU-35			4 cm U-12			–		
5	13 cm beton			35 cm makadám			–		
Összvastagság	28 cm (28 cm)*			46 cm (11 cm)*			32 cm (7-5 cm)*		

*Számításba vehető kötött réteg vastagsága

Mivel a külső erőrendszer hatására létrejövő behajlási teknő területe arányos az erőimpulzus által végzett munkával, ezért levezethetjük a terület (T) indexet is, amit a $D(x)$ függvény integrálása útján kapunk meg:

$$T(x) = \int \frac{D_0 \cdot 3r^2}{c \cdot x^2 + 3r^2} dx = r \cdot D_0 \cdot \arctan\left(\frac{x \cdot \sqrt{3c}}{3r}\right) \sqrt{\frac{3}{c}}$$

ahol

x – a legtávolabbi szenzor távolsága a terhelés tengelyétől, mm

T – a behajlási teknő területe, mm²

A területindexein alap gondolatát még a *Washington Department of Transportation* vezette be azzal a különbséggel, hogy a behajlási teknő területét trapézokkal közelítették meg, valamint az így kapott területet elosztották a tárcsa alatti behajlás nagyságával, vagyis a behajlási teknő területével megegyező téglalap magasságát alkalmazták állapotindexnek. Ennek megfelelően:

$$T_p(x) = \frac{T(x)}{D_0} = r \cdot \arctan\left(\frac{x \cdot \sqrt{3c}}{3r}\right) \sqrt{\frac{3}{c}}$$

A levezetett teknőparaméterek konkrét számértékeit a következő pontban mutatjuk be, három egymástól eltérő merevségi szerkezet esetében.

3.2. TEKNŐPARAMÉTEREK SZÁMÉRTÉKEI

Dr. Boromisza Tibor irányításával az ÁKMI Kht. és a H-TPA Kft. 2005-ben különböző pályaszerkezetű utakon (különösen hajlékony, hajlékony, félmerev) hajtott végre összeméréseket a Benkelman-gerenda, a KUAB Falling Weight Deflectometer (FWD) és a Dynatest FWD nehézejtő súlyos behajlásmérő berendezések között, vizsgálva azok összehasonlíthatóságát. A mérésekre az alábbi útszakaszokon és pályaszerkezeteken került sor:

- Félmerev: (44. sz.) kecskemét – békéscsaba – gyulai főút, 10+000 – 10+180 km sz.
- Hajlékony: (31. sz.) budapest – jászberény – dormándi főút, 30+600 – 30+780 km sz.
- Különösen hajlékony: (51108 sz.) majosházai bekötőtű, 1 km sz. környéke

Az előbbieken ismertetett számításokat az egyes pályaszerkezet-típusokra elvégeztük. A számítások átlagos eredményeit, valamint a pályaszerkezet-típusok felépítéseit az 1. táblázatban

közzöljük. A paraméterek közül az alaktényező (c) értéke jól mutatja be a behajlási teknők közötti alakbéli különbségeket, míg a görbületi sugár (R_1) rendkívül nagy tartományban való mozgása a paraméter érzékenységére hívja fel a figyelmet. A merevségi fok (I) az egyes szerkezetek merevségét számszerűsíti. Ennek megfelelően egy félmerev pályaszerkezet közel kilencszer akkora területet von be az erőjátékba, mint egy különösen hajlékony szerkezet. Az eddigi eredmények azt valószínűsítik, hogy a paraméter segítségével az ismeretlen felépítésű szerkezetek merevségi kategóriába való besorolása válik lehetővé. Természetesen ezt nem szabad összekeverni és azonosítani a teherbírás fogalmával és kategóriáival. A görbületi sugár ismerete további számításokat tesz lehetővé, hiszen a kritikus nyúlások meghatározhatóak közvetlenül a mért behajlási adatokból.

4. A HÁTRALÉVÓ ÉLETTARTAM BECSLÉSE

A két leginkább figyelembe vett méretezési kritérium új burkolatok és megerősítések méretezésénél az aszfalt alsó szálában keletkező megnyúlás és a földmű függőleges összenyomódása.

Az utóbbi kritérium esetén, noha tudjuk, hogy a nem kötött alaprétegben, földműben bekövetkező feszültségek és alakváltozások mértékének is meg kell felelni bizonyos kritériumoknak – elsősorban a maradó alakváltozások kialakulását megelőző –, ennek ellenére az igen csekély mértékben kerül az eljárásokban figyelembevételre. A szemcsés rétegekkel kapcsolatos követelményeket közvetve – pl. szemeloszlásra, tömörségre, víztartalomra stb. vonatkoztatva – írjuk elő és ezen építési feltételek megvalósulását tételezzük fel a méretezés során, ezzel egyszerűsítve a méretezési modellt.

Az aszfaltszerkezetekre vonatkozó kritérium esetében az új szerkezet méretezésekor a megnyúlás már közvetlenül számítható többrétegű mechanikai modellt használó programmal, a rétegvastagság, a Poisson-szám és a rétegek modulusa ismeretében.

Nehezebb a helyzet burkolatmegerősítés méretezése során. Lehetséges eljárás a rétegmodulusok visszaszámolással – backcalculation – történő meghatározása a behajlásmérési adatokból és a méretezés visszavezetése mechanikai modellszámításra, ennek megbízhatósága azonban még vitatott. A másik út a kritikus nyúlások becslése közvetlenül a mért behajlási adatokra támaszkodva. Meg kell viszont jegyeznünk, hogy ezen összefüggések nem

nagyszámú mérőszorozat empirikus kiértékelésére támaszkodnak, hanem a legtöbb esetben különböző mechanikai modellek szimulált lehajlásértékein alapulnak, amelyeket lineáris-elasztikus többrétegű programrendszerrel állítanak elő.

Az utóbbi időben elterjedt és elismert ilyen típusú becslések az ún. SCI-értékekre támaszkodnak. Az eljárás egyik nagy előnye, hogy nem igényli a behajlási teknő felvételét, hiszen csak a terhelés alatt illetve attól 200 ill. 300 mm távolságban mért behajlásértékek különbségét használja. Ez azonban magában hordozza az információvesztés lehetőségét, hiszen különböző D_0 -értékekhez azonos SCI-értékek is tartozhatnak, továbbá a görbületi sugarak, az inflexiós pont távolsága stb. további diagnosztikai szempontból értékes adatokat tartalmazhat, ami indokolja a behajlási vonal meghatározását.

4.1. A KÖTÖTT RÉTEGEKBE KELETKEZŐ IGÉNYBEVÉTELEK BECSLÉSE REGRESSZIÓS MODELLEK ALAPJÁN

Az alsó szálban ébredő megnyúlás becslésének jelentőségét az adja, hogy általa a burkolat hátralévő élettartamára adható prognózis. Az egyik legismertebb képlet a Jansson-féle összefüggés, amelyet az FWD-mérésekkel foglalkozó COST-jelentés is ismertet (COST 336, 1995).

Jansson a hajlékony útpályaszerkezetekre a következő egyenleket dolgozta ki:

$$\varepsilon = 37,4 + 0,988 \cdot D_0 - 0,553 \cdot D_{300} - 0,502 \cdot D_{600}$$

ahol:

$$\begin{aligned} \varepsilon & - \text{ vízszintes megnyúlás az aszfaltréteg alján } (\mu\text{m/m}) \\ D_0, D_{300}, D_{600} & - \text{ behajlás a terhelés centrumától } 0, 300, 600 \text{ mm-re } (\mu\text{m}) \end{aligned}$$

A Delfti Egyetemen évek óta igen intenzív és nemzetközileg elismert munka folyik, melynek célja közvetlen kapcsolat kidolgozása az FWD-vel mért behajlási teknő alakja és az aszfaltra jellemző teljesítménykritériumok, mint pl. a húzófeszültség között. Ezzel kapcsolatban Molenaar és Van Gurp munkássága tartalmaz számos fontos és jelentős eredményt. Van Gurp egy korábbi összefüggése (Van Gurp, 1995) az alábbi:

– Van Gurp (II):

$$\log(\varepsilon) = -1,06755 + 0,56178 \cdot \log(h) + 0,03233 \cdot \log(D_{1800}) + 0,47462 \cdot \log(SCI) + 1,15612 \cdot \log(BDI) - 0,68266 \cdot \log(BCI)$$

ahol:

$$\begin{aligned} \varepsilon & - \text{ vízszintes megnyúlás az aszfaltréteg alján, } \mu\text{m/m} \\ h & - \text{ a kötött réteg vastagsága, mm} \\ D_{1800} & - \text{ behajlás a terhelés centrumától 1800 mm-re, } \mu\text{m} \\ SCI & - \text{ Felület Görbületi Index, a } D_0 \text{ és } D_{300} \text{ lehajlás különbsége, } \mu\text{m} \\ BDI & - \text{ Alap Romlási Index, a } D_{300} \text{ és } D_{600} \text{ lehajlás különbsége, } \mu\text{m} \\ \varepsilon(x) & - \text{ Alap Görbületi Index, a } D_{600} \text{ és } D_{900} \text{ lehajlás különbsége, } \mu\text{m} \end{aligned}$$

Van Gurp később az összefüggést egyszerűsítette (idézi: Molenaar, 2004) az alábbiak szerint:

– Van Gurp (I): $\log(\varepsilon) = 0,481 + 0,881 \cdot \log(SCI)$

Az imént közölt modellek alkalmazása előtt az elemzésnél használt útpályaszerkezetet mindig össze kellene hasonlítani azzal, amelyet a kiválasztott modell felállításánál figyelembe vettek. Erre a legtöbb esetben viszont nincsen lehetőség.

Az „Útburkolatok teljesítményi mérőszámai” tárgyú COST

354-es jelentésben kiemelt hangsúlyt kapott az útburkolatok teherbírási jellemzése (dr. Boromisza et al., 2008). A bizottság számos tanulmány áttekintését követően, túllépve a statikus, kvázi statikus terhelésekből levezetett paramétereken, a teherbíróképesség jellemzésére az SCI-indexet ajánlotta. A hátralévő élettartam meghatározásához szükséges átszámítási függvényként azonban – némiképp talán meglepő módon – nem az aszfalt alsó szálában ébredő megnyúlást, hanem az alap függőleges összenyomódását korlátozó összefüggést használja:

$$\log(\varepsilon_b) = 0,9962 + 0,8548 \cdot \log(SCI)$$

$$\begin{aligned} SCI & - \text{ Felület Görbületi Index, a } D_0 \text{ és } D_{300} \text{ lehajlás különbsége, } \mu\text{m} \\ \varepsilon_b & - \text{ függőleges összenyomódás az alapréteg tetején } 50 \text{ kN terhelőerő és } 300 \text{ mm terhelési átmérő mellett, } \mu\text{m/m} \end{aligned}$$

Az összefüggés szintén a delfti szakmai műhely munkája, és mind félmev, mind hajlékony alap esetén megfogalmaz követkeleményt (Molenaar et al., 2003).

4.2. A KÖTÖTT RÉTEGEKBE KELETKEZŐ IGÉNYBEVÉTELEK BECSLÉSE GÖRBÜLET ALAPJÁN

A kötött réteg alján kialakuló megnyúlások kalkulálhatóak közvetlenül a geometriából is – regressziós modell közbeiktatása nélkül –, ha ismerjük adott pontban a görbületi sugár nagyságát és a kötött réteg vastagságát. Lévé a megnyúlás vagy összenyomódás ε dimenzió nélküli fajlagos alakváltozás, nagysága a h vastagságú pályaszerkezet alján a következő összefüggéssel számítható:

$$\varepsilon(x) = \frac{h}{2R(x)} = \kappa(x) \frac{h}{2}$$

ahol:

$$\begin{aligned} h & - \text{ a kötött réteg vastagsága} \\ \varepsilon(x) & - \text{ a fajlagos alakváltozás a terhelés tengelyétől } x \text{ távolságra} \\ R(x) & - \text{ a görbületi sugár a terhelés tengelyétől } x \text{ távolságra} \\ \kappa(x) & - \text{ a görbület a terhelés tengelyétől } x \text{ távolságra} \end{aligned}$$

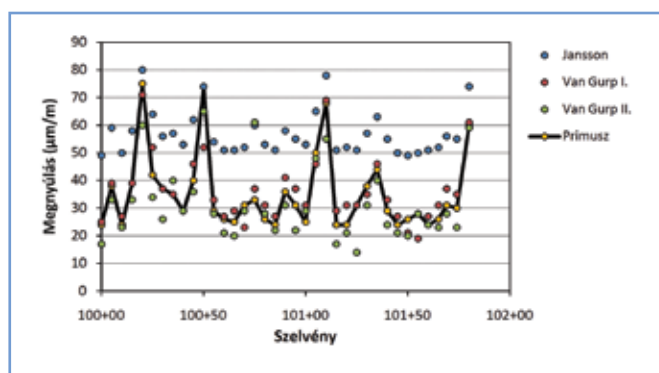
Ha a terhelés hatására a kötött réteg keresztmetszetét állandónak és a semleges szál tengelyére merőlegesnek tételezzük fel, akkor a következő összefüggést írhatjuk fel:

$$\varepsilon(x, z) = \kappa(x) \left(z - \frac{h}{2} \right)$$

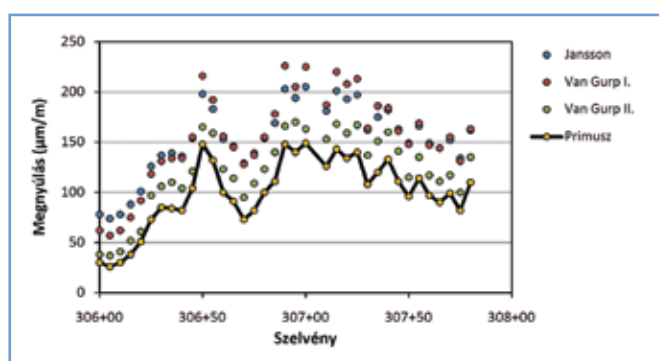
ahol $z=0 \dots h$

A kötött rétegre előírt feltételek csak akkor teljesülnek, ha a Hooke-törvény fennáll és a rugalmassági modulusa nyomásra és húzásra is egyforma ($E^+ = E^-$). Fontos megemlítenünk, hogy például az aszfalt nyomó- és húzószilárdsága nagymértékben függ a hőmérséklettől. A nyomószilárdság alacsony hőmérsékleten a húzószilárdság nyolcszorosa is lehet. Ezért a rugalmassági modulusok is eltérőek húzásra és nyomásra. Ilyenkor nem lehet feltételezni a keresztmetszetek állandóságát, mivel a semleges tengely a nyomott oldal felé tolódik el, amelynek következménye, hogy a feszültség a nyomott oldalon sokkal nagyobb, mint a húzott oldalon. Ennek figyelembevételére egyelőre csak mechanikai számításokból levezetett regressziós modellek állnak rendelkezésre (lásd 5.2 pont), amelyek azonban kiterjeszthetők a görbületi sugárból meghatározott megnyúlásokra is.

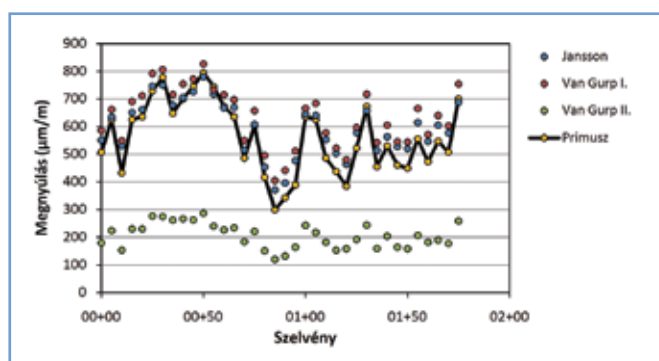
5. A KRITIKUS NYÚLÁSOK MEGHATÁROZÁSA



5. ábra: Félmelev 28 cm kötött réteg (44. sz. kecskemét – békéscsaba – gyulai főút)



6. ábra: Hajlékony 11 cm kötött réteg (31. sz. budapest – jászberény – dormándi főút)



7. ábra: Különösen hajlékony 7 cm kötött réteg (51108.j. majosházai bekötőút)

5.1. NYÚLÁSOK A KÖTÖTT RÉTEG ALSÓ SZÁLÁBAN

A mechanikai és a regressziós modellek segítségével a már bemutatott, három egymástól merőben eltérő pályaszerkezeten számítottuk a keletkező megnyúlásokat a kötött réteg alján. Az eredményeket az 5–6–7. ábráson mutatja be. A megnyúlások nagyságának viszonylag pontos meghatározása azért fontos kérdés, mivel ebből nyílik lehetőség a hátralevő élettartam megbecslésére.

Félmelev pályaszerkezet esetében (5. ábra) igen jó egyezést találhatunk, a Van Gurp I-II és a görbületi sugárból levezetett megnyúlások között. Jansson összefüggése relatív értelemben a változást jól követi le, de abszolút értelemben magasabb értékeket ad.

Hajlékony pályaszerkezet esetében (6. ábra) világosan láthatóvá válik, hogy a megnyúlások mértékének változását mindegyik módszer kiválóan leköveti. Az értékek szinte egymás fölött húzódnak minimális eltolódással.

A különösen hajlékony pályaszerkezet esetében találhatjuk a legjobb egyezést. Itt érdemes felhívni a figyelmet arra, hogy a regressziós modellekkel számított megnyúlások a 10 cm-nél kisebb kötött réteg esetén már nem tekinthetők megbízhatónak. A görbületi sugárból kalkulált megnyúlások szinte teljesen azonosak Jansson és Van Gurp I. eredményeivel, míg Van Gurp II. számú összefüggése mutatja a legnagyobb eltéréseket.

Összefoglalásként azt mondhatjuk, hogy relatív értelemben a módszerek azonos trendet szolgáltatnak, míg abszolút értelemben a különösen hajlékony szerkezetek esetében térnek el egymástól a legnagyobb mértékben. Van Gurp II. számú összefüggése csak félmelev és hajlékony szerkezetek esetében alkalmazható, míg Jansson modellje hajlékony és különösen hajlékony szerkezetek esetén ad kielégítő eredményt. A görbületi sugár és a kötött réteg vastagsága együtt szolgáltatja talán a legmegbízhatóbb eredményeket, fő előnye még, hogy nem tartalmazza a regressziós modellekre jellemző alsó és felső korlátot, valamint további kalkulációkra és más modellekbe való beillesztése is megoldott. A regressziós modellek közül Van Gurp I. számú összefüggése javasolható további felhasználásra.

5.2. MEGNYÚLÁS A KÖTÖTT (ASZFALT) RÉTEG FELSŐ SZÁLÁBAN

Mint arra korábban már utaltunk, a klasszikus fáradási modellek az aszfalt alsó szálában ébredő megnyúlást tekintik kritikusnak és eltekintenek a felületen ébredő igénybevételek figyelembevételétől. Újabb kutatási jelentések azonban árnyalják ezt a kérdést (Molenaar, 2004).

A legtöbb analitikus méretezési eljárás a lineárisan rugalmas többrétegű lemezelméleten alapul. Hosszú ideig az volt az általános gyakorlat, hogy a forgalmi terheket olyan egyenletesen megoszló tehernek tekintették, amely kör alakú területen hat. Ez a megközelítés elfogadhatónak tűnt a feszültségek és alakváltozások előrejelzésére a pályaszerkezet bizonyos mélységében, de a burkolat felszínéhez viszonylag közeli mélységek esetén végzett feszültségi és alakváltozási elemzéshez ez a megközelítés ma már túlságosan is egyszerű.

Számos kutatás (de Beer, 2002) mutatta meg egyértelműen például, hogy az a feltételezés, miszerint csupán egyenletesen megoszló függőleges feszültségek hatnak, nagyon durva egyszerűsítése annak, ahogy a kontaktfeszültségek a valóságban működnek. Az érintkezési felület a valóságban sok esetben sokkal inkább tekinthető négyzetgletűnek mint körnek, továbbá a gördülő kerekek alatt jelentős mértékű vízszintes nyírófeszültségek alakulnak ki.

Kiterjedt számítások alapján Van Gurp a következő összefüggést származtatta a burkolat felszínén az említett terhelési körülmények között fellépő megnyúlás kiszámítására (idézi: Molenaar, 2004):

$$\varepsilon_t = 194,9 - 20,78 \cdot \log(SCI)$$

SCI – Felület Görbületi Index,
a D_0 és D_{300} lehajlás különbsége

ε_t – a burkolat felszínén becsült megnyúlás, $\mu\text{m/m}$

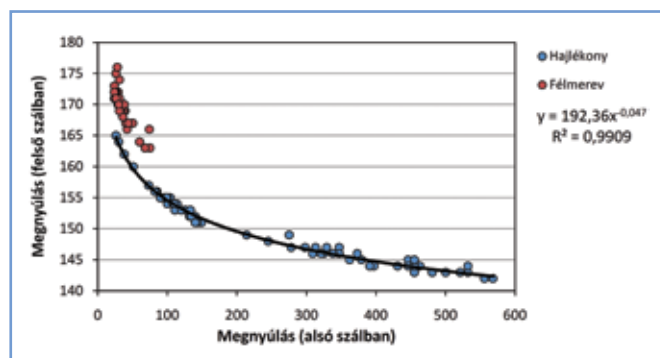
Ez azt jelenti, hogy az aszfaltréteg tetejének megnyúlása körül-

belül 90 μm és annál kisebb SCI-értékeknél meghatározóvá válik. Ez arra enged következtetni, hogy különösen a viszonylag nagy hajlítószilárdságú burkolatok esetében, a felszíni fáradási repedezése az aszfalttréteg alján meginduló fáradási repedéssel szemben meghatározóvá válhat.

Ez az elméleti megközelítés magyarázatot adhat a hazánkban is nagyszámban tapasztalt hosszirányú, felülről lefelé induló repedés kialakulására, amelyek okát – tévesen – földműproblémára vezették vissza.

Az említett okok miatt Van Gurp fenti modelljének segítségével a három tesztszakaszra megbecsültük a megnyúlások mértékét a felső számban, majd kapcsolatot kerestünk a görbületi sugárból számított alsó számban keletkező megnyúlások között. A kapott eredményeket a 8. ábra mutatja be. A számítások alapján a különösen hajlékony és a hajlékony besorolású szerkezeteket összevontuk és eredményeikre hatványfüggvényt illesztettünk. Az illesztés foka igen magasra adódott, de nem szabad elfelejtenünk, hogy viszonylag kevés mérése támaszkodik a kapcsolat. A félmerev szerkezet (44. sz. út) eredményei nem voltak beilleszthetők a sorba, de jól látható, hogy a változás jellege azonos a hajlékony szerkezetekével.

Az ábra alapján egyértelműen látszik, hogy az alsó számban kelet-



8. ábra: Összefüggés az alsó és a felső számban kialakuló megnyúlások között

kező alacsony megnyúlás esetén fokozottan kritikussá válik a felső számban keletkező megnyúlás és minél merevebb a szerkezet, annál nagyobb szerepet játszhat a repedések képződésében. A felállított modell alapján a megnyúlások nem csak az alsó számban, hanem a felső számban is kalkulálhatóak a görbületi sugár segítségével:

$$\varepsilon_t = 195 \cdot \left(\frac{h}{2R} \right)^{-0,05}$$

ahol:

ε_t : – a burkolat felszínén becsült megnyúlás, $\mu\text{m}/\text{m}$

Természetesen egy korrekt modell mind a három szerkezetet képes lenne leírni. A kevés mérési eredmény alapján pedig csak az alsó számban keletkező megnyúlások becslésére javasolható jelenleg – megbízhatóan – a görbületi sugár.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A görbületi sugár jelentősége a pályaszerkezet teherbíró képességének megítélésében már a billenőkaros behajlásmérő gerendát kidolgozó A. C. Benkelman és kortársai előtt is ismert volt. A korabeli méréstechnika akkor még nem tette lehetővé a teljes behajlási teknő megbízható és gyors rögzíthetőségét, napjainkban viszont már ez is megvalósítható. A Falling Weight Deflectometer (FWD) a terheléstől tetszőleges távolságban képesek

a függőleges elmozdulások mérésére. Ezekre a diszkrét mérési pontokra behajlási függvényt lehet illeszteni. Noha a szakirodalom számos eljárást ismer, a cikkben egy kissé elfeledett, de elegáns összefüggést mutatunk be. Az összefüggés a ma ismert teknőparaméterek mellett a jól ismert görbületi sugár gyors meghatározhatóságát is kínálja.

A különböző felépítésű pályaszerkezetek rendelkezésünkre álló adatainak elemzésekor azt tapasztaltuk, hogy az inflexió pontnak a terhelés tengelyétől mért távolsága markánsan eltér a félmerev, a hajlékony és a különösen hajlékony szerkezetek esetén, ezáltal alkalmas lehet roncsolásmentes diagnosztikai elemzések végrehajtására is. Az ilyen módon értelmezhető merevségi sugár és annak információtartalma azonban további vizsgálatokat igényel.

Fontos kérdés a pályaszerkezeti rétegek hátralévő élettartamának meghatározása, ezt ma leggyakrabban az ún. SCI-értékek alapján becsüljük. Számításaink azonban azt mutatták, hogy a kritikus megnyúlás közvetlenül a görbületi sugár alapján is jól becsülhető.

Vizsgálataink ugyan kis mintán alapulnak, de az eredmények jó egyezést mutatnak a nemzetközi irodalom aktuális kutatási eredményeivel. A fentiekben felvázolt összefüggések igazolása természetesen további mérési eredmények feldolgozása alapján folyamatban van. A hátralévő élettartam meghatározására vonatkozó módszerek és eljárások fontosságát nem lehet eléggé hangsúlyozni, és történjen ez akár a görbületi sugár, akár egyéb teknőparaméterek alapján, az semmiképpen sem nélkülözheti a behajlási teknő geometriájának ismeretét.

7. IRODALOM

- [1] Molenaar: Bottom-Up Fatigue Cracking: Myth or Reality? Proceedings of the fifth International RILEM Conference, 2004
- [2] Molenaar – L. J. M. Houben – A. A. Alemgena: Estimation of maximum strains in road bases for pavement performance predictions. Maintenance and rehabilitation of pavements and technological control (99. 199 – 206.) Guimaraes, Portugal, 2003
- [3] Graetz: Einfluss der Temperatur, der Belastungsfrequenz und der Impulskraft beim Falling Weight Deflectometer (FWD) auf die Größe der effektiven Schicht-E-Moduli. FE 04,174 zárójelentés. Technische Universität Darmstadt, 1999
- [4] Van Gurp: Characterization of Seasonal Influences on Asphalt Pavements with the Use of Falling Weight Deflectometers. Ph.D. disszertáció, Delft University of Technology, Delft, 1995
- [5] Van Gurp, C.A.P.M., and P.M. Wennink. Design of pavement structures for rural roads (in Dutch). KOAC-WMD; Apeldoorn, 1997
- [6] COST 336: Use of Falling Weight Deflectometers in Pavement Evaluation. Brussels, 29th November, 1995
- [7] Cser I.: Az útpálya behajlásmérésének elméleti alapja, Mélyépítéstudományi Szemle, XI. évf. 11. szám. 500–503 old. 1961
- [8] Boromisza T. – Gáspár L. – Károly R.: Útpályaszerkezetek teherbírása és külföldi eredmények és problémák. Közúti és Mélyépítési Szemle. 2008, június
- [9] Boromisza T.: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek. Méretezési Praktikum. Közúti Közlekedési Füzetek. Budapest, 1997
- [10] Boromisza T.: Hajlékony burkolatok élettartama. Mélyépítéstudományi Szemle, XV. évf. 7. szám. 340–344. old.

folytatás a 28. oldalon

A TÉLI ÚTSÓZÁS HATÁSA AZ ÚT MENTI TALAJOKRA

JÁRMI RÓBERT¹ – BARTA KÁROLY²

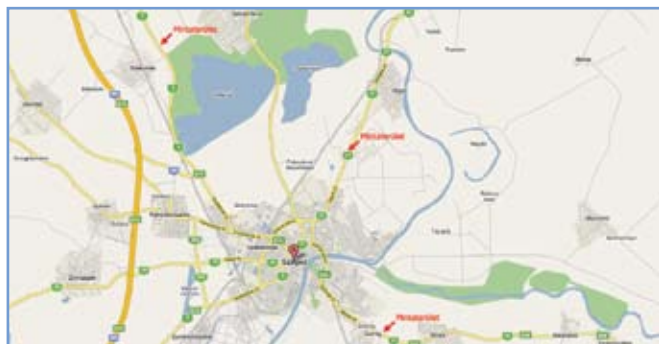
BEVEZETÉS

Az utak téli síkosságmentesítésére használatos anyagok közül hazánkban még mindig a közönséges konyhasó (NaCl) a legelterjedtebb, mely vitathatatlanul legkedvezőbb árfevése mellett sajnos számos környezeti problémát vet fel. A hidak, műtárgyak és gépkocsik károsításán kívül a talajban és a talajvízben is megjelenik ez a só-többlet, melyet környezetünk legérzékenyebb indikátora, a növénytakaró már évtizedek óta jelez (Köles 1995, Pap 2004). Számos kutatással találkozhatunk az út menti vegetációban bekövetkezett változásokról, akár belterületi, akár külterületi útszakaszokról van szó, melyek sok fászszerű növény pusztulását is a jelentős sóterheléssel magyarázzák, illetve melyek rávilágítanak arra, hogy helyenként a só-tűrő vagy sókedvelő fajok megjelenése tartós változásokat jelez. Külföldön már egyre több szakcikket találhatunk a talajokra és a felszín alatti vizekre gyakorolt káros hatásról is (Williams et al. 1999, Green et al. 2008), de magyar nyelven még nagyon kevés tudományosan megalapozott kutatásról olvashatunk a talajokban és a talajvízben felhalmozódó só kimutatásával kapcsolatban (Erdélyi 2000), bár hosszú távú környezeti feladataink között is megjelenik e problémakör (Mészárosné 2007). Jelen cikkünkben arra próbálunk választ adni, hogy az utak menti talajokban kimutatható-e az antropogén eredetű só-többlet, illetve a sófelhalmozódás mértéke milyen összefüggést mutat a talajok fizikai féleségével (Jármí 2009).

MÓDSZER

Vizsgálatainkhoz három mintaterületet választottunk ki a Szegedről kivezető főutak mentén. A legfőbb választási szempontok az alábbiak voltak:

- olyan forgalmas főút mellett helyezkedjenek el, ahol a téli időszakban nagyarányú síkosságmentesítésre lehet számítani,
- az olvadékvizek elvezetése ne burkolt műtárgyakon keresztül történjen,
- különböző fizikai féleségű talajok fogadják be az útról szétfröccsenő vagy lefolyó vizeket.



1. ábra: A három mintaterület Szeged körül (M 1:60 000)
(Forrás: Google Maps)

Ez utóbbi szemponttal nem egyszerűen csak a sófelhalmozódás létét vagy nemlétét akartuk kimutatni, hanem az adott fizikai talajtípus sófelhalmozódásban betöltött szerepét is szeretnénk volna jellemezni. A három kiválasztott útszakaszt az 1. ábra mutatja: az 5-ös számú főút mentén homoktalajokat, a 47-es út mentén löszön kialakult szolonyeces réti talajt, míg a 43-as út mentén agyag fizikai féleségű sztyeppesedő réti szolonyecet találunk (Agrotopográfiai térkép, 1985–86). A három út további specialitásai közül érdemes megemlíteni, hogy az 5-ös sz. főút az M5-ös autópálya 2005-ös megnyitásáig a régió legforgalmasabb útvonala volt, melynek velejárójaként több évtizede igen jelentős sóterhelés érte a környezetét. A 47-es út négyesvossága sóterhelésében is megmutatkozik, ráadásul a kétszeres só-többletet is ugyanaz a keskeny út menti sáv kénytelen befogadni. A Románia felé vezető 43-as sz. főút teherforgalma Románia és Bulgária 2007-es uniós csatlakozása óta megháromszorozódott (www.szegedvaros.hu), mely szintén maga után vonta a vegyszeres síkosságmentesítés jelentőségének felerősödését is. Enyhülés itt az épülő M43-as Szeged–Makó közötti szakaszának átadásával várható.

A vizsgált útszakaszok mindkét oldalán, az útpadkától maximum 2-3 m-re mélyítettünk egy-egy furatot a talajvízig, és 20 cm-enként megmintáztuk az összes furatot. Az út szélétől kb. 20-25 m-re is kijelölésre került egy-egy pont, melyek már az adott környékre jellemző területhasznosításuk voltak (szántó, gyümölcsös, rét), és távolságuknál, illetve morfológiájuknál fogva már kizárható volt a felszíni sóterhelés lehetősége. Ezek szolgáltak ún. kontrollpontokként, ahol a sózásmentes talajtani és hidrológiai környezetben vizsgálhattuk a természetes sóvándorlást. A mintavételek minden téli szezonban kétszer történtek, az útsózás megkezdése előtt, illetve az utolsó sózást követően. Kiegészítő információként kezeltük a jelzett időszakban hullott csapadékmennyiséget, illetve az adott télen kiszórt sómennyiségeket.

A 20 cm-enként begyűjtött minták mindegyikéből elektrometria módszerrel meghatároztuk az összes sótartalmat, illetve az Arany-féle kötöttséget (MSZ-08-0206/2:1978, ill. MSZ-08-0205:1978 szerint), a három helyszín talajainak jellemző szintjeiből pedig néhány további talajtani alapvizsgálatot végeztünk el: mértük a szintek karbonát- és humusztartalmát, valamint a pH-ját (MSZ-08-0206/2:1978, MSZ 21470/52:1983). Az adatok alapján az út menti talajok jellemzésén túl megszerkesztettük a különböző időpontok sóprofiljait, illetve kiszámoltuk az 1 m²-re jutó sóterheléseket.

EREDMÉNYEK

AZ 5. SZ. FŐÚT MENTI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

Az 5. sz. főút Szatymaztól északra eső szakaszán a 2006/2007-es és a 2007/2008-as teleken végeztük vizsgálatainkat. A fenti szakasz mentén a vázталajok főtípusába tartozó humuszos homokta-

¹ Végzős hallgató, SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék; e-mail: jrobe85@gmail.com

² Egyetemi adjunktus, SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék; e-mail: barta@geo.u-szeged.hu

laj található. Az A szint az úttól távolabb fekvő szelvényekben 70 cm vastag középbarra humuszos homokot, helyenként homokos vályogot jelent (humusztartalom: 1,4-1,5%), míg közvetlenül az út mentén a feltöltésnek köszönhetően felette egy 90-100 cm vastag homokrétet fúrtunk át. E homoktalajok karbonáttartalma 4-8% között változik, de 100-120 cm alatt már igen magas, 20-25%-os mésztartalmú homokot találunk. A talajvíz mélysége domborzatfüggő, a magasabb területeken 2 m körüli, míg az utat kísérő lapos mélyedésben 90 cm-en értük el a talajvizet 2007 januárjában. A tavaszi mintavételezésnél 25-30 cm-rel magasabb vízszinteket tapasztaltunk.

A két télen végzett méréseink szerint az 5. sz. főút mellett mélyített furataink minden szintjében 0,05% alatt maradt a sókoncentráció az út szélén és a kontrollpontban egyaránt. Ez a koncentráció csak nyomokban jelez sótartalmat, nem éri el a 0,05%-os gyengén szoloncsákos határt (Stefanovits 1999). Bár a tavaszi sóprofiloknál az útszéli és a kontrollpont között mutatkozott eltérés, korántsem beszélhetünk markáns hatásról, hiszen a változás mértéke legfeljebb 0,01-0,02% volt. Feltételezhető, hogy a talajba kerülő só maga a hólé, illetve a télvégi esők le is mosták a talajvizig.

A 47. SZ. ÚT MELLETTI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A 47. sz. főút Szeged és Algyő közötti négysávos szakaszán a 2006–2009-es, három telet magába foglaló időszakban végeztük méréseinket. A vizsgált szakaszon szolonyeces réti talaj található. A területen mélyített furatokat 40-50 cm vastag sötétbarna vagy feketésbarna A szint jellemzi, mely fizikai félesége vályog,

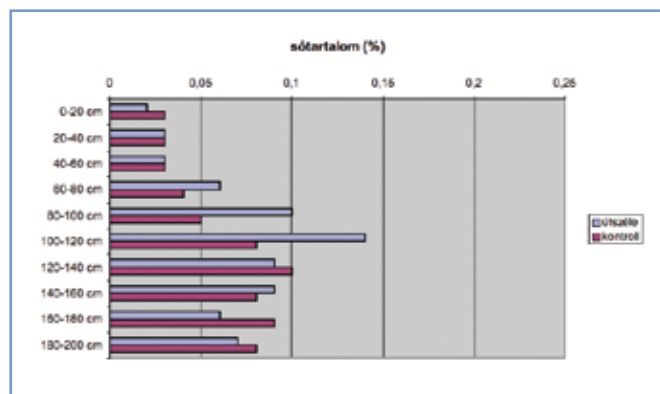
humusztartalma 3% körüli. Az alatta található B szint kb. 90 cm-ig tart, fokozatosan világosodó vályog, agyagos vályog építi fel, humusztartalma 1,5 és 2% között mozog. A 90 cm alatti alapkőzet sárgásbarna lösz, fizikai félesége homokos vályog. A megütemezett talajvízszint 160–200 cm volt a mintavételi időpontokban.

A területen található szolonyeces réti talaj természetes sótartalmát a kontrollpont segítségével tudtuk megismerni: magában a talajszelvényben itt is csak 0,02-0,03%-os sótartalommal találkozhatunk, és csak 1 m alatt, az alapkőzetet jelentő löszben növekszik 0,08–0,1% közé. Maximumát 120–180 cm között, a talajvíztűkör feletti kapillaris zónában éri el. Ezzel szemben az út menti szelvényben már az őszi mintavételezések során is magasabb sótartalmat tapasztaltunk (2. ábra), ráadásul a sófelhalmozódás maximuma nem a kapillaris zónában, hanem felette, a 80–120 cm-es mélységben jelentkezett, ami egyértelműen bizonyítja a só felülről, talajfelszínről származó voltát. A 2009-es tavaszi sóprofilokat a 3. ábra mutatja, ahol az őszi időszakhoz képest közel 1,5-szeresére (0,14–0,18%) növekedett a jelzett mélységben a sókoncentráció. Megjegyzendő, hogy a szikes talajok esetében ha a vízben oldható sótartalom 0,15% fölé emelkedik, akkor már szoloncsákos szikesről beszélünk (Stefanovits 1999). Érdekes, hogy a felső 80 cm-ben lényeges változás nem következett be, a sófelhalmozódásért 80–120 cm között egy finomabb frakciójú réteg a felelős. Ezt az Arany-féle kötöttségi adatok is jól mutatják, 80 cm-en a kötöttség 38–40 közötti értékről 44–47-re növekszik, átlépvé ezzel a vályog és agyagos vályog fizikai talajféleség határát.

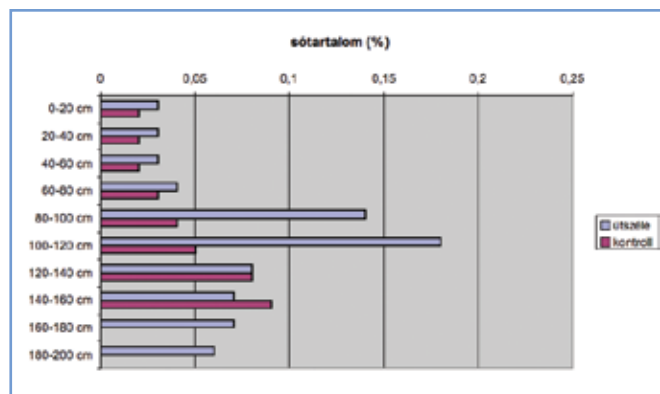
A 43. SZ. ÚT MELLETTI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A 43. sz. főút mentén Szeged–Szőreg és Deszk között csak a legutolsó télről vannak mérési adataink. A területet a szikes talajok főtípusába tartozó sztyeppesedő réti szolonyec borítja. E talajtípus jellemzője, hogy az eredetileg szikes talajban természetes vagy antropogén talajvízszint-csökkenés hatására megindul a könnyen oldható sók kilúgozása, és ezzel együtt a talajban lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok jellege is megváltozik, mezőgazdasági szempontból ezek közül különösen a talajszerkezet és a vízgazdálkodási tulajdonságok javulásának, illetve a humusztartalom növekedésének van pozitív hatása.

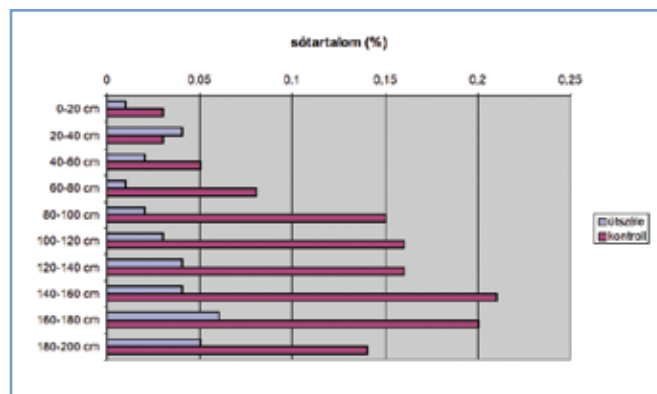
Területünkön az eredeti talajtakaró egy 50-60 cm vastag sötétbarna A szinttel jellemezhető, mely fizikai félesége agyag, humusztartalma 2,4%. Az alatta található sötétszürke B szint körülbelül 150 cm-ig tart, fizikai félesége agyag, humusztartalma már csak 0,55%. A talajképző kőzet sárgásbarna agyag rozsdafoltokkal. Közvetlenül az út szélén – az út magas töltésének köszön-



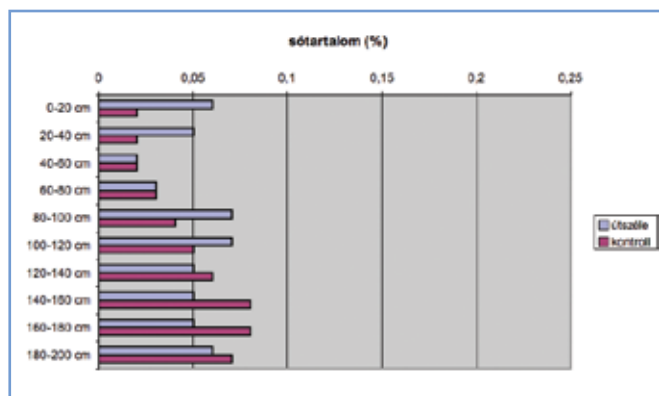
2. ábra: A 47. sz. főút melletti két szelvény 2008. októberi sóprofilja



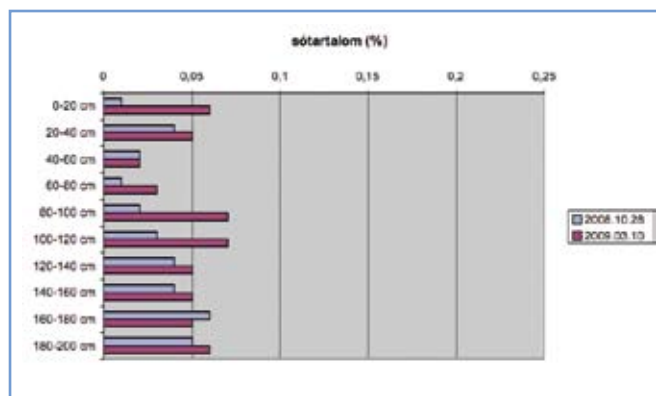
3. ábra: A 47. sz. főút melletti két szelvény 2009. márciusi sóprofilja



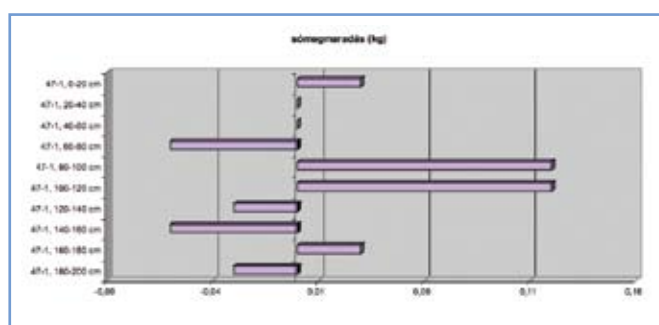
4. ábra: A 43. sz. főút melletti két szelvény 2009. októberi sóprofilja



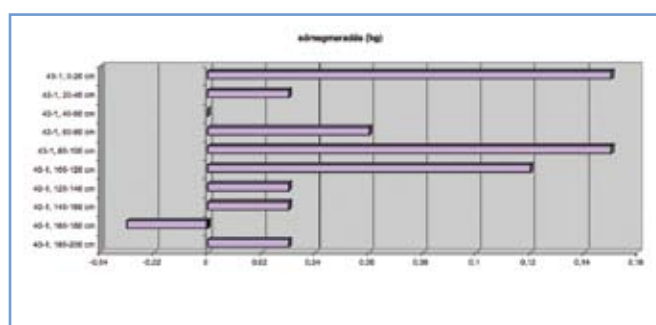
5. ábra: A 43. sz. főút melletti két szelvény 2009. márciusi sóprofilja



6. ábra: A sóprofil változása a 43. sz. út melletti „út menti” szelvényben a téli időszak folyamán



7. ábra: A 2009-es tél folyamán megmaradt sómennyiség, a 47. sz. főút mellett, 1 m²-re kiszámolva



8. ábra: A tél folyamán megmaradó sómennyiség a 43. sz. főút mellett, 1 m²-re kiszámolva

hetően – az előbbieken vázolt rétegsor egy 120 cm vastag homokborítást kapott. Mivel a területen a talajvíz viszonylag nagy mélységben, legalább 3 m-en található, a szelvények mintázását csak 2 m-es mélységig végeztük el.

A két szelvény morfológiai különbségének köszönhetően rendkívül sajátos helyzet állt elő az őszi mintavételezés során: a kontrollpontban a sztyeppesedő réti szolonyecre jellemző magas sótartalmat mértünk a B szintben, illetve alatta, míg a magas feltöltés következtében az út menti talajra nincs hatással a talajvíz, legalább 2 m-es mélységig a kapilláris zóna felett fekszik, ezért kevesebb a sótartalma (4. ábra). Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy az eredeti szikes talajunk sótartalma 80 cm-től minimum 0,15%, az út menti szelvényé viszont szinte végig 0,05% alatt marad.

Merőben más képet tapasztaltunk a tavaszi profilokban (5. ábra). A kontrollpontban a szikesekre jellemző periodikus ki-lúgozási folyamatok eredményeként a teljes szelvényben jelentősen lecsökkent a sótartalom, csak 120 cm alatt mértünk 0,05% fölötti értékeket. Ezzel szemben az útszéli pontban markáns sótartalom-növekedés figyelhető meg. Jellegzetes kettős csúcsot fedezhetünk fel a profilban: az egyik csúcs a felső 40 cm-es rétegben, a másik pedig 80–120 cm között okoz 0,05% feletti sókoncentrációt. Vélhetően a felső csúcs a tél utolsó útszórásának köszönhető, míg az alsó csúcs a homokos, nagy vízáteresztő képességű feltöltésen átfutó olvadékvizek által lemosott síkosságmentesítő szernek az első agyagréteg feletti dúsulását jelzi.

A 6. ábrán bemutatjuk külön az út menti szelvényénél tapasztalt különbségeket, melyen nagyon jól beazonosítható az út szózásából eredő többletterhelés: a homokos feltöltés felső 40 cm-ében és az eredeti agyagos talaj tetején.

ÉRTÉKELÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

Amint az eredményeink is mutatják, a téli időszakban kiszórt síkosságmentesítő anyagok egyértelműen kimutathatóak az utakat kísérő talajokban, de viselkedésük rendkívül eltérő a különböző fizikai féleségű talajok esetében. Homoktalajon maga a hólé, de a legelső folyékony halmazállapotú tavaszi csapadék mindenképpen ki is mossa az útszóró sót a szelvényből, minimális kimutatható sőtöbblettel találkozhatunk csak ezeken a területeken.

Vályogtalajoknál már sokkal markánsabb különbségeket tapasztaltunk az őszi és a tavaszi sóprofilokban, sőt ami talán ennél is figyelemreméltóbb eredmény, hogy a útszéli és a távolabbi kontrollszelvények között már az útszórások megkezdése előtt is lényeges különbségek voltak. A 60–120 cm-es mélységben az út szélén akár 0,05%-ot meghaladó sőtöbbletet tapasztalhatunk a távolabbi talajokhoz képest. Ennek okát a több tízéves, rendszeres terhelésből visszamaradt sótartalommal tudjuk magyarázni.

Az agyagtalajokon szintén kimutatható volt a sóterhelés, de itt elsősorban a homokos feltöltésben jelentkezett, az alatta lévő agyagos szint vízviszaduzzasztó hatása miatt. A többlet ősszel már nem volt érzékelhető. Az agyagos talaj hosszú távon megőrzött minimális sótartalmát valószínűleg annak köszönheti, hogy csekély vízáteresztő képessége miatt a feltöltésen keresztül a felszínét elérő vizek oldalirányban találnak elszívargási lehetőséget.

Eredményeink arra is lehetőséget teremtettek, hogy megbecsüljük azt, hogy az utakról a talajfelszínre kerülő só hány %-a fog visszamaradni a talajban. A tavaszi és az őszi adatok közötti sótartalombeli különbségek minden 0,01%-a a jellemzett 20 cm-es talajrétegben – 1,5 g/cm³-es térfogattömeget feltételezve – m²-enként 3 dkg-os sómennyiséget jelent. A 7–8. ábra mutatja az

utóbbi tél során visszamaradt mennyiségeket, mely összegezve a 47. sz. út mentén mindössze 12 kg/m²-nek, a 43-as sz. főút mentén viszont 57 kg/m²-nek adódott. A Magyar Közút Kht. adott útszakaszokra vonatkozó adataiból kiszámolható, hogy a 47-esen méterenként 6 kg, míg a 43-ason méterenként 2 kg körüli sómennyiség került az útra az utóbbi téli szezonban. Terepi tapasztalataink alapján ez az útra kiszórt só az utat szegélyező 2-3 m-es sávban fejt ki a hatását, jelen becslésünkkel 2 m szélességű sávot tételeztünk fel. (Megjegyzendő, hogy a számítás folyamán ez a becslés okozhatja a legnagyobb hibalehetőséget.)

Az ismert adatok függvényében a 47. sz. főút mentén csupán a kiszórt só 4%-a maradt vissza a talajban, míg a 43. sz. főút mentén a 120 cm-es mélységben lévő agyagréteg a só közel 60%-át megfogta.

Jövőbeni izgalmas kutatási irányt jelent a talajbeli sófelhalmozódás vizsgálata mellett a talajból kimosódó szóróanyag további útjának nyomon követése: kimutatható-e a mélyebb rétegekben, a talajvízben, esetleg az úttól távolabbi területek (ld. 43. sz. főút) felszín közeli talajszintjeiben.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk megköszönni dr. Rigó Mihálynak, a Magyar Közút Kht. Csongrád Megyei Igazgatósága MMTLO osztályvezetőjének a segítségét az elmúlt három télen kijuttatott sómennyiségekről rendelkezésünkre bocsátott adatokért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Agrotopográfiai térképsorozat (M=1:100 000), 27-es lap. 1985–86
- [2] Erdélyi G., 2000: Az útsózás hatása a környezetre – a talajvíz szennyeződése. OMIKK–Környezetvédelem. 2000/17–18. pp. 83–96.
- [3] Green, S. M., Machin, R., Cresser, M. S., 2008: Effect of long-term changes in soil chemistry induced by road salt applications on N-transformation in roadside soils. Environmental Pollution 152. pp. 20–31.

folytatás a 24. oldalról

- [11] Boromisza T.: Aszfaltburkolatú utak teherbírásának vizsgálata behajlásméréssel. Mélyépítéstudományi Szemle, XXVI. évf. 12. szám. 521–528. old.
- [12] Fazekas Gy.: A felszíni süllyedések számításának új módszerei metróalagutaknál, különös tekintettel az időbeli alakulásra, Mélyépítéstudományi Szemle, XXVIII. évf. 1. szám. 13–20. old. 1978
- [13] J. Hothan und F. Schäfer: Analyse und Weiterentwicklung der Bewertung von Tragfähigkeitsmessungen, Straße+Autobahn, p.: 376–382, 7, 2004
- [14] Jansson, H.: A simple Structural Index based on FWD Measurement. Proceedings from the 4th International Conference on the capacity of Roads and Airfields, Minneapolis, Minnesota, USA, S. 457–466, 1994
- [15] M De Beer, C Fisher: Evaluation of non-uniform tyre contact stresses on thin asphalt pavements. ICAP, 2002
- [16] S. Jendia: Bewertung der Tragfähigkeit von bituminösen Straßenbefestigungen. Ph.D. disszertáció, Karlsruhe, 1995
- [17] Scharnitzky V.: Matematikai képletgyűjtemény főiskolásoknak, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989
- [18] Széchy K.: Alapozás, I. kötet, Az általaj mint szerkezeti anyag, 2. átdolgozott kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957

- [4] Jármí R., 2009: A különböző fizikai féleségű talajok érzékenysége az útsózásból adódó sóterhelésre. Diplomamunka, Szeged. p. 40.
- [5] Köles Péter, 1995: A vegyszeres síkosságmentesítés hatása a környezetre Magyarországon és más országokban. Hidrológiai Tájékoztató 35/1. pp. 18–21.
- [6] Magyar szabványok: MSZ-08-0205:1978, MSZ-08-0206/2:1978, MSZ 21470/52:1983
- [7] Mészárosné Kis Á., 2007: Helyzetkép és aktuális kutatási feladatok az útgazdálkodás környezetvédelmi feladatai témakörben. Közúti és Mélyépítési szemle 57/11. pp. 15–20.
- [8] Pap E., 2004: A téli útsózás káros hatásai. Kertészet és Szőlészet 53/1–2. pp. 44.
- [9] Stefanovits P., 1999: Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p. 238.
- [10] Williams, D. D., Williams, N. E., Cao, Y., 1999: Road Salt Contamination of Groundwater in a Major Metropolitan Area and Development of a Biological Index to Monitor Its Impact. Water Resources 34/1. pp. 127–138.
- [11] www.szegedvaros.hu/cikkek/4373-2010-ben-fellelegezhet-szeged.pdf

SUMMARY

THE EFFECT OF ROAD SALTING TO THE ROADSIDE SOILS

The investigation was aimed to study the salt dynamics along some main roads during winter periods when a large amount of deicing salt can get into the soils. Sandy, loamy and clay soils was studied in order to determine the differences in the anthropogenic salt accumulation between them. There was no any accumulation in sandy soils but there were significant growing in salt concentration on other soil types.

SUMMARY

GEOMETRY OF THE DEFLECTION BOWL

Falling Weight Deflectometer (FWD) are widely used for deflection measurements of road pavements. The FWDs can measure the vertical deflections of the pavement in several positions, which distance from the load are optional. In this paper we introduce a mathematical function, which can be fitted to the discrete deflection measurement values. The fitted function offers several analysis methods, for example the calculation of the radius of curvature. Importance of the radius of curvature in the estimation of the bearing capacity of the pavement is well known. Knowing the maximal curvature we can calculate the extension of the asphalt layer, which strongly correlates to the remaining lifetime of the layer.

KÖNNYŰBETON HÍDSZERKEZETEK, LEHETŐSÉGEK ÉS A GYAKORLAT

DR. NEMES RITA¹ – FENYVESI OLIVÉR² – DR. JÓZSA ZSUZSANNA³

Amíg nemzetközi viszonylatban jelentős mennyiségben alkalmazzák a könnyűbetonokat a hídépítésben, addig Magyarországon sokan csak helykitöltő, másodlagos szerepben használják. Pedig egyes könnyűbeton fajták szerkezeti betonként is megállják a helyüket, sőt néhány esetben csak könnyített szerkezettel építhető meg egy híd, a könnyűbeton ekkor is lehet alternatív megoldás. Mindezt bizonyítják a nemzetközi példák és kísérleti eredmények is, melyeket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén végeztünk.

1. BEVEZETÉS

Külföldön több példa is mutatja a könnyűbetonok alkalmazásának sikerességét, elsősorban olyan szerkezetek esetében, ahol az önsúly statikai szempontból nagymértékben befolyásolja a létesítmény gazdaságosságát, szélsőséges esetekben megvalósíthatóságát (pl. nagy fesztávú hidak, magas építmények, felhőkarcolók stb.). Sajnálatos módon hazánkban eleddig szinte semmilyen vagy csak kevés alkalmazási példa van könnyűbetonok szerkezeti betonként való beépítésére, és ezen esetekben is korábban kohósalakot, ma leggyakrabban duzzasztott agyagkavicsot használnak könnyű adalékanyagként, miközben külföldön már a duzzasztott üvegkavics is elterjedt, amit hulladékvügből is elő lehet állítani. Emellett a szakma is úgy tekint a könnyűbetonokra, mint egyfajta helykitöltő anyagra, annak teherviselő képességét, statikai szerepét nem veszik figyelembe a legtöbb esetben. Természetesen ennek köszönhetően a könnyűbetonok anyagvizsgálata terén is jókora lemaradásunk van a külföldi tapasztalatokhoz képest [15].

A könnyűbetont a világon ma már szinte minden területen elterjedten alkalmazzák, a híd- és magasépítés mellett az alagútépítésben és az olajfúró tornyoknál is. Fontos tudni, hogy feszített szerkezetek is készíthetők belőle (pl. hiperbolikus héj Speyerben [7]). Napjainkban a könnyűbeton-alkalmazásban az Egyesült Államok (1. ábra), Japán, Németország és a skandináv országok (2–4. ábra) járnak az élen, leggyakrabban hidakat építenek. Ma Magyarországon szerkezeti könnyűbetont csak ritkán készítenek, elsősorban javítások vagy megerősítések esetén használják, kihasználva a kisebb önsúly adta lehetőségeket.

A cikk első részében néhány megvalósult külföldi könnyűbeton szerkezetet ismertetünk, majd bemutatunk több, figyelemre érdemes hazai tanulmányt a hagyományos betonból és könnyűbetonból készült szerkezetek összehasonlításáról. Az ezekhez szükséges anyagvizsgálatok természetesen tanszékünk laboratóriumában készültek. A témában fontosnak mondható szerkezetek részletes bemutatása terjedelmi okból itt nem lehetséges. Célunk csupán az, hogy felhívjuk a figyelmet a könnyűbetonokban rejlő azon lehetőségekre, amelyeket érdemes lenne hazánkban is kihasználnunk, elsősorban hídszerkezeteink tervezésekor.



1a és 1b. ábra: Az Oakland-Bay-híd építés közben és ma (1933-ban épült duzzasztott agyagkavics adalékanyagossal könnyűbetonból) [2]

¹ Adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

² Doktorandusz, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

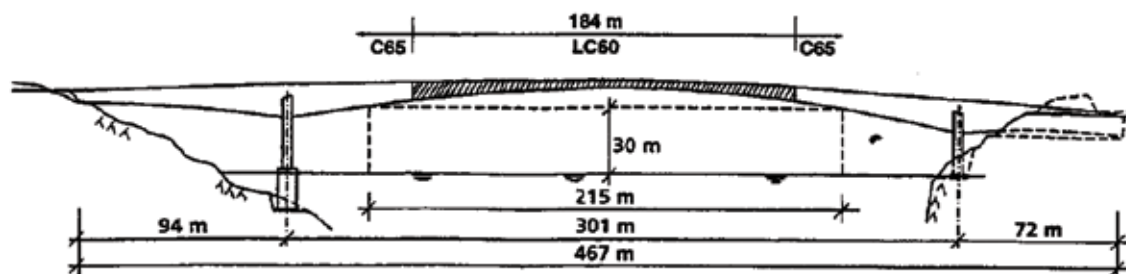
³ Docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék



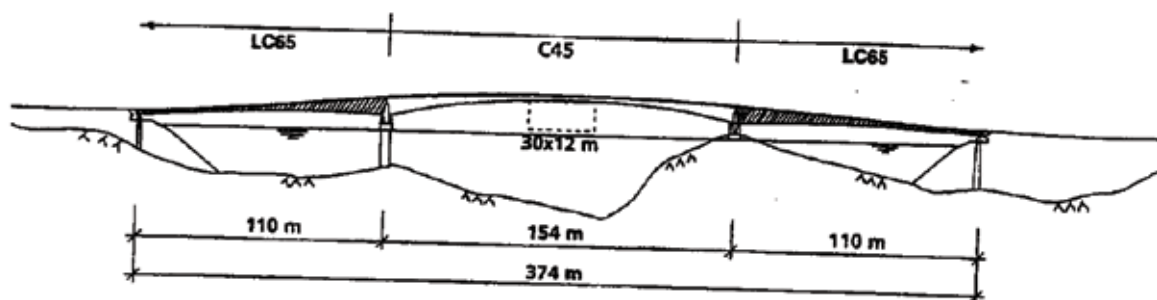
2. ábra: Stolma híd (Norvégia) építés közben [3]

2. MEGVALÓSULT KÖNNYŰBETON SZERKEZETEK

A szerkezeti könnyűbetont az újkorban először az Egyesült Államokban alkalmazták, elsősorban hidaknál és toronyházak építésénél, ennek első példája az 1962-ben épült 180 m magas chicagói Marina City Towers. Az 1940-es évektől Európában is megindult a könnyűbeton ipari előállítása, elsőként Dániában. Ebben az időben Amerika északi területein a tengeri (sós) levegő és a fagy miatt károsodott betonokat már könnyűbetonra cserélték. Az így elérhető önsúlycsökkentéssel biztosították, hogy nagyobb betonfedést alkalmazva, szerkezeti átalakítások nélkül is megfeleljenek a szerkezetek az új terhelési és tartóssági követelményeknek. Azóta több példa is mutatja a szerkezeti könnyűbeton alkalmasságát a hídepítésben, néhány jellemző példát az 1. táblázatban foglaltunk össze.



3. ábra: Stolma híd hosszmetsete [13]



4. ábra: Sandhornoya híd (Norvégia) hosszmetsete [13]

1. táblázat: A külföldön megvalósult legjelentősebb könnyűbeton hidak

Név	Ország	Építés éve	Beton jele	Testsűrűség, kg/m ³	Fesztáv, m
Sebastian Inlet híd	USA	1964	LC30	1840	60
Silver Creek felüljáróhíd	USA	1968	LC25	1600	30
Arnhem híd	Norvégia	1986	LC30	1967	133
Sandhornoya híd	Norvégia	1989	LC55	1850	154
New Eidsvoll híd	Norvégia	1992	LC55	1880	220
Nordhorland kábelhíd	Norvégia	1993	LC55	1881	172
Grenland híd	Norvégia	1996	LC70	1894	305
Karl-Heine gyalogoshíd	Németország	2000	LC40	1450,1600,1990	28
			LC70		
Benicia-Martinez híd	USA	2007	LC45	1840	200



5. ábra: Norvégiai könnyűbeton hidak 2000-ben [13]

Norvégiában az első könnyűbeton híd (Endrestø bridge) 1987-ben épült kísérletképpen (pilot project). Ez „csak” 15 m fesztávú volt és nagyszilárdságú könnyűbetont (LC60) alkalmaztak az építéséhez. Ezt követően tíz év alatt tíz újabb könnyűbeton híd épült meg, melyek nem csak műszaki szempontok alapján, hanem gazdasági szempontból is megállták a helyüket (5. ábra) [13].

Egy hídnál könnyűbeton felszerkezet alkalmazásával kb. 25–30% önsúlycsökkenés érhető el. Ez minden hajlított szerkezet esetén jelentős, de a hidaknál tipikus hasznos teherhez viszonyított nagy önsúlyteher

2. táblázat: Könnyűbeton nyomószilárdsági osztályok az EN 206-1/MSZ 4798-1 szerinti könnyűbetonokra

Nyomószilárdsági osztály	$f_{ck,cyl}$	$f_{ck,cube}$
	N/mm ²	
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

miatt fokozottan érvényes. Különösen előnyös úszó (ponton) hidak, kábelhidak és szabadbetonozással készülő hidak esetén. Ez utóbbira jó példa a szintén norvég Stølma híd (2-3. ábra), ahol a közbelső, szabadbetonozással készülő szakaszt építették könnyűbetonból.

Magyarországon a salakbetont már 1865-ben is említik, de csak a 19–20. századforduló táján terjedt el. Egy 1898-ban kiadott könyvben már szerepel ajánlott könnyű adalékanyagként a porfír és a téglatörmelék mellett [4]. A hazai salakok alkalmazása az első világháborút követően egyre jobban háttérbe szorult, mert nagy kőtartalmuk miatt a nedvesség hatására erősen duzzadtak és szilárdságukból is veszítettek [5]. 1957-ben megépült a bodrogkeresztúri tufabeton üzem, ahol könnyű falazóblokkokat gyártottak riolittufa vagy kohósalak felhasználásával. Ezt követően az országban több helyen gyártottak könnyűbeton falazóblokkokat és nagyméretű (1 m³-es) falpanelokat. A múlt század hatvanas, hetvenes éveiben 3÷8 emeletes lakóházak készültek könnyűbetonból. Kohóhabsalak adalékanyagú öntött könnyűbetonból az első lakóházakat 1959-60-ban építették Szigetszentmiklóson, majd a hatvanas években még kb. 3000 lakást Budapesten és a nagyobb városokban.

3. VONATKOZÓ SZABVÁNYOK ÉS JELÖLÉSEK

Az utolsó magyar tartószerkezeti szabvány (MSZ 15 022/6-72), majd későbbiekben irányelv (MI 15 022/6-86), amely az EN-szabványok előtt a könnyűbeton kérdéssel foglalkozott, a nyomószilárdság minősítési értéke és a testsűrűség mellett figyelembe vette a bedolgozási módot, és az adalékanyagokat három csoportba sorolta, de csak az LC 12-es szilárdsági osztályig volt érvényes. 1995-ben jelent meg a Beton és vasbeton készítése c. műszaki előírás, ennek 14. fejezete igen részletesen és alaposan foglalja össze a könnyűbeton készítésére vonatkozó ismereteket [6]. Könnyűbetonokkal foglalkozó és hídszerkezetekre vonatkozó magyar előírás nem készült.

A szerkezeti könnyűbetonokra általában a betonokkal foglalkozó szabványok (illetve azok kiegészítései, ha léteznek) érvényesek. A szabályozás mára nagyjából egységes Európában. A készíttéssel és a minősítéssel az EN 206-1 (magyar nemzeti változata MSZ 4798-1), a méretezéssel az EN 1992-1-4 (közismert nevén az Eurocode 2), az adalékanyaggal pedig az (MSZ) EN 13 055-1, illetve az annak alapján készített nemzeti szabványok foglalkoznak.

A könnyűbeton jelölései hasonlóak a betonjelöléshez és ezek a nemzetközi előírásokban egységesek. A jelölési mód a betonoknál megszokott módon a két minősítési értéket (előírt jellemző hengerszilárdság/előírt jellemző kockaszilárdság) adja meg az LC betűjelzés után (2. táblázat). Az LC 50/55 fölötti szilárdsági osztály esetén nagyszilárdságú könnyűbetonról beszélünk. Az MSZ 4798-1:2004-ben a szilárdsági osztályon kívül könnyűbetonok esetén megjelenik a testsűrűségi osztály is (3. táblázat).

3. táblázat: A könnyűbetonok testsűrűségi osztályai az MSZ 4798 - szerint

Testsűrűségi osztály D ill. ρ_{LC}	Száraz testsűrűség átlaga kg/m ³
1,0	800–1000
1,2	1000–1200
1,4	1200–1400
1,6	1400–1600
1,8	1600–1800
2,0	1800–2000

4. LEHETŐSÉGEK HÍDSZERKEZETEKRE

4.1. KÖNNYŰBETON HÍDSZERKEZETEK MAGYARORSZÁGON

Már több híd esetén is felmerült Magyarországon a könnyűbeton felszerkezet alkalmazása, s bár nem valósult meg egyik sem, ezek bemutatása, illetve a meglévő hídszerkezetekre végzett mintaszámítások hasznos információkat tartalmazhatnak. Már jó néhány diplomamunka készült egyetemünkön a Hidak és Szerkezetek Tanszék és az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék együttműködésében különböző hídszerkezetek könnyűbeton változatára, nem titkolva azon célt, hogy a könnyűbeton alkalmazásának lehetőségét igyekezzen folyamatosan szem előtt tartani.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén jelenleg is folynak kísérletek duzzasztott agyagkavics, illetve üveghulladék alapanyagú adalékanyag építőipari felhasználásait illetően. Ennek a kísérleti munkafolyamatnak keretei közt több TDK-dolgozat, diplomamunka és doktori disszertáció is készült, illetve készül jelen pillanatban is. Ezek közül mutatunk be néhányat a következő fejezetekben.

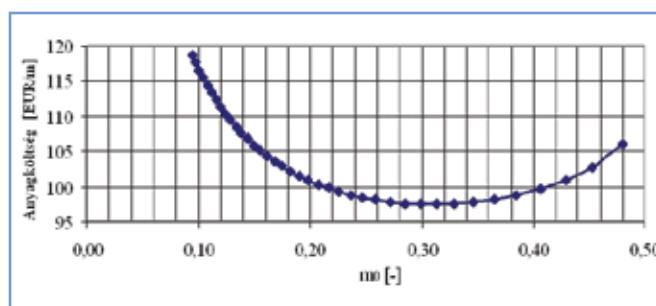
4.2. KÖNNYŰBETON GYALOGOSHIDAK (TERVÁLTOZATOK ÖSSZEHA-SONLÍTÁSA)

Egy gyaloghíd könnyítési lehetőségeinek vizsgálatánál [10], a hagyományos betonos (NWC) változathoz képest, a szerkezeti könnyűbetonos (LWAC) és a Cobiax-os könnyítés eseteit hasonlítottuk össze. Ebben a tanulmányban az anyagtechnológiai és statikai szempontokat is figyelembe kellett venni és az anyagfelhasználást elsősorban a betonacél és feszítőkábelek szempontjából összehasonlítani (4. táblázat). Az összehasonlítás egy 30 m fesztávú utófeszített, két főtartós gyaloghíd lehetséges tervváltozatait mutatja. A szerkezeti könnyűbetonnal (LC30/33, duzzasztott agyagkavics adalékanyag, testsűrűség $\rho_T=1842 \text{ kg/m}^3$) készült híd lett vasalás szempontjából a legkedvezőbb, azonos teherbírású hagyományos betonú változathoz képest a lágyvasalás és a feszítőbetétek 20 %-át meg lehet takarítani.

Egy másik összehasonlítás során a diplomázó [11] a gyaloghíd öszvér szerkezetének betonrészét könnyűbetonnal helyettesítette, állandó (szekrény) keresztmetszet mellett határozta meg az acél szélső szálában fellépő feszültséget. Az összehasonlítás során egy 25 m fesztávú (pl. 2.04-es M0 föltötti gyaloghídnak megfelelő kialakítású) hídszerkezetet vizsgált, ahol a hagyományos betont duzzasztott agyagkavics adalékanyagú betonra cserélte fel. Így 22% önsúlycsökkenést ért el, ami 15% szerelési és 10% használati állapotban vett feszültségcsökkenést eredményezett a szélső alsó acél-szálban. Ezek alapján a fesztáv 10%-kal növelhető volt, úgy hogy a húzófeszültség az acélban nem haladta meg a megengedett értéket.

4. táblázat: Gyaloghíd tervváltozatainak összehasonlítása vasalási igény szempontjából

Megnevezés	NWC	LWAC	NWC+Cobiax
Feszítő-kábelek száma	5	4	4
Vasalás mennyisége	12 Ø32 mm	10 Ø32 mm	12 Ø32 mm



6. ábra: Költségoptimum keresése

5. táblázat: A két épületet összekötő gyalogjáró tervváltozatainak összehasonlítása anyagfelhasználási igény szerint

Változat	Nyomó-szilárdsági osztály	Tervezett		
		beton m^3	beton-acél kg	betonacél / beton arány kg/m^3
Normál beton	C30/37	6,68	590	88,34
Könnnyű-beton	LC30/33	6,13	528	86,13
Különbség		0,55	62	2,21
Különbség		8,20%	10,50%	2,50%

Két épületet összekötő, 14,20 m fesztávú, T keresztmetszetű hídszerkezet hagyományos (C30/35) és könnyűbeton (LC30/33) anyagú változata szintén felhívja a figyelmet a szerkezeti könnyűbeton alkalmazásában rejlő lehetőségekre [12]. Ebben az esetben az optimalizálás kimondottan gazdasági szempontok figyelembevételével készült (6. ábra). Az előzetes méretfelvétel rendszerint a gyakorlatban a korábbi tapasztalatokon alapul, de ez könnyűbetonok esetén nem áll rendelkezésre megfelelő mértékben. Így az előméretezés során a felszerkezet főbb méreteit anyagfelhasználás szempontjából a lehetőségek szerint optimális módon választotta ki a tervező. A főtartók méreteit (melyet a 6. ábrán az m_0 paraméter jellemez) az anyagköltség minimalizálása választotta meg, így mindkét változat esetén a legolcsóbb szerkezettel számolt, azokat hasonlította össze. A tervezés során fény derült arra is, hogy kis fesztávú teherhordó szerkezetekben is közel 10%-os anyagmegtakarítást lehet elérni könnyűbeton alkalmazásával (5. táblázat).

4.3. KÖZÚTI KÖNNYŰBETON HÍD (TERVÁLTOZATOK ÖSSZEHA-SONLÍTÁSA) [9]

Szintén diplomamunka keretében készült mintaszámítás a Szentgotthárd – Rábafüzes útszakaszon, a Lahn-patakot keresztező híd könnyűbeton változatára. A híd 60 m hosszú, 18,4+24,0+18,4 m fesztávokkal rendelkező folytatódó többszárnyú tartó, 12,5 m pályaszélességgel, „A jelű” terhelési osztállyal. Az eredeti tervek szerinti beton szilárdsági osztályának megfelelően választottuk meg a könnyűbeton szilárdsági osztályát is (LC25/28). A felszerkezet betonjának testsűrűsége vasalással együtt nem haladta meg az 1800 kg/m^3 -t. VEM modell segítségével meghatározható volt a minimális felszerkezeti vastagság és az ehhez szükséges vasalás. Az eredeti tervek szerinti és az optimált változat adatait a 6. táblázatban foglaltuk össze. A híd felszerkezete 30 cm-rel vékonyabb lehet azonos szilárdságú könnyűbeton esetén, ami jelentős anyagmegtakarítást eredményez.

6. táblázat: A közúti híd két változatának főbb paramétere

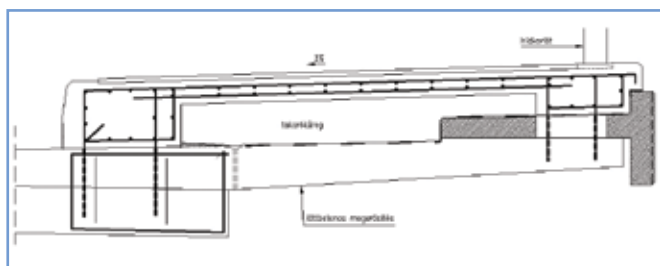
Megnevezés	Eredeti változat (NWC)	Könnnyűbeton változat (LWAC)
Felszerkezet vastagsága, m	110	80
Betonmennyiség, m ³	810	590

4.4. VÁROSI KÖZÚTI HÍD FELÚJÍTÁSA [8]

A Győr belvárosában található Baross híd 132 m hosszú, 12 db, kb. 10 m-es nyílással rendelkezik (7. ábra). Szélessége 9 m kocsipálya és 2 · 2,5 m gyalogjárda. A szerkezet 1893-ban épült, így egyike a legrégebbi magyar vasbeton hidaknak, a II. világháború után felújították. A megnövekedett gépjárműforgalom miatt a híd pályaszerkezetének teljes körű felújítása elengedhetlenné vált. A hídpályán kerékpárút kialakítása is szükségessé vált.



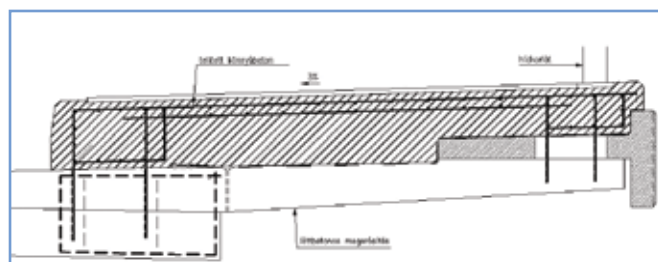
7. ábra: A győri Baross híd a felújítás előtt



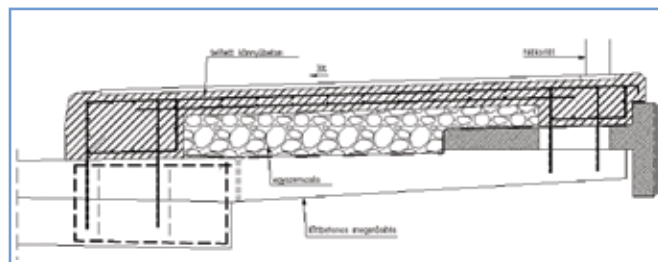
8. ábra: Alapeset, takarékküreges könnyítés bennmaradó zsaluzattal

A tervek szerint a híd jelenlegi pályaszerkezetét nem bontották el, hanem erre került fel az új szerkezet. A főtartóhoz konzolosan kapcsolódik a gyalogjáró, melyhez az egyik terfváltozatban a szerkezet könnyítése érdekében takarékküreges megoldást (8. ábra) képzelt el a tervező. A régi szerkezet állapota nem volt megfelelő hagyományos beton alkalmazására, így a munka gyorsítása és takarékküreg helyettesítésére kértek terfváltozatot könnyűbeton szerkezetre. A kivitelezhetőnek tartott terfváltozatok a következők lettek:

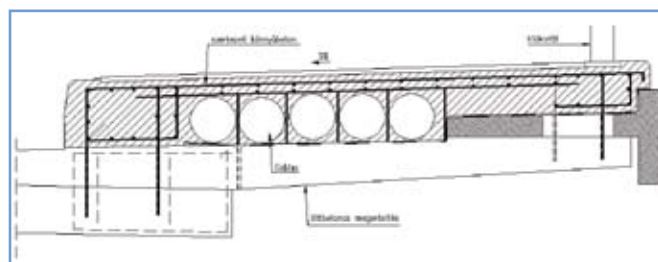
- A teljes szerkezet teherbíró könnyűbetonnal készül (9. ábra).
- A takarékküreg helyett egyszemcsés könnyűbeton készül, a felszerkezet pedig telített könnyűbetonnal (10. ábra).
- Az a) megoldási lehetőségnél szóba került a szerkezet további könnyítése Cobiax-rendszerrel (11. ábra).



9. ábra: Szerkezeti könnyűbetonos megoldás



10. ábra: Szerkezeti és egyszemcsés könnyűbeton kombinációja



11. ábra: Szerkezeti könnyűbeton Cobiax-labdákkal könnyítve

Összesen 12 különböző változatot vizsgáltunk meg, nem csak szilárdsági és megvalósíthatósági, hanem tartóssági szempontból is. Többféle adalékanyagra készítettünk betonkísérleteket és több alkalmas összetételt is meghatároztunk különböző duzzasztott agyag és duzzasztott üveg adalékanyagokkal 1800–1850 kg/m³ testsűrűségű, LC25/28-LC30/33 szilárdsági osztályú betonokhoz. A homok frakció minden esetben folyami kvarchomok volt. Ezek mind túltelített, vasalható betonok, mivel a cementkő-váz biztosítja a betonacélok korrózióvédelméhez szükséges lúgos környezetet. A takarékküreg helyett készülő betonok egyszemcsés (szemcsehézagos) könnyűbetonok. Mindhárom könnyűbetonos változathoz készíthető műszaki szempontból megfelelő megol-

dás. Minden változat esetén a műszakilag legkedvezőbb esetet választottuk ki, és erre végeztük el a költségelemzést. Ezek a költségek csak magának a gyalogjárónak az anyagköltségeit vették figyelembe, viszont egyedi építésre vonatkoznak, ahol sokszor az árat növeli az, hogy egyes anyagok esetén nincs Magyarországon megfelelő raktárkészlet az alacsony felhasználás miatt (pl. Cobix). A számítás során azonban nem vettük figyelembe az olyan kivitelezési költségtényezőket, mint a vasalás anyag- és munkaköltségét, vagy a zsaluzás költségét. Ezek a könnyűbetonos változatok esetén kisebbek, mint hagyományos beton esetén, mivel például nem kell a takaréköreket zsaluzni, illetve kevesebb acélbetétet kell felhasználni a szerkezet építéséhez. Végül, első sorban megfelelő referenciák hiányában, más megoldás mellett döntöttek a híd felújítói.

4.5. KÖNNYŰBETON KÖZÚTI HÍD MEGVALÓSÍTHATÓSÁGA [14]

Másik esetben a tanszékünkön diplomázó hallgató könnyűbeton közúti híd megvalósíthatóságával foglalkozott, a szerkezetet normálbetonos változattal hasonlította össze mind gazdaságossági, mind pedig ökológiai szempontból. Hasonlóan a többi tanulmányhoz, ennél is szabványos laborkísérletekkel igazolta az anyag alkalmasságát szilárdsági, testsűrűségi és tartóssági (fagyállóság, vízzáróság stb.) szempontból.

Az egyes változatok összehasonlításánál az ökológiai szempontok a következők voltak:

- üvegházhatási potenciál
- elsavasodási potenciál
- túltrágyázási potenciál
- ózonréteg-lebontó potenciál
- fotoszmozg potenciál
- felhasznált megújuló energia
- felhasznált nem megújuló energia

A tervtanulmány ezen részében megállapította, hogy gondos tervezéssel a könnyűbetonos változat megépítésekor a szennyezőanyag-kibocsátás mintegy 40÷60%-kal is alacsonyabb lehet, mint a normálbetonos változat esetén.

A gazdaságossági elemzés három tervváltozatra terjedt ki: a könnyűbeton, a normálbeton és az öszvérszerkezet lehetőségeit is górcső alá véve, mind a bekerülési költségek, mind pedig a leromlási mátrix szempontjából. (A leromlási mátrix a szerkezet 30–50–70–100 éves időtartamra számított leromlási hányadának valószínűsége, az állapotokat hat osztályra osztva a kifogástalan állapottól a tönkremenetelig). Ezek alapján megállapítást nyert, hogy az öszvérhíd egyszeri beruházási költségei jelentősen nagyobbak, mint a másik két változaté, azonban ennek a változatnak a legkedvezőbb a leromlási mátrixa. A könnyűbeton leromlási mátrixa kedvezőbb, mint a normálbetoné, azonban a bekerülési költsége nagyobb. A könnyűbeton híd részben hulladék anyagok hasznosításával készül (a könnyű adalékanyag lehet hulladékuvegből előállított habüveg), azonban ez ma még nem jelent gazdasági hasznot a beruházó részére. A nemzetközi irodalomban leírtak szerint előre vetíthető, hogy ez a jövőben változni fog, hasonlóan a gépkocsik CO₂-kibocsátását alapul vevő adózási rendszerhez.

4.6. A BUDAPESTI MARGIT HÍD FELÚJÍTÁSA

A könnyűbeton legújabb hazai alkalmazásaként mindenképpen fontos előrelépés, hogy éppen a napokban dolgozták be a budapesti Margit híd ideiglenes pályaszerkezetét, ami LC20/22 jelű duzzasztott agyagkavics adalékanyagú könnyűbetonnal készült.

A statikus tervező azért döntött a kisebb (max. 1600 kg/m³) testsűrűségű felbeton mellett, mert a híd acélszerkezetének leromlott állapota mellett nem lehetett kellő biztonsággal garantálni a hagyományos betonnal felmerülő változatok megépítését. Ez az alkalmazás ugyan nem tekinthető teherviselő tartószerkezetnek, mivel csak az útpálya készült könnyűbetonból, azonban a szigorú tartóssági követelményeknek (fagyás, olvasztósózás, stb.) eleget kell tennie a pályabetonnak. Így elmondhatjuk, hogy immár hazai körülmények között is kipróbáljuk a könnyűbetont. Remélhetőleg a jövőben nem csak másodlagos és harmadlagos tartószerkezetek készülnek ebből az anyagból, hanem további alkalmazásokra is lesz példa.

5. ÖSSZEGZÉS

Pusztán abból a tényből kiindulva, hogy a hidak terheinek nagy részét (körülbelül 80%-át) az önsúly teszi ki, a könnyűbetonok hídépítési alkalmazása jelentős előrelépést jelent. A legfrissebb kutatások szerint a könnyűbetonok tartóssága több szempontból is jobb, mint a hagyományos (kvarckavics vagy zúzottkő adalékanyag) betonoké, ilyen például a hidak esetén kiemelt fontosságú, sós vízzel szembeni ellenállás. Nem véletlen tehát, hogy külföldön tengeri hidakat és olajfűtőtoronyokat is építenek ezzel az anyaggal [15].

A cikkben bemutatott nemzetközi példák és az itthoni, illetve az európai szabályozások szerint készített, a hazai viszonyokat is figyelembe vevő tanulmánytervek és laboratóriumi vizsgálatok eredményei szintén biztatóak. A tervezőnek és a kivitelezőnek fontos ismernie a különböző változatok közti előnyöket és hátrányokat, így az anyagjellemzőket, a gazdaságossági és ökológiai szempontokat.

A könnyűbeton előnye a kisebb önsúly, a nagyobb tartósság (fagyállóság, vízzáróság, sóállóság), az anyagtakarékosság, mindezeket a bemutatott példákat igazolják:

- nagy fesztávú hidak (külföldi megvalósult szerkezetek)
- régi hídyszerkezet felújítása, szélesítése, gyalogjárójának elkészítése
- közúti, folytatólagos tartókkal épült híd
- utófeszített két főtartós gyaloghíd
- gyalogos öszvérhíd szekrénykeresztmetszettel
- két épületet összekötő T keresztmetszetű hídszerkezet
- közúti híd gazdaságossági és ökológiai elemzése
- a budapesti Margit híd felújítása (megvalósult pályabeton).

Nem szabad megfeledkeznünk azonban a könnyűbeton hátrányairól sem! Ezek a magasabb anyagár, az esetenként kisebb kopásállóság, illetve a magyarországi tapasztalat és az elérhetőség hiánya. Mindezen jellemzőket szem előtt tartva indokoltnak tartjuk hídszerkezeti betonok terén a könnyűbetonok előtérbe helyezését Magyarországon, az egyre nagyobb mennyiségben rendelkezésünkre álló külföldi és hazai kutatási eredményeket a gyakorlatban is érdemes lenne hasznosítani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Faust, T.: Leichtbeton im Konstruktiven Ingenieurbau, Ernst&Sohn, 2003
- [2] <http://www.san-francisco.hu/pics/Image/Sanfranciscooaklandbaybridge-k.jpg>, 2009. március 29.
- [3] fib: Lightweight Aggregate Concrete, CEB-FIP guidance documents bulletin 8. 2000
- [4] Sobó, J.: Középítéstan I. Országos Erdészeti Egyesület, 1898.
- [5] Mihailich, Gy., Haviár, Gy.: A vasbetonépítés kezdete és első létesítményei Magyarországon. Budapest, 1966.

- [6] Ujhelyi, J.: Beton és vasbeton készítése. 14. fejezet Könnyűbeton MÉÁSZ ME-04.19:1995 Budapest, 1995.
- [7] Romič, S., Lazič, M.: Armirani lakoagregatni beton, Beograd, 1985
- [8] Babski, R., Fischer, N.: Könnyűbeton mint megoldási lehetőség egy híd gyalogjárdájának felújításához, TDK-dolgozat, BME, 2006
- [9] Nemes, R.: A könnyűbeton jellemzői és alkalmazása a hídépítésben, Diplomamunka, BME, 2002
- [10] Fischer, N.: Possibilities of lightening the structure of a concrete footbridge, Diplomamunka BME és Universidad Politecnica de Catalunya, 2008
- [11] Kelemen, M.: Normál- és könnyűadalékanyagok betonon készült, öszvértartós gyaloghidak összehasonlító statikai számítása, Diplomamunka, BME, 1995
- [12] Fenyvesi, O.: Könnyűbeton gyaloghíd, Diplomamunka, BME, 2005
- [13] Melby, K.: Use of High Strength LWAC in Norwegian Bridges in Proceedings of Second International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete 18–22 June 2000, Kristiansand, Norway
- [14] Tevesz, J.: Könnyűbeton közúti híd megvalósíthatósága, Diplomamunka, BME, 2008
- [15] Józsa, Zs., Nemes, R., Fenyvesi, O.: Lehet-e könnyűbetonból hidat építeni? in XIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó, 2009. június 11–14. pp. 201–208. ISSN:1843–2123

SUMMARY

LWAC BRIDGE STRUCTURES – POSSIBILITIES AND PRACTICE

In the international praxis LWAC (lightweight aggregate concrete) is applied in a high volume for bridge construction, nevertheless in Hungary some use it as filler or secondary construction material. In turn some type of LWAC could be used as primary construction material, moreover in some cases it is only possible to construct a bridge with light structure, and in this case LWAC is an alternative solution. All these are demonstrated herein with international examples and experimental results which have been carried out at our department.

SUMMARY

20 YEARS OF SPAGHETTI BRIDGE BUILDING COMPETITIONS (P. 36)

NORBERT POZSONYI – ALIZ TÓTIVÁN

In numerous educational institutions of technology in the world, the competition of the spaghetti-structures provides good opportunity for the future engineers to free their static sense. Detecting and solving problems during modelling, they can discover a connection between theory and physical reality, thus gaining useful information, which they would probably encounter only later, in real life. During the twenty years that passed since the first Hungarian championships, we had such international results, on the basis of which Hungary can be considered a "great spaghetti-bridge building power". Our aim is to evoke the bridge building decades and to outline the future possibilities of the competition.

SZÁLERŐSÍTETT PERNYEALAPOK HELYI UTAK SZÁMÁRA

FIBER-REINFORCED FLY ASH SUBBASES IN RURAL ROADS

P. KUMAR, S.P. SINGH

JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING VOL. 134., 2008. 4. P. 171–180. Á:3. T:15. H:16.

Az útépítésben világméretű probléma a hagyományos építőanyagok korlátozott mennyisége. Más anyagok ezzel szemben hulladékként várnak felhasználásra, ilyen például a pernye, melyet a hagyományos építőanyagok kiegészítőjeként lehet alkalmazni. A cikk egy indiai kísérlet sorozatot ismertet, ahol a megerősített pernyét útalapként építették be. A megerősített pernye különböző jellemzőinek vizsgálatát statikus és dinamikus tesztekkel, valamint nagymodelles beépítésben végezték el. A polipropilén szálakat a pernyéhez 0,1-0,5% súlysúlyszázalékban adagolták 0,1%-os lépésekben. A pernyéhez adagolt polipropilén-szál-erősítés hatását elemezték a tömörítetlen nyomószilárdság, a rugalmassági modulus, a nyírószilárdság és a teherbírást jellemző CBR érték esetén. A kísérletekben használt pernye CBR-értéke 8,5%-9,7% között volt. 25% helyi talajjal keverve a CBR-érték 8,5%-ról 14,6%-ra nőtt, ami még mindig nem érte el az előírt 15%-os beépít-

hetőségi határértéket. A pernyéhez hozzáadott 0,2% szálerősítés hatására a CBR érték 16,6%-ra változott, ami már megfelelő. Hasonló hatást értek a 25% helyi talajjal kevert pernyénél 0,1% szálerősítéssel. Nagyobb forgalmi terhelés esetén az erősítőszál adagolásának javasolt aránya 0,3%, melynek hatására a CBR-érték 23,2%-ra adódott. Megvizsgálták továbbá az erősítés és tömörítés hatását az állandó megnyúlásra, a reziliens nyúlásra és a reziliens modulusra. A terepi körülményeket szimuláló nagymodell kísérlettel mérték a megerősítés hatását a nyomvályú kialakulására. A pernyét 25% helyi talajjal keverve 0,2% szálerősítés esetén a nyomvályú mélység 47%-kal csökkent az eredeti pernyén mért értékhez képest. Az összesített eredmények azt mutatják, hogy a polipropilén szállal erősített pernye alkalmas útalapként történő beépítésre és felhasználásra.

G. A.

A TÉSZTAHÍD-ÉPÍTŐ VERSENYEK 20 ÉVE

POZSONYI NORBERT – TÓTIVÁN ALIZ¹

A világ számos műszaki oktatási intézményében a több évtizedes múlttal rendelkező, tésztábol épített szerkezetek versenye jó lehetőséget teremt a mérnökjelölteknek kreativitásuk és statikai érzékük kibontakozására. Modellkészítés közben a problémák felfedezése és megoldása során észrevétlenül is kapcsolatot fedezhetnek fel a tanult elmélet és a fizikai valóság között, így olyan hasznos információkra tehetnek szert, melyhez hasonlókkal minden bizonnyal csak később, a való életben találkozhatnak. Az első magyar házibajnokságok óta eltelt húsz év alatt olyan nemzetközi sikereink is születtek, mely alapján elmondható, hogy Magyarország „tesztahíd-építő nagyhatalomnak” számít. Célunk a tesztahídépítés több évtizedes történetének áttekintése és a verseny jövőbeli lehetőségeinek felvázolása.

A MAGYAR KEZDEMÉNYEZÉS

Az első magyarországi versenyt 1989-ben rendezték a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Karán, Zalka Károly kezdeményezésére, aki először az 1970-es években Angliában találkozott az ötlettel. A feladat egy 40 cm magas térbeli rúd-szerkezet megépítése volt, mely 70 N teher viselésére alkalmas. Anyaga kereskedelembe kapható henger- és csőkeresztmetszetű száraztészta lehetett, a csomópontok kiképzése pedig ragasztóval vagy bandázsolással is történhetett. A beérkezett 12 pályaművet kivitelezhetőség, esztétika, leleményesség, gazdaságosság szerint pontozták. Figyelembe vették azt is, ha a teherbírás az előírt 70 N-tól eltért – természetesen szigorúbban pontozták le azt, amelyik szerkezet aluméretezett lett. A verseny stílusosan a Nagy Összeomlás nevet viselte; a Szocializmus és Kommunizmus nevű szerkezetek nem is szerepeltek a legjobbak között. A '89-es versenynek igen nagy visszhangja volt, a történekről még az angol sajtó is beszámolt.

Ezután évről évre különböző feladatok elé állították a hallgatókat: a megépítendő szerkezetek között volt híd, torony, konzol és keret is, de a felhasználandó alapanyag mindegyik esetében száraztészta volt, és az értékelt szempontok között is mindig sze-

repelt a teherbírás (1. ábra). Az évek során a házi bajnokság ki is nőtte az egyetem falait, és már más műszaki főiskolák hallgatóit is meghívták a versenyeken való részvételre.

2002-ben egy 1,06 m fesztávolságú, legfeljebb 250 mm magaságú tesztahídat kellett építeni, ahol a Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Mérnöki Karának diákjai remekeltek: ők építették a legnagyobb, 52 kg teherbírású hídát, és a legmagasabb pontszámmal így az első helyezeket szerezték meg. A következő évben már az egész élmézőny a „bánkis” hallgatókból állt, akik a sikereiken felbuzdulva a kanadai világbajnokságra is kiutaztak. Ekkor a hivatalos világcsúcs 180 kg volt.

A „BÁNKIS” SIKEREK

A kanadai Kelowna-beli Okanagan Egyetemen a '80-as évek közepén szerveztek először „spagetti versenyt”, ami 1988-ra már világbajnoksággá nőtte ki magát. A minden év tavaszán megrendezett bajnokságok évente több mint kétszáz versenyzőt vonzanak, a kisiskolásoktól egészen az egyetemistákig. A több kategóriában megrendezett versenyszámok leglátványosabb és a legnagyobb érdeklődést keltő eleme az ún. Heavyweight Competition, azaz Nehézsúly, ahol 1 m fesztávolságú, legfeljebb 50 cm magasságú és 1 kg tömegű tesztahidakat törésig terhelnek, és a legnagyobb teherbírású híd nyer. A „bánkiskok” 2003-as részvételekor a 2000-ben felállított 180 kg-os világcsúcs volt a hivatalos.

A főiskola két hallgatója, Gróz Norbert és Bökönszegi Balázs a főiskolásoknak megrendezett Pille kategóriában – ahol a szerkezetnek 2 kg terhet kell elviselnie 5 percen keresztül, és az alkotások közül a legkönnyebb nyer – első és második helyezést



1. ábra: Toronyszerkezetek 1991-ből
(Forrás: <http://mechanika.ymmf.hu/>)



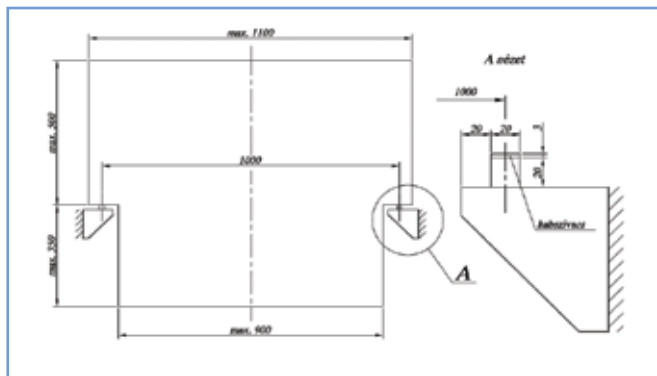
2. ábra: Köves András 2005-ben
(Forrás: <http://www.okanagan.bc.ca>)

¹ Mindketten építőmérnök hallgatók, Széchenyi István Egyetem, Győr. E-mail: totivan.aliz@gmail.com

érték el 144 és 147 grammos hídjukkal. A következő évben Kutyik Mátyás és Köves András képviselte a magyarokat, akik Pille kategóriában harmadik illetve negyedik helyen végeztek, míg a nehézsúlyban 256,13 kg-mal új világsúcsot állítottak fel.

2005-ben Köves András és Miovácz Balázs jutottak el a világversenyre, ahol Köves András a Nehézsúly kategóriában, 257,33 kg-os eredményével, 1 kg-mal megdöntve a régi csúcsot, elnyerte az első helyért járó díjat (2. ábra). A második helyezett 229,96 kg-mal egy helyi hallgató volt, azóta sem született jobb kanadai eredmény. Miovácz Balázs 88,69 kg terhet bíró hídja pedig a harmadik helyre volt elegendő. Köves András pille kategóriában első, Miovácz Balázs pedig második lett 94,8, illetve 113,6 grammos hídjukkal.

A magyarok szereplése a kanadai sajtó után a hazai média érdeklődését is felkeltette, így a verseny hazánkban is egyre ismertebbé vált, és egyre több felsőoktatási intézmény csatlakozott a tészta-hídépítők népes táborához. A Budapesti Műszaki Főiskola pedig 2005 májusában megrendezte az első Kárpát-medencei tészta-hídépítő bajnokságot a Reccs 2005-öt, ahová a magyarországi és a közeli határon túli műszaki egyetemek, főiskolák hallgatóit hívták meg. A verseny szabályzata a kanadai Nehézsúlyú kategóriához hasonló: 1 m feszítávolságú, legfeljebb 50 cm magasságú és 35 cm belógású, 1 kg tömegű tésztahidat kellett építeni (3. ábra). Ragasztás csak a csomópontokban megengedett, a tészta felületének legfeljebb 10%-án, a bandázsolás tilos. Az Ybl-főiskolás versenyekkel ellentétben itt csak a teherbírás számított, a közepen egy ponton törésig terhelte szerkezetek közül a legnagyobb teherbírású nyer. 2005-ben a legerősebb hidat a BMF hallgatói építették, de a második és harmadik helyet is a győri Széchenyi István Egyetem hallgatói szerezték meg.



3. ábra: A híd alátámasztása és elhelyezéséhez rendelkezésre álló tér (Forrás: <http://reccs.hu/>)

HAZAI REKORDSOROZATOK

Az első Kárpát-medencei bajnokságra többek között a győri egyetem hallgatói is meghívást kaptak. Tapasztalatszerzés céljából 2005 tavaszán megrendezték az első győri házibajnokságot, ahol a legeredményesebben szereplő csapatokat küldték el az országos versenyre. Az első helyezett 93 kg-os teherbírású hidat Babos Gergő György, Bánszki Péter, Baranyai Renáta, Fábián András és Nagy Richárd építőmérnök hallgatók építették, és ezt az eredményt megdöntve eredményesen szerepeltek a „bánkis” megmérettetésen is.

A 2005 novemberében megrendezett második győri bajnokságon már nemzetközi viszonylatban is kiemelkedő eredmények születtek. Az előző verseny nyertesei 176,7 kg-mal már csak harmadik helyezést érthettek el (4. ábra), Cserpes Imre 193,4 kg-os teherbírású hídja is már



4. ábra: A címvédők a második győri bajnokságon (Forrás: Győri Kredit)

csak a második helyre volt elegendő. Vida Balázs hosszú tesztelési és tervezési munkájának gyümölcseként hihetetlen, 325 kg-ot bíró hidat épített. Ő a szabályok adta lehetőségeket kihasználva olyan félkör alakú hidat tervezett, ahol a húzott elemeket alkotó spagettiszálakban és a makaróniból készülő nyomott övben egyenfeszültség jön létre (5. ábra). Így az anyagot a legjobban kihasználva lehetett elérni ezt a nagy teherbírást. A félkör alakra és a feszültség egyenletes elosztására előtte már a világbajnokok is törekedtek, azonban ő a szerkezet geometriai pontatlanságának hatásait kutatva (*Közúti és Mélyépítési Szemle 56. évfolyam, 5. szám*) olyan ismereteket szerzett, melyeket kamatoztatva ezt a megdönthetetlennek hitt teherbírást is növelni tudta: a Reccs 2006-on már 393,2 kg-os eredménnyel szerezte meg az első helyet (6. ábra).

A 3. győri házibajnokságon (2006 tavasz) Ther Balázs és Zsámár István 314,7 kg-os terhet viselő szerkezetet épített (7. ábra), a mi hidunk pedig 318 kg-os teher alatt adta meg magát. Akkor kezdő tészta-hídépítőkként – és elsős építőmérnök hallgatókként – mi is a „nagyoknál” jól bevált félkörív alakot alkalmaztuk, azonban a korábban elterjedt makaróniból álló nyomott öv helyett penne csöves tészta-t vetettünk be (8. ábra). A tervezői hiányosságainkat és a tapasztalatatlanságunkból eredő geometriai pontatlanságokat jól ellensúlyozták a csöves keresztmetszet közismert kedvező tulajdonságai. Az új anyagválasztásban rejlő lehetőségeket megragadva a továbbiakban is ugyanezt alkalmaztuk, csupán a csomópontok tökéletesítésével, a kivitelezési módszerek fejlesztésével és a húzott és nyomott elemek arányának megfelelőbb elosztásával 2007 tavaszán már 326,1 kg-os teherbírású hidat építettünk. A csöves tészta-ból épített szerkezetek előnyét bizonyítja az, hogy a



5. ábra: Normálerők egy félköríves szerkezetben



6. ábra: Vida Balázs a Reccs 2006-on (Forrás: <http://reccs.hu/>)

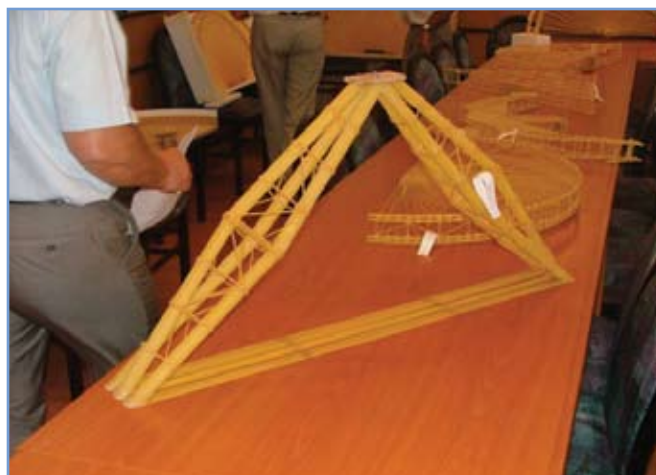


7. ábra: Ther Balázs és Zsámár István a harmadik győri bajnokságon (Forrás: Gollowitzer Barnabás)



8. ábra: Egy jellegzetes makaróni és a saját penne keresztmetszet

következő versenyek sikeresebb hídjainak nyomott öve már ritkán vagy egyáltalán nem is makaróniból készült. A Budapesti Műszaki Főiskola 2006 novemberében megrendezett házibajnokságán Botka Balázs és Kurucz Sándor már tortiglioni ívű 309 kg-os teherbírású hídjukkal szereztek meg a világbajnokságra való kijutásuk lehetőségét. A Reccs 2007 bajnokságon a szintén „bánkis” Márkos Szilárd az anyagválasztásban és a geometriában is egyedül alkotott. A háromszög alakú (két nagy nyomott elemből és egy húzott vonórúdból álló) canelloni vastag csöves hídja 553,9 kg-nál robbant fel (9. ábra). Ugyanezzel a koncepcióval 2007 novemberében Kenedi Zoltánnal megnyerték a házibajnokságot is, 560,3 kg



9. ábra: Márkos Szilárd canelloni szerkezete (Forrás: <http://reccs.hu/>)

teherbírású szerkezetükkel. A Reccs 2008-on a bravúrt harmadjára is megismételte, 555,2 kg-mal. Amint látható, a 2005 tavaszán Kanadában felállított 257,33 kg-os világcsúcsot az azt követő három évben többször is megdöntötték a hazai versenyeken, azonban egészen 2008 tavaszáig ez a csúcs volt a hivatalos.

A KANADAI VILÁGBAJNOKSÁG

A hazai versenyek szabályzatához leginkább a kanadai Nehézsúly kategória hasonlít, azonban, mint már említettük a két verseny-



10. ábra: Saját hídunk a 2008-as világbajnokságon

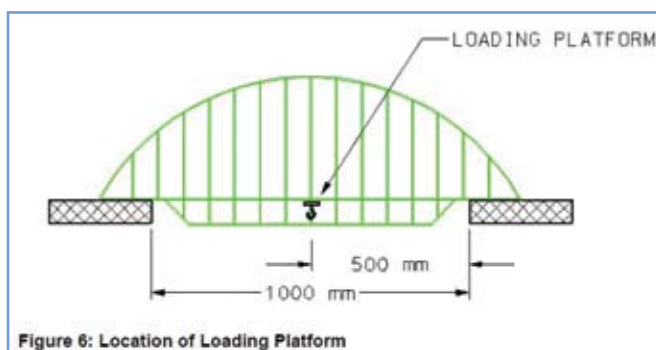


Figure 6: Location of Loading Platform

11. ábra: A terhelő elem csak a híd alsó részében helyezkedhet el (Forrás: <http://www.okanagan.bc.ca>)



12. ábra: A 2009-es pille hídunk

szám nem teljesen azonos. Legalapvetőbb különbség az, hogy az ottani hidakba egy 5 cm széles útpályát is be kell építeni, természetesen ezt is térszából. Ezen a híd teljes hosszán végigfutó pályán biztosítani kell azt az űrszelvényt, mely alkalmas egy 5·5·10 cm-es fahasáb átvezetésére. Ez a szintén száraztésztaból építendő elem számunkra fölös súly, a legfeljebb 1000 grammos híd teherviselésre fordítható tömegét akár 50-60 grammal is csökkentheti. A szabályoknak ez a kis eltérése a teherbírásban nagy különbséget is jelenthet: a 2007-es világbajnokságra 309 kg-os eredménnyel kijutott Botka Balázs és Kurucz Sándor 252,7 kg-os teherbírású hídjukkal alig 5 kg-mal maradtak el a hivatalos világcúcstól, ami így továbbra is megdöntésre várt.

A 2008-as világbajnokságon már az első három helyezett mindegyike világcúcs feletti eredményt hozott. Az előző évi világbajnok Botka Balázs penne félkörív híddal 352,62 kg-mal döntötte meg a rekordot. Mi egy körszelet geometriával, 350,67 kg-mal másodikak lettünk (10. ábra). Az itthon többször is 560 kg körüli eredménnyel szereplő Márkos Szilárd „csak” 310,75 kg-os teherbírású canelloni félkörív hidat épített. Azért nem tudta az itthon verhetetlen háromszög geometriáját megépíteni, mert a kanadai szabályok szerinti útpálya szükségessége miatt a híd terhelő eleme mindenképp a pálya alatt, a híd alsó részében helyezkedhet el (11. ábra). Emiatt a kanadai és a magyar eredményeket csak összehasonlítani lehet, azonban a szabályok apró eltéréseiből adódóan a nagy koncepcionális különbségek miatt egyenértékűnek nem tekinthetjük azokat.

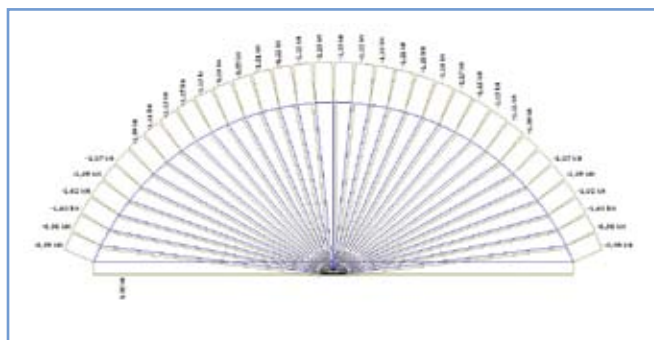
A Budapesti Műszaki Főiskola hallgatói 2004-től kezdve öt világbajnokságon keresztül állhattak a dobogó legfelső fokára. 2006-ban Vida Balázs volt az első győri hallgató, aki a 325 kg-os eredménye után a világbajnokságra kijutott, de szerencsétlenségére a szervezők által biztosított terhelő eleme 100 kg-nál kiszakadt. 2008-ban már az ő tapasztalataiból tanulva mi megerősítettük ezt az elemet, azonban mi a terhelőkampó kigömbülése miatt maradtunk le 2 kg-mal az első helyről. 2009-ben újra lehetőséget kaptunk a kijutásra, és az előző évi csorbát kijavítva 443,58 kg-mal új világcúscot döntöttünk, és pille kategóriában is elsők lettünk (12. ábra).

INNOVÁCIÓK

A kezdetekben játéknak induló modellkészítés mára a F1-es versengéshez hasonló, az apró változtatásokon múló és a határokat kereső komoly mérnöki feladattá vált. Azonban az évek óta változatlan szabályok eredményeként kiforrott geometriák és anyagválasztás – a hazai versenyeken taroló háromszögek és a kanadai versenyek félköríves szerkezetei – miatt a modellek egyre jobban hasonlítanak egymásra. A teherbírásbeli különbségek már inkább a kivitelezési gyakorlaton és a geometriai pontosságon múlnak, így a verseny fő célját jelentő statikai érzék és a mérnöki leleményesség fejlesztése háttérbe szorul. Feltételezzük, hogy azért nem mernek változtatni a szabályokon, mert azzal könnyen a teherbírás felső határát szoríthatnák lejjebb, és így a szenzáció elmaradhat, ami a közérdeklődés lassú elvesztésével járhat.



13. ábra: Egy keret 2007-ből, ami 12 kg-ot birt el (Forrás: <http://mechanika.ymmf.hu/>)



14. ábra: A 2008-as hídunkban keletkező feszültségek eloszlása 350 kg-os tehernél

Az első magyarországi kezdeményező Szent István Egyetem is minden évben más-más szerkezetet és szabályzatot talál ki a hallgatók részére. Ezek összetett, változatos, komoly kreativitást mutató modelleket eredményeznek, de kisebb teherbírással, ami a laikusok számára kevésbé lehet érdekes (13. ábra).

Mi először 2007 őszén építettünk olyan szerkezetet, mely nem használta ki a szabályok adta maximális 50 cm-es magasságot. A híd a megtámasztási pontok felett 35 cm magasságú volt, 5 cm belógással. Bár így a félköríves hidakkal ellentétben nagy vízszintes reakcióerők keletkeztek, azonban ezt egy spagettikötegből álló vonórúddal fel tudtuk venni. Az első ilyen próbálkozásunk 304 kg-ot viselt el, de a 2008-as kanadai világbajnokságon ugyanez a koncepció már 350,67 kg-os teherbírással vette fel sikeresen a versenyt a többi félkörív híddal. A félköríves hidak előnyeit ez a szerkezet ugyanúgy tudta produkálni, hiszen a vízszintes reakcióra méretezett keresztmetszetű vonórúd a közel vízszintes húzott elemek igénybevételeit csökkentette, így azokban egyenfeszültség alakulhatott ki (14. ábra).

A győri egyetemen már 2006 óta szerveznek olyan versenyeket, ahol a híd legfeljebb 30 cm magas lehet, és a terhet az 1 m-es fesztáv harmadoló pontjaiban, tehát két ponton keresztül adják át. 2008 őszén Győrei Marcell és Czipó Dávid építőmérnök hallgatók ilyen hídja 266,7 kg-os teherrel robbant fel, amit a közönség ugyanolyan lelkesedéssel fogadott, akár egy félkörív modell tönkremenetelét (15. ábra). Idén tavasszal pedig a szerkezet magasságát 30 cm-ben korlátozták, de a terhelés ugyanúgy egy ponton keresztül történt, mint más versenyeken. Volt, aki változó keresztmetszettel, volt aki vonórúddal próbálta az egyensúlyi állást elérni, de a legötletesebbnek és legeredményesebbnek

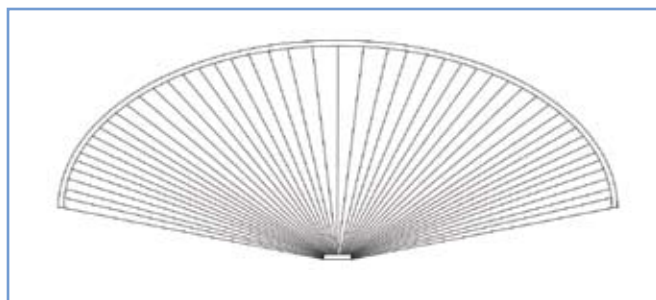


15. ábra: A Győrei–Czipó-páros két ponton terhelt hídja
(Forrás: Győri Kredit)

itt is a Győrei–Czipó-páros hídja bizonyult. Az ellipszis ív nyomott elemeinek hosszúságát úgy változtatták, hogy a híd gyenge pontját jelentő húzott elemekben ugyanakkora erő ébredt (16. ábra). Ezzel a megoldással 2009 tavaszán 374,7 kg-os egyetemi csúcsot állítottak fel.

A 2009-es Kárpát-medencei bajnokságon a „bánkis” Márkos Szilárd az előző években többször is sikeres koncepcióját megfordítva, egy lefele fordított háromszög alakú híd 545,4 kg-os teherbírásával bizonyította azt, hogy mindig vannak olyan innovatív megoldások, melyekkel érdekessé és változatossá lehet várázsolni a versenyt anélkül, hogy az a teherbírás és a szenzáció rovására menne (17. ábra).

A Nehézsúlyú téstahidak elméleti teherbírása egy korábbi többszörös kanadai világbajnok szerint 1 tonna körül van. A változatlan szabályoknak köszönhetően már úgy tűnik, megszületett a optimális szerkezeti megoldás mind a kanadai, mind a hazai versenyeken is. A néhány éve még hihetetlennek számító 2-300 kg-os eredmények megdöntése is inkább már az anyagválasztáson és kivitelezési gyakorlaton múlt, így minden bizonnyal nincs messze az az idő, amikor majd a mai rekordok is megdöntésre kerülnek. A szenzáció és a közérdeklődés így továbbra is megmarad, azonban úgy tűnik, a szabályok változtatása nélkül a hallgatók már nehezebben vállalkoznak arra, hogy a legelső hídjuk megépítésével bekapcsolódjanak a versenyekbe, mert úgy érzik,



16. ábra: Az ellipszis ív híd szerkezet vázlatrajza



17. ábra: Márkos Szilárd újabb innovatív megoldása
(Forrás: <http://reccs.hu/>)

a tapasztalt téstahídépítők sorozatos sikerei mellett eltörpülne a saját újszerű, de kisebb teherbírású szerkezetük. Saját véleményünk szerint a szabályok többszöri változtatásával kiemeltebben érvényesülne a versenyek célja, hogy a hallgatók mérnöki gondolkodását fejlesszék és a kreativitásuk kibontakozásának adjanak teret.

Ezúton mondunk köszönetet a Széchenyi István Egyetemnek és a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központnak, hogy 2009-ben is lehetővé tették a kanadai világbajnokságon való részvételünket.

KÉZIRATOK TARTALMI ÉS FORMAI KÖVETELMÉNYEI

Folyóiratunk általában eredeti cikkeket közöl, az ettől való eltérést külön jelöljük. Kérjük szerzőinket, a kézirat leadásakor nyilatkoznak, hogy a cikket máshol nem jelentették meg és nem adták le közlésre.

A cikkek javasolt terjedelme 4-8 nyomtatott oldal. Egy csak szöveget tartalmazó oldalon mintegy 6000 karakter fér el (szóközzel).

Kérjük tisztelt szerzőinket, hogy a megjelentetni kívánt cikkek kéziratait a következő formában készítsék el:

- A kézirat szövege **önállóan**, esetleges lábjegyzetekkel, ábra-, táblázat- és képhivatkozásokkal, a szöveg végén külön ábrajegyzékkel, *.rtf vagy *.doc formátumban,
- táblázatok és grafikonok **külön-külön**, *.doc vagy *.xls formátumban,
- ábrák, fényképek stb. **külön-külön** file-ban, nem a szövegbe beágyazva, *.xls *.tif, *.eps vagy *.jpg (300 dpi felbontással!) formátumban.

Az azonosíthatóság és kezelhetőség érdekében valamennyi táblázat, grafikon, ábra, fénykép sorszámmal és címmel legyen ellátva.

Kérjük, hogy a cikkhez egy 40-80 szó terjedelmű **angol nyelvű kivonat**ot mellékelni szíveskedjenek.

Kérjük, hogy valamennyi szerző elérhetőségét (munkahely, postacím, telefon, fax, e-mail) tüntessék fel.

A kéziratokat e-mailen, vagy szükség esetén CD-n a felelős szerkesztő címére kérjük küldeni.

(szerk.)

A JELZŐLÁMPÁS FORGALOMIRÁNYÍTÁS TERVEZÉSE, TELEPÍTÉSE ÉS ÜZEMELTETÉSE Új útügyi műszaki előírás

Az ÚT 2-1.219 (e-UT 03.03.31) számú, A jelzőlámpás forgalomirányítás tervezése, telepítése és üzemeltetése megnevezésű útügyi műszaki előírás a miniszteri rendelettel kiadott, a Jelzőlámpás forgalomirányítás szabályzata (FISZ) című szabályozás kiegészítéseként azokat a tudnivalókat tartalmazza, amelyek a forgalomirányító jelzőlámpák tervezése, telepítése és üzemeltetése kapcsán válnak szükségessé.

Az útügyi műszaki előírás első része a tervezési előírásokkal foglalkozik. Ezen belül meghatározza a fényjelző készülékek elhelyezését jelzőkészülék-fajtánként (jármű-, gyalogos-, kerékpáros-, villamosjelzők). Külön szakasz foglalkozik a figyelmeztető jelzőkkel.

A forgalomtechnikai tervezésről szóló részben meghatározza a forgalmi rendnek és a csomópont geometriájának kialakítását, a járműosztályozók méretezését, valamint az ezekhez szükséges mérések, számítások elvégzésének módját.

A szabályozástechnikai fejezet előírja a fázisrend kialakítását, a jelzésidőtervek számításának módját, és foglalkozik a csomópontok forgalomtól függő szabályozásával, ennek módjaival, alkalmazási előírásaival, a detektorokkal, a rendszer beszabályozásával, de kitér a dokumentálás sajátosságaira és a programválasztásra is. Külön szakasz foglalkozik az összehangolt forgalomirányítás tervezésével, különös tekintettel az ilyen rendszer kiépítési feltételeire, kapacitására, az ebben elérhető sebességekre, és a közösségi közlekedés járműveinek a rendszerben való mozgására.

Egyéb szabályozástechnikai megoldások is szerepelnek az anyagban, úgymint a fénysorompóval függésben lévő jelzőlámpák, a közösségi közlekedést előnyben részesítő forgalomirányítási

megoldások, az útépitéseknél előforduló útszűkületekben alkalmazandó jelzőrendszerek, a forgalmi sávok váltakozó irányú használatát lehetővé tevő irányváltó jelzőlámpák, és a sebesség-szabályozás különböző jelzési lehetőségei.

Külön szakasz foglalkozik a nagyterjedésű, összetett csomópontokra telepítendő jelzőlámpák tervezésével, az önálló gyalogos-átkelőhelyek felépülő jelzőképpé szabályozásával, valamint az autópályákon a felhajtórampák jelzőlámpás szabályozásának módjával.

Részletes felsorolások tartalmazzák a tervezés során a különböző feladatoknál és különböző tervfázisokban elkészítendő tervdokumentációk összetételét.

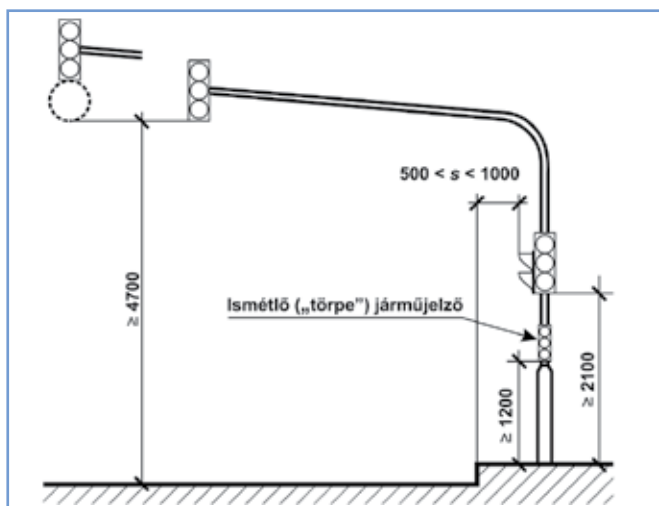
A telepítésről szóló rész tájékoztatást ad a megszerzendő hozzájárulásokról és engedélyekről, a kivitelezési rész pedig a kivitelezés előkészítésétől a szerelési és ellenőrzési feladatokon keresztül a telepítés befejezéséig és a jelzőlámpa üzembe helyezéséig pontokba szedve tartalmaz minden lényeges tudnivalót.

Az utolsó rész felsorolja az üzemeltetés és fenntartás feladatait, beleértve az utóbbiak gyakoriságának előírásait is. Kitér az anyag a munkavégzés alatti biztonsági tudnivalókra is, különös tekintettel a feszültség alatti munkavégzés előírásaira.

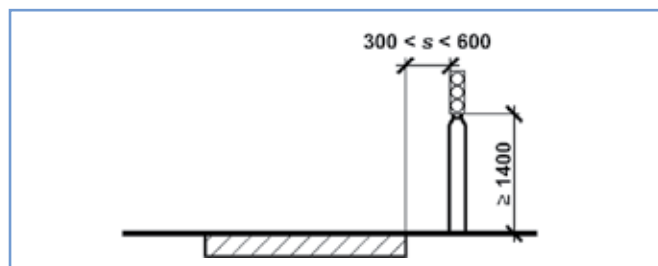
Az útügyi műszaki előírás melléklete terlapok mintáit, a nyilvántartás lehetséges módját és az összetett csomópontok közül a körgeometriájú csomópontok tervezési paramétereit és számítási módszereit tartalmazza.

A műszaki előírás végén felsorolás található az idevonatkozó magyar nemzeti szabványokról, útügyi műszaki előírásokról, valamint a kapcsolódó jogszabályokról.

Magyar Útügyi Társaság
Publikációs bizottsága



1. ábra: Általános járműjelzők elhelyezése (mérték mm-ben)



2. ábra: Kerékpáros jelző elhelyezése (mérték mm-ben)

700 Ft